Revista Real Academia Galega de Ciencias. Vol. XXXI. Págs. 163-212 (2012)

# Análisis de los procesos de flujo subterráneo y superficial en problemas medioambientales: adaptación de un código numérico gestionado con SIG a la cuenca del río Barcés, A Coruña[1]

J. Horacio Hernández, Francisco Padilla y Ricardo Juncosa

*Departamento de Métodos Matemáticos y de Representación, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Campus de Elviña 15071, Universidad de A Coruña*
*e-mail: jhernandez@udc.es; fpadilla@udc.es; rjuncosa@udc.es*

## Resumen

El 18 de marzo de 2008 Lignitos de Meirama dio inicio al proceso controlado de inundación de la mina de carbón a cielo abierto de Meirama a partir de los flujos de agua superficial y subterránea de la cuenca alta del río Barcés. La disponibilidad de agua y la evolución de estos flujos constituyen una de las principales preocupaciones en vista de las acciones más apropiadas durante la rehabilitación hídrica de la excavación. Al respecto, se ha aplicado el código numérico MELEF para determinar la evolución futura más probable de los flujos conjuntos de agua subterránea y superficial en la cuenca del río Barcés. En este sentido, los resultados obtenidos predicen que el proceso de inundación de la mina de Meirama terminará muy probablemente en septiembre de 2014; sin embargo, este resultado estará condicionado por diversos factores como el comportamiento aleatorio estocástico de la precipitación, así como por los posibles cambios en las estrategias de inundación.

**Palabras clave**: Cuenca del río Barcés, elementos finitos, flujo conjunto subterráneo y superficial, hidrología de cuencas, Mina de Meirama, modelos numéricos, Sistemas de Información Geográfica.

## Abstract

The 18 March 2008 began the controlled flooding of the open pit coal mine of Meirama though the surface and groundwater flow coming from the upper

[1] Premio de Investigación 2011 de la Real Academia Gallega de Ciencias.

catchment of the Barcés River. The availability and evolution of these flows are of main concern in view of the most appropriate actions for a sustainable environmental restoration of the open pit mine. In this regard, we have applied the MELEF numerical code to determine the most likely forthcoming evolution of the joint surface-groundwater flows in the Barcés River watershed. In this sense, the results predict that the process of flooding of the Meirama pit mine would most likely finish in September 2014; however, this assumption would be conditioned by different factors such as stochastic random behaviour of the precipitation, as well as possible changes in the strategies of flooding.

**Keywords**: Barcés drainage basin, finite elements, Geographic Information Systems, integrated surface/groundwater flows, Meirama open pit, numerical modeling, watershed hydrology.

## 1. Introducción

Los flujos de agua subterránea y superficial no son procesos aislados del ciclo hidrológico. Los cuerpos de agua superficial como lagos, humedales, estuarios y ríos están por lo general hidráulicamente conectados con el agua subterránea, y su interacción determina los procesos de recarga y descarga, así como la cantidad y la calidad de ambos flujos de agua. Winter et al. (1998), Scanlon, et al. (2002), Sophocleous (2002), así como de Vries y Simmers (2002) dan una visión detallada de las interacciones entre los flujos de agua subterránea y superficial en relación con factores climáticos, de relieve del terreno, geológicos y bióticos.

Para entender mejor los procesos de interacción hidrológica, la cantidad y la calidad de los flujos de agua subterránea y superficial, es necesario implementar modelos numéricos distribuidos que integren ambos flujos. En este ámbito, se ha implementado el código numérico por elementos finitos MELEF (Modèle d'ÉLÉments Finis), desarrollado por el Grupo de Enxeñaría da Auga e do Medio Ambiente (GEAMA) de la Universidade da Coruña (Padilla y Cruz-Sanjulián 1997; Hernández 2008; Padilla, et al. 2008), gestionado mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG), para su aplicación en el caso de la inundación de la mina de Meirama teniendo para ello en cuenta todo el dominio de la cuenca del río Barcés.

Después de iniciar el llenado de la mina de Meirama, 18 de marzo de 2008, el régimen de caudales del río Barcés fue inherentemente modificado, lo que ha repercutido de alguna manera en los recursos de agua subterránea y superficial, y en consecuencia en los usos de agua de la cuenca baja del río Barcés. A partir de estudios concertados por la empresa Lignitos de Meirama S.A. (LIMEISA), se determinaron las alternativas hidrológicas de llenado y

las demandas de caudal ecológico requeridas por el río Barcés aguas abajo del hueco minero. Sin embargo, las estrategias adoptadas para la inundación de la mina han sufrido una serie de eventualidades no previstas, tal es el caso de la mala calidad del agua del arroyo Pereira y su posterior derivación al interior del hueco minero, el 3 de octubre de 2008, con el fin de evitar la trascendencia del problema al embalse de Cecebre. En consecuencia, surgen una serie de interrogantes sobre la evolución futura de la inundación de la mina teniendo en cuenta los diferentes antecedentes en cuanto a los usos del agua, y su repercusión en el tiempo necesario para finalizar la inundación de la mina de Meirama, que tiene una capacidad para ~143.4 $hm^3$ de agua en una superficie de casi 186 ha y que alcanzará una profundidad máxima próxima a los 200 metros. Asimismo, surge también una necesidad por un mejor conocimiento de los flujos de agua subterránea y superficial que nos permitan tomar mejores decisiones sobre la hidrología de la cuenca del río Barcés.

Además de todo, el embalse de Cecebre, fuente principal de agua potable de A Coruña, justifica el estudio de la evolución temporal y espacial del flujo de las aguas subterráneas y superficiales tanto de la cuenca del río Mero como de la de su afluente el río Barcés. Por ello, las alternativas de inundación de la excavación minera de Meirama como lago, que suponen modificar el régimen hídrico de la cuenca del río Barcés, así como otras preocupaciones medioambientales, son evaluadas continuamente, en parte, por el grupo GEAMA (Delgado et al. 2008 a,b; Juncosa et al. 2008; Hernández 2008).

En este ámbito y en relación con el desarrollo y con el propósito de aplicar modelos que integran ambos modelos de flujo de agua superficial y subterránea a problemas medio ambientales complejos, caso concreto del modelo MELEF, surge la necesidad de desarrollar, antes que nada, una metodología de gestión de todas las condiciones de contorno y de simulación de forma distribuida empleando los Sistema de Información Geográfica. De esta manera, se habilitan nuevas posibilidades que conducen a desarrollar simulaciones de una mayor complejidad mediante condiciones de simulación más exigentes, lo que nos ha llevado a localizar ciertas deficiencias numéricas del modelo que han sido resueltas de cara a una correcta aplicación del modelo numérico al caso de inundación de la mina de Meirama.

## 1.1 Área de estudio

El clima en la región es típica de la zona atlántica con una precipitación anual que ronda los 1300–1500 mm/año y una tasa de evapotranspiración que ha sido estimada ente 600–800 mm/año (MMA 2000).

La excavación minera se localiza en el valle de la localidad de Meirama, en el Término Municipal de Cerceda, A Coruña, España (Figura 1). La corta

de Meirama se sitúa en la cabecera de la cuenca del río Barcés, conocida así mismo como cuenca de Meirama, con una superficie próxima a 33 km$^2$. En su totalidad, la cuenca del Barcés tiene una superficie cercana a los 90 km$^2$. El flujo de agua superficial de esta cuenca, producto del exceso de escurrimiento, es drenado por el río Barcés hasta su confluencia en el embalse de Cecebre. El río Barcés es afluente del río Mero por su margen izquierda, y en la confluencia de ambos ríos, Mero y Barcés, se localiza la presa del embalse de Cecebre, la cual regula el suministro de agua potable de A Coruña y sus alrededores. Desde allí, el agua discurre por el propio cauce del río Mero hasta la planta de tratamiento de agua potable de La Telva, propiedad de la Empresa Municipal de Aguas de A Coruña S.A. (EMALCSA).

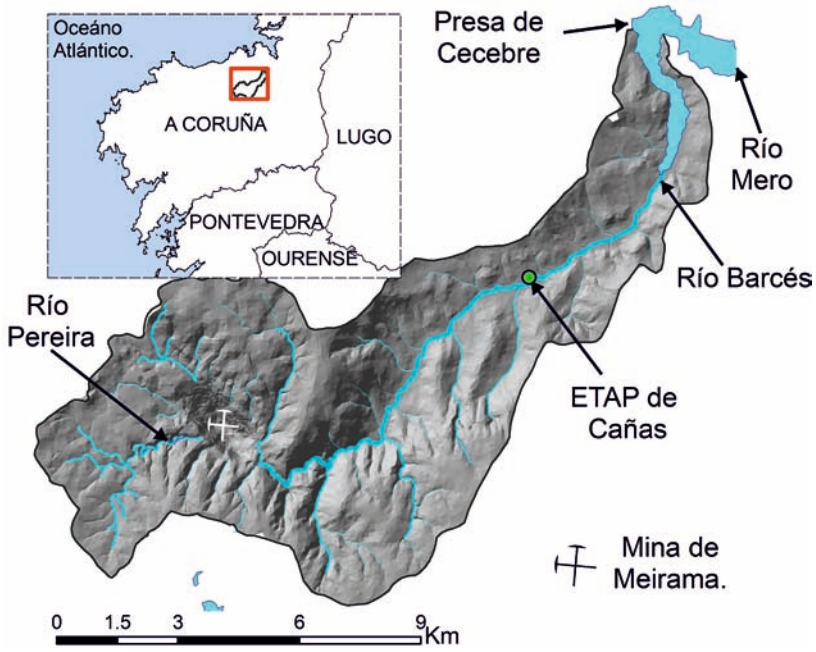



**Figura 1**. Localización de la cuenca del río Barcés

### 1.1.1 Precipitación y Evapotranspiración

La información disponible sobre la precipitación en el interior de la cuenca fue en parte adquirida de la Agencia Estatal de Meteorología, y otra parte fue suministrada por la empresa Lignitos de Meirama S.A. En lo que respecta a la evapotranspiración, se han tenido en cuenta las recomendaciones de la FAO sobre el método Penman-Monteith, como el único método estándar para la

definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia, y para evaluarlo se emplearon los registros diarios de la temperatura, las horas diarias de sol, la humedad relativa y la velocidad media del viento. Todas estas variables fueron registradas por la estación meteorológica de Mabegondo.

En lo que concierte a las series de datos pluviométricos, estas se corresponden con las estaciones de San Andrés de Meirama (UTM 29 T, 545869.29 m. E, 4784105 m. N, altitud 230 m.s.n.m.), la cual tiene registros de precipitación diaria desde 1974, Carral (UTM 29 T, 555216 m. E, 4786334 m. N, altitud 65 m.s.n.m.), que tiene registros de precipitación diaria desde 1984, y Mabegondo (UTM 29 T, 556921.72 m. E, 4792336.15 m. N, altitud 40 m.s.n.m.) con registros de precipitación desde 1982.

Para definir el comportamiento más probable de las variables climáticas, en un escenario futuro a corto plazo, es necesario evaluar, como primer paso, la componente estacional de la serie temporal y verificar la existencia o no de tendencias con periodos mayores que 12 meses.

En este sentido, la precipitación, que se caracteriza por mostrar un comportamiento estocástico aleatorio, tiene no obstante una componente estacional con un periodo de doce y seis meses (Figura 2), periodos que se corresponden con los de invierno y verano, además de no mostrar tendencias con un periodo mayor a 12 meses. Esto se deduce del análisis de las series históricas de precipitación (35 años) mediante la transformada rápida de Fourier (Hernández 2011).

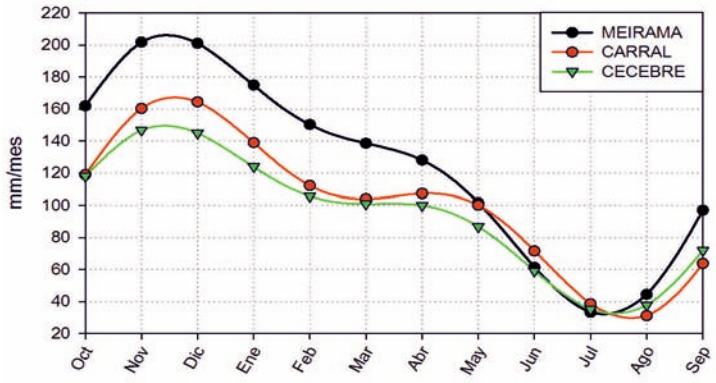



**Figura 2**. Componentes estacionales de la precipitación media mensual.

La Figura 2 muestra entonces la componente estacional mensual de las series históricas de precipitación de las estaciones de Meirama, Carral y Cecebre.

De igual manera, las series temporales de temperatura, que están disponibles desde enero de 1983, se han analizado para determinar su componente estacional y descartar tendencias con un periodo mayor que 12 meses.

### 1.1.2 Usos del agua

Los principales usos del agua en la cuenca alta del Barcés se pueden clasificar en dos actividades que conciernen sobre todo a la mina: las extracciones mediante bombeos de aguas subterráneas para disminuir los niveles freáticos; las derivaciones de flujos de agua superficial en todo el perímetro de la mina. Ambos, bombeos y derivaciones, tienen como principal fin evitar la inundación de la mina durante el periodo de explotación. En el caso del agua extraída en los pozos de bombeo, ésta es concentrada y tratada en una estación de depuración de aguas de mina antes de ser vertida al río Barcés.

Por su parte, las derivaciones de aguas superficiales en el sector de la mina se pueden enmarcar en dos actividades principales. La primera actividad de derivación se localiza en el interior del hueco minero y su función era extraer el exceso de agua subterránea y de escurrimiento superficial durante el periodo de explotación. Esta actividad terminó el 18 de marzo de 2008 para posteriormente dar inicio al periodo de llenado. La segunda actividad de derivación se localiza en todo el perímetro de la mina y su función es permitir o no la entrada de agua superficial al interior del hueco. El sistema de derivación lo forman una serie de canales construidos en el perímetro de la mina que desvían el agua superficial hacia el arroyo Porta Antiga y hacia el río Barcés.

Por otra parte, en la cuenca baja del río Barcés existen otro tipo de usos del agua como son: las demandas urbanas y agrícolas de agua que se abastecen de pozos de bombeo, así como las derivaciones de aguas superficiales para riego y suministro de agua potable. En esta zona de la cuenca se debe resaltar la captación de agua superficial de Cañas que detrae agua del río Barcés, y que por Real Orden del 25 de febrero de 1904 la captación tiene un máximo permitido de 100 litros por segundo.

### 1.1.3 Nivel freático y del agua libre

#### *Piezómetros*

Los niveles freáticos registrados en un cierto número de pozos y piezómetros durante el periodo de análisis han sido facilitados por LIMEISA. Sin embargo, fue necesario seleccionar un número determinado de pozos y piezómetros en función de diversos criterios específicos.

Por un lado, los piezómetros con registros suelen estar concentrados en sectores muy próximos. Estos sectores corresponden casi siempre a los afloramientos de granito. La razón reside en la cantidad de perforaciones realizadas con el fin de drenar las laderas graníticas de la excavación que suelen manifestar serios problemas de estabilidad. En este sentido, fue necesario, para la calibración, seleccionar los registros de un único pozo o piezómetro para cada concentración de perforaciones.

Por otro lado, dentro de las perforaciones con piezómetros abiertos en su totalidad o a diferentes profundidades, ha sido necesario dar prioridad a las perforaciones sin importantes gradientes hidráulicos verticales, y dentro de ellas, a aquellos piezómetros abiertos en su totalidad. La razón es obvia, ya que los gradientes verticales se ponen de manifiesto por los diferentes niveles piezométricos dentro de la misma perforación, lo que indica el probable confinamiento y compartimentación vertical de acuíferos, posiblemente por una fracturación, aislamiento hidráulico diferencia y/o colmatación del piezómetro.

Existen también piezómetros ubicados en esquistos, sin embargo, éstos muestran niveles que son prácticamente insensibles a las fluctuaciones hidrológicas, y ello se debe, principalmente, a que la profundidad de las perforaciones es ampliamente mayor que la profundidad considerada de mayor sensibilidad hidrológica, y consecuentemente son descartados como niveles válidos de calibración.

Como resultado de los criterios de selección anteriores, sólo se han seleccionado cinco piezómetros y tres pozos como referencias para la calibración de algunos de los parámetros hidráulicos en el sector de la excavación minera de Meirama. Los cinco piezómetros son: PG-14, P-11, P-22 y P-31 en afloramientos de granito y el BEI-2 en la escombrera interior. Los pozos corresponden a: BG-15.2, BG-18.1 y BG-19.2 en afloramientos de granito (Figura 3).

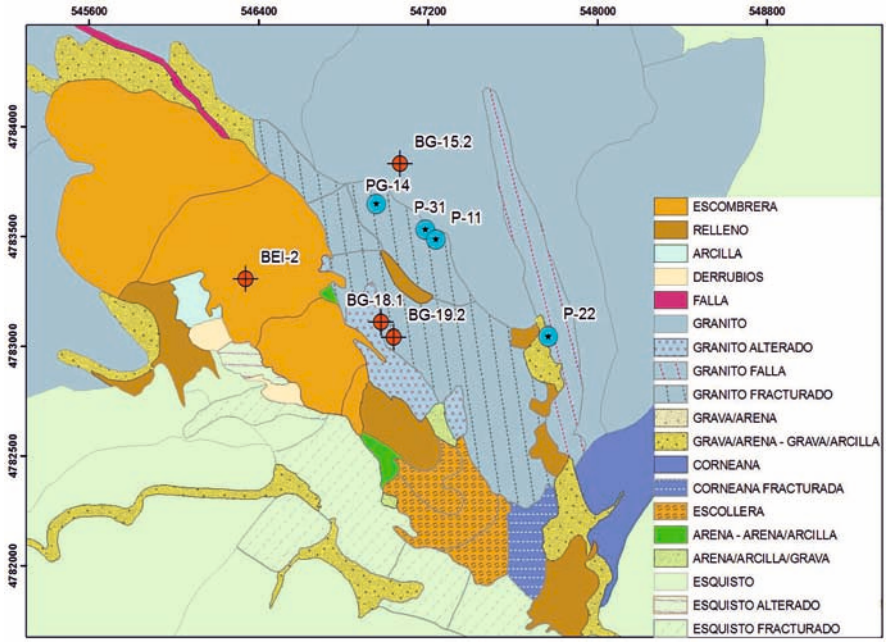



**Figura 3**. Localización de los piezómetros y pozos de bombeo utilizados durante la calibración y posterior análisis de los niveles freáticos.

### *Niveles de la lámina de agua libre*

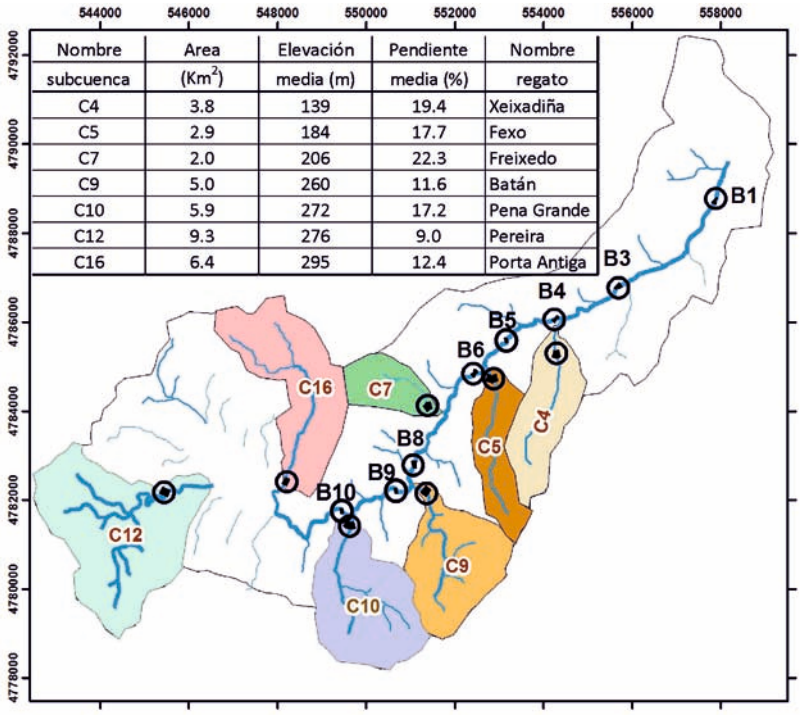
En lo que se refiere a los niveles de agua libre como pueden ser los niveles del agua en lagos y embalses, son una fuente de información de gran importancia durante el proceso de calibración. En este sentido, el punto de cierre de la cuenca del río Barcés es el propio embalse de Cecebre. A este respecto, la Empresa de Aguas de La Coruña (EMALCSA) ha puesto a nuestra disposición los niveles históricos de regulación con una escala temporal diaria, que servirán para imponer niveles de agua en el contorno del modelo numérico y poder así dar solución al sistema en régimen transitorio.

Asimismo, existe otra masa de agua de interés que se forma en la propia mina de Meirama, el futuro Lago de Meirama. El registro de la evolución del llenado resulta indispensable para verificar la correcta simulación de los niveles obtenidos en régimen transitorio del modelo numérico y discernir la mejor o peor configuración de los parámetros que definen el comportamiento hidrodinámico de los materiales. Al respecto, LIMEISA realiza un registro continuo de la evolución de los niveles de la lámina de agua libre durante el llenado de la mina de Meirama, datos que son facilitados periódicamente.

### 1.1.4 Campañas de aforo

A partir de marzo de 2007 y hasta finales de 2009, se realizaron mediciones puntuales de aforo en los cauces de mayor relevancia de la cuenca del río Barcés. Uno de los propósitos de las mediciones de caudal era obtener las curvas de gasto para el mayor número de subcuencas y así registrar la curva de recesión del flujo superficial entre el periodo húmedo y estival.

Para ello fue necesario identificar los cauces de interés y de mejor accesibilidad, con el fin de realizar los aforos distribuyéndolos en dos grupos de muestreo, en los que la medición de caudales en cada grupo se realizó de forma alternada y atendiendo a las condiciones climáticas. Además, las mediciones de caudales se realizaron siempre desde la cabecera del río Barcés hacia aguas abajo. En lo que respecta al total de puntos de aforo, cuya ubicación se muestra en la Figura 4, se establecieron 15 puntos de muestreo, 7 de los cuales se ubicaron en las subcuencas tributarias de mayor importancia y los 8 restantes se distribuyeron a lo largo del río Barcés.




| Nombre subcuenca | Area ($Km^2$) | Elevación media (m) | Pendiente media (%) | Nombre regato |
|---|---|---|---|---|
| C4 | 3.8 | 139 | 19.4 | Xeixadiña |
| C5 | 2.9 | 184 | 17.7 | Fexo |
| C7 | 2.0 | 206 | 22.3 | Freixedo |
| C9 | 5.0 | 260 | 11.6 | Batán |
| C10 | 5.9 | 272 | 17.2 | Pena Grande |
| C12 | 9.3 | 276 | 9.0 | Pereira |
| C16 | 6.4 | 295 | 12.4 | Porta Antiga |

**Figura 4**. Ubicación de los puntos de medición de caudales superficiales durante las campañas de aforo en la cuenca del río Barcés.

La medición de velocidades para determinar los caudales se realizó con un aforador electromagnético, SENSA RC2. En condiciones de poco caudal se implementó el método de aforo por dilución con inyección instantánea de un trazador, Halita NaCl, y el registro de datos mediante el equipo Salino-MADD.

En total se realizaron 141 mediciones puntuales de caudal durante marzo de 2007 hasta noviembre de 2009, con una mayor frecuencia de muestreo en los puntos de aforo B1, B3, C4, C7, C9 y C10, dada su mejor accesibilidad e importancia en el proceso de calibración.

### 1.1.5 Topografía

La topografía detallada del hueco minero se obtuvo de los mapas digitales existentes en LIMEISA, versión digital del 2008, que contempla los cambios topográficos como consecuencia de las actividades de relleno y preparación de taludes previos a la fase de inundación del hueco. Mientras que la topografía global se extrajo del Modelo Digital de Elevaciones (MDE, espaciamiento 50×50 metros) y los elementos altimétricos de la cartografía 1:5.000 de la Xunta de Galicia (SITGA) del año 2000.

La topografía, en su conjunto, es reacondicionada en zonas con presencia de agua superficial, tal es el caso de los ríos donde se verifica que el cauce, dadas sus dimensiones naturales, no se refleja en el MDE utilizado, para ello se han tenido en cuenta las experiencias y procedimientos descritos por Maidment y Djokic (2000) y Hellweger (1997) para lograr un reacondicionamiento artificial de éstos, y que es necesario para que el flujo de agua superficial en el modelo de simulación sea hidrológicamente correcto.

### 1.1.6 Génesis geológica

En la cuenca hidrográfica del río Barcés existen dos zonas claramente diferenciadas, una Norte oriental de gran extensión y con un relieve de muy bajos desniveles definido por el substrato esquistoso-grauváquico, y la otra Sur occidental de reducida extensión y condicionada por el macizo granítico y granodiorítico, que ocupa el sector de la cuenca alta.

La subcuenca alta del Barcés o cuenca de Meirama, se encuentra tectónicamente asociada a una importante falla de rango regional, falla de Baldaio de salto en dirección con orientación N120.º E/N140.º E, la cual afecta materiales hercínicos, granodioritas y esquistos del complejo de Órdenes, y cuya reactivación durante el Terciario y posterior actividad produjo la génesis y subsiguiente deformación de los materiales depositados en la cuenca se-

dimentaria de Meirama, esto según un modelo denominado geológicamente pull-apart (Monge 1987).

Las unidades sedimentarias terciarias están afectadas tectónicamente por fallas normales, las cuales han sido constatadas durante las labores extractivas del lignito, lo que viene a demostrar que la falla de Baldaio sobre la que se asocia la cuenca de Meirama se ha movido constantemente. Esta actividad ha sido compresiva y distensiva, lo que ha condicionado constantemente la morfología de la cuenca mediante levantamientos, episodios erosivos y hundimientos, dando lugar a registros sedimentarios continentales procedentes de ambas fuentes de alimentación, la de los materiales graníticos y la de los esquistosos.

Se forma entonces una cuenca sedimentaria terciaria, rica en lignito, sobre un sustrato de granodioritas y esquistos principalmente, la que ha perdido su morfología original debido a las labores mineras necesarias para la extracción del lignito, y por la cual discurría el tramo alto del río Barcés.

La subcuenca baja del río Barcés comienza en el estrangulamiento fluvial aguas abajo de la mina de Meirama, y está casi en su totalidad compuesta de esquistos biotíticos del complejo de Órdenes que desarrollan suelos orgánico-arcillosos de espesores irregularmente diferenciados. Sobre estos materiales se deposita un sistema basal detrítico de fondo de valle fluvial de edad Cuaternario reciente.

Los materiales aflorantes que se muestran en la Figura 5 han sido cartografiados por LIMEISA y que en el sector de la mina representan la geología reciente, en este caso desde finales del mes de marzo del 2008, fecha que se corresponde con el inicio del llenado del hueco de la mina.

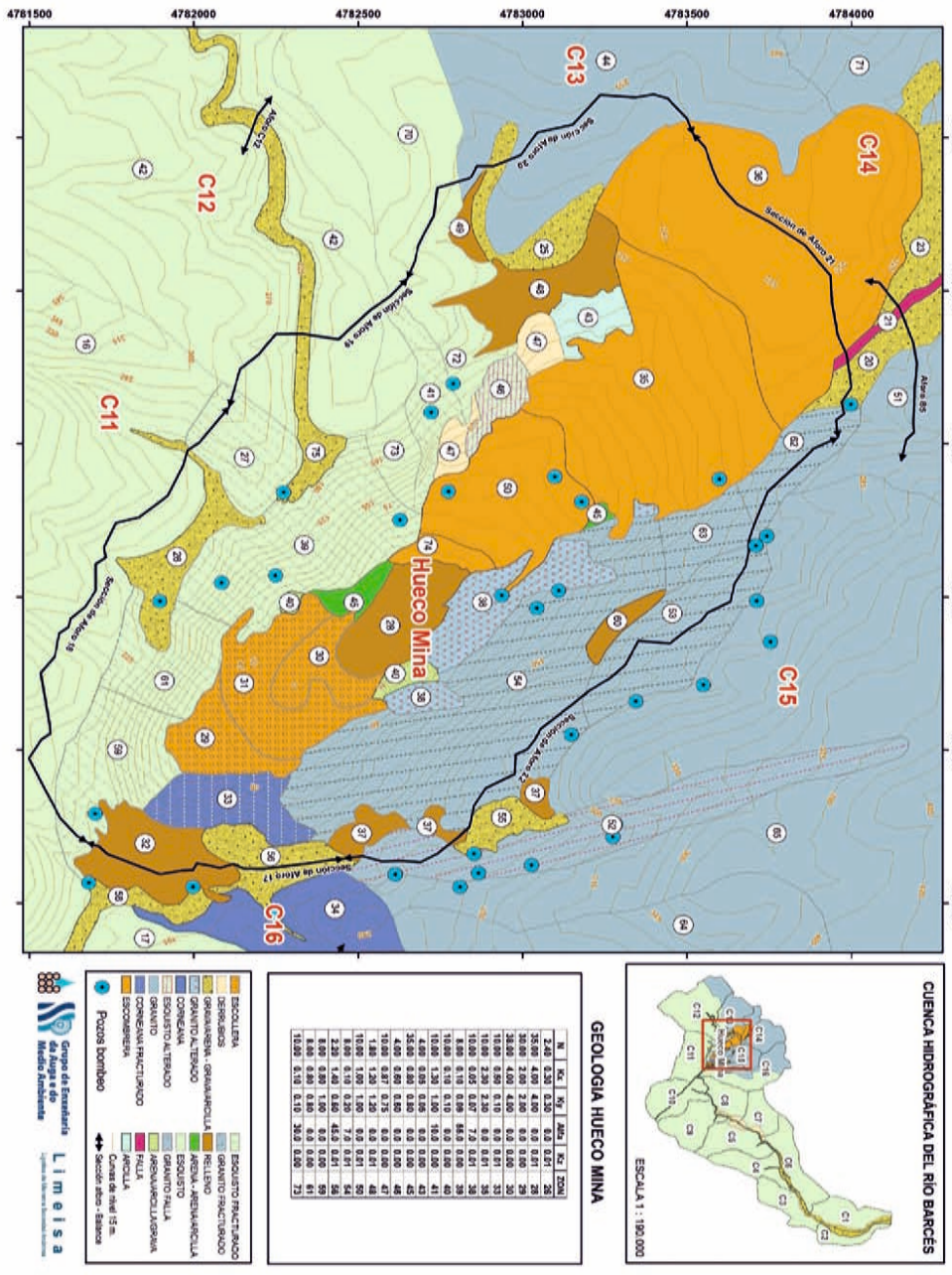



**Figura 5**. Principales materiales aflorantes a partir de la geología actualizada por LIMEISA en el año 2008. En la leyenda: N es la porosidad eficaz (%); Kx y Ky son la permeabilidad de los materiales (m/día); Alfa es el ángulo de anisotropía; y $K_E$ es la tasa de infiltración media.

### 1.1.7 Hidrogeología

Las características hidrogeológicas de las diferentes formaciones aflorantes, en la cuenca hidrográfica del río Barcés, están fuertemente condicionadas por la litología y la tectónica de los materiales existentes.

El macizo granítico y los esquistos de la Serie de Órdenes son materiales con escasa conductividad hidráulica y poca porosidad, lo que hace que la viabilidad de aguas profundas sea muy poco importante y la surgencia de aguas superficiales se deba a los numerosos planos de esquistosidad, al drenaje de los suelos que forman, y a la localización de las fracturas que captan y compartimentan gran parte del agua de lluvia.

Más concretamente, el macizo granítico se encuentra muy alterado y a su vez fracturado en las proximidades del borde noroeste del hueco de la mina de Meirama, coincidiendo con la falla que de alguna manera individualiza la cuenca sedimentaria terciaria. Esta alteración parece tener un origen principalmente hidrotermal y corresponde a una caolinización importante del macizo granodiorítico en general y de las fracturas en particular.

El comportamiento hidrogeológico del granito de la zona noroccidental es por tanto muy variado. Se trata de un granito relativamente masivo más bien alejado de la excavación, después pasa a un granito fracturado más próximo pero con mayor impermeabilización debido al relleno con caolín de las fracturas existentes, y finalmente en el hueco el granito está alterado con mayor impermeabilización, si cabe, debido a la fuerte caolinización.

Las formaciones geológicas del granito y del esquisto constituyen no sólo los bordes de los materiales terciarios y cuaternarios de la cuenca hidrográfica del río Barcés, sino también su sustrato en profundidad, lo cual condiciona fuertemente la hidrogeología del sector.

Es también interesante resaltar, según se deduce de la geología regional, que la hidrogeología se considera significativa en los primeros 50 metros por debajo de la topografía actual. Entonces, a mayor profundidad los flujos son considerados despreciables, con respecto al ciclo hidrológico, y ello por encontrarse en una zona donde los macizos de granito y de esquistos están por lo general menos fracturados y poco alterados, y por lo tanto, suficientemente profundos y de muy escasas propiedades hidráulicas como para ser significativos en la valoración de los balances hidrológicos locales.

#### *Sustrato impermeable*

Algunas estimaciones sobre la potencia o espesor de algunos de los materiales geológicos, en la cuenca del Barcés, están referenciadas a los sedimentos estudiados por Escuer y Vidal (1987): “son todos depósitos de terraza, identificando hasta dos niveles de terraza (I + 60 metros, II + 45 metros) con

espesores entre los 15 y 20 metros". Además, se cuenta con la información aportada por LIMEISA, en la cual se aproximan potencias de alteración superficial que son menores de 40 metros en los macizos graníticos y menores de 15 metros en los esquistos, exceptuando algunos materiales con fracturas importantes.

Entonces la hipótesis de que el flujo subterráneo de mayor relevancia se puede evaluar en los primeros 50 metros de espesor para los materiales geológicos de la cuenca es plausible dada la información existente al respecto.

### 1.1.8 Cobertura vegetal

La zona de estudio está compuesta principalmente por masas forestales de bosque mixto, pinos, eucaliptos y especies autóctonas, sobre todo robles, y en la orilla de los ríos, álamos y abedules, así como alisos junto a los prados y campos de cultivo.

No obstante, para delimitar las principales coberturas vegetales de la cuenca del Barcés se han utilizado las capas del proyecto CORINE (Coordination of Information on the Environment) que cuenta con una base de datos sobre la cobertura y uso del territorio en la Unión Europea.

La Figura 12 muestra entonces la distribución de la cobertura vegetal y su correspondiente código CORINE.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Descripción del Sistema de Gestión del modelo MELEF

Hoy en día la gestión de los modelos numéricos por elementos finitos para la aplicación en hidrología se sustenta, en gran medida, en los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Es común, en el ámbito académico, la presencia de modelos numéricos sin un sistema que permita al investigador gestionarlo de forma rápida. En esta situación la aplicabilidad del modelo se ve comprometida y limitada a la experiencia del investigador para gestionarlo manualmente. Entonces, el sistema de gestión integra esa experiencia en forma de procedimientos de trabajo y los automatiza, maneja la información de forma sencilla y ordenada en un conjunto de datos. Finalmente, el sistema de gestión genera condiciones de simulación de una mayor complejidad.

Por ello es necesario plantearse cómo gestionar parámetros y variables hidrológicas de forma distribuida.

En este sentido, Ruiz (1999) desarrolló un modelo hidrológico conceptual-distribuido de simulación continua integrado en un Sistema de Información Geográfica, y desarrolló además un Sistema de Apoyo a la Decisión. También, se extrae de Ruiz (1999) que en la gestión de datos hidrológicos con SIG se suelen utilizar bases de datos separadas, pero relacionadas entre sí. Por otra parte, Vieux (2001) desarrolló un modelo hidrológico distribuido usando SIG, haciendo hincapié en la estructura y el tipo de representación de los datos, los cuales son fundamentales para abordar la variabilidad espacial y temporal, así como la resolución espacial de éstos. Finalmente, Johnson (2009) da cuenta de la ineludible componente geográfica de la información sobre los recursos hídricos y el medio ambiente, así como la importancia vital del uso de los SIG en la comprensión de sus aplicaciones avanzadas en la ingeniería de los recursos hídricos.

Los SIG son un elemento fundamental dadas las posibilidades que ofrecen para representar, analizar y transformar información con una componente geográfica, además de almacenar, editar, gestionar y tomar decisiones con la información. Los SIG son la suma de cinco componentes que en conjunto forman un sistema capaz de gestionar la Información Geográfica. Estos componentes han sido ampliamente descritos por Longley, et al. (2005). De igual forma los fundamentos de los SIG han sido detallados ampliamente por diversos autores (de By et al. 2001; Fisher y Unwin 2005; Moreno et al. 2007; Gregory y Ell 2007).

Entonces, los SIG son empleados, entre otras cosas, para gestionar toda aquella información que pueda asociarse a una componente geográfica. Las entidades de dibujo como los puntos, las polilíneas y los polígonos, se utilizan para situar una actividad, tal es el caso de un pozo de bombeo, una zona de vertido, delimitar el cauce de un río o bien zonas como la geología y los usos del suelo. Los modelos de representación de superficies continuas como los modelos raster (formado por celdas o píxel con un único valor) o los modelos TIN (Triangular Irregular Network), se utilizan fundamentalmente para representar superficies continuas, como la precipitación. Las entidades de dibujo y los modelos de representación de superficies continuas son los elementos visuales empleados para gestionar la ubicación y distribución de todos los parámetros y variables hidrológicas utilizadas en MELEF. A estas entidades de dibujo también se les vincula una base de registros de campo, medidos o adquiridos, lo que define su comportamiento transitorio.

El esquema de cómo está conformado el Sistema de Gestión de MELEF se muestra en la Figura 6.

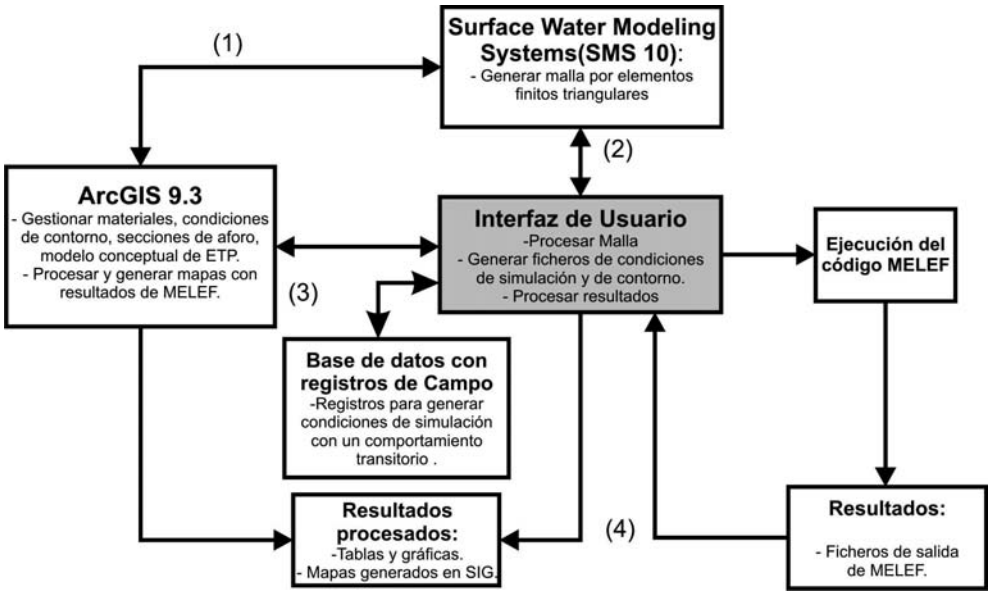



**Figura 6**. Esquema del Sistema de Gestión del Código MELEF

(1) Acoplamiento entre el programa generador de la malla por elementos finitos triangulares, SMS 10, y los Sistemas de Información Geográfica, ArcGIS 9.3.1. Ambos programas interactúan a través del modelo de datos vectorial (shapefile). Entonces, las capas de datos vectoriales de ríos, el área de estudio o cuenca, los embalses y lagos, son todos delimitados en ArcGIS, y posteriormente importados en SMS para elaborar la malla por elementos finitos triangulares con una mayor densidad de nodos y elementos en las zonas susceptibles de presentar flujo superficial.

(2) Acoplamiento entre la interfaz de usuario y el programa SMS 10. La interfaz de usuario genera, a partir de la malla SMS 10, los ficheros de coordenadas y elementos con la estructura requerida para ser importados en ARCGIS y convertirlos al formato vectorial shp.

(3) Acoplamiento entre ArcGIS 9.3.1 y la interfaz de usuario. A partir de los ficheros en formato vectorial de ArcGIS y la base de datos con registros de campo en formato XLS, la interfaz de usuario genera las condiciones de simulación de MELEF.

(4) Post-procesamiento de resultados. La interfaz de usuario procesa en gráficas y tablas los resutlados de MELEF, además de generar ficheros con la estructura requerida por ArcGIS para representar los resultados mediante modelos de representación continua “Mapas”.

Por otra parte, el funcionamiento del sistema de gestión atiende al procedimiento de trabajo general representado en la Figura 7. Este procedimiento de trabajo se lleva acabo para realizar cada nuevo proyecto de simulación con el código MELEF.

En cada nuevo proyecto de trabajo son indispensables el Modelo Digital de Elevaciones y la adquisición y medición de información como son los caudales de ríos, los bombeos, las derivaciones, los niveles piezométricos, las variables climáticas y la evapotranspiración, además de la cartografía que detalle la geología, los usos del suelo y la vegetación. Toda esta información se gestiona con el procedimiento de la Figura 7 para obtener las condiciones de simulación del proyecto.

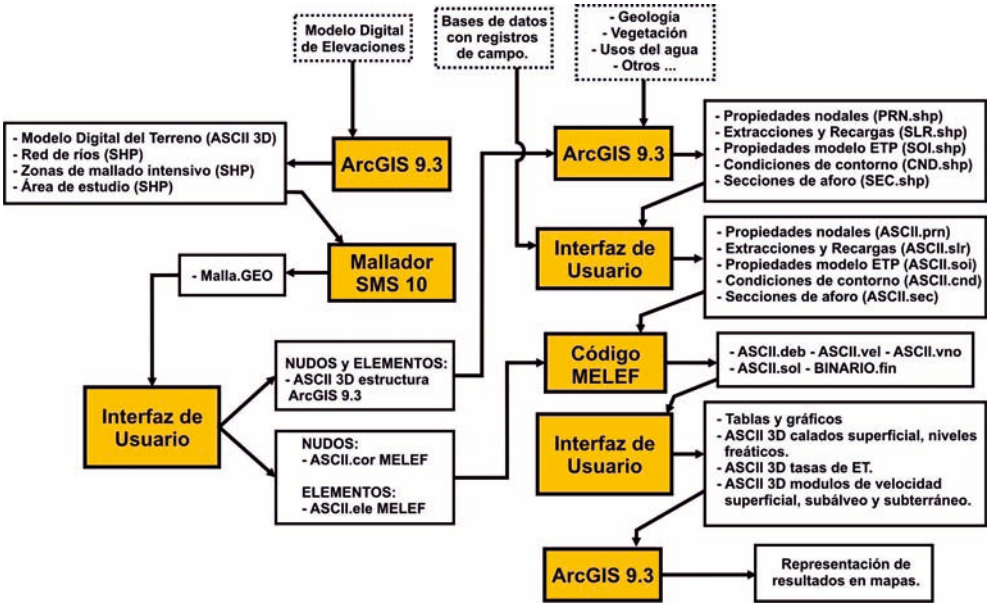



**Figura 7**. Procedimiento de trabajo con el sistema de gestión del código MELEF. Los marcos punteados representan los datos de entrada, y los marcos con línea continua son el resultado de aplicar alguno de los programas del sistema de gestión con recuadro sombreado.

## 2.2 Descripción del modelo numérico MELEF

El modelo utilizado en la modelización de los recursos hídricos, MELEF, es un código de elementos finitos en dos dimensiones (2D) horizontales para flujo regional superficial subterráneo del agua dulce y/o salada a través de diversos tipos de sistemas de cuencas hidrográficas, desarrollado con una aproximación numérica implícita (Euleriana) temporalmente centrada (Cranck – Nicholson) y especialmente centrada (Galerkin). En particular, elementos triangulares de tres nodos permiten la integración analítica correspondiente a la formulación numérica para el régimen permanente y transitorio. El algoritmo iterativo previamente condicionado GMRES (Saad y Schultz, 1986) provee la solución del sistema utilizando una cantidad reducida de memoria de cálculo y un procesamiento simple de la malla numérica. La evolución reciente de estas metodologías hace posible valorar la red de drenaje de la escorrentía superficial y los niveles freáticos de agua dulce y/o salada, además del escurrimiento, el flujo subálveo o hipodérmico, las recargas y descargas en zonas puntuales y superficiales difusas, el espesor y las velocidades del flujo de agua superficial y subterránea, así como las derivaciones de agua superficial en ríos, los balances de agua y la inundación de cuerpos de agua superficial.

Por lo tanto, la aproximación numérica presente acopla las metodologías de simulación citadas de todos los recursos de agua de una región en particular, o de una cuenca hidrográfica, a fin de considerar el flujo 2D de agua dulce y de agua salada para una gran variedad de dominios hidrológicos, usos de agua y resultados hidráulicos.

### 2.2.1 Modelo subterráneo

El código MELEF para aplicación en cuencas continentales y costeras acopla en una hidrología regional los flujos de agua dulce y salada en medios porosos saturados a través de una interfase inmiscible, y una aproximación de onda difusiva para el flujo superficial.

Para establecer adecuadamente las ecuaciones transitorias en derivadas parciales, ecuaciones en dos dimensiones promediadas en profundidad, que gobiernan los acuíferos regionales continental y costero, es necesario previamente definir las distintas fases de flujo: el agua dulce y el agua salada.

Agua dulce:

$$n_f \frac{\partial h_f}{\partial t} - n_s \frac{\partial s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left( K_{xx}\left(h_f - s\right)\frac{\partial h_f}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left( K_{xy}\left(h_f - s\right)\frac{\partial h_f}{\partial y}\right) +$$

$$\frac{\partial}{\partial y}\left( K_{yx}\left(h_f - s\right)\frac{\partial h_f}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left( K_{yy}\left(h_f - s\right)\frac{\partial h_f}{\partial y}\right) + Q$$

EC. 1

Agua salada:

$$n_s \frac{\partial s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left( K_{xx}(s-p)\frac{\partial}{\partial x}\left( \frac{s+Gh_f}{G+1} \right)\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left( K_{xy}(s-p)\frac{\partial}{\partial y}\left( \frac{s+Gh_f}{G+1} \right)\right) +$$

EC. 2

$$\frac{\partial}{\partial y}\left( K_{yx}(s-p)\frac{\partial}{\partial x}\left( \frac{s+Gh_f}{G+1} \right)\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left( K_{yy}(s-p)\frac{\partial}{\partial y}\left( \frac{s+Gh_f}{G+1} \right)\right) + Q$$

Donde $K_{ij}$ es el tensor hidráulico, $s$ y $p$ son la posición de la interfase inmiscible y/o la posición del sustrato impermeable, $n_f$ y $n_s$ son, respectivamente, la porosidad eficaz del medio poroso para el agua dulce y el agua salada (Figura 8), y G es el factor de Ghyben-Herzberg. Ecuaciones similares pueden encontrarse en la elaboración de modelos numéricos horizontales que resuelven el flujo subterráneo continental y costero con una aproximación de la interfase inmiscible (Huyakorn, et al. 1996).

Cuando la interfase inmiscible no es estacionaria la hipótesis de Hubbert establece que la presión en un punto dado es la misma cuando está es aproximada desde ambos lados, agua dulce y agua salada.

Hipótesis de Hubbert:

$$(h_f - s)\gamma_f = (h_s - s)\gamma_s \qquad \text{EC. 3}$$

donde $h_s$ y $h_f$ son las alturas piezométricas, $\gamma_s$ y $\gamma_f$ son los pesos específicos del agua salada y del agua dulce respectivamente. Esto puede escribirse en otros términos: $h_s = \frac{s+Gh_f}{G+1}$ donde $G = \frac{\gamma_f}{\gamma_s - \gamma_f}$ es el factor de Ghyben-Herzberg, que con frecuencia varía entre 25 y 30.

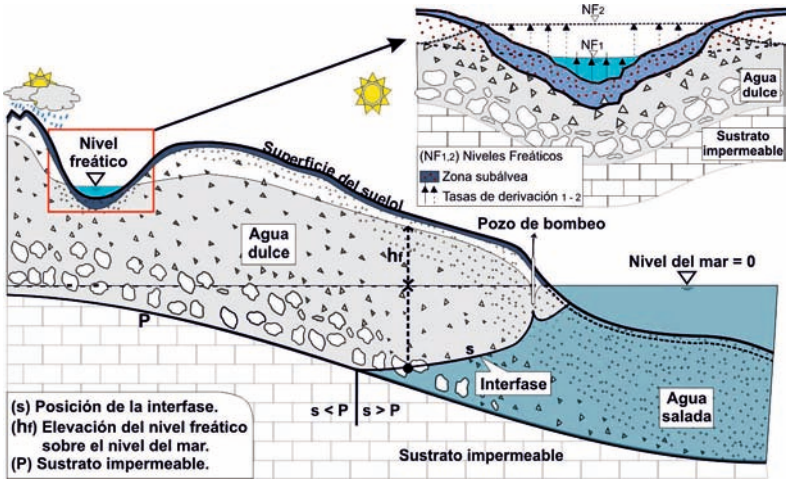



**Figura 8**. Modelo subterráneo (agua dulce y salada) y superficial

### 2.2.2 Modelo superficial

El modelo numérico MELEF utiliza una simplificación de las ecuaciones que gobiernan el flujo de agua superficial. En particular, como sucede a menudo con otras aproximaciones de onda cinemática y difusiva comúnmente utilizadas en hidrología, sólo la ecuación clásica de conservación de masa o ecuación de continuidad es considerada. Consecuentemente, el rango de variación del almacenamiento en el tramo de un canal, así como en lagos o en depresiones del terreno, pueden expresarse con el modelo lineal de Muskingum como:

$$\frac{\Delta S}{K} = dQ + d\left(I - Q\right)X \qquad \text{EC. 4}$$

Donde $S$ es el almacenamiento de agua superficial, $I$ y $Q$ son las tasas de flujo entrante y flujo saliente, $K$ es el tiempo que tarda en pasar la avenida y $X$ es un factor de ponderación de la ecuación durante el tránsito de avenidas en canales y embalses.

La ecuación de continuidad puede expresarse entonces como la diferencia entre el flujo entrante y saliente, que a su vez es una aproximación de la tasa de cambio de almacenamiento respecto del tiempo. Tenemos entonces que

$$\frac{dS}{dt} = I - Q \approx \frac{\Delta S}{K}$$

Sustituyendo dicha relación de continuidad en la EC. 4 se obtiene lo siguiente:

$$(I - Q) = dQ + d(I - Q)X \qquad \text{EC. 5}$$

Siguiendo con esta ecuación de tránsito de avenidas en un tramo de cauce y para flujos de agua horizontal, la siguiente solución puede darse para

$$\frac{d(I - Q)}{dz_s} = \frac{(I - Q)}{z_s^X} \qquad \text{EC. 6}$$

Esta solución se puede interpretar como la variación vertical del flujo horizontal con respecto del calado de agua superficial $z_s$, cuyas unidades son $[z_s] = L$.

Asimismo, el valor de $X$, adimensional, debe ser tal que la relación $d_s = z_s^X$ se cumpla. Entonces, sustituyendo la solución de $I - Q$ en la relación EC. 5 se obtiene una ecuación similar a la de continuidad del agua subterránea:

$$(1 - X)(I - Q) = dQ$$

Así pues, de la ecuación anterior, la siguiente relación también debe respetarse:

$$\frac{dQ}{dz_S} = \frac{Q}{z_S^X} = \frac{(1 - X)(I - Q)}{z_S^X}$$

La cual, después de integrar, da la función para Q:

$$Q = (I_o - Q_o)\cdot(1-X)\left(e^{\frac{z_s^{(1-X)}}{1-X}} - 1\right) = (I_o - Q_o)\cdot f(z_s, X) \qquad \text{EC. 7}$$

Por lo tanto, la velocidad media horizontal del agua superficial $q$, que depende además del gradiente hidráulico horizontal, puede definirse mediante una función que intensifica la transmisibilidad hidráulica $T \to T^*$ en el medio superficial. La transmisividad intensificada $T^*$ corresponde a un comportamiento adaptado del agua subterránea semejante al de un parámetro de transferencia del flujo de agua libre superficial. Esta función de transmisividad adaptada al medio superficial depende sólo del calado del agua superficial, y además puede ser ajustada experimentalmente a través del parámetro $X$.

$$Q = q_o \cdot f(z_s, X) = -T_o \,\partial h/\partial x \cdot f(z_s, X) = -T^* \,\partial h/\partial x \qquad \text{EC. 8}$$

La EC. 8 define entonces la velocidad media horizontal del agua superficial que puede ser introducida en las ecuaciones de continuidad que gobiernan el flujo en los acuíferos freáticos continental y costero regionales, lo que permite respetar los balances de masa $(I-Q)$ tanto en el medio subterráneo como en las superficies de aguas regidas por un determinado valor de $X$, y de su correspondiente coeficiente de almacenamiento $(1-X)$, siempre que se trate de un flujo horizontal verticalmente promediado en ambos medios subterráneo y superficial. Por lo tanto, no es necesario un acoplamiento matemático entre los flujos del agua superficial y subterráneo, y ello porque ambos medios están concentrados o promediados en el mismo conjunto de ecuaciones diferenciales, más bien propias del medio subterráneo, con el mismo procedimiento de solución por elementos finitos.

### 2.2.3 Modelos de interacción

#### *Evaporación y transpiración*

El modelo numérico MELEF también considera el proceso de evaporación y transpiración como descargas difusas desde la superficie del agua y desde la zona no saturada del suelo para cada nodo del sistema modelado. El modelo conceptual de evaporación y transpiración se ilustra en la Figura 9.

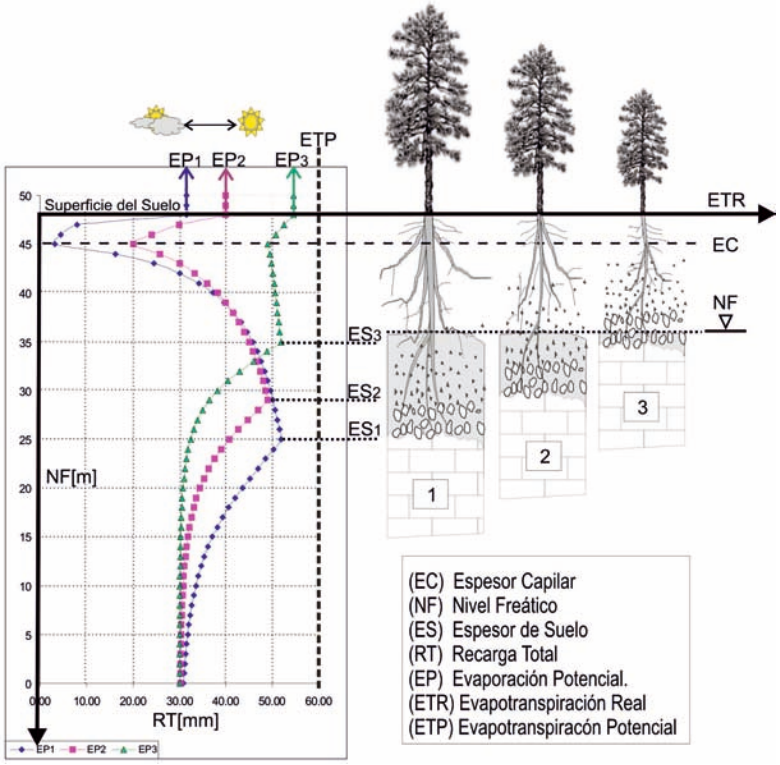



**Figura 9**. Modelo conceptual de evaporación y transpiración del código MELEF.

Como puede observarse en la Figura 9, la evapotranspiración real ETR es evaluada en función de la posición que guarde el nivel freático con respecto de la superficie del suelo. Sin embargo, cuando el nivel freático está por encima de la superficie del suelo la evaporación dependerá directamente del valor potencial de evaporación ( $EP_1$, $EP_2$, $EP_3$ ...) que puede ser evaluada mediante funciones empíricas.

Las curvas de transpiración, del modelo conceptual, inician entonces cuando el nivel freático decrece en la región situada entre la superficie del

suelo y el espesor capilar del suelo (EC), y su comportamiento es similar a las relaciones empíricas que evalúan la evaporación freática (Li, et al. 2008; Hu, et al. 2009). Por lo tanto, la evaporación freática, $E_{CF}$, es evaluada como:

$$E_{NF} = \frac{EP \cdot b_1}{\left(\frac{S_S - NF}{EC}\right) + b_1} \qquad EC < NF < S_S \qquad \text{EC. 9}$$

$$b_1 = \frac{5 \cdot EP - ETP}{ETP - EP}$$

Donde $S_S$ es la superficie del suelo, $b_1$ es una función de acoplamiento entre ecuaciones (EC. 9 y EC. 10) y una función de ajuste del comportamiento de la ETR.

La segunda parte de la curva de transpiración comienza incrementándose hacia la evapotranspiración potencial (ETP), en la región delimitada por la franja capilar del suelo (EC) y el espesor de suelo (ES), con un comportamiento similar a otros modelos de transpiración (Li, et al. 1999; Baird y Maddock III, 2005; Nyambayo y Potts, 2010). En esta región la curva de transpiración está definida por la siguiente relación:

$$T = ETP - \left(\frac{5 \cdot E_{NF}}{b_1}\right) \quad \text{Siempre que } ES < NF < EC \qquad \text{EC. 10}$$

Donde ETP debe ser evaluada previamente con alguna de las relaciones empíricas existentes para la evapotranspiración potencial o de referencia.

La última parte de la curva de transpiración comienza cuando el nivel freático (NF) se sitúa por debajo del espesor del suelo (ES) durante la evaluación interna del código numérico. La curva de transpiración varia entonces gradualmente hacia la recarga total (RT) o hacia la evapotranspiración potencial (ETP), es decir, si la RT es menor que la ETP, entonces, la curva es limitada hacia la RT, en el caso contrario, la curva es limitada hacia la ETP. El comportamiento de la curva de transpiración en esta zona intenta aproximar la transpiración de las plantas bajo estrés hídrico ($T_\psi$) empleando la siguiente relación:

$$T_{\psi} = RT + \frac{(ETP - RT)\cdot b_2}{\left(\frac{Ss - NF}{ES}\right)^{\alpha} + b_2}$$

$$b_2 = \frac{(ETP - RT)\cdot\left(\frac{ES}{EC} + b_1\right)}{(5\cdot EP)} - 1$$

Parámetro de ajuste $\alpha = 4$

$NF < ES$,

Si $RT > ETP \Rightarrow T_{\psi} \rightarrow ETP$

Si $RT < ETP \Rightarrow T_{\psi} \rightarrow RT$

EC. 11

Donde $b_2$ es una función de acoplamiento entre las ecuaciones EC. 10 y EC. 11, y α es un parámetro de ajuste.

Este modelo conceptual de evaporación y transpiración, que tiene en cuenta el espesor del suelo asociado a la profundidad máxima de las raíces de las plantas, tiene importantes ventajas. Una de estas ventajas es que todos los parámetros pueden tener una variabilidad espacial y temporal, así como poder evaluar la evapotranspiración real teniendo en cuenta la posición del nivel freático, aspecto importante ante eventualidades de cambio climático, durante el proceso iterativo para encontrar la solución óptima del sistema numérico.

### *Escurrimiento*

El concepto de capacidad de infiltración espacialmente promediada ($K_e$), cuando el suelo está saturado y la capacidad de infiltración se considera constante, ha sido una importante asunción para la valoración de la tasa de infiltración en el código MELEF, y por lo tanto, se asume un modelo de escurrimiento del tipo Hortoniano. Sin embargo, el concepto de $K_E$ está siendo reconsiderado en hidrología en favor de evaluar la capacidad de infiltración como una función de distribución exponencial (EC. 12), propuesta por Hawkins (1982). Yu, et al. (1997), Stone, et al. (2008) y Langhans, et al. (2011) aplicaron un modelo que implementa la función exponencial en sus datos experimentales de precipitación-escurrimiento a una escala de parcelas, lo que resultó en un mejor ajuste que un modelo que implementa una $K_E$ constante. Por lo tanto, el modelo exponencial es considerado en el modelo MELEF para calcular la tasa de infiltración real, *I*, del suelo que depende de la intensidad de la precipitación.

$$I = I_{\max}\left(1 - \exp\left(-P / I_{\max}\right)\right) \qquad \text{EC. 12}$$

La EC. 12 viene a explicar la variación espacial de la capacidad de infiltración del suelo en una superficie determinada (parcela), donde $I_{\max}$ es la tasa de infiltración máxima aparente en la parcela y P es la intensidad de la precipitación. Por lo tanto, el exceso de precipitación que genera escurrimiento (R) está dado por la siguiente relación:

$$R = P - I = P - I_{\max}\left(1 - \exp\left(-P / I_{\max}\right)\right) \qquad \text{EC. 13}$$

La EC. 13 se evalúa cuando el nivel freático está por debajo de la superficie del suelo, y el modelo de escurrimiento por exceso de precipitación es entonces resuelto.

### *Condiciones numéricas y resolución*

Teniendo en cuenta la interacción que existe entre los medios subterráneo y superficial, en particular cuando el nivel freático se aproxima hacia la superficie del suelo, se vuelve necesario suavizar numéricamente el cambio abrupto que existe en las propiedades al pasar del medio subterráneo al superficial. Con base en esta necesidad numérica se retoma el uso del concepto hidrológico de zona subálvea (Figura 8 y Figura 10), el cual tiene un papel de capa que sirve como interfase de espesor finito con propiedades intermedias (principalmente de almacenamiento y transmisividad) adecuadas para el flujo en la zona subálvea y servir como zona de transición entre ambos medios subterráneo y superficial.

En este contexto, la porosidad efectiva juega un papel de coeficiente de almacenamiento de agua subterráneo/superficial, y que depende de la posición del nivel freático en el medio subterráneo, así como del calado de agua en el medio superficial. El incremento del coeficiente de almacenamiento es entonces gradual entre los medios subterráneo, subálveo y superficial. Ya en el medio superficial, el coeficiente de almacenamiento variará siempre hacia valores próximos a (1-*X*), lo que guarda la correcta evolución del medio superficial. Por otra parte, la transmisividad, que está promediada verticalmente, varía gradualmente su valor entre el medio subterráneo y la zona subálvea como cabe esperar, aunque en el medio superficial esta es incrementada de forma artificial para lograr un funcionamiento similar al del flujo de agua superficial.

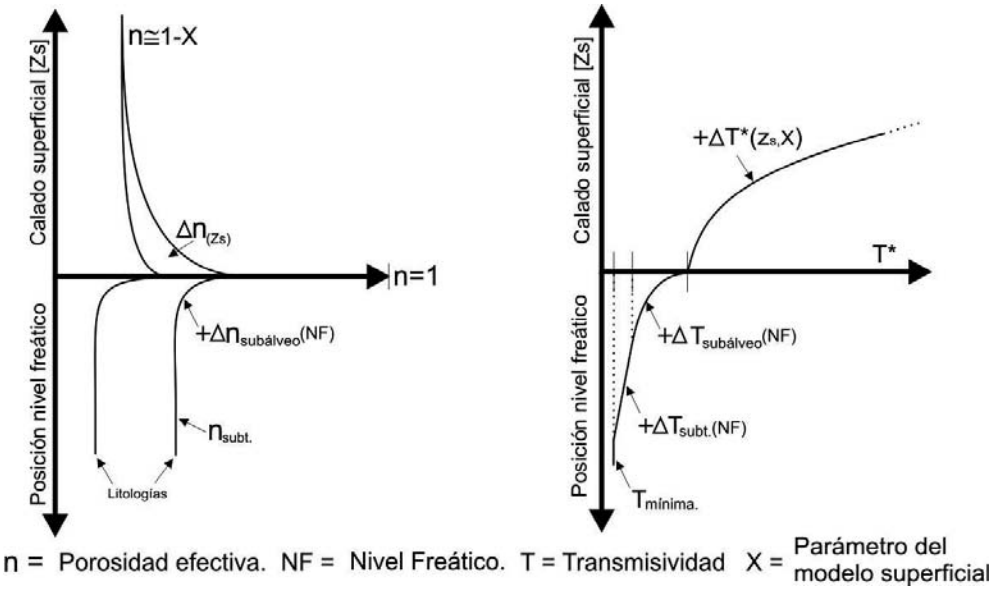



**Figura 10**. Mecanismos de interacción entre los medios subterráneo y superficial. Incremento de porosidad y transmisividad.

## 1.1 Modelo numérico del río Barcés

La definición del modelo discreto, la configuración de los parámetros que definen el comportamiento hidrodinámico de los materiales y las condiciones de simulación, deben cumplir con una serie de requisitos que nos conduzcan al buen término de los objetivos establecidos.

En este sentido, el modelo discreto por elementos finitos triangulares de tres nodos, Figura 11 (A), que cubre en su totalidad la cuenca del río Barcés y que tiene una superficie cercana a los 90 km$^2$, consta de 22014 nodos y 43618 elementos triangulares con una mayor densidad de nodos en las zonas susceptibles de presentar interacción de flujo superficial y subterráneo, y ello con el objeto de aumentar la precisión de las evaluaciones realizadas por el código MELEF en estos sectores.

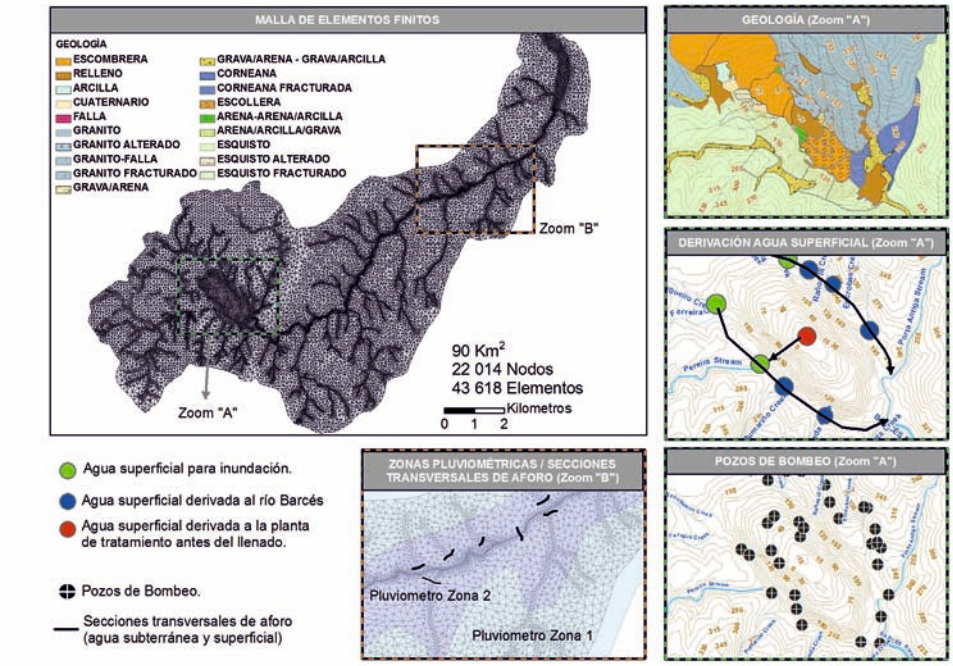



**Figura 11**. Modelo discreto por elementos finitos triangulares de tres nodos de la cuenca del río Barcés.

Asimismo, los diferentes usos del agua, la precipitación y la evapotranspiración, así como la geología son transformados a condiciones de simulación mediante los sistemas de información geográfica. La Figura 11 en la ventana (B) muestra entonces la disposición de la geología que finalmente es utilizada en el sector de la mina y que más adelante se muestra con un mayor grado de detalle. La ventana (C), por su parte, resume la gestión del agua superficial durante el llenado de la mina indicando qué arroyos son considerados como parte del llenado y cuáles son derivados hacia el río Barcés. Mientras tanto, en la ventana (D), se muestra la ubicación de los pozos de bombeo en el sector de la mina, los cuales son utilizados para disminuir los niveles freáticos durante el último periodo de explotación. Finalmente, en la ventana (C) se observan las diferentes zonas de precipitación definidas por rangos de altitud.

Así también, la distribución espacial de la cobertera vegetal se muestra en la Figura 12, y que en relación con la Tabla 1, la cual muestra la configuración del espesor de suelo asociado a la máxima profundidad de las raíces y la franja capilar del suelo, definen el funcionamiento de la zona no saturada del modelo MELEF.

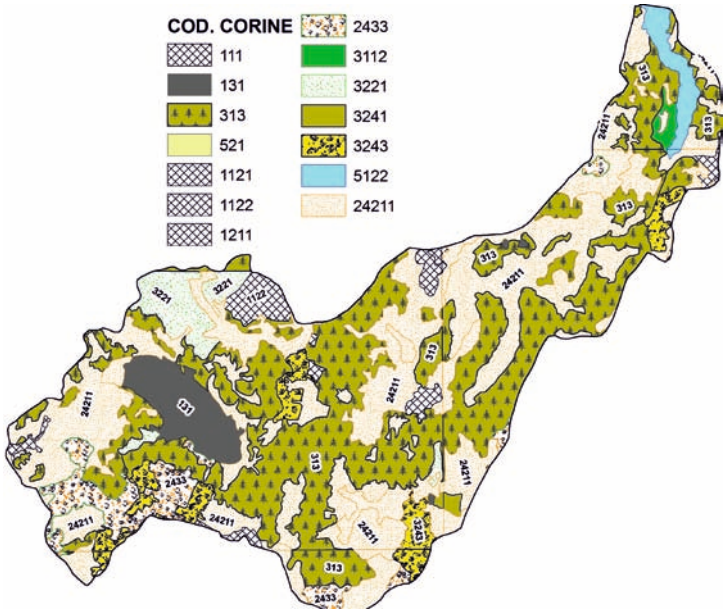



**Figura 12**. Mapa de coberturas de suelo de la cuenca del río Barcés. Según el Proyecto CORINE

**Tabla 1**. Configuración de los parámetros que definen los espesores de la zona no saturada donde el modelo de evapotranspiración evalúa las componentes de evaporación freática y transpiración de las plantas.

| USO DE SUELO (CORINE) | Espesor de Suelo (ES) [metros] | Espesor Capilar (EC) [metros] |
|---|---|---|
| 111 | 0.5 | 0.2 |
| 1121 | 0.5 | 0.2 |
| 1122 | 0.5 | 0.2 |
| 1211 | 0.5 | 0.2 |
| 131 | 1.0 | 0.5 |
| 24211 | 2.0-3.0 | 0.5 |
| 2433 | 3.0 - 3.5 | 0.5 |
| 3112 | 5.0 | 0.5 |
| 313 | 5.0 | 0.5 |
| 3221 | 2.0-3.0 | 0.5 |
| 3241 | 4.0 | 0.5 |
| 3243 | 3.5 | 0.5 |
| 5122 | 1.5 | 1 |

En este contexto, los materiales aflorantes más representativos de la cuenca y sus características hidrogeológicas, agrupados en subcuencas, se muestran en la Figura 13, y en relación con estos materiales aflorantes, la configuración de los valores utilizados para definir su comportamiento hidrodinámico se muestra en la Tabla 2.

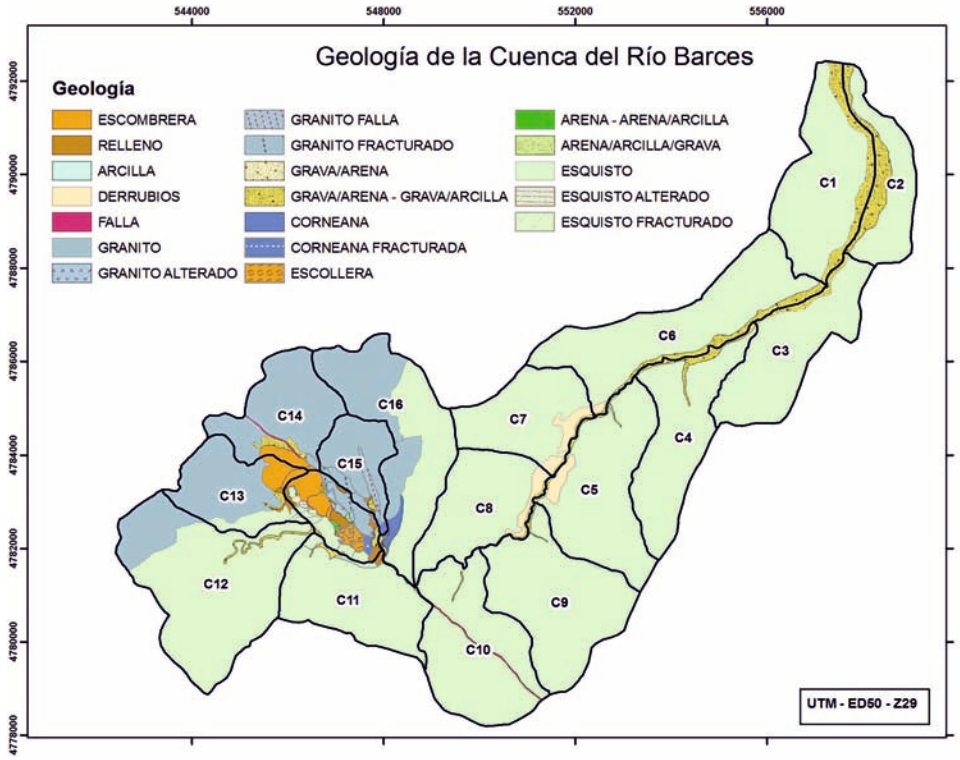



**Figura 13**. Geología de la cuenca del río Barcés.

**Tabla 2**. Configuración de los parámetros utilizados para simular, durante el periodo 2006-2009, el comportamiento hidrodinámico más próximo de los materiales aflorantes en la cuenca del río Barcés.

| SUBCUENCA | N [%] | Kx [m/día] | Ky [m/día] | α - Ángulo anisotropía | $K_E$ [m/día] | LITOLOGIA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C1 | 1.3 | 2.4E-02 | 2.4E-02 | 0 | 8.40E-02 | Esquisto |
| C2 | 1.3 | 2.4E-02 | 2.4E-02 | 0 | 8.40E-02 | Esquisto |
| C3 | 1.3 | 2.4E-02 | 5.8E-02 | 60 | 1.44E-01 | Esquisto |
| C4 | 1.0 | 2.7E-02 | 5.8E-02 | 60 | 1.47E-01 | Esquisto |
| | 1.1 | 5.2E-02 | 8.0E-02 | 60 | 2.28E-01 | Grava/Arena - Grava/Arcilla |
| C5 | 1.1 | 2.6E-02 | 3.5E-02 | 60 | 1.07E-01 | Esquisto |
| | 1.1 | 8.0E-02 | 1.0E-01 | 60 | 3.15E-01 | Grava/Arena |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C6 | 1.2 | 2.4E-02 | 2.4E-02 | 0 | 8.40E-02 | Esquisto |
| C7 | 1.0 | 2.6E-02 | 2.6E-02 | 0 | 9.10E-02 | Esquisto |
| C8 | 1.2 | 2.6E-02 | 2.6E-02 | 0 | 9.10E-02 | Esquisto |
| C9 | 1.2 | 2.6E-02 | 3.0E-02 | 60 | 9.80E-02 | Esquisto |
| | 1.6 | 4.0E-02 | 4.0E-02 | 60 | 1.40E-01 | Grava/Arena |
| C10 | 1.3 | 2.6E-02 | 2.4E-02 | 60 | 8.75E-02 | Esquisto |
| | 1.3 | 2.6E-02 | 2.4E-02 | 60 | 8.75E-02 | |
| | 2.2 | 1.0E-01 | 1.0E-01 | 0 | 3.50E-01 | Grava/Arena |
| | 1.4 | 2.8E-02 | 2.8E-02 | 0 | 9.80E-02 | Falla |
| C11 | 1.6 | 4.0E-02 | 3.0E-02 | 75 | 1.23E-01 | Esquisto |
| | 1.4 | 2.8E-02 | 2.8E-02 | 0 | 9.80E-02 | Falla |
| C12 | 1.0 | 2.2E-01 | 2.2E-01 | 0 | 7.70E-01 | Granito |
| | 2.8 | 1.0E-01 | 1.0E-01 | 0 | 3.50E-01 | Grava/Arena - Grava/Arcilla |
| | 1.4 | 2.6E-02 | 2.4E-02 | 30 | 8.75E-02 | Esquisto |
| C13 | 1.0 | 2.2E-01 | 2.2E-01 | 0 | 7.70E-01 | Granito |
| | 1.4 | 2.6E-02 | 2.4E-02 | 30 | 8.75E-02 | Esquisto |
| | 8.0 | 1.4E+00 | 1.4E+00 | 0 | 4.90E+00 | Escombrera interior |
| | 1.6 | 1.0E+00 | 1.0E+00 | 0 | 3.50E+00 | Escombrera interior |
| | 2.5 | 3.0E-01 | 3.0E-01 | 0 | 1.05E+00 | Grava/Arena - Grava/Arcilla |
| C14 | 1.1 | 2.4E-01 | 2.4E-01 | 0 | 8.40E-01 | Granito |
| | 0.9 | 2.4E-01 | 2.0E-01 | 70 | 7.70E-01 | |
| | 2.2 | 4.0E-01 | 2.4E-01 | 7 | 1.12E+00 | Granito fracturado |
| | 3.2 | 3.0E-01 | 3.0E-01 | 0 | 1.05E+00 | Grava/Arena - Grava/Arcilla |
| | 3.2 | 3.0E-01 | 3.0E-01 | 0 | 1.05E+00 | |
| | 2.2 | 3.5E-01 | 3.5E-01 | 0 | 1.23E+00 | Falla |
| C15 | 1.4 | 2.0E-01 | 6.0E-01 | 17 | 1.40E+00 | Granito fracturado |
| | 1.1 | 3.4E-01 | 2.0E-01 | 60 | 9.45E-01 | Granito |
| C16 | 1.1 | 3.0E-01 | 2.0E-01 | 70 | 8.75E-01 | Granito |
| | 1.1 | 3.0E-01 | 3.0E-01 | 0 | 1.05E+00 | |
| | 1.3 | 3.8E-02 | 2.8E-02 | 0 | 1.16E-01 | Esquisto |
| | 2.0 | 8.3E-02 | 8.3E-02 | 0 | 2.98E-01 | Corneanas |
| Materiales en el interior del hueco de la mina. | 1.0 | 1.0E-01 | 1.0E-01 | 30 | 3.50E-01 | Esquisto |
| | 1.0 | 1.0E-01 | 1.0E-01 | 30 | 3.50E-01 | |
| | 8.0 | 8.0E-01 | 1.0E+00 | 0 | 3.15E+00 | Esquisto fracturado |
| | 8.0 | 8.0E-01 | 8.0E-01 | 0 | 2.80E+00 | |
| | 2.0 | 8.0E-01 | 5.0E-01 | 75 | 2.28E+00 | |
| | 10.0 | 1.3E+00 | 1.0E+00 | 10 | 4.03E+00 | |
| | 8.0 | 1.0E-01 | 9.0E-02 | 55 | 3.33E-01 | |
| | 10.0 | 8.7E-01 | 7.5E-01 | 0 | 2.80E+00 | |
| | 4.0 | 6.0E-01 | 6.0E-01 | 0 | 2.10E+00 | Esquisto alterado |
| | 2.2 | 4.0E-01 | 2.4E-01 | 7 | 1.12E+00 | Granito fracturado |
| | 1.8 | 1.2E-01 | 3.8E-01 | 30 | 8.75E-01 | |
| | 8.0 | 1.0E-01 | 2.0E-01 | 7 | 5.25E-01 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10.0 | 5.0E-02 | 7.0E-02 | 7 | 2.10E-01 | Granito alterado |
| | 2.8 | 3.5E-01 | 1.1E+00 | 17 | 2.63E+00 | Grava/Arena - Grava/Arcilla |
| | 3.5 | 2.4E+00 | 1.2E+00 | 45 | 6.30E+00 | |
| | 2.6 | 3.0E-01 | 3.0E-01 | 0 | 1.05E+00 | |
| | 35.0 | 8.0E-01 | 8.0E-01 | 0 | 2.80E+00 | Arena - Arena/Arcilla |
| | 10.0 | 1.0E-01 | 1.0E-01 | 0 | 3.50E-01 | Arena/Arcilla/Grava |
| | 2.0 | 5.8E-01 | 1.1E+00 | 15 | 2.98E+00 | Escombrera interior |
| | 1.8 | 1.2E+00 | 1.2E+00 | 0 | 4.20E+00 | |
| | 10.0 | 2.3E+00 | 2.3E+00 | 0 | 8.05E+00 | |
| | 4.0 | 1.8E+00 | 1.8E+00 | 0 | 6.30E+00 | |
| | 10.0 | 2.3E+00 | 2.3E+00 | 0 | 8.05E+00 | |
| | 40.0 | 3.5E+00 | 3.5E+00 | 0 | 1.23E+01 | |
| Materiales en el interior del hueco de la mina. | 2.0 | 2.2E-01 | 2.2E-01 | 0 | 7.70E-01 | |
| | 35.0 | 4.0E+00 | 4.0E+00 | 0 | 1.40E+01 | |
| | 20.0 | 2.0E+00 | 2.0E+00 | 0 | 7.00E+00 | Escollera |
| | 30.0 | 2.5E+00 | 2.5E+00 | 0 | 8.75E+00 | |
| | 15.0 | 1.8E+00 | 1.8E+00 | 0 | 6.30E+00 | |
| | 10.0 | 5.0E-01 | 1.0E-01 | 0 | 1.05E+00 | Corneanas fracturadas |
| | 4.0 | 5.0E-02 | 5.0E-02 | 0 | 1.75E-01 | Arcilla |

Asimismo, los materiales característicos del cuaternario del río Barcés, el cual se ha dividido en tramos, se muestran en la Figura 14, mientras que sus propiedades hidráulicas se muestran en la Tabla 3.

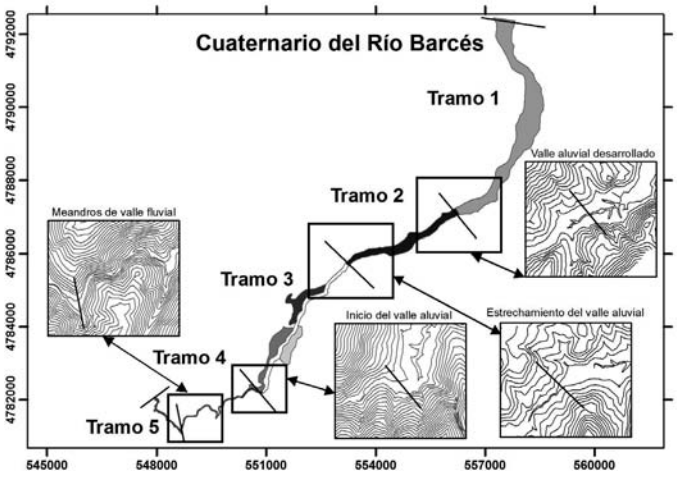



**Figura 14**. Materiales del cuaternario del río Barcés.

**Tabla 3**. Configuración de los parámetros utilizados para simular, durante el periodo 2006-2009, el comportamiento hidrodinámico más próximo de los materiales aflorantes implementados como cuaternario del río Barcés.

| RÍO BARCÉS | N [%] | Kx [m/día] | Ky [m/día] | Ángulo anisotropía | $K_E$ [m/día] | LITOLOGIA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tramo 1 | 12.0 | 2.2E+00 | 2.2E+00 | 0 | 4.4E+00 | Grava/Arena - Grava/Arcilla |
| Tramo 2 | 10.0 | 2.0E+00 | 2.0E+00 | 0 | 4.0E+00 | Grava/Arena - Grava/Arcilla |
| Tramo 3 | 8.0 | 1.5E+00 | 1.5E+00 | 0 | 3.0E+00 | Grava/Arena - Grava/Arcilla |
| | 5.0 | 6.0E-01 | 6.0E-01 | 0 | 1.2E+00 | Derrubios |
| Tramo 4 | 3.0 | 1.2E+00 | 1.2E+00 | 0 | 2.4E+00 | Grava/Arena - Grava/Arcilla |
| | 4.0 | 1.5E+00 | 1.5E+00 | 0 | 3.0E+00 | |
| Tramo 5 | 6.0 | 1.0E+00 | 1.0E+00 | 0 | 2.0E+00 | |

El contenido de ambas tablas, Tabla 2 y Tabla 3, es la configuración de los parámetros necesarios para definir su comportamiento hidrodinámico en el modelo MELEF, y estos parámetros son: la porosidad eficaz (N) mostrada en porcentaje, la conductividad hidráulica (Kx, Ky) en unidades de m/día, el ángulo de anisotropía de los materiales medido en grados decimales y sentido anti-horario, así como la tasa de infiltración media constante de los materiales en unidades de m/día ($K_E$).

## 2.4 Condiciones de simulación

### 2.4.1 Periodo de calibración 2006-2009

Este periodo inicia el 1-jun-2006 y termina el 1-dic-2009, y ello por diferentes razones. Una, y la principal, es la abundancia de datos hidrológicos durante este periodo, entre los que cabe resaltar, a parte de los datos propios de la explotación minera, los aforos de caudales superficiales realizados en los principales cauces de la cuenca durante los años 2007-2009. Por otra parte, durante este periodo existen igualmente otros datos hidrológicos, como por ejemplo, las superficies de agua libre de llenado del lago de la mina y los piezómetros de observación del nivel freático, lo que permitirá completar el proceso de calibración del modelo.

Para este periodo de simulación, se han tenido en cuenta las derivaciones de agua superficial perimetrales al hueco minero y su posterior vertido al arroyo Porta Antiga y al río Barcés. También, se han considerado todos los bombeos activos durante ese periodo, así como los restantes usos del agua.

***Régimen inicial estacionario***

Es preciso y necesario disponer de una solución inicial, en régimen de equilibrio, antes de realizar simulaciones en estado transitorio con el código MELEF. Esta solución obedece entonces al inicio del año hidrológico en la cuenca del río Barcés, que suele establecerse generalmente en el mes de septiembre. No obstante, el periodo de calibración comienza a partir del 1-jun-2006, lo que responde a la necesidad de ampliar el tiempo de calibración, y tener así un tiempo mayor de calentamiento del modelo para encontrar soluciones más próximas a las reales que permitan una mejor comparación con los caudales superficiales medidos de forma puntual a partir de marzo de 2007.

### 2.4.2 Periodo de validación 2009-2011

En el periodo de validación se ha impuesto la misma configuración de parámetros del periodo de calibración, aunque con algunos cambios en lo que se refiere a las condiciones de recarga por precipitación y perdidas por evapotranspiración; ambos con un comportamiento medio mensual estacional. El propósito de utilizar condiciones medias mensuales, en un periodo donde se conocen estas variables climáticas a una escala diaria, es verificar que el modelo puede predecir la tendencia del llenado de la mina a partir de variables climáticas medias mensuales. En definitiva, lo que se pretende es dar una mayor certeza y validez del modelo durante el periodo de predicción.

### 2.4.3 Periodo de predicción 2011-2016

Uno de los objetivos del presente trabajo es estimar la evolución futura de los flujos subterráneos y superficiales en el hueco de la mina y en su área de influencia una vez finalizada la explotación minera, para lo cual se deben considerar las aportaciones y usos del agua más probables.

El periodo de llenado futuro comienza el 31-marzo-2011 y termina el 1-junio-2016. Durante este periodo se aplican las condiciones hidrológicas futuras como son: la precipitación y evapotranspiración estacional media mensual, el caudal medio de bombeo en el sector de la mina obtenido del último periodo de explotación y que varía en relación con el índice estacional de la precipitación, así como los restantes usos del agua que son una continuación de los usos impuestos en el periodo de calibración. En lo que respecta a la evolución futura de la superficie de agua libre del embalse de Cecebre, se ha considerado que esta puede estar aproximadamente representada por una repetición de los niveles históricos de regulación registrados por EMALCSA durante el periodo de calibración.

La fecha en que finaliza el periodo de predicción, 1-jun-2016, está motivada en el hecho de que los recursos hidrológicos de la cuenca de Meirama, bajo

condiciones climáticas normales, se consideran suficientes para alcanzar la cota 177 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) de llenado y posteriormente verter el agua del futuro Lago de Meirama hacia el río Barcés.

## 3 Resultados y Discusión

Los resultados de la aplicación del modelo a todos los recursos de la cuenca del río Barcés, durante un periodo total de diez años, que incluyen la hidrología pasada, el presente y la predicción futura de la inundación de la mina a cielo abierto de Meirama, nos proveen de suficiente información sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca basados en la precipitación, los usos del agua, los parámetros calibrados y de la geología de la región.

La calibración de los parámetros del modelo, con un paso de tiempo de cálculo de 6 horas, se ha realizado con un método de prueba y error. En este sentido, las conductividades hidráulicas y ángulos de anisotropía, así como las porosidades efectivas de los materiales, fueron estimados de forma particular en áreas de subcuencas diferenciadas por su estructura geológica y litológica (Figura 13), y enfatizando en aquellos materiales aflorantes más próximos a la superficie del suelo, en los primeros cincuenta metros de espesor, donde la hidrogeología regional se considera que es más relevante.

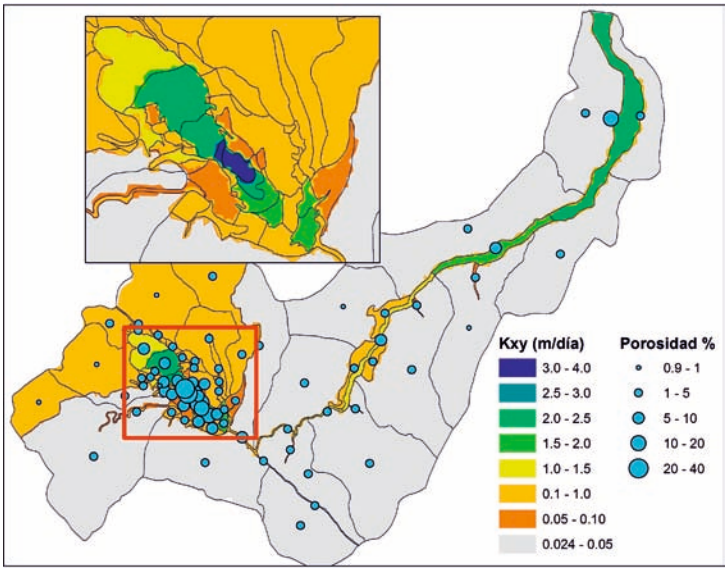



**Figura 15**. Configuración de los parámetros calibrados: conductividad hidráulica, dirección de anisotropía y porosidad efectiva. Los símbolos en forma de cruz mostrados en la parte superior (A) del gráfico representan la dirección de anisotropía normalizada por la conductividad hidráulica en sus componentes Kx y Ky de los materiales.

En este sentido, los resultados de la calibración dan valores medios altos de porosidad efectiva, 10-40%, y conductividades hidráulicas, 2-4 m/día, para aquellos materiales relacionados con los rellenos de la mina, las escombreras y el cuaternario (Figura 15). En lo que respecta a los materiales de esquistos, estos muestran bajas conductividades hidráulicas 0.024-0.05 m/día (Figura 15). Además, la anisotropía hidráulica de los materiales geológicos fue tenida en cuenta para reproducir el comportamiento medio de algunos de los materiales fracturados que presentaban esta condición (Figura 15 A).

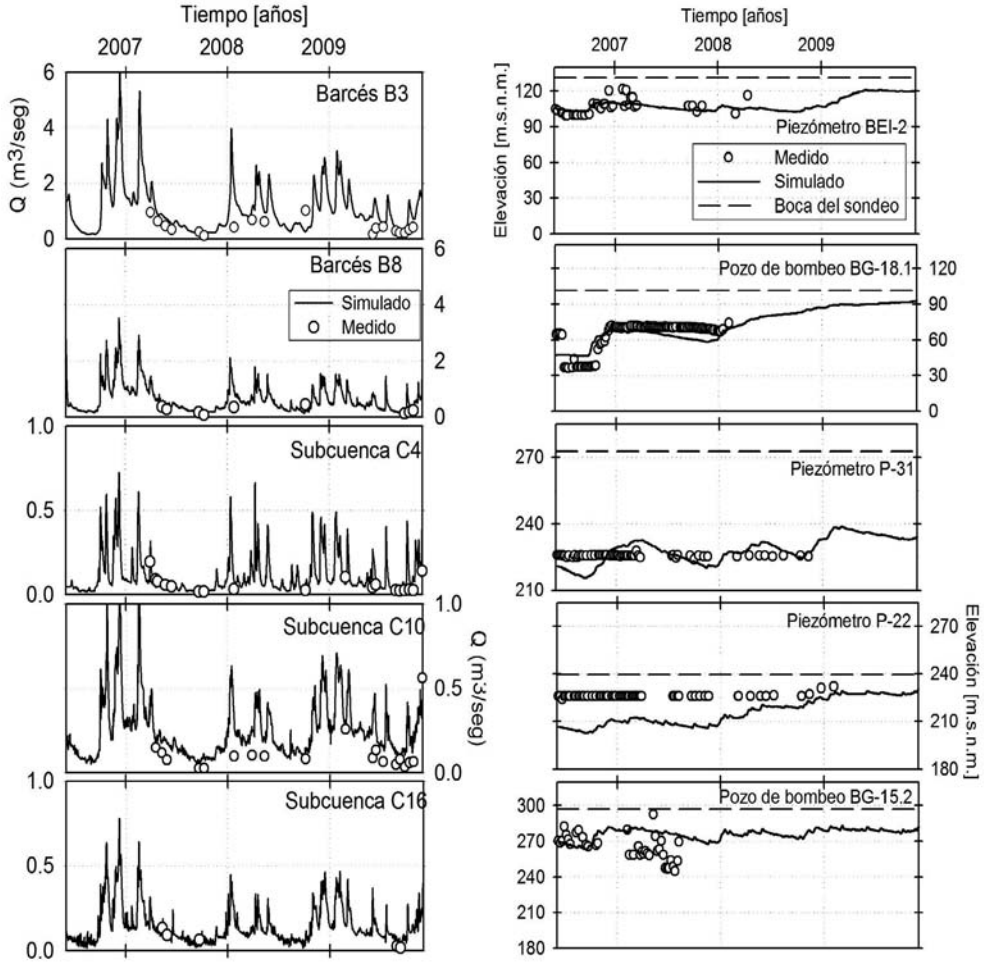



**Figura 16**. Izquierda: se muestran la comparación de algunos de los puntos de aforo con los resultados del modelo durante el periodo de calibración. Derecha: comparación de los niveles observados en piezómetros y pozos de bombeo cercanos a la mina de Meirama con los niveles simulados.

En lo que respecta los niveles freáticos observados y simulados, la comparación de los niveles observados en los piezómetros P-31 y P-22 (Figura 16), muestran una baja sensibilidad relativa a los niveles freáticos simulados, aunque la diferencia media absoluta entre ambos se sitúa en 9.7 metros aproximadamente. A ello se puede sumar la baja sensibilidad observada en los piezómetros (P-31 y P-22), así como en los piezómetros PG-14 y P-11 (comparación que no es mostrada aquí, pero su ubicación se muestra en la Figura 3), donde la explicación más probable para su baja sensibilidad, si asumimos que el equipo de medición funcionaba correctamente, es su aislamiento hidráulico con materiales finos como pueden ser los caolines. Estos piezómetros están localizados en el límite entre los granitos parcialmente caolinizados y los materiales alterados por la actividad minera, lo que podría confirmar la formación de una barrera parcialmente impermeable de caolines.

Con respecto a los resultados de los niveles freáticos en los pozos de bombeo BG-15.2 (granitos parcialmente caolinizados) y BG-18.1 (granito alterado), es interesante destacar el buen comportamiento que presentan los niveles freáticos simulados cuando son comparados con los niveles observados, principalmente, con los niveles freáticos del pozo BG-18.1. Sin embargo, una débil correlación es observada en el pozo BG-15.2, donde las diferencias absolutas medias son de 7.4 metros. Los resultados obtenidos en el piezómetro BEI-2, localizado en un material teóricamente poroso, lo que incrementa su sensibilidad a la hidrología superficial, presentan un buen ajuste entre los niveles observados y simulados con una diferencia media absoluta de casi 3 metros (Figura 16).

En lo que concierne a los resultados del dominio superficial, los caudales medidos son comparados con los caudales simulados para las diferentes subcuencas y puntos de medición a lo largo del río Barcés (Figura 16). El análisis de los resultados de flujo superficial muestran un error relativo del 29.9% cuando se comparan con los caudales a lo largo del río Barcés (máximo caudal observado de 1.2 $m^3$/seg), lo que parece estar fuertemente influenciado por la acumulación de errores provenientes de los caudales superficiales en las subcuencas, así como por la regulación del agua superficial en la cabecera del río Barcés, o cuenca de Meirama (~33 $km^2$), que es responsable de una parte importante del flujo de base del río Barcés. Por su parte, la comparación de los caudales medidos en las diferentes subcuencas con los caudales simulados indica un error medio de 11.2 % relativo al caudal máximo medido que es de 0.56 $m^3$/s (Tabla 4). En definitiva, se puede deducir de los errores medios encontrados en las subcuencas que, los caudales simulados en éstas presentan un mejor grado de ajuste debido, principalmente, a que el régimen hídrico no está influenciado por ningún tipo de regulación y por lo tanto es posible considerar que su régimen hídrico es más bien natural.

No obstante, los resultados que van a determinar finalmente el mejor o peor ajuste de los resultados simulados y observados son propiamente los relativos a la evolución de la inundación de la mina. Aunque, para el correcto análisis de estos resultados es necesario hacer hincapié en que, la inundación de la mina dio inicio (18-marzo-2008) únicamente con agua proveniente del medio subterráneo, y posteriormente, el 3-octubre-2008, se permitió la derivación de flujo del medio superficial de algunos de los arroyos circundantes al interior de la mina, lo que se reflejó en un incremento notable del ritmo de llenado, y que es considerada, esta última estrategia, la más probable en un futuro por lo que es utilizada en el modelo numérico hasta el final del llenado de la mina. A partir de estas condiciones de simulación se analizan los resultados simulados de la inundación de la mina de Meirama a partir de la Figura 17, y que se muestran desde el punto de vista de los periodos de calibración, validación y predicción, así como de los errores relativos al máximo calado superficial de agua observado (~150 metros) y el volumen de agua superficial almacenada correspondiente (~68.12hm$^3$). La Tabla 4 presenta finalmente un resumen de los errores medios relativos a los máximos valores observados en los medios superficial y subterráneo, y que se refieren al error medio que resulta de comparar los resultados de la simulación, durante el periodo de calibración, con los caudales superficiales, los niveles freáticos en piezómetros y pozos de bombeo y la evolución del llenado de la mina de Meirama.

**Tabla 4**. Porcentaje de error medio relativo al máximo valor observado

| LOCALIZACIÓN | n | Error (%) | Relativo a: |
|---|---|---|---|
| | | | Max. Caudal |
| Río Barcés: | 76 | 29.9 | 1.020 m$^3$/seg |
| Subcuencas: | 68 | 11.2 | 0.561 |
| | | | Max. Nivel freático |
| Niveles Freáticos | 359 | 2.7 | 292.9 m. |
| | | | Max. Calado de agua |
| Mina de Meirama (inundación) | 188 | 2.7 | 150.0 m. |
| | | | Max. volumen |
| | | 3.4 | 68.12 hm$^3$ |

Además del análisis de la evolución de la lámina libre del agua superficial durante el llenado de la mina de Meirama, también son analizados otros componentes del agua como son la evolución de los volúmenes de agua superficial almacenados en el hueco de la mina. En este sentido, los resultados simulados

de las secciones de aforo dispuestas en el perímetro del hueco dan cuenta del flujo superficial y subterráneo que entra o sale. Asimismo, el análisis zonal de los resultados, en el área delimitada por la secciones de aforo, nos permite conocer las entradas y salidas de agua por precipitación y evapotranspiración. En la Figura 17 se realiza entonces un balance con estos volúmenes acumulados de entradas y salidas de agua en el hueco de la mina, y además, dado que se conoce la cota de la lámina de agua superficial simulada y la topografía del hueco, se puede deducir el volumen de agua superficial almacenado en la mina en cada momento. Así pues, la Figura 17 nos muestra un balance total de las diferentes componentes del agua que debe ser siempre igual o mayor que el agua superficial almacenada en el hueco, y que por diferencia de ambos componentes tendremos el agua acumulada en los materiales, lo que debe estar en concordancia con el almacenamiento de esos materiales. Entonces, de la Figura 17 podemos deducir que existe una relación coherente entre el balance total y el agua superficial almacenada, lo que nos lleva a concluir que el modelo no presenta problemas de pérdidas de masa frente a grandes calados de agua superficial, o bien estas son imperceptibles.

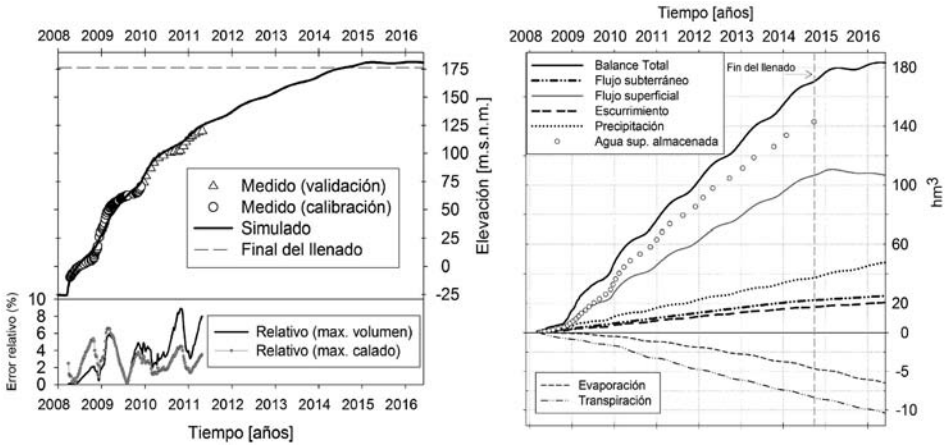



**Figura 17**. Izquierda: comparación de la evolución de la inundación observada y la simulada, y en la parte inferior se muestra un gráfico que muestra el error relativo al máximo calado de agua observado. Derecha: balance total de los volúmenes acumulados en el área delimitada por las secciones de aforo que circundan la mina (Figura 5).

En el periodo de calibración existe un lapso de tiempo que es clave y que nos ha permitido aproximar mejor los parámetros que definen el comportamiento hidrodinámico de los materiales más estrechamente relacionados con la mina. Este lapso de tiempo se da entre el inicio del llenado (18-03-2008) y justo antes de que se derivase agua de algunos de los arroyos perimetrales al

interior de la mina (3-10-2008). Durante este lapso de tiempo se contabilizó en las secciones de aforo del modelo (Figura 5), que tienen una longitud de 8.1 km, una descarga media de casi 3.1 $hm^3$/año, descarga subterránea que está muy próxima a los volúmenes de agua bombeados desde el interior del hueco durante el último periodo de explotación.

Otro tipo de resultados del modelo que resulta de gran interés son los mostrados en la Figura 18, y que tienen que ver con la precipitación global impuesta, la evapotranspiración real calculada en función de la configuración de niveles freáticos encontrados, las reservas de agua superficial y las reservas de agua subterránea. Del análisis particular, en este caso para la precipitación y la evapotranspiración, es evidente la imposición de un periodo con información diaria seguido de un periodo con información que responde a un comportamiento medio estacional mensual. En lo que respecta a los gráficos de la reserva subterránea y superficial, se puede observar que los recursos hídricos en la cuenca se incrementan como cabía esperar una vez iniciado el llenado de la mina de Meirama.

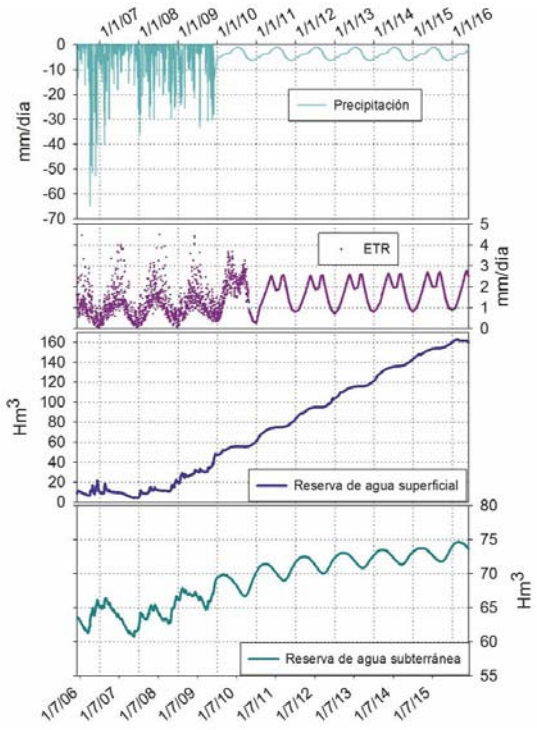



**Figura 18**. Evolución global de la precipitación y la evapotranspiración, así como la evolución de la reserva de agua subterránea y superficial en el modelo numérico.

Por otra parte, el escenario hidrológico pasado, presente y futuro, que definen la configuración de los niveles freáticos y calados de agua superficial en la cuenca del río Barcés, se muestran para diferentes episodios temporales a lo largo de los diez años de simulación que va desde el 1-jun-2006 y termina el 1-jun-2016 (Figuras 19-24), y que ponen de manifiesto la estrecha relación que existe entre los flujos subterráneo y superficial y la gran variabilidad hidrológica que se sucede durante este periodo en la cuenca del río Barcés.

Finalmente, a través de estos resultados se concluye que la máxima capacidad de almacenamiento del hueco de la mina de Meirama (~143.4 $hm^3$) se alcanza, según el modelo numérico, muy probablemente a finales del año 2014. Esta conclusión de este análisis se sustenta en el hecho de que la conservación de masa se ha verificado de forma satisfactoria tanto zonal como globalmente, y ello partiendo de un parámetro fundamental que es el factor *X* del modelo superficial, y que toma un valor después de la calibración de 0.929. Asimismo, la validez de los resultados simulados se sustenta también en condiciones climáticas medias y una estrategia de llenado específica, lo que es susceptible de variar durante periodos prolongados de sequía, por ejemplo, que obligarían a modificar la estrategia y por lo tanto la fecha final del llenado.

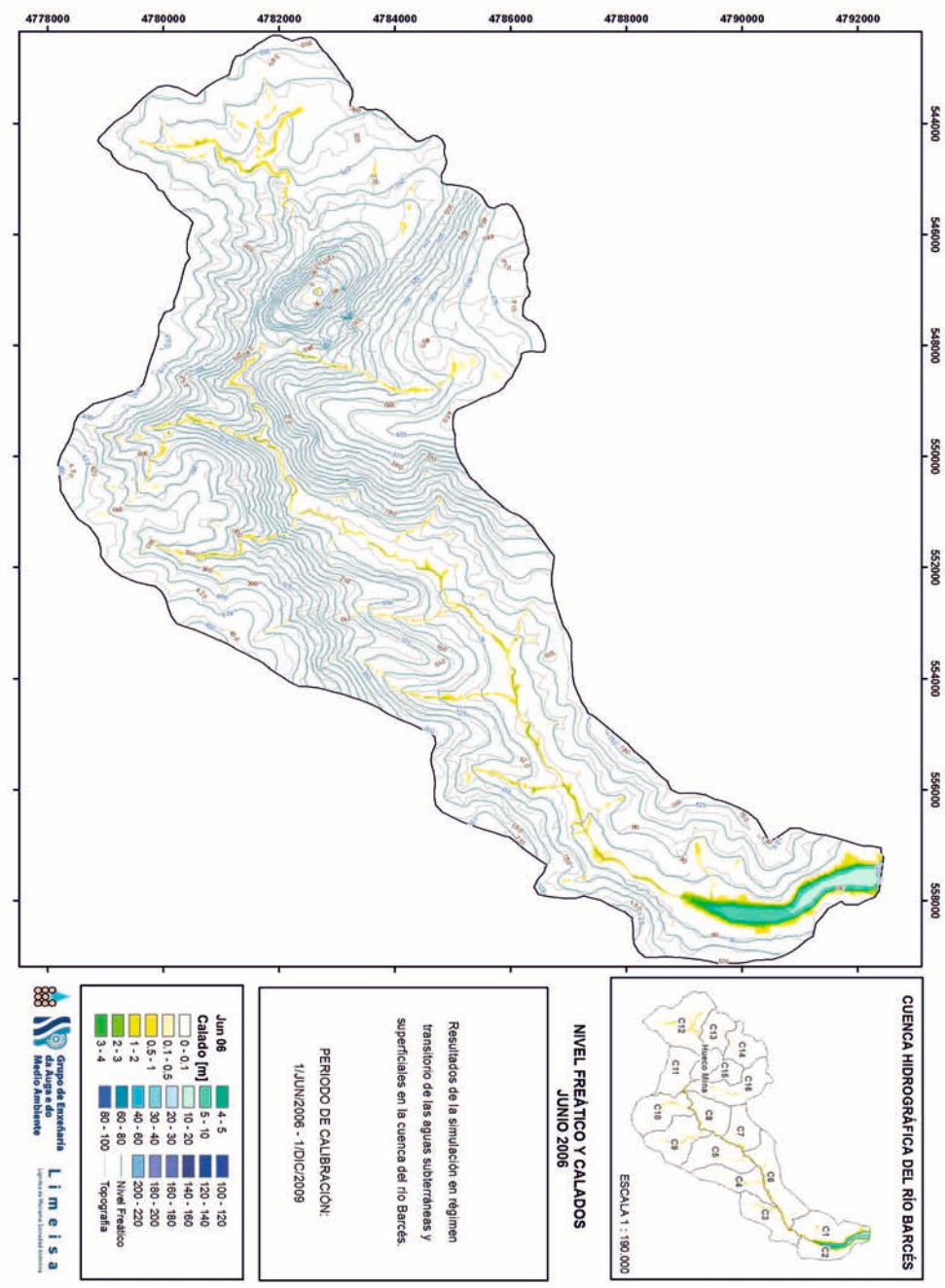



**Figura 19**. Configuración de los niveles freáticos y de los calados de agua superficial con base en la topografía de la cuenca del río Barcés. Configuración simulada para junio-2006.

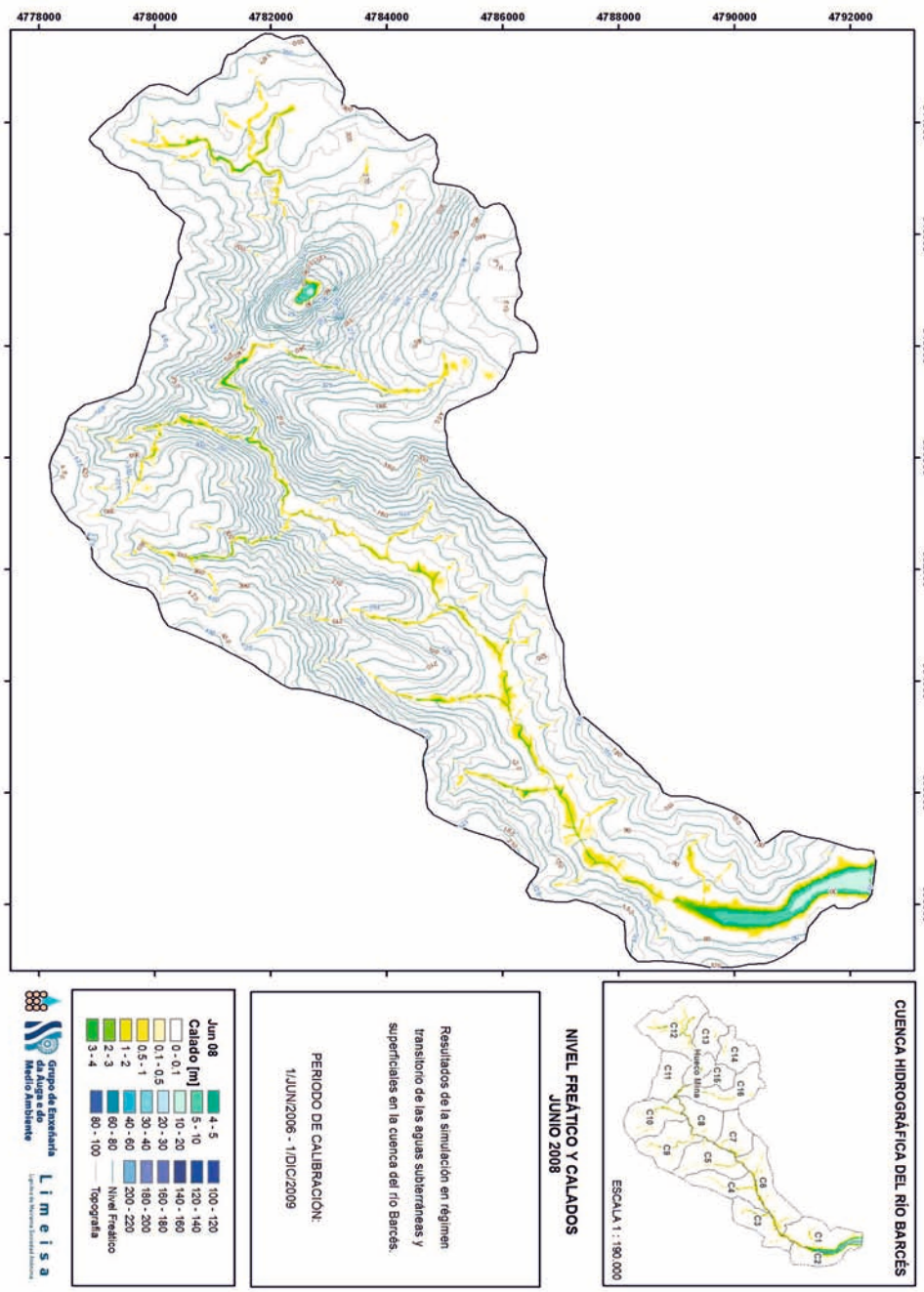



**Figura 20.** Configuración de los niveles freáticos y de los calados de agua superficial con base en la topografía de la cuenca del río Barcés. Configuración simulada para junio-2008.

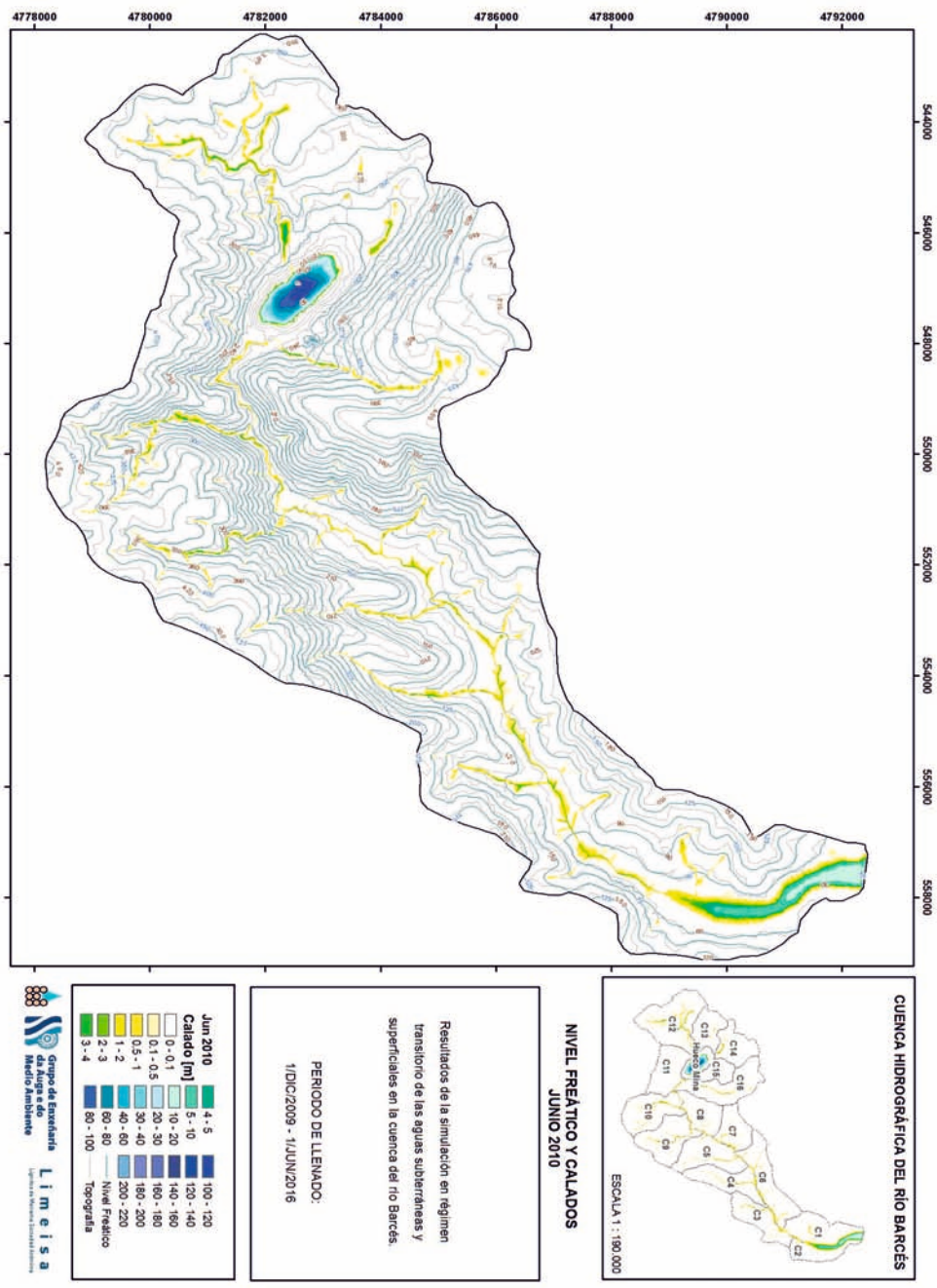



**Figura 21**. Configuración de los niveles freáticos y de los calados de agua superficial con base en la topografía de la cuenca del río Barcés. Configuración simulada para junio-2010.

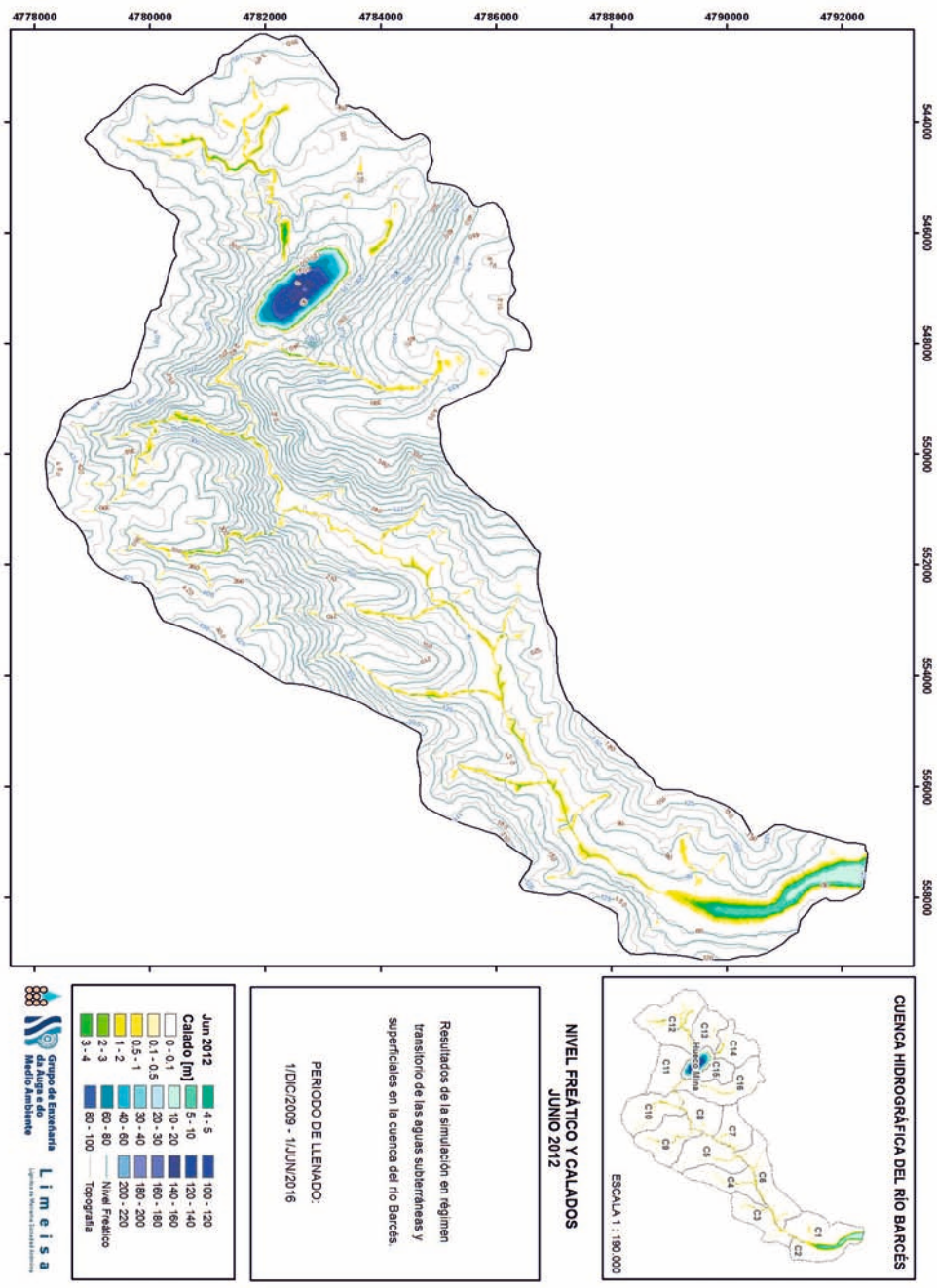



**Figura 22.** Configuración de los niveles freáticos y de los calados de agua superficial con base en la topografía de la cuenca del río Barcés. Configuración simulada para junio-2012.

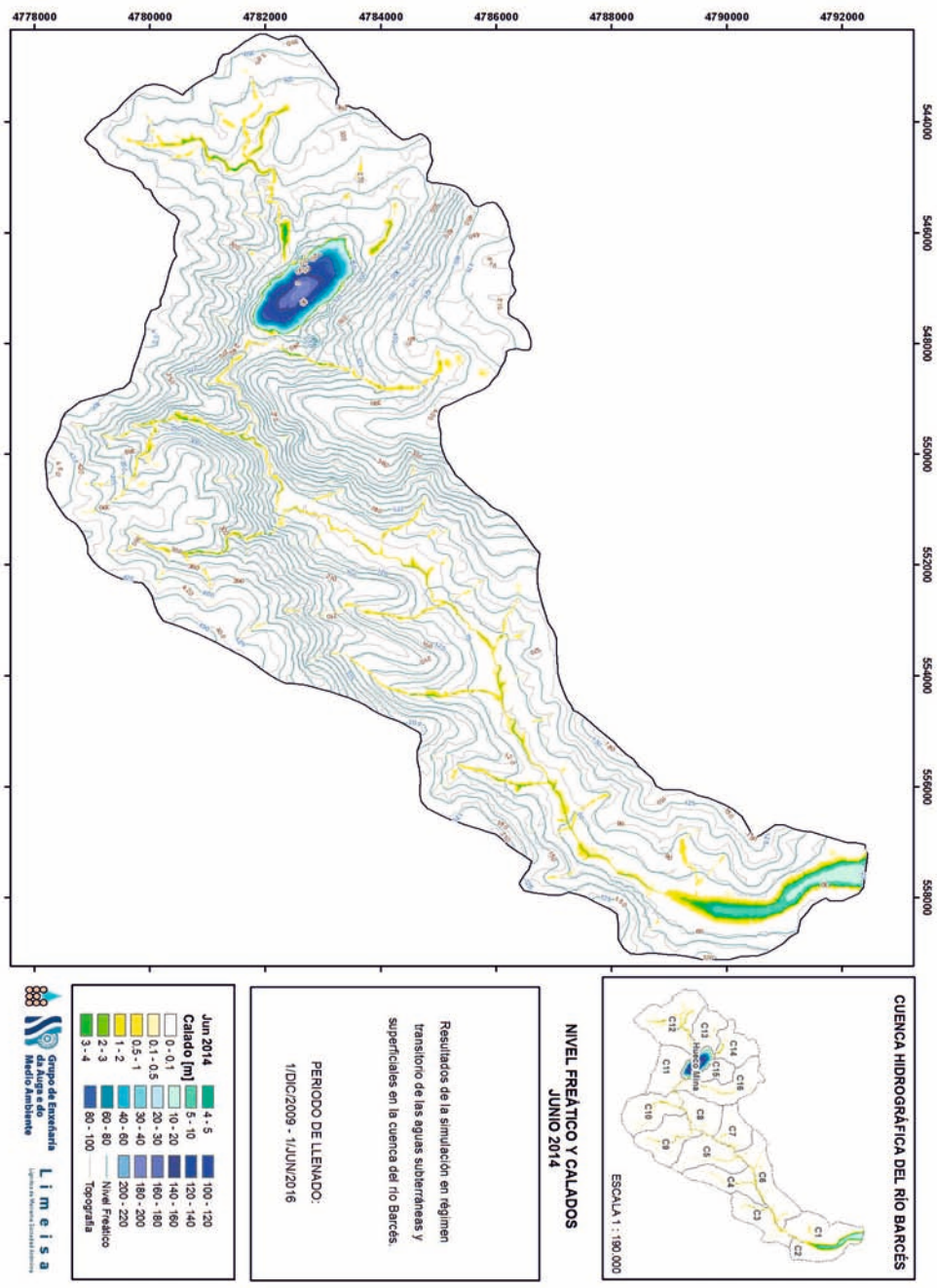



**Figura 23.** Configuración de los niveles freáticos y de los calados de agua superficial con base en la topografía de la cuenca del río Barcés. Configuración simulada para junio-2014.

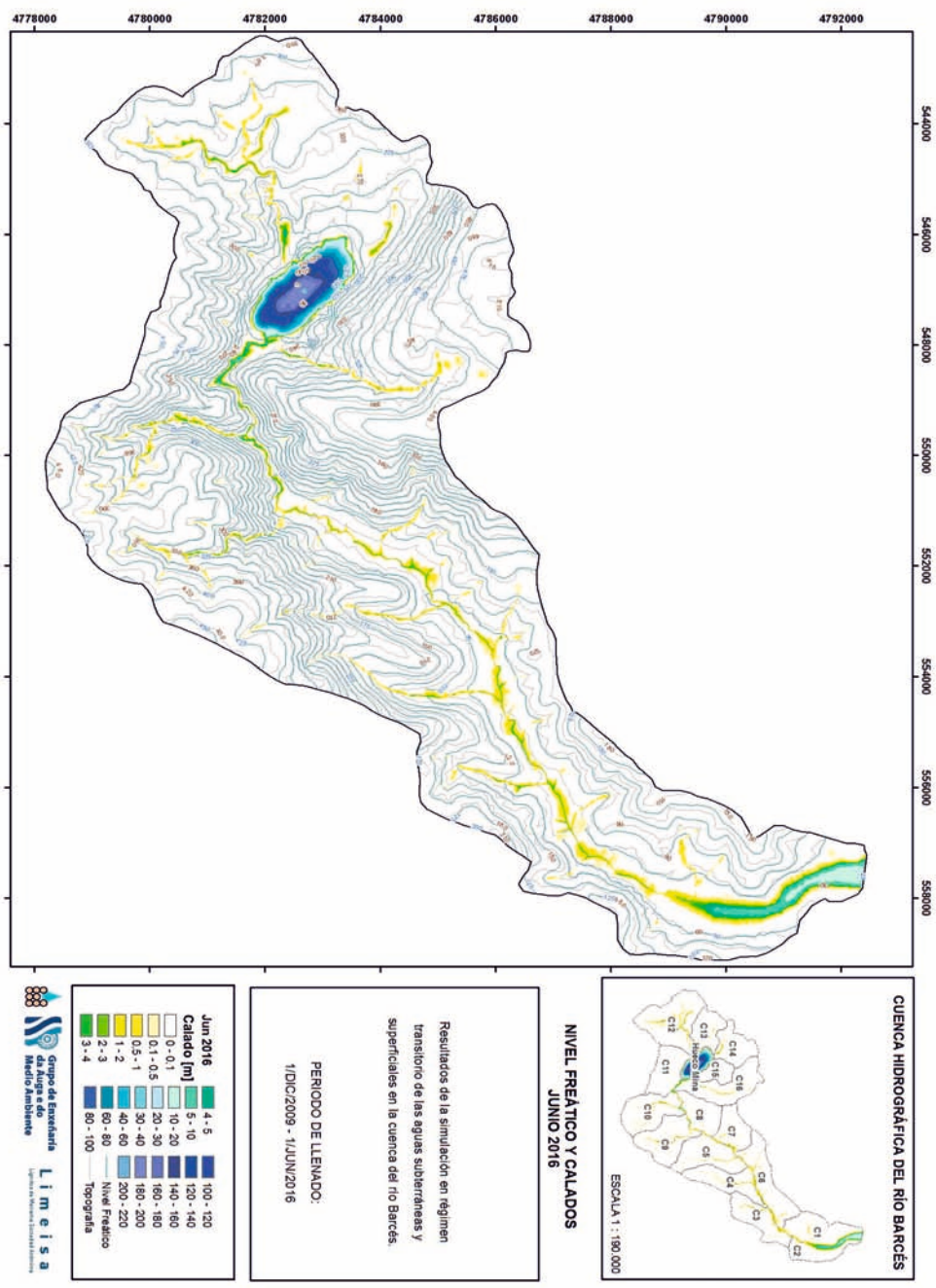



**Figura 24.** Configuración de los niveles freáticos y de los calados de agua superficial con base en la topografía de la cuenca del río Barcés. Configuración simulada para junio-2016.

## Agradecimientos

El trabajo contenido en la presente memoria ha sido financiado por el Ministerio Español de Educación y Ciencia CICyT (CGL2006-01452 y CGL2009-11258) y por la empresa Lignitos de Meirama LIMEISA, así como por la Fundación Europea de Ciencia.

Asociado a los proyectos de investigación CICyT, D. Jesús Horacio Hernández Anguiano ha sido becario predoctoral del programa María Barbeito 2007-2010 y posteriormente contratado con cargo a proyecto durante el periodo 2010-2012.

Se agradece al personal de LIMEISA, especialmente a D. Álvaro Fernández García y a D. Roberto González Philippon por su implicación activa en la adquisición de información vital que ha permitido la definición de las condiciones de simulación del modelo y su calibración.

Se agradece también a la Empresa Municipal de Aguas de La Coruña EMALCSA, por la cesión de información concerniente a los niveles históricos de la lámina de agua libre del embalse de Cecebre.

Asimismo, se agradece al Doctor Pablo Rodríguez-Vellando por sus aportaciones en el campo numérico-matemático relacionadas con el modelo MELEF, y a Héctor García Rábade, becario predoctoral, por su participación activa en las labores de adquisición de información en campo.

## Bibliografía

Baird KJ, Maddock III T (2005) Simulating riparian evapotranspiration: a new methodology and application for groundwater models. J Hydrol, 312: 176-190.

de By RA, Knippers RA, Sun Y, Ellis MC, Kraak MJ, Weir MJC, Georgiadou Y, Radwan MM, Westen CJV, Kainz W, Sides EJ (2001) Principles of Geographic Information Systems. Rolf A. de By. Educational Textbook Series. ITC, Enschede, The Netherlands.

de Vries J, Simmers I (2002) Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. Hydrogeol J, 10: 5-17.

Delgado J, Juncosa R, Vázquez A, Padilla F, Vellando P, Hernández H, Fernández-Bogo S (2008a) Water quality assessment in the restoration of the Meirama open pit mine, NW Spain. Part I. Environ Geosci, 58-63.

Delgado J, Juncosa R, Vazquez A, Falcon I, Canal J, Hernandez H, Padilla F, Rodriguez-Vellando P, Delgado JL (2008b) Hydrochemical characteristics of the natural waters associated with the flooding of the Meirama open pit (A Coruna, NW Spain). Miner Mag, 72: 399-403.

Escuer SJ, Vidal RJR, (1987) Facies y modelo local de los depósitos aluviales de la cuenca del río Mero y península de Sada (A Coruña, NW España). Cuad Lab Geol Laxe, 11: 69-83.

Fisher P, Unwin DJ (2005) Re-presenting GIS. WILEY, England.

Gregory IN, Ell PS (2007) Historical GIS. Technologies, Methodologies and Scholarship. Camb Univ, New York.

Hawkins RH (1982) Interpretations of resource area variability in rainfall runoff relations. In: Singh, V.P. (Ed.), Rainfall-runoff relationships. Water Resour, Littleton, pp 303-324.

Hellweger FL (1997) AGREE - DEM Surface Reconditioning System. Univ Tex, Austin.

Hernández JH (2011) Análisis de los procesos de flujo subterráneo y superficial en los problemas medioambientales: adaptación de un código numérico gestionado con SIG a la cuenca del río Barcés, A Coruña. Univ Coruña, Coruña.

Hernández JH (2008) Fase de calibración del modelo numérico MELEF para su aplicación en las estrategias de vertido del futuro lago de Meirama y medición de la calidad de las aguas. Cuenca hidrográfica del río Barcés. Univ Coruña, Coruña.

Hu S, Zhao R, Tian C, Song Y (2009) Empirical models of calculating phreatic evaporation from bare soil in Tarim river basin, Xinjiang. Environ Earth Sci, 59: 663-668.

Huyakorn PS, Wu YS, Park NS (1996) Multiphase Approach to the Numerical Solution of a Sharp Interface Saltwater Intrusion Problem. Water Resour Res, 32: 93-102.

Johnson LE (2009) Geographic Information Systems in Water Resources Engineering. CRC, Boca Raton.

Juncosa R, Delgado J, Vellando P, Padilla F, Vázquez A, Hernández H, Fernández-Bogo S (2008) Water Quality Assessment in the Reclamation of the Meirama Open Pit Mine, NW Spain. Part II. After-Flooding Assessment. Environ Geosci, 64-69

Langhans C, Govers G, Diels J, Leys A, Clymans W, Putte AV, Valckx J (2011) Experimental rainfall-runoff data: Reconsidering the concept of infiltration capacity. J Hydrol, 399: 255-262.

Li HT, Kinzelbach W, Brunner P, Li WP, Dong XG (2008) Topography representation methods for improving evaporation simulation in groundwater modeling. J Hydrol, 356: 199-208.

Li KY, Boisvert JB, Jong RD (1999) An exponential root-water-uptake model. Can J Soil Sci, 79: 333-343.

Longley PA, Goodchild MF, Maguire DJ, Rhind DW (2005) Geographical Information Systems and Science, John Wiley & Sons, Chichester.

Maidment D, Djokic D (2000) Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information System. ESRI, USA.

MMA (2000) Libro blanco del agua en España. Minist Medio Ambiente, Madrid.

Monge GC, (1987) Estudio sedimentlológico de la Cuenca Terciaria de Meirama. Un ejemplo de una cuenca sedimentaria sobre una falla de salto en dirección. Cuad Lab Geol Laxe, 11: 51-67.

Moreno JA, Cañada TR, Cervera CB, Fernández GF, Gómez GN, Martínez SP, Prieto FME, Rodríguez EJA, Vidal DMJ (2007) Sistemas y análisis de la Información Geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS. Ra-Ma, Madrid.

Nyambayo VP, Potts DM (2010) Numerical simulation of evapotranspiration using a root water uptake model. Comput Geotech, 37: 175-186.

Padilla F, Cruz-Sanjulián J (1997) Modeling seawater intrusion with open boundary conditions. Ground Water, 35: 702-712.

Padilla F, Méndez A, Fernández R, Vellando P (2008) Numerical modelling of surfacewater/groundwater flows for freshwater/saltwater hydrology: the case of the alluvial coastal aquifer of the Low Guadalhorce River, Malaga, Spain. Environ Geol, 55: 215-226.

Ruiz GJM (1999) Modelo distribuido para la evaluación de recursos hídricos, Minist Fom, Madrid.

Saad Y, Schultz MH (1986) GMRES: A Generalized Minimal Residual Algorithm for Solving Nonsymmetric Linear Systems. SIAM J Sci Stat Comp, 7: 856-869.

Scanlon B, Healy R, Cook P (2002) Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeol J, 10: 18-39.

Sophocleous M (2002) Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. Hydrogeol J, 10: 52-67.

Stone JJ, Paige GB, Hawkins RH (2008) Rainfall intensity-dependent infiltration rates on rangeland rainfall simulator plots. T ASABE, 51: 45-53.

Vieux BE (2001) Distributed Hydrologic Modeling Using GIS. Kluwer Acad, Dordrecht.

Winter TC, Harvey JW, Franke OL, Alley WM (1998) Ground water and surface water – a single resource. In: Government, U.S. (Ed.). U.S. Geol Surv, Denver.

Yu B, Rose CW, Coughlan KJ, Fentie B (1997) Plot-scale rainfall-runoff characteristics and modeling at six sites in Australia and Southeast Asia. T ASAE, 40: 1295-1303.

Revista Real Academia Galega de Ciencias. Vol. XXXI. Págs. 115-136 (2012)

# Las anémonas de mar (Cnidaria; Anthozoa; Actiniaria) de la plataforma continental uruguaya

María I. Deserti[1], Mauricio O. Zamponi[1, 2], Gustavo Riestra[3, 4]

[1]*Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Depto. Ciencias Marinas. Laboratorio de Biología de Cnidarios (LABIC). Universidad Nacional de Mar del Plata. Funes 3250 (B760 2AYL) Mar del Plata. Argentina.* [2]*CONICET .*[3]*Dirección Nacional de Recursos Acuáticos. Constituyente 1497, 5º piso, Montevideo, Uruguay .*[4]*Museo de Historia Natural "Dr. Carlos Torres de la Llosa". Eduardo Acevedo 1417, Montevideo, Uruguay.*

## Resumen

El siguiente estudio constituye una importante recopilación faunística de los actiniarios de la plataforma uruguaya. Los trabajos previos sobre estos cnidarios bentónicos son escasos; el presente análisis amplía los conocimientos actuales sobre estos celenterados, dando a conocer el hallazgo de las siguientes especies obtenidas por "by-catch": *Antholoba achates* Drayton in Dana, 1846; *Phlyctenanthus australis* Carlgren, 1950; *Monactis vestita* Gravier, 1918; *Hormathia pectinata* Hertwig, 1882 y *Carcinactis dolosa* Riemann-Zürneck, 1975.

**Palabras clave**: Actiniaria, Anthozoa, Cnidaria, Plataforma continental uruguaya

## Abstract

The present study constitutes an important recopilation of the actinian fauna from the Uruguayan continental shelf. Previous papers about these benthonic cnidarians are scarce; this study analyzes actually knowledges of these coelenterates and gives to know the following species obtained by by-catch: *Antholoba achates* Drayton in Dana, 1846; *Phlyctenanthus australis* Carlgren,

1950; *Monactis vestita* Gravier, 1918; *Hormathia pectinata* Hertwig, 1882 y *Carcinactis dolosa* Riemann-Zürneck, 1975.

**Keywords**: Actiniaria, Anthozoa, Cnidaria, Uruguayan continental shelf

## Introducción

Esta contribución es la primera en su estilo, ya que no hay buenos registros previos sobre la fauna de cnidarios actiniarios de la plataforma continental uruguaya. Existen muy pocos estudios que han citado cnidarios bentónicos, como los trabajos de Alonso (1979) para el caso de *Renilla mulleri* Kölliker, 1873 y Demicheli (1985), que cita la presencia de *Neoparacondylactis haraldoi* Zamponi, 1974, en el submareal de Playa Anaconda del Departamento de Maldonado. Asimismo, en Demicheli (1984, 1986), Riestra (2000), Riestra y Barea (2000) y Riestra y Defeo (2000) se menciona la presencia de ejemplares indeterminados de Hydrozoa, Anthozoa y Alcyonaria, en Playa Portezuelo, en el submareal de las Islas Gorriti y de Lobos (Depto. de Maldonado) y como fauna acompañante de comunidades de vieiras. Solamente el trabajo de Riestra et al. (2006), analiza la macrofauna bentónica acompañante del "caracol fino" *Zidona dufresnei* Donovan, 1823, registra la extracción de las siguientes especies de antozoarios: *Antholoba achates* Drayton en Dana, 1846, *Astrangia rathbuni* Vaughan, 1906 y *Phlyctenanthus australis* Carlgren, 1950, además de algunos alcionarios indeterminados; estas especies, extraídas por "by-catch" de la plataforma continental uruguaya, representaron en dicho estudio el 7% de la fauna acompañante.

Los relevamientos faunísticos bentónicos siempre ofrecen novedades taxonómicas y más aún cuando suele referirse a los cnidarios; este grupo, bien representado por el orden de los actiniarios a lo largo de la costa atlántica de América del Sur (Zamponi et al. 1997), han sido objeto de estudio, no solo como grupo aislado, sino por la relevancia que aportan a los trabajos científicos de naturaleza biocenológica o de ecología bentónica poblacional (Zamponi y Acuña, 1992a).

El presente trabajo analiza un total de trece ejemplares de actiniarios obtenidos por "by-catch" junto a los siguientes recursos de interés económico: *Zidona dufresnei* Donovan, 1823 y *Zygochlamys patagonica* King y Broderip, 1832.

Con esta contribución damos a conocer parte de la composición de los cnidarios antozoarios de la costa y de la plataforma continental uruguaya, ampliando los conocimientos previos sobre el tema.

## Material y Métodos

### *Recolección de individuos*

Los ejemplares analizados de *Antholoba achates*, *Phlyctenanthus australis* y *Hormathia pectinata* componen el "by-catch" de la pesquería del "caracol fino" *Z. dufresnei*. Para este caso el arte de pesca empleado consistió en 2 redes de arrastre de fondo con baja apertura vertical (máximo 1.5 m) y tamaño de malla de 100 mm entre nudos opuestos, arrastradas por el buque con un sistema de tangones (Fabiano et al. 2000). Se destaca que dos ejemplares de *P. australis* fueron colectados del submareal rocoso en el Balneario La Paloma (Depto. de Rocha). Las anémonas *Monactis vestita* y *Carcinactis dolosa* integraron el by-catch de vieira (*Z. patagonica*) donde se empleó como arte de pesca dos redes New Bedford de 5.0 m de ancho, con un diámetro de malla de 80 mm y una línea de fondo de 5/8 de espesor (Riestra, 2000). Los ejemplares retenidos y recolectados en cada instancia fueron fijados en formol al 10% y acondicionados en bolsas debidamente rotuladas.

### *Medición de tallas*

Si bien existen diversas metodologías para la determinación de tallas muchas de ellas introducen ciertos valores de error, ya que a veces los ejemplares sobre lo cuáles se realizan las mediciones se encuentran embebidos y conservados durante cierto tiempo en soluciones fijadoras. Como consecuencia y siendo éste uno de esos casos, los autores consideran que la clásica medición del disco basal puede ser una referencia útil; sin embargo, la fijación del material provoca que los tejidos estén sujetos a cierto grado de contracción si se los compara con su tamaño natural. La aplicación del Método de las Diagonales Cruzadas reduce entonces la introducción de dicho error en los cálculos obtenidos (Figura 1). Este método se establece cruzando dos diagonales perpendiculares en la superficie basal del organismo y calculando el valor medio en base a la siguiente fórmula:

$$\text{Media (cm)} = (d1 + d2)/2$$

### *Análisis de cnidocistos*

Se eligió de manera arbitraria, un ejemplar perteneciente a cada especie por cada sitio de recolección. De esta manera se analizaron un total de nueve ejemplares de los cuáles se realizaron preparaciones de tejidos de las siguientes regiones: tentáculos, columna, actinofaringe, filamento mesenterial y en caso de estar presente, acontia. La clasificación y el reconocimiento de los diferentes tipos está basada en England (1991) y Schmidt (1972), este último,

para el caso particular de los ejemplares pertenecientes a la subtribu *Acontiaria*. De cada tipo de cnidocisto fueron elegidas al azar, 30 cápsulas sin descargar y se midió en cada una el largo y el ancho mediante la metodología de Hand (1954). Se registró además, la frecuencia de aparición de cada tipo y se calcularon los valores de media, desviación estándar y rango de cada medida obtenida.

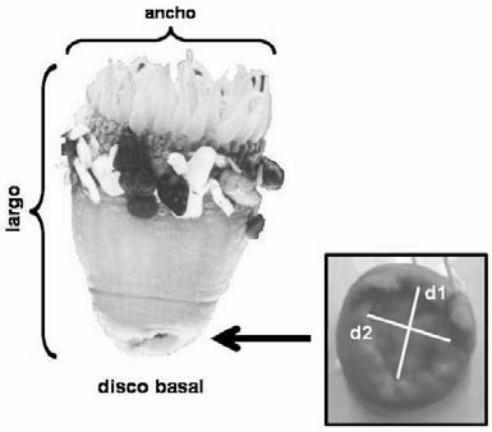



**Figura 1.** Esquema indicando el Método de las Diagonales Cruzadas para establecer la talla de organismos en base a mediciones del disco pedal. **d1**: diagonal 1, **d2**: diagonal 2.

## Resultados

Se registraron cinco especies de actiniarios en costa y plataforma continental uruguaya:
-*Antholoba achates* Drayton in Dana, 1846 (Familia: *Actinostolidae*)
-*Phlyctenanthus australis* Carlgren, 1950 (Familia: *Actiinidae*)
-*Monactis vestita* Gravier, 1918 (Familia: *Hormathiidae*)
-*Hormathia pectinata* Hertwig, 1882 (Familia: *Hormathiidae*)
-*Carcinactis dolosa* Riemann-Zürneck, 1975 (Familia: *Sagartiidae*)

La distribución espacial de los ejemplares colectados se muestra en la Figura 2 y los datos referentes a la extracción de éstos en la Tabla 1. En la Figura 3 se observa un ejemplar de cada especie identificada, con excepción de los ejemplares de *Hormathia pectinata* cuyo pequeño tamaño hizo imposible fotografiarlos en tamaño natural. La Tabla 2 resume las tallas obtenidas para los mismos.

**Figura 2.** Mapa de distribución espacial de las cinco especies de actiniarios hallados en la costa y en la plataforma continental uruguaya.

**Tabla 1.** Datos referentes a la fecha, profundidad, sustrato y sitio de recolección para cada especie encontrada. **Ejem**: ejemplar; **Prof**: profundidad en metros; ***A. beckii*** = *Adelomenon beckii*; ***B. cochlidium*** = *Buccinanops cochlidium* Dillwyn, 1817; ***Z. dufresnei*** = *Zidona dufresnei*.

| Especie | Ejem | Fecha | Sitio recolección | Prof. (m) | Sustrato |
|---|---|---|---|---|---|
| ***Antholoba achates*** | 1 | 27/06/2003 | Plataforma | 30-40 | *A. beckki* |
| | 2 | 27/06/2003 | Plataforma | 30-40 | *A. beckki* |
| | 3 | 27/06/2003 | Plataforma | 30-40 | *A. beckki* |
| | 4 | 06/2003 | Detrás Isla de Lobos | 30-35 | *B. cochlidium* |
| ***Phlyctenanthus australis*** | 1 | 26/11/2000 | Plataforma | 30-40 | *Z. dufresnei* |
| | 2 | 27/06/2003 | Plataforma | 30-40 | *A. beckki* |
| | 3 | 26/02/2006 | La Paloma | restinga | Rocoso |
| | 4 | 26/02/2006 | La Paloma | restinga | Rocoso |
| | 5 | 27/06/2003 | Plataforma | 30-40 | Sobre caracol |
| ***Monactis vestita*** | 1 | 18/02/2003 | Plataforma | 100-120 | Banco de vieira |
| ***Carcinactis dolosa*** | 1 | 15/02/2003 | Aldebarán | 253 | Banco de vieira |
| ***Hormathia pectinata*** | 1 | 01/10/2006 | Aldebarán | 10-50m | *B. cochlidium* |
| | 2 | 01/10/2006 | Aldebarán | 10-50m | *B. cochlidium* |

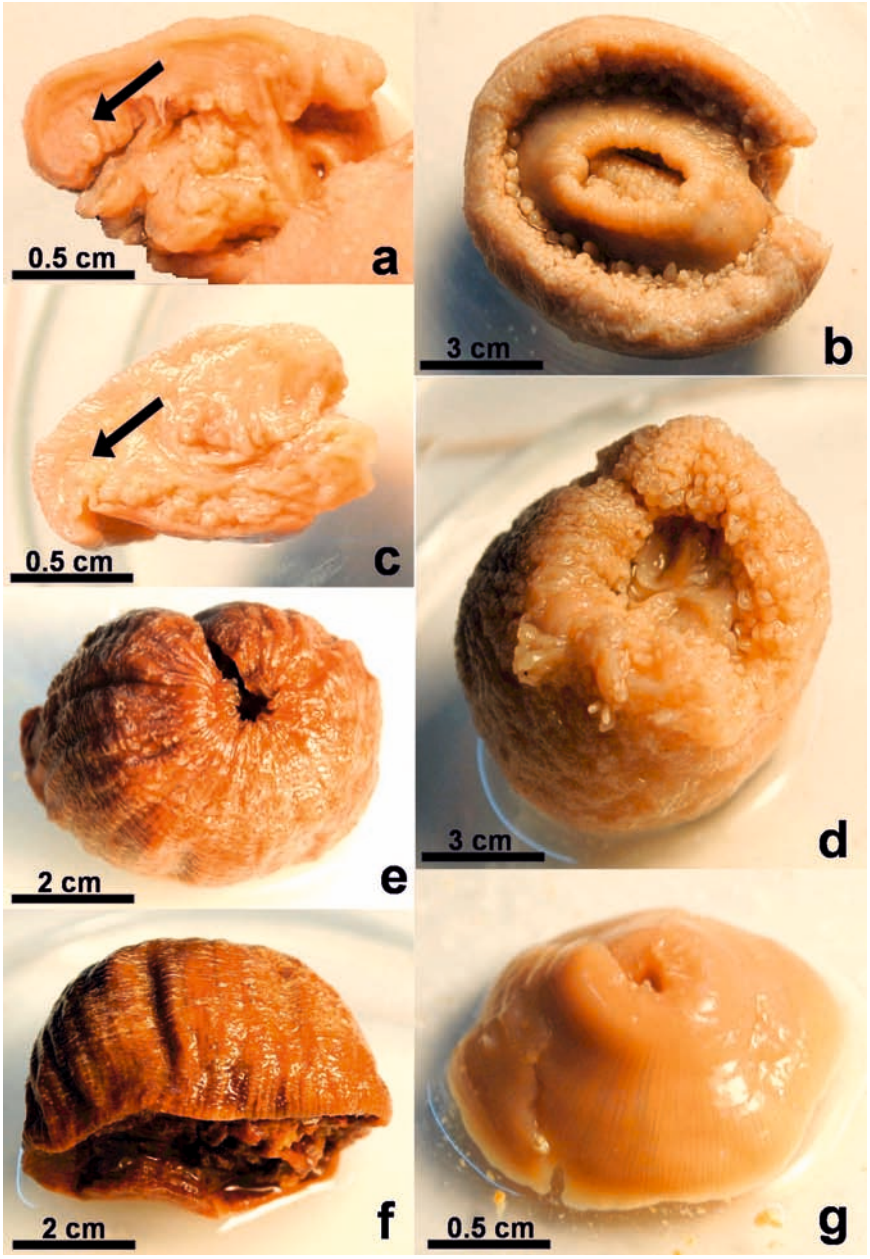



**Figura 3. a:** corte de *Antholoba achates* indicando el esfínter; **b:** vista oral de *A. achates*; **c:** corte de *Phlyctenanthus australis* indicando el esfínter; **d:** vista oral de *P. australis*; **e:** vista dorsal de *Carcinactis dolosa*; **f:** vista laterobasal de *C. dolosa*; **g:** vista oral de *Monactis vestita*.

**Tabla 2.** Tallas (en centímetros) de los ejemplares analizados, siguiendo el método de las Diagonales Cruzadas y utilizando un calibre milimetrado. **d1**: diagonal 1; **d2**: diagonal 2; *****Juveniles.

| Especie/Ejemplar | d1 (cm) | d2 (cm) | media (cm) |
|---|---|---|---|
| ***A. achates*** | | | |
| **1** | 3,1 | 1,7 | 2,4 |
| **2** | 1,6 | 1,4 | 1,5 |
| **3** | 1,7 | 1,5 | 1,6 |
| **4** | 6,5 | 3,2 | 4,8 |
| ***P. australis*** | | | |
| **1** | 5,1 | 2,0 | 3,5 |
| **2** | 4,9 | 4,1 | 4,5 |
| **3** | 2,2 | 2,0 | 2,1 |
| **4** | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| **5** | 4,3 | 3,0 | 3,6 |
| ***M. vestita*** | | | |
| **1** | 3,2 | 3,1 | 3,1 |
| ***C. dolosa*** | | | |
| **1** | 3,5 | 1,6 | 2,5 |
| ***H. pectinata**** | | | |
| **1** | 0,6 | 0,3 | 0,4 |
| **2** | 0,9 | 0,5 | 0,7 |

## Taxonomía

A continuación de cada especie se citan aquellas publicaciones correspondientes a los autores que hallaron y describieron anatómicamente dichas especies, para regiones geográficas cercanas a la plataforma uruguaya.

## Orden *ACTINIARIA*

## Familia *ACTINOSTOLIDAE*

***Antholoba achates*** (Drayton in Dana, 1846)
*Antholoba achates*: Rienmann-Zürneck, 1986a, p. 28; Zamponi y Acuña, 1991a, p. 97-102, 1992a, p. 48; Zamponi y Excoffon, 1995, p. 2,3. Distribución: de 30º S a 55º S y de 50º O a 75º O. Los ejemplares 1 y 4, por proceder de distintos sitios de muestreo, fueron utilizados para realizar la tipificación y medición de los cnidocistos (Tabla 3 y Figura 4).

**Tabla 3.** Resultados del análisis de los cnidocistos para los ejemplares 1 y 4 de *Antholoba achates*. **L**: largo; **A**: ancho; **N**: número de cápsulas sin descargar analizadas, **Desv. st**: desviación estándar, **Frec. Apar**: frecuencia de aparición (1: menos frecuente, 2: frecuente, 3: más frecuente), **X**: no encontrado. **micro-p-masti**: microbásico-p-mastigoforo.

| **Ejemplar** | | **Espirocistos** | | **Basitrichos I** | | **Basitricos II** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tentáculos** | | **L(µm)** | **A(µm)** | **L(µm)** | **A(µm)** | **L(µm)** | **A(µm)** |
| 1 | N | 30 | | 30 | | 30 | |
| 1 | Media | 30,20 | 3,47 | 29,77 | 3,30 | 20,03 | 3,07 |
| 1 | Rango | 23-34 | 4,00 | 28-33 | 3,0-4,0 | 15-23 | 3,0-4,0 |
| 1 | Desv. st. | 2,51 | 0,51 | 1,36 | 0,47 | 2,09 | 0,25 |
| 1 | Frec. Apar. | **3** | | **2** | | **1** | |
| 4 | N | 30 | | 30 | | 30 | |
| 4 | Media | 29,00 | 3,33 | 30,80 | 3,37 | 18,90 | 2,87 |
| 4 | Rango | 22-35 | 3,0-4,0 | 25-36 | 3,0-4,0 | 16-22 | 2,0-3,0 |
| 4 | Desv. st. | 4,11 | 0,48 | 2,48 | 0,49 | 1,75 | 0,35 |
| 4 | Frec. Apar. | **3** | | **1** | | **2** | |
| **Columna** | | **Espirocistos** | | **Basitrichos I** | | **Basitricos II** | |
| | | **L(µm)** | **A(µm)** | **L(µm)** | **A(µm)** | **L(µm)** | **A(µm)** |
| 1 | N | 30 | | 30 | | 30 | |
| 1 | Media | 27,40 | 3,30 | 31,33 | 3,40 | 19,43 | 3,03 |
| 1 | Rango | 20-34 | 3,0-4,0 | 28-37 | 3,0-4,0 | 15-23 | 3,0-4,0 |
| 1 | Desv. st. | 3,44 | 0,47 | 2,55 | 0,50 | 2,57 | 0,18 |
| 1 | Frec. Apar. | **2** | | **1** | | **3** | |
| 4 | N | 30 | | X | | 30 | |
| 4 | Media | 24,90 | 3,13 | X | | 19,97 | 3,00 |
| 4 | Rango | 17-33 | 3,0-4,0 | X | | 15-25 | 3,00 |
| 4 | Desv. st. | 3,51 | 0,35 | X | | 2,06 | 0,00 |
| 4 | Frec. Apar. | **2** | | X | | **3** | |
| **Actinofaringe** | | **Espirocistos** | | **Basitricos** | | **micro-p-masti** | |
| | | **L(µm)** | **A(µm)** | **L(µm)** | **A(µm)** | **L(µm)** | **A(µm)** |
| 1 | N | 30 | | 30 | | 30 | |
| 1 | Media | 26,00 | 3,07 | 25,53 | 3,03 | 26,10 | 3,33 |
| 1 | Rango | 17-30 | 3,0-4,0 | 20-28 | 3,0-4,0 | 24-28 | 3,0-4,0 |
| 1 | Desv. st. | 3,06 | 0,25 | 1,57 | 0,18 | 1,18 | 0,48 |
| 1 | Frec. Apar. | **2** | | **3** | | **1** | |
| 4 | N | 30 | | 30 | | 30 | |
| 4 | Media | 26,27 | 3,23 | 27,17 | 3,27 | 24,33 | 5,60 |
| 4 | Rango | 20-35 | 3,0-4,0 | 15-33 | 3,0-4,0 | 22-27 | 5,0-7,0 |
| 4 | Desv. st. | 4,07 | 0,43 | 4,37 | 0,45 | 1,32 | 0,62 |
| 4 | Frec. Apar. | **3** | | **1** | | **1** | |
| **Filamento** | | **Espirocistos** | | **Basitricos** | | **micro-p-masti** | |
| **mesenterial** | | **L(µm)** | **A(µm)** | **L(µm)** | **A(µm)** | **L(µm)** | **A(µm)** |
| 1 | N | 30 | | 30 | | 30 | |
| 1 | Media | 27,10 | 3,30 | 24,40 | 3,30 | 26,57 | 5,63 |
| 1 | Rango | 20-32 | 3,0-4,0 | 15-35 | 3,0-4,0 | 24-30 | 5,0-7,0 |
| 1 | Desv. st | 3,44 | 0,47 | 4,58 | 0,47 | 2,13 | 0,67 |
| 1 | Frec. Apar. | **3** | | **2** | | **1** | |
| 4 | N | 30 | | 30 | | 30 | |
| 4 | Media | 25,40 | 3,20 | 23,07 | 3,07 | 27,67 | 6,40 |
| 4 | Rango | 19-31 | 3,0-4,0 | 16-32 | 3,0-4,0 | 23-31 | 5,0-8,0 |
| 4 | Desv. st. | 3,48 | 0,41 | 4,15 | 0,25 | 2,28 | 0,67 |
| 4 | Frec. Apar. | **3** | | **2** | | **1** | |

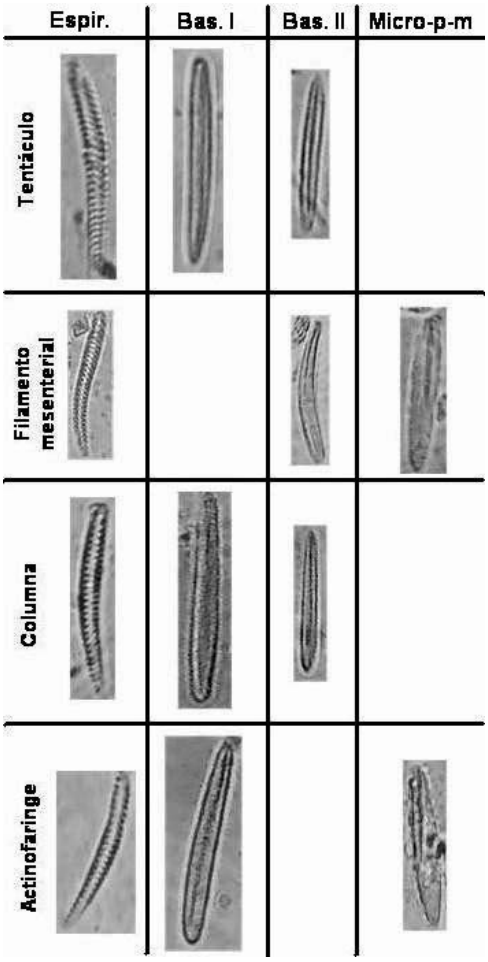



**Figura 4.** Cnidoma de *Antholoba achates*. **Espir**: espirocisto; **Bas.I**: basitrico Tipo I; **Bas. II**: basitrico Tipo II; **Micro-p-m**: microbásico-p-mastigóforo (tipo I y II sólo hace referencia a la diferencia en las tallas, indicadas en la Tabla 3) (x100).

## Familia *ACTIINIDAE*

***Phlyctenanthus australis*** (Carlgren, 1950)
*Phlyctenanthus australis:* Carlgren, 1949, p. 61; 1950, p. 135,136, Figura 3-5, Lámina 1; Zamponi, 1977, p.145, 146, Zamponi y Acuña, 1991a, p. 97-102. Distribución: de 41º S a 46º S y de 58º O a 62º O. Los ejemplares 1, 2, 3 y 5, por proceder de distintos sitios de muestreo, fueron utilizados para la tipificación y medición de los cnidocistos (Tablas 4, 5, 6 y 7 y Figura 5).

**Tabla 4.** Resultados del análisis de los cnidocistos en aplastados de tentáculos para los ejemplares 1, 2, 3 y 5 de *Phlyctenanthus australis*. **Ejem**: ejemplar; **L**: largo; **A**: ancho; **N**: numero de cápsulas sin descargar analizadas, **Desv. st**: desviación estándar, **Frec. Apar**: frecuencia de aparición (1: menos frecuente, 2: frecuente, 3: más frecuente), **X**: no encontrado.

| Ejem | Tentáculos | Espirocistos | | Basitricos I | | Basitricos II | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) |
| 1 | N | 30 | | 30 | | 30 | |
| 1 | Media | 26,90 | 3,60 | 30,63 | 4,20 | 13,90 | 2,53 |
| 1 | Rango | 22-32 | 3,0-5,0 | 27-34 | 4,0-5,0 | 12,0-17 | 2,0-3,0 |
| 1 | Desv. st. | 2,83 | 0,62 | 1,79 | 0,41 | 1,16 | 0,51 |
| 1 | Frec. Apar. | **3** | | **1** | | **2** | |
| 2 | N | 30 | | 30 | | 30 | |
| 2 | Media | 28,07 | 3,27 | 30,03 | 3,37 | 19,57 | 3,00 |
| 2 | Rango | 20-37 | 3,0-4,0 | 27-35 | 3,0-4,0 | 15-22 | 3,00 |
| 2 | Desv. st. | 4,31 | 0,45 | 1,73 | 0,49 | 1,61 | 0,00 |
| 2 | Frec. Apar. | **3** | | **1** | | **2** | |
| 3 | N | 30 | | 10 | | 30 | |
| 3 | Media | 22,23 | 3,03 | 29,60 | 3,70 | 19,17 | 2,90 |
| 3 | Rango | 17-30 | 3,0-4,0 | 28-32 | 3,0-4,0 | 15-25 | 2,0-3,0 |
| 3 | Desv. st. | 3,22 | 0,18 | 1,07 | 0,48 | 3,28 | 0,31 |
| 3 | Frec. Apar. | **3** | | **1** | | **2** | |
| 5 | N | 30 | | X | | 30 | |
| 5 | Media | 26,57 | 3,37 | X | | 26,43 | 3,03 |
| 5 | Rango | 20-36 | 3,0-4,0 | X | | 20-36 | 3,0-4,0 |
| 5 | Desv. st. | 26,57 | 3,37 | X | | 26,43 | 3,03 |
| 5 | Frec. Apar. | **3** | | X | | **2** | |

**Tabla 5.** Resultados del análisis de los cnidocistos en aplastados de columna para los ejemplares 1, 2, 3 y 5 de *Phlyctenanthus australis*. **Ejem**: ejemplar; **L**: largo; **A**: ancho; **N:** número de cápsulas sin descargar analizadas, **Desv. st**: desviación estándar, **Frec. Apar**: frecuencia de aparición (1: menos frecuente, 2: frecuente, p/f: poco frecuente).

| Ejem | Columna | Espirocistos | | Basitricos | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) |
| 1 | N | 30 | | 30 | |
| 1 | Media | 27,27 | 3,17 | 24,63 | 3,20 |
| 1 | Rango | 20-36 | 3,0-4,0 | 16-32 | 3,0-4,0 |
| 1 | Desv. st. | 4,47 | 0,38 | 4,43 | 0,41 |
| 1 | Frec.Apar. | **1** | | **2** | |
| 2 | N | 30 | | 30 | |
| 2 | Media | 29,47 | 3,33 | 19,17 | 2,97 |
| 2 | Rango | 21-37 | 3,0-4,0 | 15-23 | 2,0-3,0 |
| 2 | Desv. st. | 4,68 | 0,48 | 2,21 | 0,18 |
| 2 | Frec.Apar. | **1** | | **2** | |
| 3 | N | 30 | | 30 | |
| 3 | Media | 21,07 | 3,03 | 18,77 | 3,03 |
| 3 | Rango | 15-27 | 3,0-4,0 | 13-27 | 2,0-4,0 |
| 3 | Desv. st. | 2,29 | 0,18 | 3,27 | 0,41 |
| 3 | Frec.Apar. | **1** | | **2** | |
| 5 | N | 30 | | 10 | |
| 5 | Media | 24,90 | 3,30 | 19,70 | 3,00 |
| 5 | Rango | 20-31 | 3,0-5,0 | 16-23 | 2,5-3,5 |
| 5 | Desv. st. | 3,60 | 0,67 | 1,84 | 0,19 |
| 5 | Frec.Apar. | **p/f** | | **2** | |

**Tabla 6.** Resultados del análisis de los cnidocistos en preparaciones de actinofaringe para los ejemplares 1, 2, 3 y 5 de *Phlyctenanthus australis*. **Ejem**: ejemplar; **Actinof**: actinofaringe; **L**: largo; **A**: ancho; **N**: numero de cápsulas sin descargar analizadas, **Desv. st**: desviación estándar, **Frec. Apar**: frecuencia de aparición (1: menos frecuente, 2: frecuente, 3: más frecuente). **micro-p-masti**: microbásico-p-mastigóforo.

| Ejem | Actinof | Espirocistos | | Basitricos | | microb-p-masti | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) |
| 1 | N | 30 | | 30 | | 30 | |
| 1 | Media | 26,77 | 26,80 | 26,27 | 26,27 | 26,27 | 5,77 |
| 1 | Rango | 19-35 | 20-32 | 24-31 | 24-31 | 24-31 | 5,0-7,0 |
| 1 | Desv. st. | 4,44 | 3,12 | 1,98 | 1,98 | 1,98 | 0,57 |
| 1 | Frec. Apar. | **1** | | **3** | | **2** | |
| 2 | N | 30 | | 30 | | 30 | |
| 2 | Media | 29,47 | 30,23 | 27,47 | 27,47 | 27,47 | 4,93 |
| 2 | Rango | 23-35 | 25-34 | 25-32 | 25-32 | 25-32 | 3,0-7,0 |
| 2 | Desv. st. | 3,09 | 2,45 | 1,87 | 1,87 | 1,87 | 0,98 |
| 2 | Frec. Apar. | **1** | | **3** | | **2** | |
| 3 | N | 30 | | 30 | | 30 | |
| 3 | Media | 26,70 | 26,27 | 27,50 | 27,50 | 27,50 | 6,23 |
| 3 | Rango | 18-35 | 10,0-34 | 24-35 | 24-35 | 24-35 | 5,0-7,0 |
| 3 | Desv. st. | 4,96 | 6,53 | 2,66 | 2,66 | 2,66 | 0,63 |
| 3 | Frec. Apar. | **3** | | **2** | | | |
| 5 | N | 30 | | 30 | | 30 | |
| 5 | Media | 25,50 | 26,33 | 27,07 | 27,07 | 27,07 | 4,63 |
| 5 | Rango | 20-31 | 18-36 | 24-32 | 24-32 | 24-32 | 4,0-6,0 |
| 5 | Desv. st. | 2,46 | 5,18 | 2,67 | 2,67 | 2,67 | 0,43 |
| 5 | Frec. Apar. | **1** | | **3** | | **2** | |

**Tabla 7.** Resultados del análisis de los cnidocistos en preparaciones de filamento mesenterial para los ejemplares 1, 2, 3 y 5 de *Phlyctenanthus australis*. **Ejem**: ejemplar; **F. M.**: Filamento mesenterial, **L**: largo; **A**: ancho; **N**: número de cápsulas sin descargar analizadas, **Desv. st**: desviación estándar, **Frec. Apar**: frecuencia de aparición (2: frecuente, 3: más frecuente, p/f: poco frecuente). **micro-p-masti**: microbásico-p-mastigóforo.

| Ejem | F. M. | Espirocistos | | Basitricos | | micro-p-masti | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) |
| 1 | N | 30 | | 30 | | 30 | |
| 1 | Media | 27,13 | 26,03 | 25,93 | 25,93 | 25,93 | 5,70 |
| 1 | Rango | 19-35 | 20-32 | 24-31 | 24-31 | 24-31 | 5,0-7,0 |
| 1 | Desv. st. | 3,81 | 4,54 | 1,76 | 1,76 | 1,76 | 0,53 |
| 1 | Frec. Apar. | **3** | | **p/f** | | **2** | |
| 2 | N | 30 | | 14 | | 30 | |
| 2 | Media | 27,67 | 20,50 | 29,10 | 29,10 | 29,10 | 5,63 |
| 2 | Rango | 20-37 | 15-31 | 25-35 | 25-35 | 25-35 | 5,0-8,0 |
| 2 | Desv. st. | 4,35 | 4,86 | 2,22 | 2,22 | 2,22 | 0,72 |
| 2 | Frec. Apar. | **2** | | **p/f** | | **3** | |
| 3 | N | 30 | | 21 | | 30 | |
| 3 | Media | 27,33 | 21,52 | 27,80 | 27,80 | 27,80 | 5,93 |
| 3 | Rango | 18-37 | 15-31 | 24-34 | 24-34 | 24-34 | 5,0-7,0 |
| 3 | Desv. st. | 4,51 | 4,75 | 2,75 | 2,75 | 2,75 | 0,64 |
| 3 | Frec. Apar. | **2** | | **p/f** | | **3** | |
| 5 | N | 30 | | 30 | | 30 | |
| 5 | Media | 26,83 | 22,27 | 28,70 | 28,70 | 28,70 | 5,27 |
| 5 | Rango | 20-33 | 17-40 | 24-34 | 24-34 | 24-34 | 4,0-6,0 |
| 5 | Desv. st. | 3,34 | 5,21 | 2,31 | 2,31 | 2,31 | 0,74 |
| 5 | Frec. Apar. | **2** | | **p/f** | | **3** | |

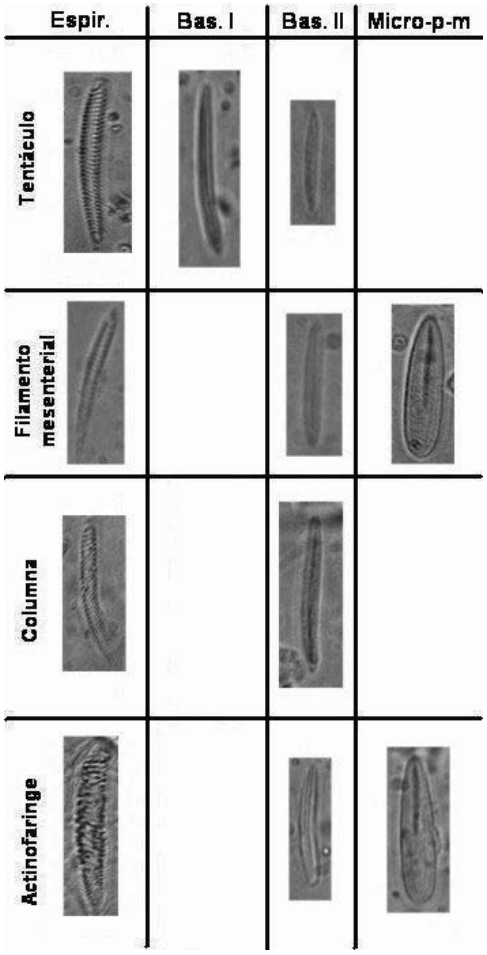



**Figura 5.** Cnidoma de *Phlyctenanthus australis*. **Espir**: espirocisto; **Bas. I**: basitrico Tipo I; **Bas. II**: basitrico Tipo II; **Micro-p-m**: microbásico-p-mastigóforo (tipo I y II solo hace referencia a la diferencia en las tallas, indicadas en las tablas 4, 5, 6 y 7) (x100).

## Familia *HORMATHIIDAE*

***Monactis vestita*** (Gravier, 1918)
*Paractis vestita:* Gravier, 1918, p. 2,5; *Monactis vestita* Riemann-Zürneck, 1986b, p. 8, 9, 10, 11, Lámina I, figuras 1, 2, 3, 4, Lámina II, figuras 1, 2; Zamponi y Acuña, 1991a, p. 97-102, 1992b, p. 151,152. Distribución: de 37º S a 43º S y de 55º O a 59º O. En la Tabla 8 y Figura 6 se muestran los datos obtenidos del análisis de los cnidocistos.

**Tabla 8.** Resultados del análisis de los cnidocistos del único ejemplar de *Monactis vestita*. **L**: largo; **A**: ancho; **N**: numero de cápsulas sin descargar analizadas, **Desv. st**: desviación estándar, **Frec. Apar**: frecuencia de aparición (1: menos frecuente, 2: frecuente, 3: mas frecuente, p/f: poco frecuente), **X**: no encontrado. **micro-p-masti**: microbásico-p-mastigóforo.

| Ejemplar | | Espirocistos | | Basitrichos | | micro-p-masti I | | micro-p-masti II | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tentáculos | | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) |
| 1 | N | 30 | | 30 | | 30 | | X | |
| 1 | Media | 29,07 | 3,43 | 22,23 | 2,98 | 31,77 | 4,23 | X | |
| 1 | Rango | 20-35 | 3,0-4,0 | 16-35 | 2,5-3,0 | 26-37 | 3,0-5,0 | X | |
| 1 | Desv. st. | 3,83 | 0,50 | 4,91 | 0,09 | 3,30 | 0,63 | X | |
| 1 | Frec. Apar | **3** | | **2** | | **1** | | X | |
| Columna | | Espirocistos | | Basitrichos | | micro-p-masti I | | micro-p-masti II | |
| | | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) |
| 1 | N | 30 | | 30 | | 30 | | X | |
| 1 | Media | 28,60 | 3,50 | 22,37 | 2,98 | 26,90 | 4,13 | X | |
| 1 | Rango | 22-35 | 3,0-5,0 | 16-35 | 2,5-3,0 | 24-36 | 3,0-5,0 | X | |
| 1 | Desv. st. | 4,22 | 0,57 | 4,60 | 0,09 | 2,45 | 0,43 | X | |
| 1 | Frec. Apar | **3** | | **1** | | **2** | | X | |
| Actinofaringe | | Espirocistos | | Basitrichos | | micro-p-masti I | | micro-p-masti II | |
| | | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A (µm) | L(µm) | A(µm) |
| 1 | N | 30 | | 30 | | 30 | | X | |
| 1 | Media | 27,87 | 3,47 | 23,03 | 3,02 | 33,67 | 4,43 | X | |
| 1 | Rango | 20-36 | 3,0-5,0 | 16-35 | 2,5-3,5 | 26-36 | 4,0-5,0 | X | |
| 1 | Desv. st. | 4,27 | 0,57 | 4,42 | 0,16 | 2,55 | 0,50 | X | |
| 1 | Frec. Apar | **3** | | **1** | | **2** | | X | |
| Filamento | | Espirocistos | | Basitrichos | | micro-p-masti I | | micro-p-masti II | |
| mesenterial | | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) |
| 1 | N | 30 | | 30 | | 10 | | 30 | |
| 1 | Media | 26,76 | 3,05 | 24,20 | 3,00 | 33,00 | 5,30 | 72,97 | 6,37 |
| 1 | Rango | 18-37 | 2,5-4,0 | 22-32 | 3,00 | 26-36 | 5,0-6,0 | 65-82 | 5,0-7,0 |
| 1 | Desv. st. | 5,10 | 0,28 | 3,10 | 0,00 | 2,83 | 0,48 | 3,42 | 0,56 |
| 1 | Frec. Apar | **2** | | **1** | | **p/f** | | **3** | |
| Acontia | | Espirocistos | | Basitrichos | | micro-p-masti I | | micro-p-masti II | |
| | | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) |
| 1 | N | 10 | | 30 | | X | | 30 | |
| 1 | Media | 29,60 | 3,20 | 42,63 | 3,00 | X | | 70,87 | 5,88 |
| 1 | Rango | 22-37 | 3,0-4,0 | 38-52 | 3,00 | X | | 52-76 | 5,0-7,0 |
| 1 | Desv. st. | 4,03 | 0,42 | 3,93 | 0,00 | X | | 4,43 | 0,41 |
| 1 | Frec. Apar | **p/f** | | **3** | | X | | **3** | |

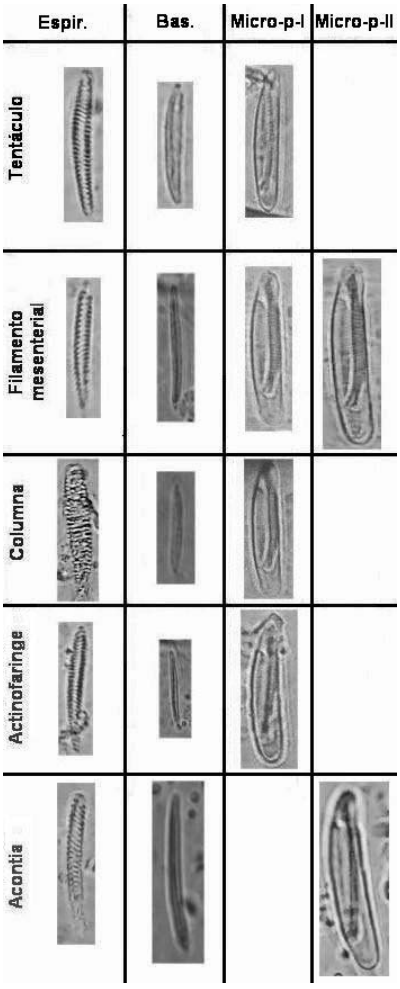



**Figura 6.** Cnidoma de *Monactis vestita*. **Espir**: espirocisto; **Bas:** basitrico; **Micro-p-I**: microbásico-p-mastigóforo Tipo I; **Micro-p-II**: microbásico-p-mastigóforo Tipo II (tipo I y II sólo hace referencia a la diferencia en las tallas, indicadas en la Tabla 8) (x100).

***Hormathia pectinata*** (Hertwig, 1882)
*Hormathia pectinata:* Riemann-Zürneck, 1973, pp. 278-284, *Phellia pectinata* Hertwig, 1882, p. 81, Lamina 5, Figura 7, Lámina 6, Figura 5, Lámina 8, Figura 1,2; Riemann-Zürneck, 1986a, p. 111,113; Zamponi y Acuña, 1991a, p. 97-102. Distribución: de 31º S a 55º S y de 54º O a 75º O.
Ambos ejemplares analizados corresponden a juveniles de la especie. El ejemplar 1, por ser el de mayor talla, fue utilizado para realizar la tipificación y medición de los cnidocistos (Tabla 9 y Figura 7).

**Tabla 9.** Resultados del análisis de los cnidocistos del único ejemplar de *Hormathia pectinata*. **L**: largo; **A**: ancho; **N**: numero de cápsulas sin descargar analizadas, **Desv. st**: desviación estándar, **Frec.Apar**: frecuencia de aparición (1: menos frecuente, 2: frecuente, 3: más frecuente, p/f: poco frecuente), **X**: no encontrado. **micro-p-masti**: microbásico-p-mastigóforo, **iso. haploneme**: isorriza haploneme.

| Ejemplar | Espirocistos | | Basitrichos | | micro-p-masti I | | micro-p-masti II | | iso. haploneme | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tentáculos | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) |
| 1 N | 30 | | 30 | | 14 | | 4 | | **22** | |
| 1 Media | 28,17 | 3,03 | 37,03 | 4,17 | 34,36 | 4,93 | 52,75 | 4,75 | 52,76 | 11,43 |
| 1 Rango | 22-38 | 3,0-4,0 | 32-47 | 4,0-5,0 | 29-40 | 4,0-6,0 | 46-60 | 4,0-5,0 | 45-73 | 13,0-15,0 |
| 1 Desv. st. | 3,57 | 0,18 | 3,77 | 0,38 | 3,37 | 0,47 | 5,85 | 0,50 | 9,19 | 1,60 |
| 1 Frec.Apar. | **3** | | **1** | | **2** | | **raros** | | **p/f** | |

| Columna | Espirocistos | | Basitrichos | | micro-p-masti I | | micro-p-masti II | | iso. haploneme | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) |
| 1 N | 30 | | 30 | | X | | 30 | | 14 | |
| 1 Media | 24,50 | 3,07 | 28,23 | 3,00 | X | | 42,70 | 4,85 | 54,79 | 12,43 |
| 1 Rango | 20-32 | 3,0-4,0 | 15-36 | 3 | X | | 35-56 | 3,5-6,0 | 45-75 | 11,0-15,0 |
| 1 Desv. st. | 2,87 | 0,25 | 4,51 | 0,00 | X | | 5,29 | 0,60 | 9,79 | 1,60 |
| 1 Frec.Apar. | **3** | | **1** | | X | | **2** | | **p/f** | |

| Actinofaringe | Espirocistos | | Basitrichos | | micro-p-masti I | | micro-p-masti II | | iso. haploneme | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) |
| 1 N | X | | X | | X | | 30 | | 30 | |
| 1 Media | X | | X | | X | | 35,73 | 4,33 | 41,67 | 11,73 |
| 1 Rango | X | | X | | X | | 30-54 | 4,0-6,0 | 34-55 | 11,0-13 |
| 1 Desv. st. | X | | X | | X | | 5,72 | 0,55 | 5,11 | 0,74 |
| 1 Frec.Apar. | X | | X | | X | | **2** | | **3** | |

| Filamento | Espirocistos | | Basitrichos | | micro-p-masti I | | micro-p-masti II | | iso. haploneme | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mesenterial | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) |
| 1 N | X | | X | | 30 | | X | | 30 | |
| 1 Media | X | | X | | 31,57 | 6,27 | X | | 70,83 | 25,60 |
| 1 Rango | X | | X | | 26-42 | 5,0-8,0 | X | | 50-83 | 14-31 |
| 1 Desv. st. | X | | X | | 4,52 | 0,87 | X | | 9,28 | 4,46 |
| 1 Frec.Apar. | X | | X | | **2** | | X | | **3** | |

| Acontia | Espirocistos | | Basitrichos | | micro-p-masti I | | micro-p-masti II | | iso. haploneme | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) | L(µm) | A(µm) |
| 1 N | X | | 12 | | 30 | | X | | 30 | |
| 1 Media | X | | 25,67 | 3,00 | 32,57 | 7,52 | X | | 72,37 | 26,54 |
| 1 Rango | X | | 18-28 | 3 | 28-46 | 5,0-9,0 | X | | 48-86 | 18-32 |
| 1 Desv. st. | X | | 4,79 | 0,00 | 5,11 | 0,99 | X | | 9,56 | 3,22 |
| 1 Frec.Apar. | X | | **p/f** | | **2** | | X | | **3** | |

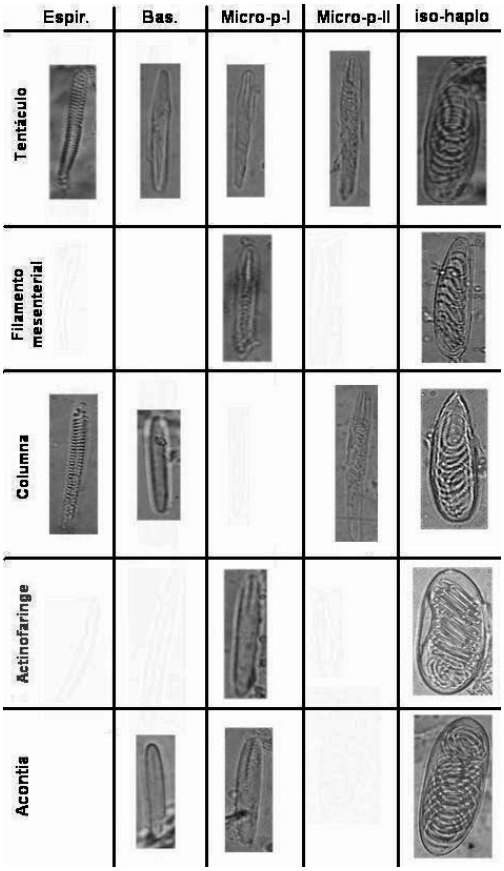



**Figura 7.** Cnidoma de *Hormathia pectinata*. **Espir**: espirocisto; **Bas:** basitrico; **Micro-p-I**: microbásico-p-mastigóforo Tipo I; **Micro-p-II**: microbásico-p-mastigóforo Tipo II (tipo I y II solo hace referencia a la diferencia en las tallas, indicadas en la Tabla 9); **iso-haplo**: isorriza haploneme. (x100).

## Familia *SAGARTIIDAE*

***Carcinactis dolosa*** (Riemann-Zürneck, 1975)

*Carcinactis dolosa:* Riemann-Zürneck, 1975, p. 80,86, 1986a, p. 107,108; Zamponi y Acuña, 1991a, p. 97-102. Distribución: de 36º S a 52º S y de 53º O a 67º O.

Para esta especie fue imposible realizar el análisis de cnidocistos ya que el ejemplar se encontraba en mal estado de conservación que provocó una resecación extrema de los tejidos; no obstante es posible que las tallas de los mismos guarden una relación similar a la hallada por Riemann-Zürneck (1975).

## Discusión

Si bien este análisis constituye el primer estudio específico sobre los actiniarios de la plataforma continental uruguaya, los resultados taxonómicos no son novedosos ya que indican especies que han sido registradas y son comunes a las aguas territoriales argentinas. Considerando a la región Subantártica y sus dos provincias (Argentina o Bonaerense y Patagónica o Magallánica) (Boschi, 1976), las especies halladas caen en la primera provincia, la cual se extiende hasta el sur de Brasil, incluyendo la costa uruguaya.

En este sentido, el estuario del río de La Plata pareciera no actuar como una barrera geográfica impidiendo la distribución de estas especies para ambas costas. Si se analiza en detalle la figura 2, queda claramente expuesto que las cinco especies encontradas se distribuyen por fuera del sector externo del estuario, pero quedan incluidas en el frente marítimo. Si bien hay registros previos de cnidarios que han sobrepasado dicha barrera (*Trinidactis errans* Pirez, 1988, *Antothoe chilensis* Lesson, 1830 y *Renilla mulleri*) (Zamponi, 2000) el hallazgo de las especies aquí mencionadas constituye un nuevo registro de actiniarios que se suma a los datos anteriores.

Las especies *C. dolosa* y *A. achates* han sido registradas previamente por Riemann-Zürneck (1986a) en las regiones que ella denomina subprovincia Saõ Paulo y Tropical Archibental de Aguas Cálidas, respectivamente. Si bien dichas regiones biogeográficas no son aceptadas por algunos especialistas, como Schlenz y Zamponi (comunicación personal), estos registros deben ser mencionados ya que componen parte de la bibliografía existente sobre el tema. La existencia de provincias biogeográficas en la región Subantártica están debidamente delimitadas en los estudios de Boschi (1976) y Zamponi et al. (1997). En éste ultimo trabajo los autores realizan un profundo análisis sobre la actinofauna de las costas argentinas y brasileras, estableciendo diferencias entre el estuario del río de La Plata y la zona estuarial del río Amazonas en el cuál éste ultimo no influye en las distribuciones de la fauna de Brasil y las especies de origen antillano que suelen localizarse en las proximidades del Amazonas y más al sur de éste.

En cuanto a la composición del cnidae hallado para cada especie, puede observarse la existencia de pequeñas variaciones en cuanto a la talla se refiere. Estas variaciones son registradas principalmente para la longitud de las cápsulas en todos los tipos de cnidocistos que se hallaron presentes. Si bien el ancho también registró diferencias, estas fueron mucho menores (ver Tablas 3-9). Si se relaciona esta variación merística con la batimetría del área de muestreo, se puede observar que esta región corresponde a la de aguas someras, de 20 a 50 m de profundidad y que la diferencia entre la batimetría de los ejemplares no sobrepasa, para el caso más extremo, los 20 m entre ambos (ver

Figura 2), lo cual guarda cierta coherencia con la poca o casi nula variación observada en el cnidae.

Para el caso particular de *H. pectinata*, fue hallado el nematocisto isorriza haploneme, identificado en base a Schmidt (1972). Como lo indica la Tabla 9 y la Figura 7, dicho tipo fue hallado en los cinco tejidos analizados. Este curioso hallazgo no es compartido con lo que se conoce de la especie para esta región y sus localidades vecinas (Riemann-Zürneck, 1973, 1986a, Zamponi y Acuña, 1991a). Incluso son los más abundantes en relación al resto de los tipos en actinofaringe, filamento mesenterial y acontia. Dada la naturaleza del material de análisis, por el momento este hallazgo no puede ser explicado por los autores.

Es evidente que las especies corresponden a poblaciones alopátricas, lo cuál provoca que las afirmaciones anteriores no sean concluyentes. Si se contara con un muestreo más amplio, es probable que los resultados obtenidos difieran de los aquí mencionados. Incluso podrían encontrarse variaciones clinales, como las observadas por Zamponi y Acuña (1991b) asociadas a la latitud y profundidad. No obstante, también debe tenerse en cuenta que los resultados obtenidos por los autores previamente mencionados, se corresponden con una plataforma marítima mucho mas extensa que la aquí estudiada. Como última observación también debe tenerse presente que la variación clinal no es condición "*sine quanon*" de todas las especies.

Cabe destacar que las investigaciones sobre la fauna bentónica en ambientes sometidos a arrastres pesqueros ha favorecido el inicio de nuevas líneas de trabajo dedicadas a monitoreos ambientales, a partir de la estructura de las asociaciones conformadas por las especies capturadas incidentalmente (Bastida et al. 2007). Para poder estimar los efectos bio-ecológicos que la pesquería provoca sobre los sistemas bentónicos, el monitoreo de los fondos de pesca se realiza a través del análisis permanente de la comunidad bentónica en riesgo, a partir de la confección de inventarios faunísticos (Bastida et al. 2007). Estos análisis incluyen mapeos sistemáticos de distribución geográfica espacial de las comunidades biológicas y el análisis de parámetros estructurales como son la abundancia, riqueza específica, diversidad, dominancia e importancia relativas y densidad de las especies que han sido capturadas de manera incidental (Bastida et al. 2007).

Si bien el estudio aquí presentado no cuenta con los datos mencionados en párrafos anteriores, algunos trabajos previos indagan sobre estos aspectos. El análisis realizado en Riestra et al. (2006) muestra que al phylum Cnidaria le corresponde un 7% en la composición de la fauna bentónica acompañante en la pesquería del "caracol fino" *Z. dufresnei*. El grupo de los actiniarios (aunque muchas especies no fueron determinadas) ocuparon la categoría "Abundante", con una dominancia cualitativa del 71% por debajo de otros phyla,

como el de los moluscos y artrópodos. El grupo de los alcionarios y balánidos (indeterminados también) en conjunto con *Astrangia rathbuni*, *Corystoides chilensis* Lucas, 1844, *Leucippa pentagona* Milne-Edwards, 1833, *Pinnotheres* sp., *Portunus spinicarpus* Stimpson, 1871 comparten la categoría "Ocasional" con valores de 1.1%, para los alcionarios y de 0.6% para los balánidos y el resto de las especies mencionadas. También se registra que, en las tres campañas de muestreo y análisis, el grupo de los actiniarios fue una de las siete especies más frecuentes hallada en conjunto con otras seis especies, principalmente de moluscos.

Esto demuestra que los actiniarios ocupan una porción relevante dentro de las comunidades bentónicas de la plataforma continental uruguaya, por lo cuál su identificación y correcto análisis a partir de su captura incidental, es aquí recomendada.

**Agradecimientos**

Los autores agradecen a Ana Inés Deserti por la toma de fotos que se muestran en la Figura 3 y a la Lic. Carmen Mesones por el diseño del mapa de distribución espacial de las especies.

## Bibliografía

Alonso C (1979) Estudio morfológico y biométrico de las espículas de *Renilla mulleri* Kölliker, 1872 (Anthozoa, Pennatulacea). Rev. Brasil. Biol., 39: 827-834.

Bastida R, Zamponi MO, Bremec C, Roux A, Genzano G, Elías R (2007) Las comunidades bentónicas.. En: El mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 5. Carreto, J. I. y C. Bremec (eds.). Boschi, E. E. (Ed. general). Publicaciones Especiales INIDEP. pp 91-125.

Boschi EE (1976) Nuevos aportes al conocimiento de la distribución geográfica de los crustáceos decápodos del Mar Argentino. Phisys, Sec. A, 35: 59-68.

Carlgren O (1949) A survey of the Ptychodactiaria, Corallimorpharia and Actiniaria. Kungliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar, serie 4, 1(1): 1–121.

Carlgren O (1950) Corallimorpharia, Actiniaria and Zoantharia from New South Wales and South Queensland. Arkiv für Zoologi, 1: 131–146.

Demicheli M (1984) Estudios exploratorios del infralitoral de las playas arenosas uruguayas: I. Playa Portezuelo. Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay, 6: 235-249.

Demicheli M (1985) Estudios exploratorios del infralitoral de las playas arenosas uruguayas: III. Playa Anaconda. Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay, 6: 301-315.

Demicheli M (1986) Estudios exploratorios del infralitoral de las playas arenosas uruguayas: II. Datos complementarios sobre Playa Portezuelo. Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay, 6: 287-291.

England KW (1991) Nematocysts of sea anemones (Actiniaria, Ceriantharia and Corallimorpharia: Cnidaria): nomenclature. Hydrobiol., 216/217: 691-697.

Fabiano G, Riestra G, Santana O, Delfino E, Foti R (2000) Consideraciones sobre la pesquería del caracol fino *Zidona dufresnei* (Mollusca, Gastropoda) en el Uruguay: Período 1996-1998. En Recursos Pesqueros No Tradicionales: Moluscos Bentónicos Marinos. (Ed) M. Rey. Proyecto INAPE-PNUD: 114-142.

Gravier C (1918) Note préliminaire sur les Hexactiniaires recueillis au cours des croisières de la Princesse-Alice et de l´Hirondelle de 1888 à 1913 inclusivement. Bull. Inst. Océanogr., 346: 1-24.

Hand C (1954) The Sea Anemones of Central California. Part I. The Corallimorpharian and Athenarian Anemones. Wass. J. Biol., 12: 345-375.

Riemann-Zürneck K (1973) Actiniaria des Südwestatlantik. Helgol. Meeres., 25: 273-325.

Riemann-Zürneck K (1975) Actiniaria des Südwestatlantik. II. Sagartiidae und Metridiidae. Helgo. Merres., 27: 70-95.

Riemann-Zürneck K (1986a) Zur Biogeographie des Südwestatlantik mit besonderer Berücksichtigung der Seeanemonen (Coelenterata: Actiniaria). Helgo. Meeres., 40: 91-149.

Riemann-Zürneck K (1986b) On some abyssal sea anemones of the North Atlantic (Actiniaria: Hormathiidae). Mitt. Hamb. Zool. Mus. Ins., 83: 7-29.

Riestra G (2000) Análisis de la fauna acompañante asociada a la pesquería de *Zygochlamys patagonica* en aguas uruguayas. En: Recursos Pesqueros No Tradicionales: Moluscos Bentónicos Marinos. (Ed) M. Rey. Proyecto INAPE-PNUD URU/92/003. ISBN 9974-563-13-5, 153-157.

Riestra G, Barea L (2000) La pesca exploratoria de la vieira *Zygochlamys patagonica* en aguas uruguayas. En: Recursos Pesqueros No Tradicionales: Moluscos Bentónicos Marinos. (Ed) M. Rey. Proyecto INAPE-PNUD URU/92/003. ISBN 9974-563-13-5. 145-152.

Riestra G, Defeo O (2000) La comunidad macrobentónica asociada al mejillón *Mytilus edulis platenses* en costas del departamento de Maldonado: variación espacio-temporal e incidencia del impacto pesquero. En: Recursos pesqueros no Tradicionales: Moluscos Bentónicos Marinos. (Ed) M. Rey. Proyecto INAPE-PNUD URU/92/003. ISBN 9974-563-13-5, 17-57.

Riestra G, Lozoya JP, Fabiano G, Santana O, Carrizo D (2006) Benthic macroinvertebrate bycatch in the snail *Zidona dufresnei* (Donovan) fishery from the Uruguayan continental shelf. Pan-American J. Aquiatic Sci., 1: 104-113.

Schmidt H (1972) Podromus zu einer Monographie der mediterranen Aktinien. Zoologica, Stuggart, 42: 1-146.

Zamponi MO, Acuña FH (1991a) Zoogeografía y algunos aspectos ecológicos de la fauna de anémonas de la provincia Magallánica. Neotrópica, 37: 95-105.

Zamponi MO, Acuña FH (1991b) La variabilidad de los cnidocistos y su importancia en la determinación de clines. Physis, Secc. A, 49: 7-18.

Zamponi MO, Acuña FH (1992a) Algunos Hexacorallia (Cnidaria) del intermareal de Puerto Madryn y la enmienda del género *Parabunodactis* Carlgren, 1928. Neotrópica, 38: 41-51.

Zamponi MO, Acuña FH (1992b) Sobre las características gonadales de *Monactis vestita* (Gravier, 1918), *sensu* Riemann-Zürneck, 1986 (Actiniaria, Hormathiidae). Iheringia, Sér. Zool., 72: 151-152.

Zamponi MO, Excoffon AC (1995) La anemonofauna de Bahía Concepción (Chile). I. Algunos aportes a la distribución y biología de los géneros *Phlytanctis* Stuckey, 1909 (Actiniaria: Actiniidae) y *Antholoba* Hertwig, 1882 (Actiniaria: Actinostolidae). Phisys, Secc. A, 50: 1-6.

Zamponi MO, Belém MJC, Schlenz E, Acuña FH (1997) Distribution and some ecological aspects of Corallimorpharia and Actiniaria from shallow waters of the South American Atlantic coasts. Physis, Secc. A, 55: 31-45.

Zamponi MO (2000) El estuario del río de La Plata: una barrera geográfica para los cnidarios bentónicos marinos? Biociências, 8: 127-136.

Revista Real Academia Galega de Ciencias. Vol. XXXI. Págs. 213-240 (2012)

# Antonio Casares científico de honra[1]

Manuel R. Bermejo

*Universidade de Santiago de Compostela*
*Correspondencia: manuel.bermejo@usc.es*

## Introducción

Nun País con maiúsculas a cidadanía coñece aos seus próceres e a todos cantos destacan nos diversos eidos do coñecemento; mais Galicia non é un País de seu e, témome que nunha enquisa D. Antonio Casares non sería recoñecido nin polo 10% dos enquisados. Mesmo entre os científicos galegos é probable que exista só unha minoría que o recoñeza coma un dos científicos máis excelsos que dou a nosa colectividade.

Un País de seu debe lembrar e resaltar ás súas personalidades máis relevantes tamén, porén, aos científicos, para que poidan servir de facho e referente ás xeracións futuras. O coñecemento da súa obra e do seu comportamento cívico deben servir como exemplo para todos cantos se están formando, de modo que cheguen a servir mellor ao País.

No noso País, como en todos polo xeral, coñécese aos políticos, aos literatos, aos músicos, aos pintores, aos deportistas, ...; pero non aos científicos. Por elo é moi de agradecer que institucións como a Academia Galega das Ciencias, aproveitando o bicentenario do nacemento de D. Antonio Casares dediquen, o V día do Científico Galego, a lembrar a figura de tan excelso científico e aproveiten todo o ano para consideralo como o Ano Casares: Pai da Química Galega.

Antonio Casares debería ser coñecido de todos: é o introdutor da experimentalidade no ensino; un dos máis sobranceiros reitores da Universidade de Santiago de Compostela; o iniciador de moitas das especialidades científicas -toxicoloxía, nutrición, anestesia, meteoroloxía, cristaloquímica, análise de

[1] Conferencia pronunciada polo autor o 24 de Abril de 2012 na Real Academia Galega de Ciencias no acto oficial do Día do Científico Galego.

augas e viños, espectroscopia,...- na Universidade española; poderiamos admitilo como o iniciador do I+D+i; o creador, actor e dinamizador do que chegaría a ser o Museo Luís Iglesias da USC; o divulgador e dinamizador da Ciencia en Galicia dende 1840 ata 1888; e, finalmente, como un dos mellores científicos españois do século XIX.

Neste artigo intentarei ***amosar***, dun modo sinxelo e directo, a transcendencia da figura de Antonio Casares por medio das súas contribucións científicas e pedagóxicas, para animar, a cantos lectores non coñecen a súa obra, para que aprendan a descubrila e, logo, poidan afondar no seu estudio. Presentaremos a figura de Casares dende unha tripla vertente:

1) A súa actividade académico-social: que abrangue a súa tarefa como xestor universitario; pero tamén a súa participación na Real Sociedade Económica de Amigos do País de Santiago (RSEAPS); ou na Xunta Revolucionaria de 1868 ou, tamén, a súa participación activa na cuestión Orovio.

2) A súa inmensa contribución ao mundo da investigación da súa época: non só na súa vertente de introdutor da experimentalide no ensino; senón, tamén, como o introdutor de moitas técnicas novas de investigación para a iniciación de modernas liñas de investigación, ou a incorporación do I+D+i á práctica científica da época.

3) A súa faceta como educador: dende a posición de bo mestre ata a tarefa de divulgador social do coñecemento científico pasando pola publicación de libros de texto de utilidade en todo o ámbito universitario de España

## Actividade Académico-Social

Abondaría con dicir que, Casares, foi o Reitor que máis tempo dirixiu a universidade de Santiago de Compostela para comprender unha parte da súa transcendencia; pero D. Antonio Casares é moito máis. Vexamos algo da súa actividade académico - social.

### *Actividade Académica*

Antonio Casares naceu nun lugar próximo a Monforte de Lemos, chamado A Régoa, o día 28 de abril do ano 1812. O seu pai era o boticario dos xesuítas

que habitaban no Colexio do Cardeal. Esta circunstancia vai marcar o destino do neno Casares.

Cando os Xesuítas se decatan da valía do novo estudante, deciden encargarse da súa educación; nunha primeira instancia no seu colexio de Monforte e, logo, lévano a Valladolid -no ano 1827- onde rematará os estudos de bacharel de filosofía. Rematados estes estudos irá a Madrid onde cursará estudos de farmacia -realizando ata o ano 1832 a licenciatura e o doutorado-; moi probablemente tamén rematou a licenciatura de química, durante a súa estadía en Madrid. O que si é seguro é que, namentres estudaba en Madrid, realizou estudos de mineraloxía na escola de minas que impartía o Dr. Moreno, quen o engaiolou coa súa docencia impactándoo moi favorablemente. En Madrid estará ata comezos do ano 1836 desempeñando o cargo de profesor contratado da facultade de farmacia e traballando na Botica Real.

O 5 de marzo do ano 1836 gaña, por oposición, a cátedra de Química Aplicada ás Artes que convoca a RSEAPS. Nese mesmo ano casa, por vez primeira, en Monforte e seguidamente diríxese a Santiago onde realizará toda a súa vida académico-social.

A súa vida académica é tremendamente ampla subindo todos os chanzos da carreira universitaria, dende profesor ata chegar a ser reitor.

A súa xestión universitaria foi moi completa dende a súa incorporación á Universidade de Santiago de Compostela como catedrático interino de Historia Natural primeiro -posto que compatibiliza co de catedrático de química na RSEAPS- e, logo, como catedrático por oposición de Química Xeral. Foi profesor de todas as facultades nas que se impartía química na nosa Universidade (Ciencias, Farmacia e Medicina) e, de modo esquemático, indiquemos que a súa xestión abrangueu:

a) Na facultade de Filosofía dirixiu a Sección de Ciencias e foi, por encargo reitoral, o coordinador responsable da posta en funcionamento do Instituto de Segunda Ensinanza de Santiago, dependente da universidade (hoxe I.E.S. Xelmírez); tamén foi decano da Facultade de Química nos momentos en que, esta, estivo en funcionamento e ata a súa desaparición.

b) Cando se crea a Facultade de Farmacia, pola lei Moyano de 1857, foi o seu primeiro decano. Actuou como decano comisario durante os primeiros anos da posta en marcha do funcionamento do novo centro.

c) Toda a súa vida impartiu docencia de química no curso de doutoramento da facultade de Medicina; nomeadamente explicou: química e nutrición, toxicoloxía, anestesioloxía, análise clínica, hidroloxía, etc. Igualmente se encargou da docencia de química na facultade de medicina cando non había profesor titular e cando o plan de estudos marcaba a necesidade de facer un curso preparatorio en ciencias.

d) Foi, como xa indicamos, reitor da universidade por máis de 17 anos. Na súa xestión universitaria, que inicia no ano 1843 e rematará coa súa morte no ano 1888 sendo reitor, tivo que traballar pola transformación dunha universidade clerical cara unha universidade laica que tanto o plano de estudios de Pidal como a lei Moyano establecían. Foi un fervente defensor do laicismo da universidade e da eliminación do dogmatismo no estudio coa incorporación da experimentalidade.

e) Participou activamente no desenvolvemento da Real Sociedade Económica de Amigos do País de Santiago (RSEAPS) tanto nas súas facetas de socio numerario, como de presidente ou como editor das revistas da Sociedade. Sempre tivo en mente, e se ocupou, da transformación social do país, incidindo no desenvolvemento agrícola do campo e na mellora da calidade de vida dos cidadáns. Dedicou moitas das súas investigacións á mellora da agricultura utilizando o que hoxe chamariamos a química agrícola.

Dende a RSEAPS participou na caída da monarquía borbónica de Isabel II e formou parte do primeiro comité revolucionario integrado por:

- D. Ildefonso Fernández Ulloa, notario da cidade.
- D. Remigio Ochoa, accionista do Banco de Emisiones de Santiago fundado no 1864.
- D. Patricio Moreno, Presidente do mesmo Banco e posuidor dun terzo das accións.
- D. Francisco García Barros, avogado de prestixio en Santiago.
- D. Maximino Teixeiro, catedrático de medicina, cuñado de Casares e destacado membro da sociedade compostelán da época.
- O propio D. Antonio Casares.

Cómpre sinalar entre os problemas derivados da súa etapa como reitor a súa decisiva participación na expulsión da Universidade dos catedráticos Augusto González Linares e Laureano Calderón Arana, por mor da cuestión Orovio.

D. Manuel Orovio foi ministro de fomento, no bienio 1874-75, e ditou o famoso decreto do 26 de febreiro de 1875 que pasou á historia como a cuestión Orovio ou, tamén, a segunda cuestión universitaria. Este decreto establecía que todos os profesores debían suxeitarse aos textos oficialmente autorizados e someter os programas das súas disciplinas á aprobación do goberno. Elo implicaba a supresión da liberdade de cátedra que se viña seguindo dende 1868. Os membros da Institución Libre de Ensinanza (I.L.E.) opuxéronse con todas as súas forzas, de modo particular en Santiago de Compostela. Calderón Arana e González Linares negáronse a aceptar o decreto, en particular o segundo que impartía historia natural e explicaba as ideas de Darwin sobre a orixe e a evolución das especies. Laureano Calderón -catedrático de química orgánica- solidarizouse co seu compañeiro e amigo e seguiuno, no proceso que se lle abriu, como institucionista (membro do I.L.E.) que era. A ambos se lles abriu un expediente universitario, ao seren acusados por un compañeiro do claustro de incumprir o decreto Orovio, ao se negar a acatar o mandado. Casares presidía o tribunal, na súa condición de reitor, e condenou aos acusados, ao facer uso do seu voto de calidade, logo de se producir un empate na votación.

Cómpre analizar moito máis de vagar esta actuación de Casares para poder emitir un axeitado xuízo sobre o seu proceder; mais os feitos históricos foron así. A súa actuación determinou que, os devanditos profesores, foran expulsados da Universidade e perderan os seus postos de traballo. Nunca máis voltarían á Universidade de Santiago de Compostela.

### *Actividade social*

Dunha maneira sintética glosaremos o que se pode considerar a actividade social de Antonio Casares.

- Casa dúas veces. Coa primeira muller chega a ter oito fillos e, cando morre, casa de novo para chegar a ter outros catro fillos máis. Unha familia tan extensa dará lugar a unha saga familiar que se espalla por toda España.

- No ano 1843 funda a farmacia Casares, sita na praza do Toural de Santiago e que, aínda, funciona hoxe. Dende esa farmacia faría unha enorme obra social que lle valeu o sobrenome de "o santiño". Receitaba e facía preparados farmacéuticos para cantos doentes aparecían pola porta da farmacia e, moitas veces, non cobraba aos doentes que non tiñan medios.

- Como xa comentamos chegou a realizar tres licenciaturas: as de farmacia e químicas e, mesmo, a de medicina que rematou no ano 1872; pouco despois de chegar ao cargo de reitor. Foi reitor dende o 17 de maio do ano 1872 ata o mesmo momento da súa morte, en abril do ano 1888.

- Pertenceu e traballou toda a súa vida na Sociedade Económica de Amigos do País de Santiago (RSEAPS); alí practicou o "sentido social" da ciencia. Non sabemos, aínda, como chegou a adquirir ese sentido social que, para moitos, debe ter a ciencia; pero si estamos en condicións de afirmar que, na RSEAPS, atopou o lugar idóneo para realizar as súas ideas sobre a utilidade da ciencia.

Tamén na Sociedade e dende a RSEAPS, Casares, adquiriu un enorme prestixio social. Dende esta instancia foi recoñecido coma un sabio capaz de ocuparse dos problemas dos máis humildes, dos máis necesitados, traballando nos temas máis variados.

- Adquiriu sona de sabio e de bondadoso. Semella que todas cantas actividades realizou, Casares: na súa vida; na súa botica; na preocupación e no tratamento dos temas agrícolas; nos seus estudos aplicados sobre as augas mineiro-medicinais e sobre os viños; na xeración de luz eléctrica nunha época de tebras; no estudo sobre a utilización da anestesia nas intervencións cirúrxicas; na realización de informes e ditames sobre envelenamentos; na realización do famoso informe sobre a veracidade da aparición dos restos do apóstolo na catedral de Santiago; etc. Todas, todas, ían na dirección de incrementar a súa sona de sabio e de santiño/bondadoso. Mesmo a súa morte contribuíu a engrandecer esta aureola; pois solicitou, á súa familia, ser enterrado na fosa común: como un máis de tantos sen posibles.

- A modo de indicación da fama acadada por Casares, tres breves apuntamentos literarios:

1º Na novela de Dna. Emilia Pardo Bazán -publicada no ano1879- "Pascual López: Autobiografía dun alumno de medicina"; o personaxe do catedrático de medicina -o Dr. Onarro-, semella ser Casares.

2º Na obra de teatro de Cotarelo Valedor –do ano 1923- "La chispa mágica"; o argumento trata da noite en que, Casares, produce a luz eléctrica no claustro da antiga Universidade de Santiago de Compostela.

3º A noveleta "As sombras de Perseo", de Xoán Casas Rigall - publicada no ano 2006- ten como argumento o intento de asasinato do reitor Casares por un grupo político -chamado Perseo- contrario á decisión tomada por Casares na cuestión Orovio.

- Honras na vida e na morte. Por se todo o anterior -recoñecemento social dos máis humildes e da literatura- non abondara, citarei algunhas outras honras sociais na vida e na morte de D. Antonio:

1º Tiña unha ampla relación de amizade con moitas autoridades políticas da época: dende a raíña Isabel II, ata Montero Ríos, pasando por Vázquez Queipo e moitos máis.

2º Recibe moitas medallas e honores en vida: Gran cruz de Isabel la Católica, Encomenda de Carlos III,...etc.

3º Foi académico de moitas e variadas academias, tanto nacionais (Madrid, Barcelona, Mallorca,...etc.), como estranxeiras (Lisboa,...etc).

4º Tivo relacións epistolares con moitos científicos nacionais e estranxeiros.

5º Cando morre toda a prensa se fai eco do acontecemento, expresando o sentir de toda a sociedade. A idea máis xeral expresada é a de que:

**Morreu Casares Acabouse a Química**

## Como nace Casares á experimentalidade?

Esta é unha boa pregunta; mais a resposta non se coñece. A figura de Antonio Casares é tan poliédrica e con tantas lagoas sobre canto sabemos del que temos moitas máis preguntas que respostas. Mais namentres se busca información para poder dar a resposta axeitada a tantas cantas dúbidas temos, como científicos, debémonos plantexar algunhas hipóteses que nos leven cara esas respostas.

A formación de Casares é o sumatorio de: a educación que recibe, no medio en que nace e se cría -o colexio do Cardeal de Monforte de Lemos-; de canto aprende no lugar onde ten que desenvolver a súa actividade -a Universidade de Santiago- e da acción sinérxica do País onde vive e que o impulsa a ser mellor para podelo servir mellor. Mais no momento en que D. Antonio chega á nosa Universidade, esta, viña de vivir momentos convulsos.

Como é o comportamento experimental do ensino das Ciencias na época de Antonio Casares? Cumpriría remontarnos a finais do século XVIII cando se producen, na Universidade de Santiago, encendidos debates entre *Tomistas* (defensores dun ensino clásico, memorístico e aristotélico) e *Novatores* (defensores dun "agiornamento", da busca das verdades científicas e do uso do material científico na realización de experimentos para comprobar as leis e ensanchar o coñecemento). O claustro da Universidade de Santiago está convulso nese momento finisecular. Os Drs. Neira e Rodríguez son partidarios da explicación da física experimental e mesmo da química na facultade de Medicina, abandonando o ensino tomista e aristotélico; para conseguir unha máis completa formación científica dos novos galenos. Queren explicar experimentalmente as novas materias; mais non contan co mínimo material científico imprescindible. O debate vivo, e encendido, realízase contra o ano 1795 e, finalmente, gañan os *novatores.* O claustro vota e aproba unha dotación económica extraordinaria para a merca de material científico para dedicalo ás ensinanzas da física, da historia natural e da química.

O Dr. Xosé Rodríguez "do Bermés" –catedrático de matemáticas sublimes– sae comisionado, a Francia, para realizar a merca de todo ese preciso material experimental, así como unha moi completa colección dos libros de ciencia máis reputados do momento. O matemático do Bermés recalará en París, nunha das súas numerosas saídas ao estranxeiro e, da man dos seus amigos revolucionarios, mercará a máis completa colección de instrumentos, coleccións de animais tipo, produtos químicos, etc.; e ata unha preciosa colección dos 1024 modelos cristalográficos realizada polo seu amigo o abate Haüy. Igualmente, faise cunha completa colección dos libros científicos importantes da época. Toda esta importante colección sae para a Baiona francesa e, dende alí, para Santiago.

Malfadadamente as coleccións experimentais chegarán a Santiago a principios do século XIX e ficarán sen desenvalar ata a chegada de Antonio Casares. A colección de libros estará xa inventariada polo bibliotecario Prof. J. M. Patiño no ano 1816.

A nosa Universidade decidira abrazar o ensino experimental; pero contra 1840 seguía a impartirse un ensino memorístico e de leccións ditadas dende o predicatorio e por mestres que non acreditaban nada na experimentalidade.

A formación de Antonio Casares é xesuítica. Nace na Régoa, preto de Monforte de Lemos. Edúcase no colexio do Cardeal de Monforte e semella lóxico pensar que, o neno Casares, estea todo o día traballando, estudando e pensando como un alumno máis do colexio. Serán os propios xesuítas quen decidan -vendo a un infante tan espelido- levalo a completar os estudios de bacharel, licenciatura e doutorado a Valladolid e, logo, a Madrid. Durante esta etapa de formación, Casares, debeu ir sempre da man dos xesuítas.

Coñecido é que os xesuítas eran o exército de Cristo na loita pola fe e para tentar convencer aos extraviados, -calvinistas e luteranos-, dos seus erros teolóxicos; para que volveran á fe da Santa Nai: a Igrexa católica. Aos xesuítas cumpríalles coñecer moi ben aos seus inimigos para podelos vencer nas batallas da fe. Por todo elo, estudaban o seu comportamento e forma de ser, que non ten nada que ver coa formación e o xeito de vivir dos católicos que residen nos tórridos países do sur de Europa.

Os católicos sálvanse pola fe e polo perdón dos seus pecados no confesionario; os protestantes sálvanse polo traballo e polo perdón comunitario. Os católicos están preocupados polo *porqué* das accións, pola esencia das cousas e pola orixe última dos pensamentos: o seu comportamento é eminentemente teórico. Os protestantes interésanse máis polo *para qué* das súas accións, pola finalidade e o beneficio do seu traballo: o seu comportamento é finalista e decididamente práctico e experimental. O resultado, de modo moi sintético, é que os católicos da Europa do sur eran moito máis teóricos, amantes da "***Universitas***" e dos debates sobre o *porqué*, realizando o seu saber nas súas universidades. Os protestantes do norte, moito máis prácticos, inventan os "***Institutos***" de investigación e realizan a súa formación na dirección de saber *para qué* serve o coñecemento, que podemos facer con el e como podemos aproveitarnos del.

Trátase, en definitiva, do permanente enfrontamento da Teoría *versus* a Praxe. Dicíao ben Menéndez y Pelayo: o coñecemento científico na España do século XIX era teórico, por iso se rexeitaba a praxe no ensino e, a investigación en España, era un páramo. Ninguén, ou moi poucos, nesta época acreditaban na experimentalidade: os xesuítas e Casares, si.

Os xesuítas entenderon axiña a mentalidade práctica dos protestantes e forxaron o seu intelecto na necesidade de comprender e practicar esa formación experimental. Aínda hoxe a formación dos xesuítas vai da man da necesaria formación experimental.

Ensináronlle os xesuítas, ao neno Casares, o feito experimental como constitutivo do coñecemento pleno? Aprendeu Antonio Casares dende os seus primeiros anos que, o experimento, é a verdade da Ciencia? Formouse, na infancia, xogando experimentalmente?... Moitas preguntas e tan só a hipótese de que debeu ser así. Afíxose ao ensino experimental e xa non quixo nin puido aprender a ensinar doutro xeito: realizando os experimentos químicos; traballando e medindo cos instrumentos físicos ou describindo a Historia Natural botando man das coleccións de animais tipo, dos modelos cristalográficos, dos variados minerais, etc.

Na súa etapa de coordinador do Instituto de Segunda Ensinanza de Santiago (hoxe IES Xelmírez I) introduce do mesmo xeito a experimentalidade no ensino secundario e monta os seus Laboratorios, o Gabinete de Historia

Natural e a Biblioteca. A peculiaridade destes laboratorios, no Instituto, é que son complementarios dos existentes na universidade: para rendibilizar os recursos non se duplica, case, o material. A biblioteca do Xelmírez é un paradigma do concepto de experimentalidade de Casares; ao tempo que se utiliza para mercar libros que na universidade, aínda moi clerical, non se podían mercar por se atopar no índice de libros prohibidos.

## As contribucións científicas de Antonio Casares

Indicamos como, Casares, é o introdutor da experimentalidade no ensino por convicción e decisión. Esta convicción lévaa da aula ás súas investigacións e ata aquelas instancias públicas dende as que pode actuar sobre a sociedade: Universidade, RSEAPS, publicacións, congresos,...etc. Tal convición fará que a súa obra científica sexa variada, extensa e aplicada sobre todo no campo agrícola.

Este interese na aplicabilidade da Ciencia en xeral, e da Química en particular, ponse de manifesto dende a súa incorporación á Real Sociedade Económica de Amigos do País de Santiago (RSEAPS). Dende o 5 de marzo de 1836 –conta tan só 24 anos– en que gaña a cátedra de Química Aplicada ás Artes e á Agricultura, ficará ligado á RSEAPS. Tanto como socio como na súa calidade de presidente, sempre asumirá os fins de servizo á sociedade, que se reflectirá tanto nas súas investigacións aplicadas como na divulgación das aplicacións da Ciencia para resolver moitos dos problemas prácticos da sociedade.

Amosarei seguidamente algúns dos moitos campos de investigación nos que foi frutífero o labor de Antonio Casares. Tentarei sinalar como, D. Antonio, se movía na crista da modernidade da época e, tamén, como tivo a enorme intuición de traballar nalgúns dos campos de investigación máis punteiros do seu tempo; particularmente aqueles que tiñan maior transcendencia social.

## Antonio Casares e o I+D+i na Universidade

Comentei, xa, como a formación recibida por Antonio Casares foi eminentemente experimental ou cando menos que el percibiu a transcendencia da experimentalidade no mundo da Ciencia; mais decatouse da importancia do I+D+i, que diriamos hoxe?.

A formación de Casares levouno a comprender que a química é a ciencia do *porqué* e do *para qué*: axiña se decatou que o *porqué* da química obrígate a afondar na razón última dos postulados científicos e a formarte mellor; pero o *para qué* fórzate a buscar a finalidade do saber, a transcendencia social dos

resultados, a utilidade de cada novo achado. Algúns exemplos poden servir para ilustrar canto estamos a dicir:

- Os seus traballos sobre agricultura –mellora de sementes e dos cultivos para acadar mellores e máis cumpridas colleitas; resolver e controlar as enfermidades das plantas; o uso axeitado dos adubos, ...etc.- son mostras do que hoxe chamamos unha boa praxe agrícola.

- O estudio dos modelos cristalográficos e a busca de novos minerais, como a *morenosita* e a *zaratita*, van na dirección de atopar novos elementos químicos de interese industrial ou tecnolóxico; así como o descubrimento de minerais con importancia social –mármores, granitos, lousas, serpentinas, ...etc.–.

- Os estudios sobre as augas mineiro-medicinais tentan acadar un valor engadido, no tradicional uso das mesmas e sentar as bases da *hidroloxía* e da mellora da calidade da vida utilizando augas con usos específicos. Os balnearios son a expresión da rendibilidade social do uso das augas.

- Os seus traballos sobre análise dos viños, buscando o índice alcohólico e a cantidade de tartratos, van na dirección de realizar estudios comparativos das cualidades dos nosos viños cos mellores viños europeos -burdeos, borgoña, alsacia,...etc-. Os seus traballos presentados en congresos de agricultura tentan acadar o convencemento dos nosos labregos no tocante á calidade dos nosos viños e da transcendencia, no tocante á calidade, do uso de mellores cepas -selección de cepas diriamos hoxe- para conseguir calidades mellores e un maior valor engadido.

- Os seus coñecementos de electroquímica, máis especificamente dos métodos de electrodeposición, levárono a realizar e publicar traballos sobre cromado, prateado e dourado doutros metais e aliaxes de menor valor; para que os reputados ourives de Galicia introduciran un maior valor engadido nas súas pezas de xoiería e ourivaría.

O sentido práctico do *para qué* da súa ciencia levouno a exercer de farmacéutico tanto na súa farmacia privada como, cando lle foi solicitado, na pública do Hospital Real.

## A Nutrición como fonte de saúde

A fisioloxía iníciase na década de 1780-90 cando, Antoine Lavoisier e Jean Pierre LaPlace, comezan os seus traballos sobre a calor, a respiración e o metabolismo basal, e desenvólvese rapidamente, no primeiro terzo do século XIX, durante a crise do vitalismo. Antonio Casares comprende a transcendencia deses estudios lendo os libros de Berzelius, Liebig, Fresenius, etc; de modo que, cando ten que ensinar química aos seus alumnos da facultade de medicina, faraos partícipes, como futuros coidadores da saúde, da importan-

cia que ten realizar unha boa e axeitada alimentación para acadar unha boa saúde.

Casares tivo a intuición de comprender a transcendencia dos estudios sobre nutrición –hoxe diriamos metabolismo– que se estaban a desenvolver no seu tempo e realiza a súa formación e os estudios destes temas nos libros dos autores antes citados; neles aprende sobre: nutrición, metabolismo, acción dos medicamentos, dixestión, alimentación equilibrada, etc. Cando está formado toma a decisión de instruír, divulgando o seu coñecemento, a todos cantos se atopan no seu entorno.

Comeza por formar aos seus alumnos na importancia de realizar unha axeitada nutrición en todas as etapas da vida para conseguir unha boa saúde; transmítelles a necesidade de realizar dietas alimentarias equilibradas e axeitadas á doenza propia de cada paciente; está convencido da necesidade dunha boa educación químico-sanitaria como fonte do benestar social.

D. Antonio non aprende só para el, senón que sempre está pensando en formar aos demais para realizar o fin social da educación e da Ciencia. Por todo elo ocúpase de espallar os seus coñecementos nas revistas e xornais nos que, acotío, escribe para que cheguen a cantas mais persoas mellor.

Cerca de dez son os traballos que escribe en revistas de moi variada difusión -como a Revista Médica, da academia de emulación de Santiago- para que a súa lectura poida chegar ao maior número de persoas; de modo que os seus coñecementos sexan e estean a disposición de todo o mundo. Non son estes traballos, estritamente falando, traballos de investigación, pero si amosan a fonda preocupación de Casares porque o coñecemento estea a disposición de toda a sociedade.

## Estudos sobre Toxicoloxía

D. Mateo Pedro Orfila, o gran médico balear –naceu en Mahón–, é o pai da Toxicoloxía moderna. No seu famoso libro "Elementos da Química Médica" senta as bases desta nova ciencia que se desenvolve na primeira metade do século XIX.

Casares coñece a obra de Orfila publicada por vez primeira en castelán no ano 1818 e, como bo químico que é, decátase da máxima de Paracelso de que o comportamento das sustancias como medicamento-veleno está na dose.

Dende que Antonio Casares coñece o libro de Mateo Orfila toma a decisión de ensinalo, practicamente, ao seu alumnado da facultade de medicina -este feito acontece contra 1848-. Toma tal decisión pola transcendencia que ten para o coidado da saúde en aspectos como: o coñecemento da actuación de todos os produtos químicos como medicamento/veleno en función da dose na que se administre; o posible tratamento de procesos de envelenamento e

a necesaria avaliación, por parte dos galenos, en ditames periciais de mortes estrañas.

Casares ensinaba aos seus alumnos principios de toxicoloxía, aprendidos do libro de Orfila; mais, que o levou a traducir o libro de Claubry, cando xa coñecía o de Orfila?. Era mais moderno e completo?, aínda non o sabemos. O feito é que, no ano 1852, Casares decide traducir o libro "Tratado de química legal" do profesor francés Gaultier de Claubry. O libro edítase en Madrid. Pretendía que se vendera e se ensinara en todas as universidades españolas? Estaba de acordo con Magaz -nesa época profesor de toxicoloxía en Barcelona- para explicar esa nova disciplina por toda España?. Non temos respostas; pero si debemos dicir que, Casares, non só se ocupou de iniciar os estudos de toxicoloxía na Universidade de Santiago, senón que pulou para que se investigara no campo. Con tal fin, convenceu ao Profesor Magaz e Jaime, catedrático entre 1847-51 na nosa universidade, para que se iniciara e traballara neste novo campo da súa man. Casares é o iniciador da formación de Magaz de modo que, cando este profesor, marcha á Universidade de Barcelona e, mais tarde, á de Madrid, continuará nelas esta formación adquirida.

Casares cumpriu con intuír a importancia de iniciar este novo campo de investigación. Unha vez iniciado, e formado algún persoal, deixa lugar para que, outros, collan o facho e continúen coa tarefa. De todos modos cómpre sinalar que realizou moitos e variados informes e ditames forenses e que realizou interesantes publicacións tanto de divulgación como de investigación neste campo da toxicoloxía.

## Estudios de Mineraloxía

O interese de Antonio Casares pola mineraloxía nace cando acode a Madrid –anos 1827/32– a realizar a licenciatura e o doutorado en Farmacia. Nesa época acode á acabada de inaugurar Escola de Enxeñaría de Minas a recibir cursos de mineraloxía, impartidos polo Profesor Antonio Moreno. Dende ese momento quedará fascinado por esa nova disciplina, que practicará ao longo da súa vida de modo esporádico pero con moito interese.

Entre as súas achegas científicas sinalemos que descubriu a *zaratita* e a *morenosita*. Esta última trátase dun mineral de níquel ($NiSO_4 \cdot 7H_2O$) relativamente abundante en Galicia, aínda que cunha lei moi baixa. O nome dóullelo en lembranza do seu mestre iniciador no campo, aínda que hai algunhas opinións que din que foi para lembrar ao seu amigo, competidor pola praza da universidade e boticario do Hospital Real, tamén chamado Moreno. A *zaratita* é así chamada na loubanza de Gil de Zárate -Dr. Xeral de Instrución Pública, no ano 1843, e responsable intelectual do coñecido como plano Pidal do ensino que, cando se fai oficial, forza o ensino experimental das ciencias- tal é

o recoñecemento e o agradecemento de Casares a quen oficializa, en España, a experimentalidade no ensino.

A inquedanza e interese pola comprensión do mundo da mineraloxía incrementouse cando se atopa, sendo xa catedrático de química na Universidade de Santiago, cunha colección dos modelos cristalográficos. Esta colección entrara na Universidade de Santiago enviada, dende París, polo profesor de matemáticas D. Xosé Rodríguez, quen fora comisionado polo claustro para mercar instrumental científico e práctico para a realización dun ensino experimental das Ciencias. A colección dos 1024 modelos cristalográficos fora realizada, por encargo do Prof. Rodríguez, polo abate Haüy que era o seu amigo. Esta é unha das poucas coleccións orixinais do abate Haüy existentes hoxe no mundo e que se atopa, na actualidade, no Museo Luís Iglesias da USC.

Esta colección de modelos serviu para un ensino práctico da mineraloxía, realizado por Antonio Casares na súa época, e ata a década de 1960 cando se xubila D. Luís Iglesias. Cando no ano 1872 chega a Santiago Augusto González Linares, e no ano 1874 o profesor Laureano Calderón Arana, ambos se introducirán na aprendizaxe da mineraloxía, de modo que Calderón chegará a ser unha autoridade no nacente campo da cristaloquímica. Tamén aprenderían cristalografía e mineraloxía, en Santiago, Salvador Calderón Arana e Francisco Quiroga, que serían –da man de José MacPherson- os máximos investigadores deste campo no último cuarto do século XIX.

## A introdución da Meteoroloxía no estudo e no coñecemento do medio

A Meteoroloxía nace coma unha ciencia interdisciplinar que, partindo da Física, da Química e das Matemáticas, tenta estudar o clima e os fenómenos atmosféricos para comprender o comportamento destes factores climáticos nas actividades agrícolas dos humanos.

Antonio Casares, no ano 1849, foi quen montou a primeira estación meteorolóxica de Galicia -sendo unha das primeiras do estado- na terraza do edificio central da Universidade de Santiago de Compostela (hoxe Facultade de Xeografía e Historia).

Esta nova iniciativa dá conta, novamente, do espírito de modernidade de Casares, así como do interese por realizar unha ciencia interdisciplinar e aplicada. Antonio Casares compaxina os seus coñecementos científicos (Física, Química e Matemáticas) co intento de comprender o medio natural para tentar axudar á sociedade no desenvolvemento dunha moderna e mellor desenvolvida agricultura; unha das súas máximas preocupacións.

As medidas meteorolóxicas realizadas por D. Antonio son exemplo de medicións ben feitas e organizadas cunha sistematicidade digna do momento actual. A estación meteorolóxica da Universidade de Santiago continuou a

traballar ata ben entrada a década de 1960 –cando a estación se despraza da súa localización inicial ao recinto da nova Facultade de Ciencias sita no campus sur -; neste momento comeza a esmorecer ao apareceren os medios modernos de meteoroloxía en Europa, España e en Santiago.

**OBSERVACIONES METEOROLOGICAS DEL AÑO DE 1849.**

| | | BAROMETRO. Media. | Máxima. | Mínima. | TERMOMETRO. Media. | Máxima. | Mínima. | PLUVIOMETRO. | Mayor altura del agua en el pluviómetro en un dia. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Julio | 9 de la mañana. | 741,7 | 744,5 | 736,7 | 22,5 | 28,5 | 19,5 | | |
| | 12 de id. | 741,7 | 743,6 | 736 | 25,1 | 32 | 21 | 0,033 | 0,021 |
| | 3 de la tarde. | 741,4 | 744 | 737,3 | 24,5 | 33 | 20 | | |
| | 6 de id. | 741,4 | 743,7 | 737,3 | 22,4 | 31 | 18,5 | | |
| Agosto | 9 de la mañana. | 741,7 | 749,2 | 735,5 | 21,5 | 25 | 18 | | |
| | 12 de id. | 741,4 | 741,5 | 734,2 | 24,1 | 28 | 19,7 | 0,105 | 0,040 |
| | 3 de la tarde. | 741,2 | 749,4 | 734,2 | 23,6 | 31 | 18 | | |
| | 6 de id. | 741 | 749 | 735 | 21,9 | 28,2 | 15 | | |
| Setiembre | 9 de la mañana. | 738,4 | 745,4 | 730,2 | 18,2 | 22 | 14 | | |
| | 12 de id. | 738,3 | 744,5 | 730,2 | 17,3 | 25,3 | 17 | 0,359 | 0,045 |
| | 3 de la tarde. | 738,7 | 744,5 | 730,9 | 19,7 | 25 | 16 | | |
| | 6 de id. | 738,1 | 743,5 | 728,2 | 17,8 | 22 | 12 | | |
| Octubre | 9 de la mañana. | 741,2 | 751,2 | 730 | 15,6 | 20 | 11,5 | | |
| | 12 de id. | 740,8 | 749,2 | 730 | 17,9 | 22 | 14,7 | 0,318 | 0,065 |
| | 3 de la tarde. | 740,6 | 750,5 | 730 | 14,5 | 21,7 | 14,3 | | |
| | 6 de id. | 740,5 | 750,8 | 730 | 15,9 | 19,5 | 10,5 | | |
| Noviembre | 9 de la mañana. | 740,3 | 749,5 | 722,7 | 11,6 | 14,7 | 8,7 | | |
| | 12 de id. | 740,9 | 749,2 | 723,3 | 13,8 | 17 | 10 | 0,187 | 0,031 |
| | 3 de la tarde. | 740,1 | 748,3 | 722,3 | 11,1 | 16,7 | 11,2 | | |
| | 6 de id. | 741 | 750 | 722,9 | 12,5 | 17,5 | 9,7 | | |
| Diciembre | 9 de la mañana. | 742,2 | 749,2 | 734,5 | 8,8 | 14 | 0 | | |
| | 12 de id. | 741,1 | 748,8 | 729,5 | 11 | 16 | 5 | 0,225 | 0,055 |
| | 3 de la tarde. | 741,2 | 749,6 | 727,7 | 10,9 | 16 | 4 | | |
| | 6 de id. | 741,4 | 749,8 | 727,2 | 9,9 | 16,5 | 2,5 | | |

Agua caida en el año 1.m, 081, ú 85 pulgadas españolas y 3 líneas, ó 7 pies, 1 pulgada y 3 líneas.

Hubo de lluvia, en Dias.

| | |
|---|---|
| Enero | 18 |
| Febrero | 5 |
| Marzo | 11 |
| Abril | 22 |
| Mayo | 16 |
| Junio | 14 |
| Julio | 3 |
| Agosto | 8 |
| Setiembre | 20 |
| Octubre | 20 |
| Noviembre | 17 |
| Diciembre | 16 |
| Suma | 170 |

En 183 dias reinaron vientos del S. al O.

| Presion media á las | Nueve de la mañana. | A las doce. | A las tres. | A las seis. |
|---|---|---|---|---|
| | 740,6 | 740,5 | 740,4 | 740,5 |
| Temperatura media á | 14,5 | 17 | 16,2 | 15,1 |

Presion media del año. . . 740,5
Id. mayor. . . . . 759,7
Id. menor. . . . . 717
Temperatura media del año. . . . . 15,7

Santiago 20 de enero de 1850.=Antonio Casares.

Cómpre sinalar que a actividade didáctica de Antonio Casares neste campo, determinou que moito do profesorado de Química e Física, de institutos históricos de Galicia, montaran a súa propia estación meteorolóxica nos seus centros, realizando medidas seguindo o aprendido do seu mestre. Na actualidade seguen a facerse este tipo de medidas nalgúns centros de ensino de Galicia.

## As investigacións en Anestesioloxía

Un dos grandes adiantos na saúde, en xeral, e nas intervencións cirúrxicas en particular, foi o descubrimento e a aplicación dos produtos químicos como axuda na anestesia. Non só este descubrimento, implicou a desaparición da dor na práctica cirúrxica, senón que permitiu aos cirurxiáns, realizar as in-

tervencións con moito máis tempo e, polo tanto, con mellores condicións de seguridade para o tratamento dos doentes.

A anestesia introduciuse, na medicina, cando Davy preparou o gas hilarante ($N_2O$) a principios do século XIX. Na primeira metade dese século vaise traballar para mellorar as condicións da anestesia, utilizando outros compostos químicos recentemente descubertos, que puideran actuar como anestésicos sendo máis inocuos.

Casares nace á química cando o éter está no seu apoxeo como anestésico; el mesmo prepara o novo composto no seu laboratorio para ser utilizado nas intervencións do Hospital Real de Santiago e dos outros hospitais menores da cidade. O éter presentaba efectos secundarios non desexables e cumpría atopar un novo produto químico máis inocuo. A historia importante, que atinxe á vida e á obra de Casares ten que ver coa utilización do cloroformo como anestésico; por ser o máis inocuo e porque foi o que se utilizou por máis tempo na historia da anestesioloxía.

O papel xogado por Casares na historia da utilización do cloroformo como anestésico, é moi relevante xa que non só foi quen de sintetizalo no laboratorio antes que ninguén en España, senón que, ademais, probouno nel mesmo e, logo, iniciou o que sería unha xeira de intervencións cirúrxicas nos hospitais de Santiago, de Galicia e de toda España. Foi o pioneiro da utilización, como anestésico xeral, do cloroformo en España.

Como, dende o finisterre europeo, chegou Casares, a decatarse deste descubrimento?. Hai moitas hipóteses pero a máis plausible é que algún coñecido o informou do traballo de Sympsom en Edimburgo. Como era moi bo químico práctico estaba en condicións de sintetizar o cloroformo, pola súa conta, no seu laboratorio -de feito sábese que tiña feita unha importante innovación sobre o procedemento que indicaba Soubeiran no seu libro de texto, que viña de traducir D. Antonio-. A historia desta importantísima investigación, é como segue:

- O día 10 de novembro do ano 1847, o escocés J. Y. Sympsom publica a importante mellora que representa a utilización do cloroformo, como novo anestésico, nas intervencións cirúrxicas dos humanos.

- Antonio Casares debeu saber axiña deste descubrimento. Quen lle deu conta do traballo?. Onde o leu?. En que revista e en cal lingua?. Foi algún dos seus amigos cirurxiáns ou algún membro da RSEAPS? Tiñan acceso a revistas de investigación ou de noticias científicas europeas? Non o sabemos. Mais o que si sabemos e que se decatou axiña e, de contado, albiscou a transcendencia da utilización práctica deste enorme descubrimento científico.

- Fora como fora o feito do coñecemento da noticia o certo é que, a principios de decembro debía estar, xa, en condicións de sintetizar o cloroformo

no seu laboratorio; pois o día 19 de decembro dese ano 1847 publica un artigo no que dá conta da síntese do novo anestésico, de ter anestesiado a un can con éxito e de se ter sometido, el mesmo, á anestesia. O seu proceso de anestesia foi realizado polos seus amigos, os cirurxiáns da facultade de medicina de Santiago. O novo anestésico demostra a súa inocuidade e declaran ser apto para a realización de todo tipo de anestesias en todas as intervencións cirúrxicas.

- O día 20 de decembro de 1847 realízase a primeira intervención cirúrxica, en España, empregando cloroformo como anestésico en pacientes do Hospital Real de Santiago. Era a primeira intervención e, a ela, seguirían moitas máis por Galicia e por España.

Os resultados destas investigacións serían publicados en moi variadas revistas, coa intención de espallar o coñecemento da utilización do novo anestésico.

## Produción da primeira luz eléctrica en España

Antonio Casares foi o primeiro en España en producir luz eléctrica, utilizando un arco voltaico con regulador, na noite do día 2 de abril do ano 1851. O experimento foi realizado, na noitiña dese día, no claustro do vello edificio da Universidade de Santiago de Compostela.

Este feito plantéxanos, de novo, moitas preguntas: Como coñeceu os traballos sobre a utilización dos arcos voltaicos?, cando coñeceu a utilización dos reguladores de Foucault e Serrin para utilización no funcionamento dos arcos?, como chegou a mercar un arco e o seu regulador?, que interese lle seguía na realización dese experimento de produción da luz? Todas cuestións

abertas, para contestar cando se realicen máis investigacións sobre a vida e a obra científica de D. Antonio.

Reprodución do experimento de luz eléctrica con arco voltaico e unha batería de pilas Bunsen feito no ano 2001 para a exposición "A noite está varrida da Terra".

O que si podemos concluír cos datos que temos ata o momento e que, Antonio Casares, nunca lle dou importancia a este feito de producir, por vez primeira, luz eléctrica en España. Ata hoxe non temos atopado ningún traballo científico publicado por D. Antonio no que dea conta deste sobresaliente feito; nin sequera algún traballo dos moitos de divulgación onde explicara como chegou a interesarse por tal experimento, pola importancia do tema ou porque fixo a demostración nesa famosa noitiña. El era intelixente e sabía que ese feito sería dunha transcendencia social moi grande, como así sucedería.

Probablemente, Casares, tan só fixo a demostración porque: tiña os medios; sabía facelo e quería contarlle á sociedade cal era a transcendencia deste novo descubrimento científico; máis nada. D. Antonio non considerou mérito científico algún a realización deste experimento e por elo, tal vez, nunca o publicou. Para Casares era unha demostración como as que facía, acotío, na aula para os seus alumnos; pero atopouse coa pegada que deixou na sociedade polo rechamante que era. O fito social obrigouno a repetilo a noite do apóstolo do ano 1852, urxido polo alcalde de Santiago para agasallar aos duques de Montpensier que estaban a gañar o xubileu.

Semella que Casares, con este experimento, tan só pretendía amosarlle á sociedade como eran os signos dos tempos e como a ciencia estaba a producir descubrimentos que cambiarían a sociedade en moi poucos anos.

## As análises de augas e os estudos sobre os viños e as vides

### *As augas*

O estudio das augas mineiro-medicinais foi unha constante da Química Galega ao longo da historia: dende os traballos iniciais de D. Pedro Gómez de Bedoia (nos anos 1764-65), ata os traballos máis modernos de D. Francisco Bermejo Martínez (1850-80), os profesores da Universidade de Santiago de Compostela foron os máximos expertos do Estado no estudio das augas mineiro-medicinais.

O interese de D. Antonio na análise das augas ten unha dupla intención: o aspecto sanitario da utilización das augas saudables e o aspecto económico derivado da valorización das augas de calidade.

O uso das augas nos balnearios é unha constante na historia da humanidade dende hai máis de dous mil anos. Mais será no século XIX , ao se desenvolver a análise química moderna, cando naza a hidroloxía e o uso das augas mineiro–medicinais para a curación de múltiples enfermidades.

Antonio Casares engarza con esa tradición europea e dedicará todo a súa vida á análise das augas de Galicia e, logo, de moitos lugares de España. Preocuparase sempre por estudar a composición e as cualidades terapéuticas para o seu posible uso sanitario.

Debemos lembrar, unha vez máis, o interese práctico de todas as investigacións que realiza Casares. Por elo, axiña, decatarase do interese pecuniario que pode ter para o medio rural galego a beneficiación –explotación e venda- destas augas. Unha boa análise xunto a unha boa utilidade das augas, incrementará o seu valor engadido, pasando estas augas de ser simplemente $H_2O$, a ter interese sanitario e poderse vender como medicamentos.

As investigacións de Casares sobre as augas son moi importantes na España da época: tanto pola extensión de lugares a que chegou co seu traballo, como polas novas cualidades detectadas nelas. Estas investigacións axudarían ao desenvolvemento da *Balneoterapia* e á creación de postos de traballo nos balnearios

Durante máis de corenta anos, Casares, analizará augas e, mesmo, halles pasar o seu interese aos seus discípulos. O seu fillo, D. Xosé, será o seu sucesor e logo, ata ben entrado o século XX, será o seu neto Román.

### *Estudios sobre viños e vides*

O interese científico pola agricultura é unha constante ao longo do século XIX. Os químicos da época utilizan o seu coñecemento para resolver os problemas que tiñan atascada a produtividade dos campos.

Pénsase nesa época que non habería alimentos para satisfacer a necesidades de tanta xente como os demandaba: os alimentos medraban aritmeticamente, namentres a poboación o facía exponencialmente, polo tanto íase camiño de rematar con enormes convulsións sociais. A química chegou no momento axeitado e con solucións concretas para a resolución deste gravísimo problema: a invención dos novos e variados abonos químicos; o uso de produtos químicos fitosanitarios; a mellora da calidade das sementes; etc. Con toda esta batería de solucións químicas conseguiuse unha mellora moi notable tanto no incremento da produtividade dos campos e das colleitas canto na mellora da calidade dos produtos do campo: en definitiva foi desaparecendo a fame ao conseguirse unha mellor alimentación da sociedade.

Unha mostra do interese de Casares pola mellora dos agricultores son os seus estudios sobre a calidade dos viños de Galicia, para conseguir unha mellor venda dos mesmos e conseguir un maior valor engadido. Seguidamente un dos seus estudos sobre os viños:

Vinos de la cosecha de 1842.

| | Alcohol absoluto contenido en 100 partes de vino. | Tártaro puro contenido en una libra de vino. *Granos.* |
|---|---|---|
| *Vino de Amandi tinto* | 13 | 34 |
| *Id. de Vilachá de Salv.ª tinto.* | 13 | |
| *Id. de Valdeorras tinto.* | 12 escasos. | 39 |
| *Id. del Rivero bl.º (mui bueno)* | 12 3/4 | |
| *Id. del Rivero tinto.* | 12 | 32 |
| *Id. del valle de Lemos (bueno)* | 11 1/2 | 44 |
| *Id. de la Ulla tinto i blanco.* | 8 1/2 | 62 |
| *Id. de Salnés.* | 10 | |
| *Id. tostado del Rivero.* | 16 1/2 | |
| *Id. tostado de Valdeorras.* | 16 | |

Casares, dende a súa incorporación á RSEAPS, preocupouse non só de investigar sobre a forma de mellorar a agricultura; senón, e sobre todo, de atender á formación dos agricultores para acadar estes fins. Así, e a modo de exemplo, dicir que escribiu divulgacións do coñecemento moi variadas sobre as vides e os viños; de modo particular sobre:

1. O coidado das cepas das vides para mellorar a produtividade.
2. A utilización de sulfato de cobre no tratamento do *mildeu*.
3. A mellora do cultivo da vide en Galicia.
4. O uso das uvas e da vide na nutrición humana.
5. A análise de viños de Galicia e de España.
6. O uso da *fuschina* no campo.

E moitos máis artigos onde se evidencia a preocupación de Casares pola agricultura, en xeral, e sobre o cultivo das vides e a produción do viño, en particular.

## A labor museísta de Casares

O traballo museístico -diriamos utilizando a terminoloxía de hoxe- realizado por Antonio Casares foi unha das formas que tivo de introducir a experimentalidade no ensino: a ordenación e utilización do Gabinete de Historia Natural; a creación do Laboratorio de Física; a posta en funcionamento do Laboratorio de Química, foi a súa tarefa.

Casares tiña claro que as ciencias experimentais ou se aprenden traballando coas propias ciencias ou, canto se aprende de forma teórica non sirve para case nada. Foi ese convencemento o que o levou a poñer en valor todo o patrimonio científico que a Universidade de Santiago tiña acumulado, usándoo nas clases prácticas da súa docencia.

Sendo profesor de historia natural tomou contacto coas coleccións tipo de animais, plantas e minerais que tiña a Universidade e comezou a utilizalas no ensino. Posteriormente sería o reitor, Juan Viñas, quen lle encomendaría ordenar e catalogar todo canto material había para usalo no ensino experimental desa docencia. Dende entón utilizouse, ese material, no ensino das ciencias e chegou a constituír o que sería o xermolo do actual Museo Luís Iglesias da USC.

O Laboratorio de Física montouno con canto material xa existía na Universidade e con canto se merca, polo reitor Viñas, coas achegas económicas que aporta o plano Pidal para conseguir realizar un ensino experimental. Gran parte dese material está en exposición na actual facultade de física da USC.

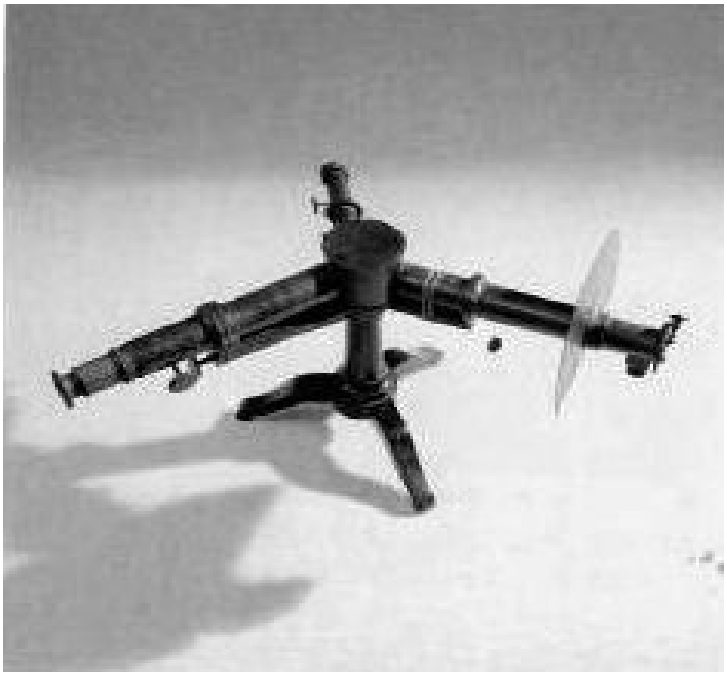
O Laboratorio de Química montouno con cantos produtos e material científico había con anterioridade na Univesidade e, tamén, como consecuencia do anceio de Casares de ter un moderno laboratorio para poder realizar as súas investigacións. Este laboratorio non tiña por obxecto, só, a realización dun ensino experimental, senón, poder realizar unha investigación química moderna. Con tal finalidade foi mercando o material máis moderno da época. Dado que o material de química é moito mais perecedoiro que o de física, unha boa parte do mesmo rachou e desapareceu, moi poucas son as pezas que se conservan hoxe no museo da farmacia da USC.

Antonio Casares foi durante a súa vida o dinamizador, o conservador, o creador do coleccionismo, ...etc. na Universidade de Santiago de Compostela. En suma foi quen puxo en marcha os actuais museos da USC.

## A introdución da Espectroscopía en España

Antonio Casares foi o introdutor da Espectroscopía en Galicia e en España. De modo particular, utilizou o espectroscopio, como axuda para unha máis completa análise das augas e unha mellor comprensión da valía, das mesmas, como axuda terapéutica na saúde humana.

Como chegou, Casares, a preocuparse polo uso da nova técnica nas súas investigacións sobre as augas? De novo non nos cómpre máis que dar fe do feito e plantexar preguntas ás que se deberá buscar resposta. Como se decatou da invención do espectroscopio de Bunsen e Kirchooff no ano 1859? Como soubo que se descubriran dous novos elementos químicos –rubidio e cesio, no ano 1861-? Como foi quen de mercar a nova instrumentación –hoxe gardada no museo da USC-? Con que medios económicos mercou o espectroscopio?, etc. Como vemos, Casares xera preguntas e preguntas canto máis afondamos no seu coñecemento.



O feito inequívoco é que, xa no ano 1863, tiña coñecementos do uso da nova técnica dado que publica un importante artigo de investigación sobre a importancia do uso da mesma nas investigacións analíticas. Probablemente, sobre esta época, xa conta cun aparello que merca na casa Duboscq de París.

No ano 1866 aparece publicado na "Revista del Progreso de las Ciencias" o seu importantísimo traballo, sobre a presenza dos metais rubidio e cesio nas augas mineiro–medicinais de Galicia. Como queira que, o traballo, debeuse enviar á revista uns meses antes da súa publicación, quérese dicir que, entre o ano 1863 e o ano 1865, Casares, aprendeu a utilizar o novo aparello e realizou as súas investigacións sobre a detección destes elementos químicos -recentemente descubertos por Bunsen e Kirchooff- nas augas de Galicia.

Antonio Casares é hoxe recoñecido como o pai da espectroscopía en España.

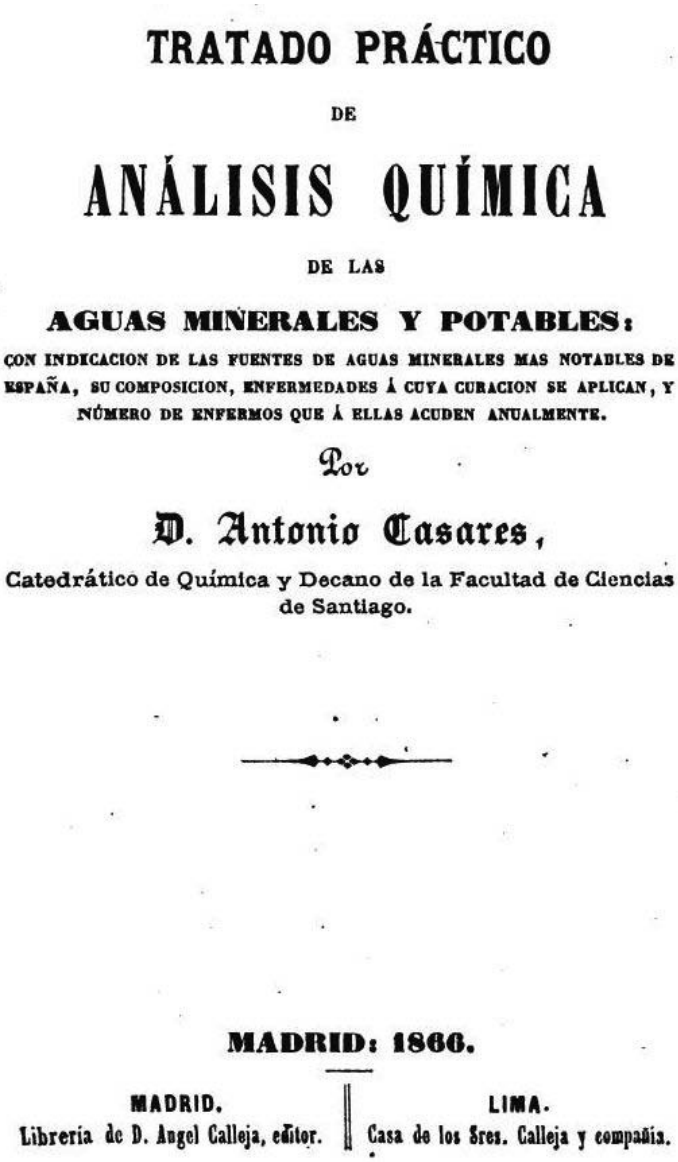
## A súa faceta como educador

O bo mestre é aquel que se forma, o máis fondamente posible, para dar o mellor de seu aos seus alumnos; o que se entrega na aula, nas súas investigacións e nos seus libros, para que os seus alumnos cheguen a ser tan bos ou mellores ca el; o que difunde os seus coñecementos máis alá da aula, para que a sociedade chegue a coñecer, admirar, ilusionarse e, mesmo, practicar canto se sabe.

Antonio Casares foi un espléndido mestre no máis amplo sentido do termo. Moi brevemente amosaremos algúns apuntamentos da súa faceta como educador.

a) É difícil comprender como Antonio Casares chegou a acadar o nivel de coñecementos que conseguiu dende esta Fisterra de Europa. Como chegou a comprender tantas linguas (francés, inglés, alemán, ...)? Como formou unha biblioteca tan ampla? De onde sacou os medios?, etc. Mais a realidade é que tiña 35 anos e contaba cunha moi boa biblioteca e formación para traducir os libros de: Mateo Orfila, Jacobs Berzelius, Eugene Soubeiran, Gaultier Claubry, etc. Esta etapa formativa que mesmo o levou a París a estreitar a súa relación con Aragó e Foucault rematou coa súa estabilización como catedrático na Universidade de Santiago e foi o limiar da súa dedicación á formación dos seus alumnos.

b) A faceta de bo mestre maniféstase non só no trato exquisito cos seus alumnos e a súa preocupación porque acaden unha formación de excelencia na aula; senón na preocupación por escribir libros de texto que lles poidan servir para seguir aprendendo pola súa conta no futuro. Antonio Casares comprendeu que máis importante que os seus alumnos saiban a materia e pasen exame é que "aprendan a aprender", deste xeito poderán seguir medrando, en solitario, nos coñecementos da química.



TRATADO PRÁCTICO

DE

ANÁLISIS QUÍMICA

DE LAS

AGUAS MINERALES Y POTABLES:

CON INDICACION DE LAS FUENTES DE AGUAS MINERALES MAS NOTABLES DE ESPAÑA, SU COMPOSICION, ENFERMEDADES Á CUYA CURACION SE APLICAN, Y NÚMERO DE ENFERMOS QUE Á ELLAS ACUDEN ANUALMENTE.

Por

D. Antonio Casares,

Catedrático de Química y Decano de la Facultad de Ciencias de Santiago.

MADRID: 1866.

MADRID. Librería de D. Angel Calleja, editor. | LIMA. Casa de los Sres. Calleja y compañía.

Os seus libros de química son exemplo do que vimos de sinalar, tanto o "Tratado elemental de Química General" do ano 1848 coma o máis moderno "Manual de Química General" reúnen os requisitos de ser libros onde se recolle gran parte do coñecemento químico da época e serven para aprender a aprender. O libro "Tratado Práctico de Análisis química de las aguas minerales y potables", publicado no ano 1866, foi libro de referencia por moitos anos e, aínda, se sigue citando hoxe en traballos especializados.

c) A súa tarefa como divulgador social do coñecemento científico: Casares foi consciente de que o saber científico debe ser levado á sociedade para que, esta, se sinta beneficiada do esforzo dos que acadaron ese coñecemento; por elo cultivou moito a súa preocupación por divulgar os seus moitos saberes, sendo consciente da necesidade de que a sociedade coñecera as bondades da ciencia, na resolución dos problemas da vida cotiá. A modo de exemplo, seleccionamos algúns dos moitos temas estudados e publicados e divulgados por Antonio Casares:

-Sobre a utilización de produtos minerais.

-A importancia da análise dos cálculos urinarios.

-Sobre as alteracións da atmosfera.

-Sobre a composición e a utilidade dos abonos e moitos máis produtos químicos de interese na agricultura.

De particular interese, neste aspecto divulgativo da ciencia, é o sinalar a súa participación, como experto, en moitos e variados ditames periciais.

Interesante é sinalar a súa participación no famoso "ditame pericial" para dirimir sobre a veracidade dos ósos existentes na catedral de Santiago como pertencentes a restos do apóstolo Santiago e os seus discípulos.

## Remate

Antonio Casares viviu a súa vida de senlleiro investigador dende a súa decidida aposta polo ensino experimental. Tal decisión levouno a ser un pioneiro deste tipo de ensino na universidade española e a realizar un tipo de investigación ligada ao que hoxe chamamos I+D+i. Que esta celebración do seu bicentenario sirva para iniciar máis investigacións que nos permitan chegar a coñecer moito mellor a súa figura de científico e poder comprender mellor a súa transcendencia coma un galego de honra.

## Bibliografía

Barreiro Fernández XR (1991) "Galicia (Historia)". Tomo VI. Ed. Hércules. A Coruña.
Barreiro Fernández XR (2002) "Historia da Universidade de Santiago de Compostela. O século XIX. Vol. II". Universidade de Santiago de Compostela. Santiago.
Bermejo MR (1986) "Antonio Casares Rodríguez". En: Ciencias Revista de Enseñanza, 6: 5-19.
Bermejo MR (1996) "O colexio de Farmacia: unha xeración gloriosa". En Gallaecia Fulget: cinco séculos de historia universitaria. Universidade de Santiago de Compostela. Santiago.
Bermejo MR (1997) "1.2 O seu Gabinete: Patrimonio Científico". En Instituto Xelmírez: pasado e presente". Ed. Deputación Provincial de A Coruña, A Coruña.
Bermejo MR (2001), "Antonio Casares e a Física na Universidade de Santiago de Compostela. En "A noite está varrida da terra". Ed. USC, Consello da Cultura Galega e Unión Fenosa. Santiago.
Bermejo MR, Rodríguez XA (1997) "Antonio Casares e a súa contribución á ciencia". Actas V Simposio de Historia e Ensino de Ciencias. Ed. O Castro. Sada.
Bugallo A (1990) "O Gabinete de Historia Natural da Universidade de Santiago: formación e evolución". Ingenium, 4: 85. Ed. O Castro. Sada.
Bugallo A (1995) "Os Gabinetes científicos: O Gabinete de Historia Natural". En Gallaecia Fulget (1495-1955), p. 318. Universidade de Santiago de Compostela. Santiago.
Bugallo A (2003) "O museo de Historia Natural da Universidade de Santiago de Compostela". Ed. Parlamento de Galicia-USC. Santiago.
Cabeza de León S (1945) "Historia de la Universidad de Santiago de Compostela". CSIC. Santiago (1945)
Cid R (2005) "Antonio Casares Rodríguez: Unha vida dedicada á Ciencia. Estudio dun caso paradigmático: O Calórico na obra de Casares". Traballo de investigación tutelado. Programa de doutoramento bienio 2003-2005. Universidade de Santiago de Compostela e bibliografía indicada
Cid R http://antoniocasares.blogspot.com.es/
Cid R http://prezi.com/2nm65cpfv8nm/antonio-casares/?auth_key=8de5d72a9eb7bc143362d9f1e16d7a57ed36193c
Fernández Casanova C (1981) "La Sociedad Económica de Amigos del País de Santiago en el siglo XIX". Ed. O Castro. Sada.
Fraga Vázquez XA (1992) "Ensino das Ciencias Naturais. A Historia Natural na Universidade de Santiago (1815-1919)". Ingenium, 3: 31. Ed. O Castro. Sada.
Fraga Vázquez XA (1995) "A incorporación da ciencia experimental na Universidade de Santiago no inicio do s. XIX e os colexios prácticos". En Gallaecia Fulget (1495-1955), p. 300. Universidade de Santiago de Compostela. Santiago.
Fraga Vázquez XA, Sisto Edreira R, Bugallo A, Álvarez Lires M (1994) "A complexa e difícil incorporación da Historia das Ciencias á Universidade". Ingenium, 4: 249. Ed. O Castro. Sada.
Fraga Vázquez XA, Bugallo A (1990) "O Patrimonio Histórico-Científico: situación e posibilidades de utilización dun valioso recurso cultural". Ingenium, 2: 119. Ed. O Castro. Sada.
Garrido GA (1990) "Antonio Casares y Rodrigo: sobre nutrición". Ingenium, 2: 69. Ed. O Castro. Sada.
Garrido GA (1999) "Alimentación e enfermidade: o viño e as uvas, contribución ó estudio dos usos curativos dos alimentos". Ingenium, 6: 125. Ed. O Castro. Sada.
López López R (1995) "A Ciencia e a investigación no século XIX". En Gallaecia Fulget (1495-1955), p. 296. Universidade de Santiago de Compostela. Santiago.
Maiz Elícegui L (1957) "Historia de la Enseñanza de Farmacia en Santiago (cien años de vida en la Facultad) 1857-1957". Facultad de Farmacia. Santiago.
Sisto Edreira R (1995) "Os Gabinetes Científicos: O Gabinete de Física". En Gallaecia Fulget (1495-1995), p. 30. Universidade de Santiago de Compostela. Santiago.
Sisto Edreira R (1999) "O Patrimonio Histórico-Científico do Instituto Xelmírez I: inventario e catalogación". Ed. Deputación Provincial de A Coruña. A Coruña.

Sisto R, Fraga XA (1996) “A recepción da ciencia moderna na Universidade de Santiago 1772-1845. A incorporación da Física e da Química e o labor dos colexios prácticos”. Ingenium, 5: 23. Ed. O Castro. Sada.

## Varios Autores

V.V.A.A., “O instituto Rosalía de Castro e o colexio San Clemente”. Ed. Xunta de Galicia e Concello de Santiago. Santiago de Compostela (2012).

V.V.A.A, “De Pharmaceutica Scientia: 150 anos de la Facultad de Farmacia”. Ed. Xunta de Galicia e Concello de Santiago. Santiago de Compostela (2012).

V.V.A.A. “Diccionario histórico das ciencias e das técnicas de Galicia. Autores 1868-1936”. Publicado por Seminario de Estudios Galegos. Ed. O Castro. Sada (1993).

V.V.A.A., “Instituto Xelmírez: pasado e presente 1845-1995”. Ed. Deputación Provincial de A Coruña. A Coruña (1997).

V.V.A.A., “O patrimonio histórico da Universidade de Santiago de Compostela”. Ed. Parlamento de Galicia-USC. Santiago de Compostela (1996).

V.V.A.A., “Gallaecia Fulget (1495-1995). V Séculos de Historia”. Universidade de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela (1995).

Revista Real Academia Galega de Ciencias. Vol. XXXI. Págs. 27-44 (2012)

# A correspondencia entre Isidro Parga Pondal e Conrad Burri

Francisco J. Leonardo Docanto

*Calle Francisco Santiago, 47, 2º D, 15330 Ortigueira (A Coruña)*
*Correspondencia: franleonardo@yahoo.es.*

## Resumo

Isidro Parga Pondal foi unha das figuras máis destacadas da Ciencia galega. Os seus traballos como xeoquímico na Universidade de Santiago e como xeólogo no Laboratorio Xeolóxico de Laxe permitiron un grande avance no coñecemento da xeoloxía de Galicia. A súa vida constitúe un caso especial dentro dos profesores expulsados da Universidade a comezos do ano 1936, ao conseguir proseguir as súas actividades investigadoras fora desa institución.

Grazas a diverso material epistolar entre Parga e o profesor suízo Conrad Burri, conservado no Arquivo do Laboratorio Xeolóxico de Laxe, podemos profundar en varios aspectos interesantes da vida investigadora de Don Isidro.

**Palabras clave**: Isidro Parga Pondal, Conrad Burri, Historia da Ciencia, Xeoquímica, Epístolas.

## Abstract

Isidro Parga Pondal was one of the most outstanding figures of Galician Science. His work as geochemist at the University of Santiago and as geologist in the Geological Laboratory of Laxe allowed a great progress in the knowledge of the geology of Galicia. His life is a special case within the University professors expelled in early 1936, because he continues his research activities outside of that institution.

Thanks to diverse material epistolary between Parga and the Swiss Professor Conrad Burri, preserved in the Archive of the Geological Laboratory of Laxe, we delve into many interesting aspects of researcher life of D. Isidro.

**Key words**: Isidro Parga Pondal, Conrad Burri, History of Science, Geochemistry, Epistles.

## Introdución

Isidro Parga Pondal foi profesor auxiliar de Análise Químico, Química Inorgánica e Química Orgánica na antiga Facultade de Ciencias da Universidade de Santiago de Compostela entre 1922 e 1936. Químico de formación, as súas investigacións pronto se enfocaron ao análise de minerais e rochas. Desta forma, o coñecemento da xea galega viuse incrementado de xeito importante, xa que ata entón a súa composición química estaba moi pouco estudada.

O estudo xeoquímico do país requiría duns importantes coñecementos xeolóxicos dos que Isidro carecía. Para tratar de solucionar este problema, comezou unha serie de excursións polos arredores de Santiago nas que recolleu as súas primeiras rochas, que trataba de identificar seguindo a cartografía xeolóxica existente. Este feito, sinxelo á primeira vista, non o foi tal, pois os mapas cos que contaba non correspondían ao que o profesor observaba nas súas saídas ao campo[1]. A decisión de Parga de incrementar os seus coñecementos de xeoloxía, e con eles os de xeoquímica, levárono a solicitar unha bolsa da *Junta para la Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas.* A obtención desta axuda permitiulle realizar unha estanza de estudos entre os anos 1930 e 1931 na *Eidgenössische Technische Hochschule* (ETH) de Zürich, onde traballou e investigou con algúns dos mellores xeólogos e xeoquímicos do mundo naqueles anos, como Paul Niggli ou Johann Jakob[2].

---

[1] Discurso de aceptación do premio da Deputación da Coruña el 15/2/1973. Nel Parga tamén recoñece: «La cartografía geológica de España era sin duda de poco valor y en mis primeros trabajos me vi precisado a utilizar mapas de escala reducida como los mapas militares a escala 1:100.000 del NO de Galicia, a todas luces insuficiente. Mi labor de campo era pues lenta y tropezaba con grandes dificultades, pero no por eso la abandoné».

[2] Parga estivo estudando na ETH desde abril de 1930 a xullo do mesmo ano e desde outubro de 1930 a xuño de 1931.

Paul Niggli (Zofingen, Suiza, 1888-Zurich, 1953). En 1911 obtivo o doutoramento na ETH de Zürich, completando a súa formación no Instituto de Física e Química da Technische Hochschule Karlsruhe e no Laboratorio Xeofísico da Carnegie Institution en Washington. Desde 1913 ata 1920 foi *privatdozent* de Mineraloxía e Petrografía na ETH. No ano 1920 foi nomeado catedrático no mesmo centro, onde impartiu cursos de Petroloxía, Mineraloxía e Cristalografía. Entre 1928 e 1931 foi Reitor da ETH.

Johann Jakob (1887-1968). No ano 1925 foi nomeado profesor titular e director do laboratorio de Mineraloxía e Xeoquímica na ETH, cargo que ocupou durante máis de 30 anos. Da súa labor científica destaca a actualización e mellora dos métodos de análises minerais.

Resultado da estancia de Parga en Zürich son as investigacións "Estudio petroquímico de la diorita cuarcífera de la Estaca de Vares" (1931), "Petroquímica de la anfibolita con titanita de Riboira (Galicia)" (1932), "Sobre el papel del titanio en las flogopitas. Contribución a la constitución química de las

Na capital suíza Isidro estableceu grande amizade con Conrad Burri, un dos investigadores da ETH, contacto que se prolongou ao longo dos anos[3]. A relación entre ambos estivo baseada nun principio no seu común interese pola xeoloxía. Tamén debeu ter algo que ver o feito que ambos investigadores contaran coa mesma idade, sendo Burri o máis novo dos profesores cos que Parga traballou en Zürich. Ademais, o xeólogo suízo era *privatdozent* nos anos nos que Isidro foi alumno na ETH. O posto que ocupaba Burri tiña moitos puntos en común co cargo de auxiliar do xeoquímico galego na Universidade de Santiago, o que contribuíu a un mellor entendemento entre ambos [4].

Testemuña da longa amizade entre ambos investigadores é a correspondencia relativa que se conserva no Arquivo do Laboratorio Xeolóxico de Laxe. Máis de cen cartas amosan a relación entre Parga e Burri, ofrecéndonos interesante información relacionada coa vida do xeoquímico galego. A maior parte das cartas que se conservan foron as remitidas por Conrad Burri, mais tamén se gardan moitos duplicados das enviadas polo galego. No seu conxunto axudan á elaboración do presente traballo.

## Características das cartas

As misivas teñen o seu inicio en outubro de 1931 e rematan o 10 de maio de 1966. As primeiras comunicacións, e as máis numerosas, corresponden

micas" (1932) e "Zur Petrographie der basischen Eruptivgesteine der Campos de Calatrava (Provinz. Ciudad Real, Spanien)" (1933).

[3] Conrad Burri (Zürich, 1900-Berna, 1987). Mineraloxista e petrógrafo. No ano 1920 matriculouse na ETH para estudar Química. No segundo ano na universidade asistiu a unhas conferencias sobre Mineraloxía e Petrografía, impartidas por Niggli, quen foi unha grande influencia ao longo da súa vida académica. Desde 1925 foi asistente do mesmo. No ano seguinte presentou a súa tese, versando sobre a química de rochas volcánicas do Océano Pacífico. Entre 1930 e 1932 foi *privatdozent* de Mineraloxía e Petrografía na ETH, entre 1932 e 1954, profesor asociado das mesmas ensinanzas, das que foi catedrático entre 1954 e 1970.

[4] Segundo Weber (2007), o posto de *privatdozent* constituía o primeiro paso para os investigadores con intención de dedicarse a unha profesión científica. Para poder optar a este cargo, o aspirante tiña que poñerse en contacto co titular da especialidade e obter o seu visto e prace. Logo era valorada a súa produción científica e tiña que facer un exame na universidade á que optara. Se obtiña o posto, a súa labor sería a de impartir cursos. Xeralmente quedaba encargado dos que non impartía o titular da disciplina. O *privatdozent* dispuña de gran cantidade de tempo para realizar as súas investigacións e unha vez que conseguía o seu posto non podía ser despedido. No caso de Burri, era Paul Niggli o titular da especialidade na que impartía os cursiños.

A labor dun profesor auxiliar estaba tamén supeditada ás decisións do catedrático da materia. A creación do posto de profesor auxiliar temporal dependía das Xuntas de facultade e dos reitorados, encargados da proposta e nomeamento dos novos auxiliares. O traballo destes era o de substituír o catedrático respectivo en ausencias e enfermidades, axudar ás prácticas, vixiar o bo estado e conservación do material, preparar o necesario para as leccións, traballos prácticos e de investigación e realizar os traballos que lles encomendasen os respectivos profesores.

ao período entre 1932 e 1937. Na seguinte década as cartas entre Isidro e Conrad son escasas e volven incrementarse entre 1950 e 1966, aínda que sen chegar ao número de cartas dos ano trinta. Como imos ver a continuación, nelas póñense de manifesto algunhas das distintas etapas vitais de Parga: investigador en Compostela, dedicado aos estudos xeoquímicos; expulsado da Universidade, coas súas consecuencias vitais e profesionais; director da empresa mineira "Kaolines de Lage" e director do Laboratorio Xeolóxico na súa vila natal, realizando, entre outros estudos científicos, tarefas de cartografado xeolóxico.

As cartas tamén nos permiten coñecer como ambos científicos se repartían o traballo nas investigacións conxuntas. As análises de Parga constituían un complemento á labor de Burri. O profesor suízo tiña uns maiores coñecementos mineralóxicos e petrográficos que o galego, así como unha maior práctica no emprego dalgunhas técnicas, como o uso do microscopio petrográfico. Os traballos entre ambos investigadores foron nun principio suxeridos polo suízo, mais Parga tamén recomendou a realización dalgunhas investigacións. As publicacións conxuntas dos primeiros anos constituíron unha importante base para a realización da tese de Parga. Nela o galego profundou en varios dos aspectos iniciados nas investigacións xunto a Burri, que continuaron despois de obter Isidro o doutoramento.

Reflexo da excelente relación existente entre ambos tamén son as numerosas alusións persoais. Non faltan os corteses saúdos para as donas respectivas, así como para fillos e netos. Tamén son frecuentes as invitacións para visitar o país de cada un, o que se fixo realidade, por exemplo, nas varias ocasións que Burri visitou España.

## Cronoloxía da correspondencia

### *Primeira etapa: 1931-1937*

A primeira carta tivo a súa orixe no traballo conxunto que ambos investigadores comezaran en Zürich, estudando as rochas volcánicas recentes da rexión dos Campos de Calatrava[5]. Ao non ter rematada esta investigación antes do regreso de Parga a España, o 21 de outubro de 1931 Burri pregúntalle pola marcha dese traballo, sinalándolle o interese en publicalo. A edición da in-

[5] "Zur Petrographie der basischen Eruptivgesteine der Campos de Calatrava (Provinz. Ciudad Real, Spanien)" (1933). A investigación foi rematada polos autores en solitario en decembro de 1932.
O estudo das rochas volcánicas recentes vai marcar boa parte da relación profesional entre Parga e Burri.

vestigación estaba pendente de consultar con Francisco Hernández-Pacheco, quen fixera con anterioridade un traballo sobre a mesma rexión[6]. Parga quedara en consultarlle a este profesor os detalles da súa investigación, aínda non publicada, para comprobar a non coincidencia da investigación de Burri e Parga coa de Hernández-Pacheco.

Isidro contestou ao profesor suízo o 18 de xaneiro de 1932. O informou de que nunha recente estancia en Madrid tivera a oportunidade de falar con Hernández-Pacheco e que este lle explicara que o seu traballo estaba baseado na descrición xeográfica e xeolóxica. Ao ver que non coincidía a temática co traballo que os xoves investigadores estaban a finalizar, estes decidíronse a facer a súa publicación, na que profundaban no estudo petrográfico da rexión. Como consecuencia, as seguintes cartas entre Parga e Burri tratan sobre o xeito de finalizar a investigación, publicada finalmente no ano 1933 na revista *Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen*[7].

A partir da información epistolar, vemos como Burri foi o principal promotor da investigación sobre os Campos de Calatrava. O suízo indicoulle ao xeoquímico galego os apartados máis adecuados aos seus coñecementos. Desta forma Parga realiza a analítica, tarefa que vai representar a súa principal labor nas sucesivas colaboracións, a descrición petrográfica e a introdución bibliográfica, estas dúas dentro do apartado das características e relacións da provincia petrográfica estudada[8].

Este vai ser o patrón de traballo que Isidro desempeñou nas súas colaboracións con Burri. En xeral o galego escribiu a parte histórico-bibliográfica e realizou as análises químicas, mentres que o suízo fixo os estudos petrográficos detallados. Ademais, os traballos adoitaban ser revisados por Niggli antes de envialos á *Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen*.

Tras publicar o traballo sobre os Campos de Calatrava, Burri, satisfeito polo resultado da investigación, escribe na súa carta do 9 de xaneiro de 1933: «Quedei moi sorprendido ao ver que en España hai tantos depósitos de rochas volcánicas modernas dos cales non sabía nada. ¡Todos deberían ser investigados!». Atopamos aquí un novo referente da importancia que tivo Burri na ela-

[6] Hernández-Pacheco, F (1932): "Estudio de la región volcánica central de España". *Memorias de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 3.

[7] No ano 1930 Parga se fixera membro da Sociedade de Mineraloxía e Petrografía de Suíza, que editaba esa revista. Do comité desta sociedade destacamos a Robert L. Parker, que era o secretario e profesor na ETH, e a Paul Niggli, editor da publicación.

[8] Parga foi o autor desas sección, xa que era un bo coñecedor da historia da xeoloxía e estaba acostumado a manexar bibliografía xeolóxica. Tal como aparece na publicación, o galego realiza unha completa introdución, citando diversas obras bibliográficas relacionadas co tema.

boración da tese de Isidro, suxeríndolle que profundase nestas investigacións, que supuxeron a base do traballo de doutoramento do galego.

O 17 de xuño de 1933 o suízo escribe a Parga para comentarlle que a investigación sobre a petroloxía das rochas básicas dos Campos de Calatrava fora lida polo célebre mineraloxista Alfred Lacroix. Este lle manifestara a Burri o interese pola mesma, pedíndolle algunhas das mostras analizadas no traballo[9]. É de salientar este feito dado o prestixio internacional do científico francés, profesor de mineraloxía no Museo de Historia Natural de París e gran estudoso da vulcanoloxía. Desta mesma carta tamén se desprende que a recomendación de Burri de continuar cos estudos das rochas eruptivas recentes da península fora aceptada por Parga, algo polo que o suízo expresa a súa satisfacción.

A seguinte comunicación que xulgamos de interese data do 7 de xuño de 1934 e o seu autor é Parga[10]. Nela cóntalle a Burri que viña de pasar dous meses en Madrid, con motivo da presentación da súa tese de doutoramento. Na capital de España o xeoquímico galego aproveitara para visitar o Museo de Ciencias Naturais, onde vira numerosas rochas volcánicas recentes, andesitas e basaltos, de diferentes rexións, como Melilla, as Illas Chafarinas ou Alborán. Tras comprobar na bibliografía o pouco estudadas que estaban estas zonas desde o punto de vista petroquímico, Isidro suxírelle a Burri a realización dun traballo con estas rochas[11]. Esta recomendación deu lugar a novos traballos. Como consecuencia, e de xeito similar a como fixeran co estudo dos Campos de Calatrava, o galego enviou a Suíza rochas e preparacións microscópicas para que Burri realizase os estudos petrográficos, mentres que o suízo remitiu outras a Galicia, para o seu estudo químico[12].

O interese de Burri de continuar colaborando con Parga vaise pór de manifesto nunha nova investigación. Na carta do suízo do 21 de xuño, tras felicitalo por ter presentado a tese de doutoramento e solicitarlle unha copia da

[9] En concreto Lacroix quería mostras do volcán de Villamayor.

[10] Trátase da segunda das cartas escritas por Isidro relativas á correspondencia con Conrad Burri. A primeira das mesmas fai referencia a unha colección de rochas dos Alpes mercada polo galego.

[11] Isidro sinala que tan só o xeólogo austríaco Friedrich Becke e o español Fernández Navarro fixeran estudos con rochas destas zonas, se ben dun xeito incompleto.

[12] Varios dos exemplares estudados nos traballos de Burri e Parga eran prestados por diversos investigadores estranxeiros, algúns dos cales se poñían en contacto con Burri, o que explica o feito que este mandase rochas españolas desde Suíza. Tamén prestaban mostras investigadores españois, como Gabriel Martín Cardoso ou Maximino San Miguel de la Cámara.

Estes estudos de Parga e Burri deron lugar ás publicacións "Las rocas eruptivas de la Isla de Alborán (Provincia de Almería, España)", publicada en Suíza en 1937 e en España once anos despois, e "Zur Kenntnis der jungen Eruptivgesteine von Spanisch Marokko". Este último traballo non foi publicado de xeito completo. Un resume do mesmo apareceu no ano 1938 en *Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen*.

mesma, sinala que deberían facer un traballo conxunto sobre as rochas de Alborán, algo co que tamén estaba de acordo Paul Niggli[13]. Burri non se detivo nesta petición, xa que en seguintes cartas lle suxire novas investigacións sobre as rochas de Melilla, das illas Chafarinas e das Canarias, algo que, como vimos, xa lle fora indicado previamente por Parga. Ao non obter unha resposta de Isidro sobre esta suxestión, o suízo lle indica outros lugares posibles, como Cartaxena, o Mar Menor, o Cabo de Gata ou as illas Columbretes, repetindo que estes merecían ser estudados. Esta insistencia de Burri de colaborar con Isidro pensamos que é un reflexo da calidade do galego como analista de rochas e minerais.

En setembro de 1935 Parga se presentou ás oposicións á cátedra de Química Analítica nas Universidades de Santiago e Valencia, do que informou a Burri. Ante esta noticia os profesores suízos cos que o galego traballara na ETH quixeron contribuír co que puidesen, co fin de que Isidro se convertese en catedrático. Así o expresa Burri na súa carta do 15 de xuño de 1935, ao que Parga contesta doce días despois. Nesa misiva, o galego solicita algúns documentos que poderían ser positivos á hora de presentarse ás oposicións, como certificados de Niggli e de Burri coa súa opinión profesional das tarefas que Parga desenvolvera na ETH.

Á vista da petición do xeoquímico galego, Niggli enviou o certificado correspondente, no que resalta a exactitude analítica de Parga, así como a súa gran capacidade de traballo. O feito que Niggli, científico dunha grande importancia na súa época, firmase un certificado no que gababa as habilidades como analista de Isidro, dá unha idea da gran profesionalidade do galego.

Isidro finalmente non aprobou os exames para gañar a cátedra, que quedou deserta. No entanto, este feito non lle sacou méritos fronte a Burri, con interese en continuar traballando con el. Desta forma veu a luz a investigación "Beiträge zur Kenntnis einiger jungvulkanischer Gesteine Spaniens" (1935) e "Neue Beiträge zur Kenntnis des granatführenden Cordieritandesites vom Hoyazo bei Nijar (Provinz Almería, Spanien)" (1936). Ambos constituían unha continuación dos estudos sobre as rochas eruptivas recentes da Península Ibérica. O segundo destes traballos, rematado en maio de 1936, ten un valor engadido, ao ser a derradeira colaboración dos dous autores sendo Parga profesor de Universidade.

Á vez que remataban estes traballos, tiñan novos proxectos conxuntos. Entre eles, o estudo das rochas do "Marrocos español", para o que estaban a investigar as rochas eruptivas de Melilla, e unha investigación sobre as illas

[13] Neste caso, a pesar de que existían análises previas, feitos por Becke, estes eran de pouca calidade, segundo Burri.

Canarias, que non chegou a ser rematada. Do primeiro destes traballos Parga xa realizara diversas análises, cuxos resultados remitira a Suíza.

Desta forma, entre publicacións, intercambios da datos xeolóxicos, proxectos de novas colaboracións e diversa información cordial entre ambos investigadores, chegamos a xullo de 1936. Acompañando á carta do día 14 Isidro envía algunhas correccións do traballo "Neue Beiträge zur Kenntnis"... antes da súa impresión e informa a Burri de que está a realizar análises de rochas de Alborán. Ao final da carta o galego escribe: «Me alegra saber que tienen Vds. un Auto pues así les será más fácil el venir por esta (tierra). Mucho me alegraría que se animen y vengan este año aceptando mi invitación de pasar una temporada con nosotros. Por aquí las cosas no están tan mal como dicen los periódicos y la vida está muy barata»[14]. A Historia dános unha perspectiva ben diferente do expresado por Parga nesta carta, cuxa vida sufriu un cambio drástico nas semanas seguintes.

Na misiva do 30 de setembro Burri avisa ao profesor galego que en Suíza informaran de que as cartas á provincia da Coruña, entre outras, chegarían a través de Portugal. Esta epístola, acompañada da publicación do último artigo conxunto, inclúe a petición dos datos da análise dunha alboranita que Parga se comprometera a facer, e cuxos resultados non lle chegaran. Isidro responde o 16 de outubro desde Laxe. Na carta, ademais de enviar os datos pedidos por Burri, o galego di: «Desde hace más de un mes me encuentro en esta pequeña villa pasando una temporada con mi familia, pero pronto regresaré a Santiago a donde ya puede contestarme».

Nada máis lonxe da realidade, como queda manifestado na seguinte carta do profesor suízo, do 6 de outubro de 1937. Tras varias misivas anteriores nas que non obtivera resposta do galego, Burri escribe: «Estimado amigo. A pesar de que lle enviei varias cartas, nunca recibín contestación a elas (...) Espero sinceramente que vostede e a súa familia estean ben e que este silencio no teña razón de ser». Isidro recibe esta misiva e contesta á mesma o día 9 do outubro. A diferenza das anteriores cartas, escritas a máquina, esta o está a man e semella que de xeito apresurado e con numerosas riscaduras. Entre outra información, o galego di:

*«Mi querido amigo: mucho me alegro de recibir su carta del 6 de octubre. Por ella creo deducir recibió usted la mía fechada el 16 de octubre de 1936 en que le daba los resultados de los dos análisis de las alboranitas (...). La última carta que recibí de Vd. es la fechada el 30 de septiembre de 1936.*

*Yo por ahora estoy en Lage, pero puede Vd. seguir dirigiendo la correspondencia a Santiago como siempre».*

[14] A invitación á que fai referencia viña sendo una constante na correspondencia remitida por Parga, quen insistía para que Burri e a súa dona visitaran Galicia. Recollemos as palabras de Isidro en castelán, tal como el as escribiu. No caso das de Burri, optamos por traducilas ao galego.

Con esta misiva péchase a primeira etapa da relación entre os dous científicos, marcada, como vimos, polas investigacións xeoquímicas relacionadas con rochas volcánicas recentes. A expulsión da Universidade á que Parga se viu sometido fixo que durante uns anos a súa actividade investigadora fose interrompida. Durante a súa nova vida en Laxe ocupou gran parte do seu tempo nas novas responsabilidades na empresa de "Kaolines de Lage", se ben non deixou de facer excursións xeolóxicas por Galicia.

### *Segunda etapa: 1946-1950*

Unha vez que tivo a súa vida asentada na súa vila natal, Isidro sentiu desexos de continuar os estudos xeoquímicos que se viran interrompidos ao ter que abandonar o seu Laboratorio de Xeoquímica na Universidade. Desta forma, pasados os anos desde a súa anterior comunicación, Isidro escribe a Burri de novo. O texto completo da carta é o seguinte:

*Mi querido amigo:*

*¡Seguramente no espera usted esta carta mía!*

*¡Ha pasado tanto tiempo y han sucedido tantas cosas desde la última vez que nos hemos visto! Nada sé tampoco de los buenos amigos que dejé en ese Instituto de Zürich, de los prof. Niggli, Jakob, Parker y señora, etc., a todos los recuerdo siempre!*

*Yo sigo en Lage como Director de una Sociedad que explota unos importantes yacimientos de kaolín. Aquí tengo un buen laboratorio químico y estoy en relaciones con el Instituto Geológico de Madrid y con el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. ¿Quiere usted que continuemos nuestra antigua colaboración?*

*Me agradaría mucho recibir sus noticias y reanudar nuestra buena y antigua amistad. Con recuerdos afectuosos de mi mujer para Vd. y señora,*

*Reciba un cariñoso saludo de su siempre buen amigo*

Temos que sinalar varios aspectos desta carta. O primeiro, aínda que tamén está escrita a man, como a do 9 de outubro de 1937, a letra da mesma é un reflexo da tranquilidade á que volvera a vida de Parga[15]. A letra, grande,

[15] A separación de Parga da Universidade oficializouse coa publicación no BOE do 23 de novembro de 1936 da orde da Presidencia de la *Junta Técnica del Estado*, que o deixaba suspendido de emprego e soldo desde o 20 de novembro de 1936. A comisión depuradora do seu expediente ditaminou, o 25 de febreiro de 1937 e por unanimidade, a separación definitiva do servizo, coa inhabilitación para exercer cargos públicos.

Parga foi sometido a un segundo proceso, neste caso polo *Tribunal Regional de Responsabilidades Políticas*. A pesar de ser acusado dos mesmos cargos que no proceso da *Junta Técnica del Estado*, neste caso foi absolvido en xaneiro de 1940 (Sentenza 25/940). Porén, isto non o liberou dos cargos

sen borróns, semella terse feito con calma, ao contrario da anterior, reflexo dos acontecementos que estaba a vivir. Por outra banda esta misiva non ten data, aínda que se temos en conta que a contestación de Burri foi do 22 de febreiro de 1946, é lóxico pensar que Isidro redactase a súa nese mesmo mes. A carta tamén nos dá outra información de interese. Malia que Isidro foi nomeado oficialmente colaborador rexional do IGME no ano 1951, vemos que anos antes xa tiña unha boa relación con esa institución. Por outra banda, xulgamos lóxico que Isidro agardase ao remate da 2ª Guerra Mundial e a que as comunicacións se normalizasen para escribir a Burri. Esta carta de Isidro é a primeira dunha curta serie de misivas co profesor suízo que se desenvolveron entre 1946 e 1948, data a partir da cal se produce outra pequena interrupción nas comunicacións.

Conrad Burri contesta á invitación de retomar a amizade nunha carta na que expresa a súa alegría por ter recibido a misiva de Parga. O profesor suízo di: «Estimado amigo, foi realmente unha gran sorpresa e alegría despois de tanto tempo ter noticias súas e saber que está ben e que exerce unha actividade que trae éxito e satisfacción. (..) Fomos capaces de sobrevivir ao imperio dos 1000 anos e agora sabemos que estabamos moi cerca da acción final do toleado Sr. Schickelgruber[16]».

Nesta mesma carta Burri informa de que o funcionamento do Instituto era máis ou menos o mesmo que antes da Guerra, contando cos mesmos profesores, aos que se engadiran algúns novos. Na mesma misiva, Burri indica a Parga o envío da obra "Die jungen Eruptivgesteine des mediterranen Orogens", libro que o suízo fixera en colaboración con Niggli. Non esquecendo a intención de continuar coas investigacións interrompidas no ano 1936, Burri recoméndalle investigar sobre outras zonas pouco estudadas xeolóxica e xeoquimicamente, como a de Cabo de Gata ou a de Cartaxena. Tamén indica que mostras destas zonas Parga podería obtelas grazas á boa relación que tiña con IGME. Ademais, o suízo lle recorda que a investigación das rochas de Melilla e Chafarinas aínda non fora publicada, xa que non quería facelo sen ter o visto e prace de Parga[17].

Pasados os anos, Burri non esquecía a gran consideración que tiña polo galego, tanto persoal como profesional. Este feito queda demostrado na carta do 20 de xuño de 1947. Nesta misiva, o suízo lle informa de que estaban a

e sancións da comisión depuradora da *Junta Técnica*, que lle impediu reincorporarse ao seu cargo na Universidade de Santiago.

[16] O réxime nazi pretendía establecer un imperio que durara 1.000 anos. O apelido Schickelgruber era o orixinario de Adolf Hitler.

[17] Refírese á investigación "Zur Kenntnis der jungen Eruptivgesteine von Spanisch Marokko", do que tan só fora publicado un resume no ano 1938 na Acta da Reunión da Sociedade de Mineraloxía e Petrografía de Suíza, celebrada en Church o 28 de agosto de 1938.

organizar na ETH unha homenaxe a Niggli, con motivo do seu sesenta aniversario. Por esta causa a revista *Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen* ía editar un número especial, que recollera diferentes traballos. Conrad explica que na ETH estarían encantados de contar coa colaboración de Parga, aínda que mandase a investigación escrita en español. O mesmo Burri se ofrecía a traducila ao alemán, algo que por outra parte adoitaba facer nas súas publicacións conxuntas. O traballo que Parga elaborou para a homenaxe a Niggli foi "Quimismo de algunos granitos de Pontevedra (España)", realizado en colaboración con Martín Cardoso. Segundo se recolle na correspondencia, esta investigación tivo un certo retardo na súa finalización, debida a diversas ocupacións e viaxes que entretiveran a Parga[18].

Así se pecha a segunda etapa na correspondencia entre os dous autores. Das misivas deste década pódese observar como o bo trato entre Parga e Burri foi fácil de recuperar, o que mostra que a súa amizade ía máis aló de simples colaboracións científicas. Como vimos, as cartas dos anos corenta tiveron como finalidade tratar de completar algunhas das súas investigacións conxuntas e a elaboración do traballo para a publicación de homenaxe a Niggli.

### *Terceira etapa: 1952-1966*

A comunicación entre os dous investigadores foi retomada catro anos despois da súa última carta. É de novo Parga quen escribe a primeira misiva. Con data 21 de xaneiro de 1952, Isidro comeza poñéndolle ao día das súas actuais ocupacións: segue como director de Kaolines de Lage, S.L. e sinala que «en mis ratos libres continuo a hacer excursiones geológicas por toda Galicia y colaboro con el Instituto Geológico de España en el mapa geológico 1/50.000». Nese ano o investigador galego estaba a traballar co IGME na zona de sueste de Vigo. Próximo a esta localidade, no Monte da Guía, Isidro atopara unha zona con rochas de osanita, que xa descubrira no ano 1934, pero á que agora se unía unha rexión próxima con características petrolóxicas semellantes[19]. O motivo de poñerse en contacto con Burri era o de ofrecerlle realizar unha in-

[18] Neses anos Isidro estaba a elaborar mapas xeolóxicos de Galicia a escala 1:50.000. Esta era seguramente una das causas do atraso na finalización do traballo da homenaxe.
"Quimismo de algunos granitos de Pontevedra (España)" foi aproveitado por Parga e Cardoso para realizar unha presentación no 18º Congreso Internacional de Xeoloxía, celebrado en Londres en 1948. A este mesmo congreso tamén asistiu Burri, quen seguramente recomendara a Parga a presentación do traballo en dito congreso.

[19] No *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural* (1934-35), p. 236, inclúese: «El Sr. Parga Pondal comunicó haber estudiado los neis de las proximidades de Vigo, en los que se indicaba la presencia del glaucofán y en los que él descubre un anfíbol (osannita) del grupo de la riebeckita».

vestigación conxunta sobre estas rochas, dun xeito similar a como tiñan feito nas súas anteriores colaboracións.

O suízo contestou o 29 de febreiro, aceptando a proposición de realizar de forma conxunta esa investigación. Na mesma misiva Burri lle comenta que estaba en contacto con outros investigadores españois. Por un lado, continuaba a relación con San Miguel de la Cámara, quen o tiña invitado varias veces a ir a Madrid. Pola outra, lle informa de que o xeólogo José María Fúster e a súa axudante e dona Eliza Ibarrola se atopaban estudando en Zürich[20]. Estes científicos españois estaban investigando as andesitas cordieríticas de Mazarrón, zona próxima á estudada por Burri e Parga no seu traballo "Neue Beiträge zur Kenntnis des granatführenden Cordieritandesites vom Hoyazo bei Nijar (Provinz Almería, Spanien)" (1936). O profesor suízo expresa a súa satisfacción cos traballos de Fúster, quen estaba a realizar novas análises das mostras do lugar. Burri tamén sinala que Fúster podería realizar o estudo das rochas de Vigo, podéndollas levar de volta cando regresara a España.

A resposta de Parga data do 14 de marzo. Nela escribe que San Miguel xa lle informara da presenza de Fúster en Zürich, e expresa a súa satisfacción por este feito, ao considerar que a petrografía española necesitaba adaptarse ás modernas metodoloxías de investigación. Tamén sinala que sería bo publicar o traballo sobre as rochas de Marrocos, que quedara sen rematar por mor da Guerra Civil.

Ante o visto bo e prace profesor suízo de traballar sobre as rochas alcalinas de Vigo, o galego comezou a buscar información bibliográfica das mesmas. Desta forma, fíxolle chegar a Burri unha copia da obra de Francisco Quiroga (1893) "Gneis de glaucofan del Monte Galiñeiro en el Valle do Miñor (Pontevedra)", varias mostras e preparacións microscópicas (feitas en Madrid) das rochas da rexión e o traballo sobre a nontronita de Chenlo, que Parga publicara en 1929[21]. O galego tamén lle explica a existencia de varios lugares en Galicia con rochas alcalinas análogas ás de Vigo, coma no Monte do Carrio e Silleda.

O 29 de maio Parga escribe de novo sobre unha información que xulgamos de grande interese. O texto desta misiva explica en parte o inicio da chegada

[20] San Miguel, catedrático de Petrografía na Facultade de Ciencias da Universidade Central, encargara a Fúster no ano 1947 a creación dun Laboratorio de Petroquímica, que estableceu seguindo as instrucións de Parga. Entre 1951/52 e 1953/54, seguramente orientado por San Miguel, Fúster ampliou os seus estudos na ETH, xunto a Niggli e Burri.

[21] PARGA PONDAL, I. (1929): "Estudio químico de la Nontronita de Chenlo (Pontevedra)". *Arquivos do Seminario de Estudos Galegos*. Vol. 2, páxs. 9-14.

de profesores e estudantes estranxeiros ao Laboratorio Xeolóxico de Laxe, desde onde se levou a cabo unha importante labor de investigación da xeoloxía de Galicia por parte de científicos internacionais. Isidro sinala que neses días recibira carta de Willem Paul de Roever do Instituto Xeolóxico da Universidade de Amsterdam, interesándose polos gneis de osanita de Vigo e do Monte Galiñeiro. De Roever estaba a traballar nun proxecto de investigación chamado "Mode of ocurrence of the blue amphibole glaucophane" e informaba que tiña pensado ir nese verán de excursión xeolóxica por Galicia e o norte de Portugal[22].

Pasado pouco tempo, De Roever se puxo novamente en contacto con Parga, tal como o galego informou a Burri nunha carta con data do 18 de xuño de 1952. Nela Isidro escribe que o profesor holandés lle pedira mostras dos gneis alcalinos de Vigo, coa intención de estudalos antes de viaxar a Galicia, algo que finalmente tiña planeado facer no mes de setembro[23]. Ademais, De Roever lle remitira a Parga un traballo sobre a orixe das rochas de glaucofana e lle informaba da súa intención de facer un estudo sobre a orixe deste mineral en todo o mundo. Por esta razón, Parga temía que a investigación que estaba a comezar con Burri sobre as rochas alcalinas de Vigo fose rematada antes polo investigador holandés, polo que urxiu ao suízo a rematar pronto o seu traballo conxunto. Isidro insiste varias veces na présa de facer a publicación sobre esas rochas alcalinas gneisificadas. O 18 de decembro de 1952, sinala que ten que publicar o traballo sobre esas rochas, xa que está a cartografar a zona para elaborar o mapa xeolóxico para o IGME[24]. O galego chega a dicir a Burri: « le ruego que me diga si no dispone de tiempo para el estudio petrográfico de las rocas que le envié, pues en este caso debo publicarlas yo aquí en España».

Non se conserva a carta de resposta do profesor suízo, se é que a houbo. Hai que ter en conta, como o mesmo Burri recoñece nalgunha das súas misivas, que o seu cargo de profesor asociado na ETH o tiña moi ocupado. A isto hai que engadir que en 1954 obtivera a cátedra de Mineraloxía e Petrografía da ETH o que lle debeu sumar novas tarefas. Curiosamente, deste último ano é a seguinte comunicación, de novo remitida por Parga a Suíza. O 26 de novembro Isidro invita ao suízo a Laxe para, entre outras cousas, facer excursións xeolóxi-

[22] Willem Paul de Roever (1917-2000) fora nomeado en 1950 profesor de Mineraloxía e Cristalografía na Universidade de Amsterdam. En 1955 obtivo a cátedra de Cristalografía, Mineraloxía e Petroloxía da Universidade Estatal de Leiden, regresando en 1958 á Universidade de Amsterdam como profesor de Petroloxía, Mineraloxía e Cristalografía.

[23] A partir desta visita, previo acordo con Parga e coa autorización do IGME, estudantes holandeses comezaron a chegar a Galicia a facer estudos sobre xeoloxía, principalmente do noroeste do país.

[24] A pesar deste dato, o mapa xeolóxico de Vigo non foi publicado por Parga.

cas polos afloramentos de rochas alcalinas descubertos polo galego. Na mesma carta atopamos un novo resume das actividades recentes de Parga, así como dalgúns novos proxectos. O xeoquímico galego sinala que estaba a facer estudos para tratar de relacionar os afloramentos dos montes Galiñeiro e Guía cos portugueses de Alter Pedroso. Estas investigacións as estaba a facer xunto aos doutores Carlos Teixeira e Carlos Fernando Torre de Assunçao, profesores da Universidade de Lisboa, e con Elisabeth Jérémine, investigadora da Sorbona, os que lle animaban a publicar a súa investigación sobre as rochas alcalinas das proximidades de Vigo, que finalmente nunca chegou a ver a luz. Entre os plans futuros, Parga sinala que para o verán de 1955 estaba prevista a chegada a Laxe do profesor L. U. De Sitter e de Ernst Niggli (fillo de Paul Niggli), ambos da Universidade de Leiden, xunto con varios alumnos para facer estudos xeolóxico-petrográficos en Galicia. A carta remata animando a Burri a proseguir a colaboración co galego, «interrumpida desde hace tantos años», para poder finalmente realizar a publicación das rochas alcalinas citadas. Finalmente as rochas alcalinas do Galiñeiro foron obxecto da tese de Peter Floor, da Universidade de Leiden, baixo o título "Petroloy of an aegirine-riebeckite gneiss-bearing part of the hesperian massif: the galiñeiro and surrounding areas, Vigo, Spain" (1966).

A carta semella que non atopou resposta ata o 25 de xullo de 1955, cando Burri informa a Parga do interese dun dos seus alumnos, un tal Ekker, de chegar a facer a tese de doutoramento sobre algún estudo da xeoloxía galega. Nunha misiva remitida catro días despois, Parga acepta a visita do estudante. Tamén se compromete a orientar o traballo do alumno, segundo os problemas xeolóxicos que máis lle interesaran. Isidro sinala que nese verán tamén se atopaban en Laxe tres estudantes holandeses de Leiden, polo que o estudante Ekker atoparía un bo recibimento.

Despois de novas e repetidas invitacións por unha e outra parte para visitar cadanseu país de orixe e tras case catro anos sen ter contacto, Burri informa nunha carta do 25 de marzo de 1959 que vai visitar España. O motivo era que o CSIC o invitara a dar unhas conferencias, polo que o 31 de marzo chegaría a Madrid, hospedándose na Residencia do Consello. Por este motivo, os dous amigos reencontráronse na capital de España e con eles estivo o matrimonio Fúster. Desta viaxe Burri quedou moi satisfeito, como informou a Parga na carta do 30 de maio, expresándolle o agradecido que estaba por acompañalo. O profesor suízo tamén di nesta misiva: «Compráceme en particular habelo visto despois de tanto tempo ( ). En especial fíxome moi feliz ver que lle está indo ben, que ten éxito, mais por desgraza non puido seguir coa carreira que fixera, e na que sen dúbida habería tido un grande éxito». Burri seguramente escribiu estas palabras por analoxía coa súa propia vida, xa que cando ambos se coñeceran en Zürich desempeñaban postos moi similares mentres que no

ano 1959 o suízo era catedrático mentres que Parga tivera que abandonar a súa carreira académica.

Tras dúas misivas relativas ao intercambio de mostras xeolóxicas e felicitacións por converterse Parga en avó, o 4 de xullo de 1959 Burri informa nunha nova carta de que outro dos seus estudantes quería ir a Galicia a completar a súa formación. Con Ekker, o anterior alumno, debera xurdir algún problema, non especificado na correspondencia, ou ben abandonara a investigación que lle propuxeran facer. O novo alumno, Gian Michele Balli, un dos mellores discípulos de Burri segundo este, foi aceptado por Parga, quen lle ofreceu traballar no mesmo xacemento de volframio que propuxera orixinalmente a Ekker. O traballo finalmente foi rematado por Balli. De título "Orogenesi ercinica e metallogenesi nella regione di Carballo - Santa Comba (La Coruna, Spagna NO), con particolare riferimento al giacimento wolframifero di Santa Comba", serviulle ao estudante italiano para obter o doutoramento no ano 1965.

A seguinte carta que xulgamos salientable ten é a do 21 de setembro de 1962. Nela, Burri escribe que vai facer unha nova viaxe a Madrid, para tratar con Fúster sobre un proxecto de investigación de rochas volcánicas da España meridional. Pódese ver neste feito que o profesor suízo atopara en Fúster un novo colaborador nas súas investigacións[25]. Os coñecementos xeoquímicos de Isidro quedaran seguramente estancados e non se podían comparar coas novas metodoloxías aprendidas por Fúster na ETH, onde tamén estudara Parga, pero máis de 20 anos antes. Fúster era naqueles anos catedrático de Petroloxía na universidade central, mentres que Parga fora abandonando a xeoquímica pola xeoloxía, transición en certa forma obrigada, como é ben sabido[26].

Aproveitando esta carta Burri invitaba a Parga e á súa dona a atoparse de novo na capital de España, para poñerse ao día na súa amizade. Porén, nesta ocasión non se chegaron a ver, pois o galego non recibiu a misiva a tempo. Isidro se atopaba naqueles días percorrendo o sur de Galicia e o norte de Portugal, xunto co profesor Teixeira, comparando formacións xeolóxicas de ambos os lados da fronteira, e despois marchara a Madrid, pero Burri xa regresara a Suíza. Parga lamentou non ter coincidido, facéndollo saber nunha carta do 20 de outubro de 1962. O día 6 de novembro o suízo contestou, lamentando igualmente non terse atopado e informándoo de que o CSIC lles concedera unha axuda económica, a Burri e a Fúster, para o estudo das rochas volcánicas do sur de España, algo que o suízo consideraba de grande interese. Recor-

[25] A pesar de que non temos constancia de que chegaran a publicar ningunha investigación conxunta, os datos das cartas sinalan unha estreita colaboración profesional entre Burri e Fúster.

[26] Unha información máis completa da labor investigadora de Fúster pode lerse en Ancochea *et al* (2002): "Las aportaciones de José María Fúster Casas a la petrología y geología españolas". *Geogaceta*, 32, p. 3-6.

demos que este tipo de estudos era o que Burri estaba a levar a cabo xunto a Isidro nos anos previos á Guerra Civil e que se viran interrompidos por mor do conflito español, primeiro, e despois pola 2ª guerra mundial.

A derradeira comunicación conservada tivo lugar case catro anos despois, o 10 de maio de 1966. O CSIC invitara ao suízo a unhas excursións polas illas Canarias, polo que Burri e a súa dona, xunto co matrimonio Fúster, estarían nas illas do 15 ao 23 de maio e en Madrid do 24 de maio ao 3 de xuño. Os Burri pasarían os días na capital de España aloxados na casa dos Fúster e tiñan a esperanza de que Parga puidese acercarse a Madrid para verse de novo. Descoñecemos o desenlace desta carta, mais lembramos como Burri xa lle manifestara a Parga no ano 1934 facer un estudo sobre as illas Canarias. Fúster Casas e os membros do seu departamento desenvolveron nos anos seguintes, finalizando en 1972, a investigación das rochas volcánicas das illas canarias. Deste xeito cremos que se demostra como o interese de Burri polas rochas volcánicas recentes non variou en gran medida ao longo do tempo, mais precisaba dun bo xeoquímico para completar as súas investigacións, contando con Parga nun primeiro lugar e logo con Fúster.

## Conclusións

Malia que as cartas, como dixemos, son moito máis numerosas das que recollemos aquí, optamos por non reproducir o contido do resto. Moitas teñen información persoal, que non achegan nada ao presente traballo, e outras recollen datos relativos a correccións nas publicacións dos autores, intercambio de rochas e minerais, de material bibliográfico, etc. que tampouco dan información relevante. Consideramos que o contido da correspondencia que aquí recollemos representa unha información de interese. Pon de manifesto a valía de analista de Parga, achega interesante información dalgunhas das etapas da súa vida e dá a coñecer como se foi creando parte da rede de contactos de Isidro con diversos profesores europeos. Por outra banda, se temos en conta que Isidro era da mesma idade que Burri, e que no ano 1930 ambos ocupaban postos académicos similares, podemos facer unha suposición do que ben podería ter sido a vida do xeoquímico galego de non ter sido expulsado da Universidade: o suízo pasou a ser profesor asociado de Mineraloxía e Petrografía entre os anos 1932 e 1954 e nesa data gañou a cátedra destas mesmas disciplinas.

## Bibliografía

Arquivo do Laboratorio Xeolóxico de Laxe. Correspondencia entre Isidro Parga Pondal e Conrad Burri.

Arquivo da ETH Zürich. Prof. Dr. Phil. Johann Jakob (1887-1968). Biografía.

Beunk FF (2001) Willem Paul de Roever, 1917-2000. Obituary. Int. J. Earth Sci (Geol Rundsch) 90: 471–473.

Parga Pondal I (1973) El estado actual de los conocimientos geológicos de Galicia y la labor del Laboratorio Geológico de Lage. Disertación del autor, el día 15 de febrero de 1973, con motivo de recibir el Premio de Ciencias de la Diputación Provincial de La Coruña. Revista del Instituto "José Cornide de Estudios Coruñeses". Anos VIII –I X, 1972 – 73, nº 8 – 9: 299-307.

Parker RL (1954) Memorial of Paul Niggli. American Mineralogist, 39: 280-283.

Stahel A (1987) Obituary. Conrad Burri: 1900-1987. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen, pp. 367-368.

Weber M (2007) El político y el científico. Alianza, Madrid.

Revista Real Academia Galega de Ciencias. Vol. XXXI. Págs. 15-26 (2012)

# Estudio anatómico del desarrollo de raíces adventicias en microestaquillas de *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn

Mª del Carmen San José[1], Mª Lourdes Romero[2], Laura V. Janeiro[3]

*[1]Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia, CSIC, Avda de Vigo s/n, Apartado 122, 15780 Santiago de Compostela, España.*
*[2] CIFP Politécnico de Santiago. Rosalía de Castro 133, 15706 Santiago de Compostela.*
*[3] INLUDES. Diputación Provincial de Lugo, Ronda da Muralla 140, 27004 Lugo.*
*Correspondencia: sanjose@iiag.csic.es*

## Resumen

Se realizó un estudio histológico de la rizogénesis de brotes de *Alnus glutinosa* cultivados in vitro. El enraizamiento se indujo cuando los brotes se cultivaron en medio WPM con los macronutrientes reducidos a la mitad y suplementado con 0.1 mg/l de ácido indol-3-butírico durante 7 días. Los primeros cambios histológicos se observaron después de 24 horas, algunas células del cambium y del floema inician la desdiferenciación y se observan las primeras divisiones mitóticas. El incremento de las divisiones contribuye a la formación de zonas de células desdiferenciadas (meristemoides) que aparecen sobre el día 3. La posterior organización de estos meristemoides dará lugar a la formación de los primordios de raíz. Las raíces emergen a partir del día 6, habiendo diferenciado nuevos elementos vasculares que se conectan con el sistema vascular del brote. La formación de las raíces adventicias en brotes de aliso es un proceso directo, sin desarrollo de callo.

**Palabras clave:** Aliso, *Alnus glutinosa*, Histología, Rizogénesis.

## Abstract

This paper describes the histological changes occurring during adventitious root formation in *Alnus glutinosa* shoots cultured in vitro. Woody Plant Medium with ½-strength macronutrients was used during the rooting phase, supplemented with 0.1 mg / l indole-3-butyric acid for 7 days. The first changes

could be observed after 24 hours, some cells of the cambium and phloem had begun dedifferentiated and early mitotic divisions took place. The increase of the divisions contributes to the formation of undifferentiated cell areas (meristemoids) appearing on day 3. The subsequent organization of these meristemoids will lead to the formation of root primordia. The roots emerged at the surface 6 days after auxin treatment. The differentiation of vascular elements allows the connection of new roots with the vascular system of the stem. The adventitious root formation in shoots of alder is a direct process, without development of callus.

**Key words:** Alder, *Alnus glutinosa*, Histology, Rhizogenesis.

## Introducción

Una forma de aumentar la productividad de los bosques es mediante las técnicas tradicionales de propagación, identificando árboles superiores con características deseadas, que posteriormente se reproducen para la obtención de nuevos individuos con estas características, si bien en este caso se puede producir una segregación genética. Un método alternativo de mejora sería a través de la propagación vegetativa o clonal, esta técnica tiene la ventaja de mantener la superioridad genética de los individuos seleccionados. El material clonal se puede propagar mediante el enraizamiento de estaquillas o bien mediante técnicas de biotecnología, como el cultivo in vitro de tejidos (Ballester et al. 2009). Las técnicas de cultivo in vitro se han utilizado con éxito en la propagación clonal de un gran número de especies (Thorpe 2006). La micropropagación de especies leñosas se efectúa principalmente mediante la proliferación de las yemas axilares, seguido del enraizamiento de los brotes elongados generalmente en medios con auxina (Hartmann et al. 2002). El éxito de la micropropagación depende en gran medida de la producción de raíces de buena calidad. Desde el punto de vista económico, el enraizamiento es un fenómeno de gran importancia en la horticultura, agricultura, así como en el campo forestal, y desde el punto de vista científico la formación de raíces adventicias es un proceso de desarrollo altamente interesante. Se considera una de las principales vías de regeneración de órganos, junto con la formación de yemas adventicias y de embriones somáticos. En todas estas vías las células sufren una aparente reversión de la diferenciación y se hacen de nuevo meristemáticas.

La formación de las raíces adventicias es un paso clave en la propagación vegetativa y está controlado por una serie de factores genéticos, fisiológicos, físicos y químicos que es necesario conocer para poder controlar este proceso (De Klerk et al. 1999). El enraizamiento se consideró inicialmente como un

proceso que se desarrollaba en una sola etapa, pero en la actualidad se sabe que depende de una serie de fases interdependientes (inducción, iniciación y expresión) cada una con sus propios requerimientos (Kevers et al. 1997; De Klerk et al. 1999). La habilidad para inducir la formación de raíces adventicias y la calidad de las mismas son factores importantes para la posterior aclimatación de las plantas a condiciones ex vitro. La velocidad del proceso, así como su localización, varía en función de la especie, según se utilicen métodos convencionales ó técnicas de cultivo in vitro, siendo por lo general más difícil en especies leñosas que en herbáceas (McCown 2000). Muchos estudios básicos sobre el enraizamiento han sido llevados a cabo in vitro, ya que este método facilita la administración de auxinas y otros compuestos, impide la degradación microbiana de los compuestos aplicados, permite la adicción de nutrientes inorgánicos y carbohidratos, evitando así bajos porcentajes de enraizamiento como consecuencia de la baja capacidad fotosintética de las estaquillas, y facilita la realización de experiencias con explantos muy pequeños, como por ejemplo secciones del tallo (De Klerk et al. 1999). Además, las técnicas de cultivo in vitro facilitan el desarrollo de métodos moleculares para conocer los mecanismos básicos que actúan en la formación de las raíces adventicias (Falasca et al. 2010; Vielba et al. 2011). Sin embargo son pocos los trabajos realizados en la micropropagación de especies leñosas que lleven además un seguimiento histológico del desarrollo de las raíces adventicias (Harbage et al. 1993; Martínez Pastur et al. 2005; Naija et al. 2008; Ballester et al. 2009). Los objetivos fundamentales de estos trabajos han sido: 1) identificar las células y/o tejidos implicados en la rizogénesis y detectar las células diana para las auxinas y otros factores de inducción de las raíces adventicias, 2) determinar si existen primordios radicales preformados o es necesario su desarrollo; 3) determinar si la baja capacidad de enraizamiento de algunas especies, especialmente leñosas, está relacionada con su estructura anatómica, como por ejemplo la presencia de un anillo continuo de esclerénquima; y 4) relacionar los datos fisiológicos y bioquímicos con las distintas etapas anatómicas que se producen en la formación de las raíces adventicias. El conocimiento de los cambios anatómicos asociados a la formación de las raíces adventicias es útil y permitirá la mejora de los procesos de rizogénesis.

Aunque se han realizado diversos trabajos sobre micropropagación de diversas especies del género *Alnus* (Tremblay et al. 1986; Barghchi 1988; Lall et al. 2005), no hemos encontrado en la bibliografía ninguna referencia al estudio histológico del desarrollo de las raíces adventicias. En trabajos previos, usando la técnica de micropropagación, hemos conseguido el desarrollo de raíces adventicias en la base de brotes de *A. glutinosa* y la posterior aclimatación de las plantas en el invernadero. Aunque el aliso enraíza bien incluso en medios sin auxina, la presencia de este regulador incrementa los porcentajes

de enraizamiento y disminuye el tiempo de formación de las raíces adventicias (San José et al. 2010). El objetivo del presente trabajo es mostrar la secuencia de eventos que tienen lugar en la base de las microestaquillas y que están asociados con la formación de los meristemos que darán lugar a las raíces adventicias, su organización y crecimiento.

## Material y métodos

### *Material vegetal*

Se han utilizado brotes axilares de *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. que se habían establecido previamente in vitro a partir de material procedente de la copa de un árbol de entre 30-40 años de la Reserva de la Biosfera "Terras do Miño" (Lugo). El establecimiento, la multiplicación y el enraizamiento de los brotes desarrollados in vitro han sido previamente descritos (San José et al. 2010). Desde entonces, este clon se ha mantenido in vitro mediante subcultivos cada 9 semanas en Woody Plant Medium (WPM) (Lloyd y McCown 1980) suplementado con 0.1 mg/l de 6-benciladenina (BA) y 0.5 mg/l de ácido indol-3-acético (AIA), 20 g/l de glucosa y 0.7 g/l de agar Bacto Difco.

Para el presente experimento se utilizaron brotes de 9 semanas, con una longitud de entre 1.5-2.0 cm, recogidos al final del ciclo de multiplicación. En la etapa de enraizamiento se utilizó el medio WPM con los macronutrientes reducidos a la mitad, 20 g/l de glucosa, 7 g/l de agar Bacto Difco y 0.1 mg/l de ácido indol-3-butírico (AIB). Los brotes permanecieron en este medio durante 7 días, al cabo de los cuales se transfirieron a un medio de igual composición pero sin auxina.

El crecimiento de los cultivos tuvo lugar en una cámara de crecimiento con una temperatura de 25º/20º C (día/noche) y un fotoperiodo de 16 h con una intensidad lumínica de 30 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ suministrada por tubos fluorescentes de luz blanca (OSRAM, L40W).

## Estudio anatómico

Para el estudio anatómico, las partes basales (0.5-0.7 cm) de los brotes fueron recogidas diariamente durante los 10 primeros días del enraizamiento. En cada día de muestreo se recogieron 6 muestras, procesándose un total de 60 muestras. Los explantos se fijaron en FAA (formaldehido: ácido acético glacial: etanol 50%) (5:5:90, v/v/v) durante 48 horas a temperatura ambiente. Los tejidos se deshidrataron en series crecientes de alcohol butílico y se embebieron en parafina. Las secciones, de un espesor de 10 µm, se obtuvieron con un microtomo rotativo Reichert-Jung, y posteriormente se tiñeron con la doble

coloración safranina-verde rápido (Jensen 1962), para la determinación de polisacáridos se utilizó la reacción PAS-naphtol blue-black (O´Brien y McCully 1981). Las fotografías se realizaron con un microscopio Nikon-FXA equipado con una cámara Olympus DP71.

## Resultados

El aliso presenta unas elevadas tasas de enraizamiento, alcanzando porcentajes superiores al 80% con el tratamiento de AIB en el medio de cultivo durante los 7 primeros días. Se forman una media de 3-6 raíces por brote enraizado (Fig. 1A). Las raíces presentan una coloración rojiza, con desarrollo de raíces secundarias que permiten la rápida aclimatación de los brotes a condiciones ex vitro, alcanzando porcentajes de supervivencia superiores al 90% (Fig. 1B).

**Figura 1.** Rizogénesis en aliso. A. Inducción de raíces adventicias en brotes de 9 semanas de Alnus glutinosa en WPM ½ macronutrientes con AIB 0.1 mg/l durante 7 días. B. Crecimiento de plantas de aliso en condiciones ex vitro.

## Estudio anatómico

El día 0, antes del tratamiento con la auxina, los brotes presentan la típica disposición del tallo de las dicotiledóneas (Fig. 2A), con la epidermis formada por una capa de células epidérmicas planas, el cortex constituido por células parenquimáticas, siendo las de la zona media más grandes que aquéllas situadas en las proximidades del sistema vascular o de la epidermis, el sistema vascular constituido por haces vasculares colaterales que forman un anillo

alrededor de la médula. El xilema está formado por células isodiamétricas de paredes gruesas, las cuales gradualmente incrementan su tamaño desde la médula hasta el cambium, el cual está constituido por 3-4 capas de células planas y vacuoladas. El floema aparece rodeado por un anillo casi continuo

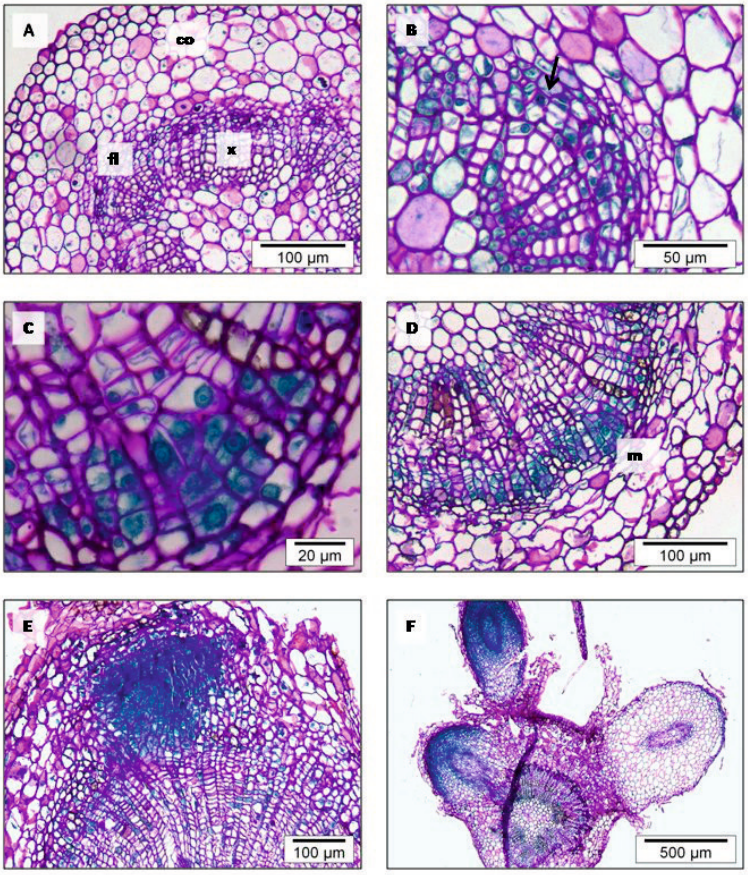



**Figura 2.** Rizogénesis en microestaquillas de 9 semanas de *Alnus glutinosa* cultivadas en medio con AIB 0.1 mg/l durante 7 días. A. Estructura anatómica de la base de la microestaquilla en el día 0, x: xilema, fl: floema, co: cortex. B. Base del tallo después de 24 horas del tratamiento con AIB mostrando la activación de algunas células que aparecen con núcleos grandes y nucléolos prominentes. Se observan las primeras divisiones (flecha). C. Sección transversal de la base del tallo mostrando la presencia de células activadas después de 2 días de cultivo con AIB. D. Grupo de células meristemáticas (meristemoides) localizado a los 3 días de tratamiento en la zona más externa del floema próximo al anillo de esclerénquima. E. Primordio de raíz a los 4 días del tratamiento atravesando el cortex. F. Emergencia de las raíces adventicias, se puede observar la diferenciación de elementos vasculares que las conectan con el sistema vascular del brote.

de esclerénquima formado por grupos de fibras separados por pequeñas zonas de células parenquimáticas. Después de las primeras 24 horas del tratamiento con AIB, algunas células de la zona cambial y del parénquima floemático muestran signos de actividad meristemática, apareciendo menos vacuoladas, se tiñen más intensamente y sus núcleos y nucléolos son más prominentes. Se aprecian las primeras divisiones celulares en estas zonas (Fig. 2B). Algunas células del xilema presentan también signos de actividad meristemática, pero no se observan divisiones. Dos días después del inicio del experimento, las células continúan su progresiva desdiferenciación, exhibiendo núcleos prominentes situados en posición central, con grandes nucléolos y reducidas vacuolas, se tiñen intensamente. La desdiferenciación se observa en diferentes tejidos como el cambium, el cortex interno y el parénquima vascular, pudiéndose observar la formación de filas de 3-4 células desdiferenciadas (Fig. 2C). Las divisiones mitóticas continúan, siendo más evidentes que en el día 1. Después de 3 días del tratamiento con AIB, se observa un incremento del número de células desdiferenciadas y de divisiones mitóticas, que se producen fundamentalmente en el plano periclinal, si bien también se observan algunas divisiones anticlinales y oblicuas en las células más externas de la región floemática. Las células desdiferenciadas se dividen rápidamente, formando pequeños grupos de células isodiamétricas, que se tiñen intensamente y en las que se observan núcleos muy marcados con prominentes nucleolos y que presentan un alto ratio área núcleo/célula. Estos grupos de células pueden ser clasificados como meristemoides (Torrey 1966). En esta fase los meristemoides no muestran polaridad y se desarrollan normalmente en la región del floema próxima al anillo de esclerénquima (Fig. 2D). A partir de los 4 días, los meristemoides comienzan a individualizarse dando lugar a la típica forma apuntada del primordio de raíz que continua su crecimiento a través del anillo de esclerénquima alcanzando el cortex (Fig. 2E). A partir del día 5-6 los primordios empiezan a diferenciarse internamente, las células centrales del primordio que aparecen más densamente teñidas serán los meristemos de la raíz adventicia, mientras otras células del primordio que se tiñen menos intensamente son los precursores de los tejidos corticales y vasculares. Posteriores divisiones en la zona apical darán lugar a la formación de la caliptra en la que se observa la presencia de células en general algo más vacuoladas que las que constituyen la zona central. En la zona que está por debajo del primordio, entre éste y el explanto original, tiene lugar la diferenciación de elementos vasculares, traqueidas, que se orientan perpendicularmente a la superficie del tallo y posteriormente sirven para conectar los sistemas vasculares del brote y de las nuevas raíces.

La formación de los primordios radicales es un proceso asincrónico, pudiéndose observar diferentes estados de desarrollo de las raíces adventicias en

un mismo brote y no todos los meristemoides van a dar raíces adventicias. El día 6 emergen las primeras raíces y sobre el día 10, el proceso de rizogénesis se ha completado, la mayor parte de las raíces han emergido al exterior y presentan características similares a las raíces desarrolladas in vivo (Fig. 2F). Debe de ser resaltado que el proceso de formación de las raíces adventicias en aliso se realiza de forma directa, sin que se observe el desarrollo de callo.

La evaluación cualitativa del contenido en almidón de las secciones mostró un incremento inicial durante las primeras 24 horas, seguido de una disminución, coincidiendo con la iniciación y desarrollo de los meristemoides, posteriormente se observa un incremento, seguido de una ligera disminución y un incremento final.

## Discusión

El estudio histológico de la formación de raíces adventicias en brotes de aliso revela que los primeros cambios aparecen en células de la zona cambial y del floema, las cuales presentan grandes núcleos y densos citoplasmas. Estos cambios anatómicos son semejantes a los observados en el enraizamiento in vitro de otras especies, como castaño (Ballester et al. 2009), manzano (Naija et al. 2008), roble (San José et al. 1992) o alcachofa (Dridi 2003).

La iniciación de las divisiones celulares tiene lugar en la región floemática cerca del cambium. En otros estudios con especies leñosas también se ha señalado el origen de las raíces adventicias cerca o en el cambium vascular (Hicks 1987; Syros et al. 2004; Naija et al. 2008). Las células que dan lugar a la formación de raíces pueden ser del parénquima floemático (James et al.1993; Koyunco y Balta 2004) o derivados del cambium (Gonçalves et al. 1998; Ballester et al. 1999). La región del tejido en el que las células se activan parece depender de los gradientes fisiológicos de las sustancias que entran en el brote a partir del medio y de la presencia de células competentes para responder a estos estímulos (Ross et al. 1973).

En aliso los primeros cambios se observan después de 24 horas del inicio del tratamiento con AIB, y a los 3 días se podían observar ya grupos de células meristemáticas (meristemoides) bien visibles en la zona del floema más próxima al anillo de esclerénquima. El tiempo requerido para la formación de las raíces adventicias varía con las especies. La actividad meristemática en respuesta al tratamiento de inducción se observó al cabo de 8 días en el caso de *Camellia japonica* (Samartín et al. 1986), 6 días para *Cynara scolymus* (Dridi 2003), 5 días en *Malus* (Hicks 1987; Naija et al. 2008), 4 días para Rosa hybrida (Bressan et al. 1982) y en castaño (Gonçalves et al. 1998), 3 días para *Malus domestica* (Auderset et al. 1994), 2 días para *Prunus avium x P. pseudocerasus* (Ranjit et al. 1988) y *Malus domestica* (James et al. 1993).

La concentración de auxina en el medio de enraizamiento puede servir para explicar estas diferencias.

Al igual que ocurre en el aliso, Naija et al. (2008) señalan que la iniciación y el desarrollo de las raíces en microestaquillas de Malus MM106 no es un proceso sincrónico, pudiéndose observar distintos estados de desarrollo de las raíces adventicias en un mismo brote.

El estudio histológico del desarrollo de las raíces adventicias en microestaquillas de *A. glutinosa* muestra que es un proceso directo, sin formación de callo en la base de las estaquillas. La ausencia de callo representa una clara ventaja, ya que la formación de este tejido puede interferir en la conexión vascular que se establece entre las nuevas raíces y el explanto original (Moreira et al. 2000; Martínez Pastur et al. 2005). La elongación y la emergencia de las raíces también siguen el modelo típico observado en la formación de raíces endógenas. Estos resultados son comparables a otros realizados en diferentes especies leñosas (De Klerk et al. 1995; Metiever et al 2007; Ballester et al. 2009).

El desarrollo de las raíces va acompañado de una disminución del contenido en almidón durante los primeros días. Diversos autores también señalan esta disminución en los tejidos implicados en el proceso de formación de las raíces adventicias (Li y Leung 2000; Hartmann et al. 2002). La formación de raíces es un proceso que requiere energía y el almidón almacenado en la base de las estaquillas se utilizaría para suministrar la energía necesaria para este proceso (Husen y Pal 2007). Megre et al. (2011) también observaron una disminución en el contenido en almidón de las estaquillas de rododendro durante los primeros días de la rizogénesis, sin embargo estos autores consideran que los cambios en el contenido de almidón no pueden ser utilizados como marcadores de las distintas etapas de la formación de las raíces adventicias.

A partir de este estudio, podemos decir que en nuestro material la inducción tuvo lugar a las 24 horas del comienzo del experimento, cuando se observaron las primeras divisiones celulares. El desarrollo de los meristemoides tiene lugar durante la fase de iniciación y son visibles después de 3 días de cultivo en el medio con auxina. El desarrollo de los primordios en raíces organizadas ocurre durante la fase de crecimiento después de 4 días de cultivo, siendo visibles al exterior a partir de los 6 días del tratamiento con AIB.

## Agradecimientos

Los autores quieren agradecer la inestimable asistencia técnica de José Carlos Suárez San Martín. Esta investigación ha sido financiada por el INLUDES (Diputación Provincial de Lugo).

## Bibliografía

Auderset G, Givillet S, Micheli J, O'Rourke J, Ribaux M, Moncousin C (1994) Histological analysis and the evolution of biochemical markers during the in vitro rooting of *Malus domestica* Borkh. 'Jork 9'. Adv. Hortic. Sci., 8:5-10.

Ballester A, San José MC, Vidal N, Fernández-Lorenzo JL, Vieitez AM (1999) Anatomical and biochemical events during in vitro rooting of microcuttings from juvenile and mature phases of chestnut. Ann. Bot., 83:619-629.

Ballester A, Vidal N, Vieitez AM (2009) Developmental stages during in vitro rooting of hardwoods trees with juvenile and mature characteristics. En Niemi K, Scagel C (eds.). Adventitious Root Formation of Forest Trees and Horticultural Plants – from Genes to Applications. Research Signpost, Kerala, India, pp 277-296.

Barghchi M (1988) Micropropagation of *Alnus cordata* (Loisel.) Loisel. Plant Cell Tiss. Org. Cult., 15:233-244.

Bressan OG, Kim YJ, Hyndman SE, Hasegawa PM, Bressan RA (1982) Factors affecting in vitro propagation of rose. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 107:979-990.

De Klerk GJ, Keppel M, Ter Brugge J, Meekes H (1995) Timing of the phases in adventitious root formation in apple microcuttings. J. Exp. Bot., 46:965-972.

De Klerk GJ, Van der Krieken WM, de Jong JC (1999) The formation of adventitious roots: new concepts, new possibilities. In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant, 35:189-199.

Dridi B (2003) Un système integre de micropropagation de l'artichaut (*Cynara scolymus L.*). Thèse de doctorat en sciences agronomiques et biologiques appliquées: biotechnologie cellulaire et génétique. Universidad de Túnez.

Falasca G, Altamura MM, D'Angeli S, Zaghi D, Costantino P, Mauro ML (2010) The rolD oncogene promotes axillary bud and adventitious root meristems in Arabidopsis. Plant Physiol. Bioch., 48:797-804.

Gonçalves JC, Diogo G, Amancio S (1998) In vitro propagation of chestnut (Castanea sativa x C. crenata): Effects of rooting treatments on plant survival, peroxidase activity and anatomical changes during adventitious root formation. Sci. Hort., 72:265-275.

Harbage JF, Stimart DP, Evert RF (1993) Anatomy of adventitious root formation in microcuttings of *Malus domestica* Borkh. `Gala`. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 118:680-688.

Hartmann HT, Kester DE, Davies FT, Geneve RL (2002) Hartmann and Kester's Plant Propagation: Principles and Practice, 7th edn. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Hicks GS (1987) Adventitious rooting of apple microcuttings in vitro: an anatomical study. Can. J. Bot., 65:1913-1920.

Husen A, Pal M (2007) Metabolic changes during adventitious root primordium development in *Tectona grandis* Linn. F. (teak) cuttings as affected by age of donor plants and auxin (IBA and NAA) treatment. New For., 33:309-323.

James FH, Dennis PS, Ray FE (1993) Anatomy of adventitious root formation in microcuttings of *Malus domestica* Borkh. 'Gala'. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 118:680-688.

Jensen WA (1962) Botanical Histochemistry. Freeman H (ed.), San Francisco.

Kevers C, Hausman JF, Faivre-Rampant O, Evers D, Gaspar T (1997) Hormonal control of adventitious rooting: progress and questions. Angew. Bot., 71:71-79.

Koyunco F, Balta F (2004) Adventitious root formation in microcuttings of tea (*Camellia sinensis* L.). Pakis. J. Bot., 36:763-768.

Lall S, Mandegaran Z, Roberts AV (2005) Shoot multiplication in cultures of mature *Alnus glutinosa*. Plant Cell Tiss. Org. Cult., 83:347-350.

Li M, Leung DWM (2000) Starch accumulation is associated with adventitious root formation in hypocotyls cuttings of *Pinus radiata*. J. Plant Growth Reg., 19:423-428.

Lloyd G, McCown BH (1980) Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot tip culture. Comb. Proc. Int. Plant Propagator´s Soc., 30:421-427.

Martínez Pastur G, Arena M, Hernández L, Curvetto N, Eliasco E (2005) Histological events during in vitro rooting of *Notofagus nervosa* (Fagaceae). NZ. J. Bot., 43:61-70.

McCown BH (2000) Special symposium: in vitro plant recalcitrance of woody and herbaceous perennial plants: dealing with genetic predeterminism. In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant, 36:149-154.

Megre D, Dokane K, Kondratovics U (2011) Can changes in starch content and peroxidase activity be used as rooting phase markers for Rhododendron leaf bud cuttings?. Acta Biol. Crac. Bot., 53:74-79.

Metiever PSR, Yeung EC, Patel KR, Thorpe TA (2007) In vitro rooting of microshoots of *Cotinus coggygria* Mill., a woody ornamental plant. In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant, 43:119-123.

Moreira MF, Appezzato-da-Gloria B, Zaidan L (2000) Anatomical aspects of IBA-treated microcuttings of *Gomphrena macrocephala* St.-Hil. Braz. Arch. Biol. Technol., 43:221-227.

Naija S, Elloumi N, Jbir N, Ammar S, Kevers C (2008) Anatomical and biochemical changes during adventitious rooting of apple rootstocks MM 106 cultured in vitro. C. R. Biologies, 331:518-525.

O´Brien TP, McCully ME (1981) The Study of Plant Structure: Principles and Selected Methods. Hermacarphi. Pty. Ltd., Melbourne, Australia.

Ranjit M, Kester DE, Polito VS (1988). Micropropagation of cherry rootstocks: III Correlation between anatomical and physiological parameters and root initiation. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 113:155-159.

Ross MK, Thorpe TA, Costerton JW (1973) Ultrastructural aspects of shoot initiation in tobacco callus culture. Amer. J. Bot., 60:788-795.

Samartín A, Vieitez AM, Vieitez E (1986) Rooting of tissue cultured camellias. J. Hort. Sci., 61:113-120.

San José MC, Janeiro LV, Corredoira E (2010) Micropropagación del aliso común para la conservación de su germoplasma. Span. J. Rural Dev., 1:31-38.

San José MC, Vidal N, Ballester A (1992) Anatomical and biochemical changes during root formation in oak and apple shoots cultured in vitro. Agronomie, 12:767-774.

Syros T, Yupsanis T, Zafiriadis H, Economou AS (2004) Activity and isoforms of peroxidase, lignin and anatomy during adventitious rooting in cuttings of *Ebenus cretica* L. J. Plant Physiol., 161:69-77.

Thorpe TA (2006) History of plant tissue culture. En Loyola-Vargas VM, Vázquez-Flota F (eds.) Plant Cell Culture Protocols. Humana, New Jersey, USA. pp 9-32.

Torrey J (1966) The initiation of organized development in plants. En Abecrombie M, Bratchet J (eds.) Advances in Morphogenesis, vol 5. Academic Press, New York, USA, pp 39-91.

Tremblay FM, Périnet P, Lalonde M (1986) Tissue culture in *Alnus* spp with regard to symbioses. En Bajaj YPS (ed.) Biotechnology in Agriculture and Forestry, vol 1, Trees 1. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp 87-101.

Vielba JM, Díaz-Sala C, Ferro E, Rico S, Lamprecht M, Abarca D, Ballester A, Sánchez C (2011) CsSCL1 is differentially regulated upon maturation in chestnut microshoots and is specifically expressed in rooting-competent cells. Tree Physiol., 31:1152-1160.

Revista Real Academia Galega de Ciencias. Vol. XXXI. Págs. 5-14 (2012)

# The genus *Hydra* from Argentina. II. *Hydra pseudoligactis* Hyman, 1931 (Cnidaria; Hydrozoa), a new record

Maria Irene Deserti [1], Mauricio Oscar Zamponi [1, 2], Alicia Haydeé Escalante [2, 3]

*[1] Departamento de Ciencias Marinas. Laboratorio de Biología de Cnidarios. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN). Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP). Funes 3250. (7600) Mar del Plata. Argentina.*

*[2] CONICET.*

*[3] Departamento de Biología. Laboratorio de Limnología. FCEyN. UNMdP. Funes 3250. (7600) Mar del Plata. Argentina.*

*Correspondencia: mdeserti@mdp.edu.ar.*

## Abstract

This paper deals with *Hydra pseudoligactis* Hyman, 1931 found in "Nahuel Rucá" lagoon, Buenos Aires province. This record is new for Argentina, because the references about this species have only registered in North America. The specimens analyzed have in common with *pseudoligactis* sp. the following characteristics: brown coloration, long tentacles, moderated sizes column, dioecious condition and translucent stalk near to the foot. The measurements registered for their nematocysts are: 10-21(length) x 7-17 (width) µm for stenoteles, 6-9 x 4-6 µm for desmonemes, 6-11 x 3-6 µm for atrichous isorhiza and 8-14 x 3-6 µm for holotrichous isorhiza.

**Key words:** Cnidarians, *Hydra pseudoligactis*, Taxonomy

## Resumen

El siguiente trabajo trata sobre *Hydra pseudoligactis* Hyman, 1931 hallada en la laguna "Nahuel Rucá" de la provincia de Buenos Aires. Esta cita es nueva para Argentina, ya que las referencias bibliográficas sólo registran dicha especie en América del Norte. Los especimenes analizados tienen en común con *pseudoligactis* sp. las siguientes características: coloración marrón, largos tentáculos, talla moderada de columna, condición sexual dioica y un translúcido pedúnculo cercano al pie. Las medidas registradas para sus nematocistos

son: 10-21(largo) x 7-17 (ancho) µm para los estenoteles, 6-9 x 4-6 µm para los desmonemes, 6-11 x 3-6 µm para los atricos isorriza y 8-14 x 3-6 µm para los holotricos isorriza.

**Palabras clave**: Cnidarios, *Hydra pseudoligactis*, Taxonomía

## Introduction

The hydras are a small freshwater cnidarians and are a group of ubiquitous predators of small invertebrates and larvae of fishes (Dumont, 1994; Elliott, et al. 1997; Jankowski, et al. 2005), and they modify the zooplancktonic freshwater communities when the population is abundant (Schwartz, et al. 1983).

This genus is well known for the European and North American continent; whatever the knowledge of this genus is scarce in South America, especially in Argentina; particularly, the specie *pseudoligactis* is not recorded for this country. A complete study about the diversity of this genus in Argentina is necessary because there is a great amount of freshwater bodies, like lagoon, lakes, rivers, ponds and streams of great extension. This territory has mainly shallow water permanent or temporary (Ringuelet, 1962; Dangavs, 2005) that let us forward multiple possibilities in taxonomy, ecology and biological studies. Therefore to do a research through the time we will find out taxonomic and biological news of this genus and associated species (Zamponi, 1991). Recently, a new subspecies to the *vulgaris* group, *Hydra vulgaris pedunculata* found in "Los Padres", a shallow lake from Buenos Aires province, has been described (Deserti et al., 2011).

This study deals with the species *Hydra pseudoligactis* Hyman, 1931, a new record found in "Nahuel Rucá" lagoon, Buenos Aires province, Argentina.

## Materials and Methods

### Study area

The study was made at the Nahuel Rucá lagoon (37º 40' S, 57º 23' O), a wetland area in the Pampas Region of Argentina.

### Sampling design

Two samples were taken on 16 September 2009 and 11 December 2009. For each sample, twenty stems of bulrushes were taken out of the lagoon and the first 20 cm of the submerged portion of their stems were collected. Samples

were stored in a package that contained water from the site and were transported to the laboratory. At the same time the samples were made, the main limnological parameters (water temperature, depth and transparency) were determined *in situ*. In addition, water samples were taken for the following analyses: dissolved oxygen (DO); total alkalinity (TA), turbidness and pH analyses (Table 1). These analyses were made by the Laboratory of Waters belonging to Coast Geology and Quaternary Institute, National University of Mar del Plata, following the recommendations of the American Public Health Association (APHA) (1998).

**Table 1.** Limnological parameters from "Nahuel Rucá" lagoon (37º 40' S, 57º 23' O) (Buenos Aires province, Argentina).

| **Parameter** | | |
|---|---|---|
| **Day** | 16/IX/2009 | 11/XII/2009 |
| **Water Temperature (ºC)** | 15.55 | 22 |
| **Depth (m±sd)** | 0.52 | 0.25 |
| **Total Alkalinity (mg/l)** | 330.1 | 360.8 |
| **pH** | 7.79 | 7.8 |
| **Secchi (m±sd)** | 0.20 | 0.09 |
| **Turbidity (PTU)** | 71.3 | 107.5 |
| **Dissolved oxygen (mg/l)** | 4.83 | 4.6 |

## Maintenance of samples and identification of hydras

Samples were placed in a circular aquarium that was 20 cm diameter, with an aerator to maintain the stems of the rushes (where the hydras adhered). Hydras were separated from the stems, using fine point tweezers for later observation. Twice a week the water was added from the "Nahuel Rucá" lagoon. The samples were kept at 20º ± 3ºC with a photoperiod of 12 h light and 12 h dark for a week. During this week and under these conditions, measurements of the extended hydra were made using a micrometer under a stereomicroscope.

From 25 studied specimens, the following data were obtained: length (from oral to the aboral region), width, in the middle region, and form of the column; colour and form of the hypostome; number, length relative to body, colour and form of the tentacles; number, position, tentacle formation, number of tentacles, length and width of each buds.

Type, length, width and frequency of appearance of nematocyst were obtained from squashes tissues of the column and tentacles.

## Results

### Taxonomy account: *Hydra pseudoligactis* Hyman, 1931

### Body form

The column length ranged from 2.12 to 5.78 mm and 0.14 to 1.06 mm in width. The body displays a conspicuous stalk towards the foot between 0.07 – 0.46 mm in width in their narrower part. Hypostome is of brown colour and conical-shape. The number of tentacles ranged from six to nine; six tentacles in 16 specimens, seven tentacles in seven specimens, eight tentacles in one specimen and nine tentacles in one specimen. Tentacles were transparent and moniliform. Their relative length was more than a half of column length (Fig. 1). Hydras displayed a brown coloration that became translucent towards the foot.

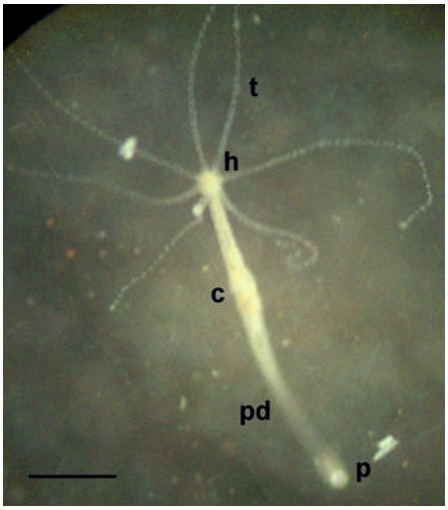



**Figure 1.** Photograph of tentacles (t), column (c), foot (p), stalk (pd) and hypostome (h). Scale bar: 1mm

### Budding

Eight specimens displayed buds; two specimens displayed two buds and six specimens one bud. They were located underneath half of the column of the parental organism and they had a brown coloration with transparent and moniliform tentacles. The number of tentacles for each bud was five to seven.

The growth of tentacles was difficult to be observed, whatever some of them, especially the first, second and third tentacles, they were opposite between them and showed an early development. It was not possible to determine if the third tentacle belongs to first one or second cycle of growth (Fig. 2). Columns measurements were 0.76–1.97 mm length and 0.22–0.46 mm width. In each bud the hypostome was observed conical and brown.

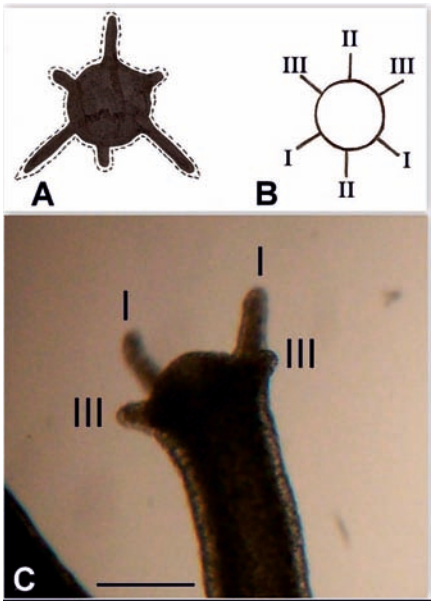



**Figure 2. A:** Diagram of tentacular growth showing the early appearance of lateral tentacles. B and C**:** Drawing and photographs of sequence of growing tentacles. Scale bar: 0.3 mm

## Sexual characters

Two specimens display testes. These testes are mamiform, shown a thick conical nipple; these had white color and were placed on up quarter of the column, opposites between them and near to the zone were the tentacles grown. One specimen showed three testes with: 198, 278 and 297 µm width and 297, 455 and 693 µm length. The second specimen showed two testes with 233 and 265 µm width and 342 and 456 µm length. During microscopically analysis, the first specimen showed two spawning. Five days later, testes were reabsorbed and the specimen displayed two buds; these buds showed the similar characteristics as those described in the budding section.

## Nematocysts

The four characteristic nematocysts types were observed (Fig. 3). Desmonemes were the most abundant; they were present in tentacles, with almost spherical forms and the filament giving approximately one average return inside the capsule. Stenoteles were found in abundance in tentacles and column, with the usual pear-shaped form; they display major size with respect to the three remaining types. The shaft occupies 60% of the capsule and the filament is coiled against the wall in its half inferior. When the stenotele is discharged it reduces the measures of the capsule and the shaft displays three thorns of equal size.

The atrichous isorhiza were less abundant and were present in the tentacles. They had a seed-like shape and displayed a very fine filament that occupied all the interior part of the capsule.

The holotrichous isorhiza were the least abundant nematocyst. They were located in column as well as in tentacles and displayed a form similar to a paramecium or sole of a shoe. The zone where the filament originated was fine; they always showed three or four heavy turns, generally of oblique disposition and a mass of fine filament that formed dense groups (like a ball of yarn) in the lower portion of the capsule. The filament coiled of cross-sectional way to the main axis of the capsule. Table 2 summarizes the measurements of the four types.

**Table 2**: Minimum, maximum and mean for length and width of capsules to the four types of nematocysts

| Nematocysts Type | Length (µm) min | Length (µm) max | Mean (µm) | Width (µm) min | Width (µm) max | Mean (µm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Stenotele** | 10 | 21 | 15.45 | 7 | 17 | 12.66 |
| **Desmoneme** | 6 | 9 | 7.29 | 4 | 6 | 5,11 |
| **Atrichous isorhiza** | 6 | 11 | 6.18 | 3 | 6 | 5.83 |
| **Holotrichous isorhiza** | 8 | 14 | 11,14 | 3 | 6 | 4,79 |

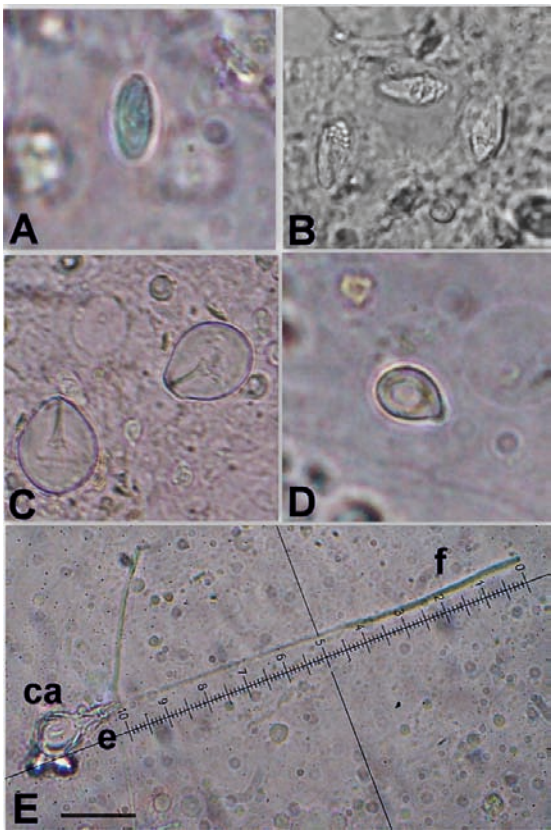



**Figure 3: A:** Atrichous isorhiza; B**:** Holotrichous isorhiza; **C:** Stenoteles; D**:** Desmonemes; E**:** Discharged stenotele showing the capsule (ca), shaft (e) and filament (f). Scale bar: 0.1mm (for all photographs).

## Discussion

This study reveals that the analyzed specimens belongs to *oligactis* group because these have a conspicuous and translucent stalk, brown color, long tentacles, displaying the typical growth in the young buds (Campbell, 1983, 1987, 1989; Holstein, et al. 1990; Hyman, 1929). Furthermore, under conditions of laboratory they display a yellow-golden coloration characteristic of the species (Campbell, 1987). The presence of testes in one specimen show that this species is dioecious; this characteristic is coincident too with the sexual characters for this group (Campbell, 1983, 1987).

The measurements of nematocysts can have a different range of sizes in relation to endogenous and exogenous abiotic factors (Weill, 1934; Hand, 1961). Considering that this record is the first for the region, it is possible that the differences found in nematocysts sizes, can be related to the physical and chemical parameters from the studied community. So the main characteristic of taxonomy value is the presence of stalk and the developed of tentacles.

Based on the dichotomous key by Campbell (1983) the specimens belong to *Hydra pseudoligactis* Hyman, 1931, because their holotrichous isorhiza display the filament coiled of cross-sectional way to the main axis of the capsule.

**Acknowledgments**

The authors thank Dr. Richard Campbell (University of California) for the assistance with the bibliography, Dra. K.S. Esquius and Lic. P.V. Weigand (Laboratory of Limnology, Faculty of Natural Sciences, UNMdP) for providing bulrushes from Los Padres lake, Lic. María E. Di Santo (Laboratory of Botany, Faculty of Natural Sciences, UNMdP) for providing hydra specimens and Mrs. G. Testa (CONICET) for data treatment and figures confection.

## References

American Public Health Association (1998) *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. 20th Edition: Washington D.C.

Campbell RD (1983) Identifying Hydra species. In Lenhoff HM (Ed.) Hydra Research Methods. Plenum Press, New York, pp 19-28.

Campbell RD (1987) A new species of Hydra (Cnidaria: Hydrozoa) from North America with comments on species clusters within genus. Zool. J. Linnean Soc., 91: 253-263.

Campbell RD (1989) Taxonomy of the European Hydra (Cnidaria; Hydrozoa): a re-examination of its history with emphasis on the species *H. vulgaris* Pallas, *H. attenuata* Pallas and *H. circumcincta* Schulze. Zool. J. Linnean Soc., 95: 219-244.

Dangavs NV (2005) Los ambientes acuáticos de la Provincia de Buenos Aires. In de Barrio RE, Etcheverry RO, Caballé MF & Llambías E, eds.). Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. La Plata: Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, pp. 219-236.

Deserti MI, Zamponi MO, Escalante AH (2011) The genus *Hydra* from Argentina. I. *Hydra vulgaris pedunculata* subsp. nov. (Cnidaria, Hydrozoa). Rev. Real Acad. Galega Cienc., 30: 5-14.

Dumont HJ (1994) The distribution and ecology of the fresh-and brackish-water medusae of the world. Hydrob., 272: 1-12.

Elliott JK, Elliot JM, Leggett WC (1997) Predation by *Hydra* on larval fish: Field and laboratory experiments with bluegill (*Lepomis macrochirus*). Limnol. And Oceanog., 42: 1416-1423.

Hand C (1961) Present state of nematocyst research: types, structure and function. In Lenhoff HM and Loomis WF (Eds.) The Biology of Hydra and of some other coelenterates. Miami: Rose Printing Company, pp 187-202.

Holstein TW, Campbell RD, Tardant P (1990) Identity crisis. Nature 346: 21-22.

Hyman LH (1929) Taxonomic studies on the hydras of North America I. General remarks and descriptions of *Hydra Americana*, new species. Trans. American Microsc. Soc., 48: 242-255.

Jankowski T, Strauss T, Ratte HT (2005) Trophic interactions of the freshwater jellyfish *Craspedacusta sowerbyi*. J. Plankton Res., 27: 811-823.

Ringuelet R (1962) Ecologia acuática continental. EUDEBA, pp 138.

Schwartz SS, Hann BJ, Hebert PDN (1983) The feeding ecology of hydra and possible implications in the structuring of pond zooplankton communities. Biol. Bull., 164: 136-142.
Weill R (1934) Contribution a l´etude des cnidaires et de leur nematocyste. Paris : Travaux de la Station Zoologique de Wimereux, X, XI.
Zamponi MO (1991) Los cnidarios de la República Argentina. En: Z. Castellanos (ed.). Fauna de agua dulce de la Republica Argentina. Buenos Aires: PROFADU, pp 51.

Revista Real Academia Galega de Ciencias. Vol. XXXI. Págs. 55-68 (2012)

# Innovación tecnolóxica e astronomía social na eclipse de sol do 17 de abril de 1912 no Barco de Valdeorras

Salvador X. Bará Viñas

*Área de Óptica, Departamento de Física Aplicada,*
*Universidade de Santiago de Compostela, Galicia*
*salva.bara@usc.es*

## Resumo

O 17 de abril de 1912 a liña de centralidade dunha eclipse mixta (total-anular) de Sol atravesou Galicia pasando pola vila do Barco de Valdeorras, sendo observada dende alí por unha comisión científica encabezada polo coñecido astrónomo e divulgador Josep Comas i Solà. Neste artigo analizamos a relevancia da principal innovación tecnolóxica demostrada con éxito por Comas con ocasión desta eclipse (a cámara prismática cinematográfica para o estudo da evolución temporal do espectro lóstrego da cromosfera solar), así como a incidencia que este fenómeno astronómico tivo na vida cotiá da vila.

**Palabras chave:** Astronomía, Astronomía Social, Eclipses, Espectrografía, Difusión da Ciencia

## Abstract

In April 17th 1912 the central path of a hybrid (annular-total) Solar eclipse traversed Galicia passing through O Barco de Valdeorras. It was observed from that location by a scientific commission led by the then well-known astronomer and science communicator Josep Comas i Solà. In this paper we analyze the significance of the main technologic innovation successfully demonstrated by Comas in this eclipse (a movie-camera prism spectrograph to study the temporal evolution of the flash spectrum of the Sun's chromosphere), and we address the impact that this astronomical phenomenon had on the daily life of the town.
**Keywords:** Astronomy, Eclipses, Science Outreach, Social Astronomy, Spectrography

## Introdución

O 17 de abril de 1912, dous días despois do afundimento do Titanic, a mesma lúa nova que dificultara a vixiancia dos xeos na escura noite do Atlántico norte deu lugar a unha das máis interesantes eclipses solares do s. XX. As particulares circunstancias de posición e tamaño relativos do Sol e a Lúa produciron nesa ocasión unha eclipse mixta (total-anular) cuxa liña de centralidade atravesou o noso planeta dende América Latina até Asia. A sombra da Lúa entrou en Europa por Porto percorrendo o Norte de Portugal para entrar en Galicia por terras ourensás e pasar polo Barco de Valdeorras antes de atravesar o Bierzo e Asturias para saír ao Cantábrico, camiño de Francia, nas cercarías de Xixón.

A vila ourensá do Barco de Valdeorras foi nesas datas o centro dunha importante actividade tanto científica como social. Até alí se desprazou unha comisión da Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona (RACAB) baixo a dirección do coñecido astrónomo e divulgador Josep Comas i Solà (Nuñez 2012). Entre outros resultados de investigación esta expedición de Comas demostrou por vez primeira a nivel mundial a factibilidade de obter imaxes de alta resolución temporal do espectro lóstrego da cromosfera solar (*flash spectrum*), mediante a "cámara prismática cinematográfica" da súa recente invención, algunhas de cuxas chaves tecnolóxicas exploramos neste artigo. A eclipse foi asemade obxecto de ampla atención mediática e cidadá, e favoreceu a realización de actividades de divulgación científica en espazos de vida cotiá que tamén describimos aquí.

Ademais da expedición científica dirixida por Comas esta eclipse xerou un interesante conxunto de inciativas no ámbito ibérico. Cabe destacar entre elas a expedición do Observatorio Astrononómico de Madrid a terras galegas e bercianas en agosto de 1911 coa misión de determinar con precisión as coordenadas xeográficas de varios lugares candidatos para situar neles unha estación de observación da eclipse o ano seguinte (Verín, O Barco e Cacabelos), así como as comisións científicas enviadas en abril de 1912 polos Observatorios de Madrid e San Fernando a Cacabelos, Villablino e Oviedo.

## Innovacion tecnolóxica: o espectrógrafo cinematográfico de Comas i Solà

Alén da súa espectacularidade as eclipses de sol foron dende os inicios da Astronomía utilizadas para obter valiosos datos sobre os movementos relativos no sistema Sol-Terra-Lúa. Até o desenvolemento dos coronógrafos e o seu amplio desplegue en observatorios terrestres e posteriormente en plataformas orbitais as eclipses totais de Sol eran de feito a única ocasión propicia para a

observación da cromosfera e a coroa solares, usualmente invisibeis debido á radiancia moito máis elevada da fotosfera solar. Nos momentos centrais dunha eclipse, porén, a Lúa apantalla eficazmente as rexións fotosféricas permitindo -durante os escasos minutos ou segundos que dure a fase de totalidade- a observación das capas exteriores do Sol.

O estudo espectroscópico da cromosfera era unha das prioridades da astrofísica solar a comezos do s. XX. As primeiras observacións espectroscópicas durante unha eclipse foron realizadas no do 18 de agosto de 1868 por Janssen e Lockyer. Ambos astrónomos detectaron de forma independente unha brillante liña de emisión en 587.49 nm sendo Lockyer o primeiro en propor que esa liña se debía a un novo elemento químico (Helio), descoñecido até entón. Pronto chegaría a predición de Young de que na fase de totalidade, cando a Lúa ocultase as brillantes rexións fotosféricas caraceterizadas por un espectro continuo con raias de absorción, debería observarse un espectro de emisión complementario, predición verificada na eclipse de 1870. Debido á súa curta duración temporal e ao seu carácter emisivo este espectro recibiu o nome de espectro lóstrego (*flash-spectrum*).

As observacións visuais, porén, non podían fornecer unha indicación cuantitativa -nin sequera mínimamente certeira dende o punto de vista cualitativo- da complementariedade real de ambos espectros. Recorreuse para iso á fotografía do espectro lóstrego, que foi conseguida por vez primeira por Fowler en 1893, e repetida por Shackleton en 1896 e por Evershed e Lockyer en 1898, usando as denominadas "cámaras prismáticas", é dicir, cámaras fotográficas convencionais cun prisma acoplado ao seu obxectivo (Mitchell 1902). Nos momentos centrais da eclipse o limbo lunar e o límite exterior da cromosfera actúan como os bordes dunha fenda efectiva que permite a obtención de espectros perpendiculares á dirección promedia da mesma, sempre que arista do diedro refrinxente do prisma estea convenientemente orientada. Isto elimina a necesidade de usar espectroscopios de fenda tradicionais permitindo aproveitar de forma moito máis eficaz a luz cromosférica (a forma curvada da falce solar non sería ben mostreada por unha fenda lineal) e simplifica as tarefas de alineado e apuntado da cámara.

As cámaras prismáticas, porén, carecían a principios do s. XX da necesaria resolución temporal. O número de espectros que podían obterse durante a fase de centralidade dunha eclipse rara vez superaba a decena (Mitchell 1902). Isto imposibilitaba a realización de estudos sobre a distribución espacial da radiancia espectral asociada a cada línea de emisión, dificultando así a contrastación observacional dos modelos cuantitativos sobre a composición e temperatura das capas exteriores do Sol. Alén diso a elección do momento adecuado para a fotografía do espectro lóstrego presentaba certas dificultades, derivadas da escasa duración do fenómeno.

Paralelamente a estas aplicacións da fotografía con obxectivo prismático, a nacente industria cinematográfica introducía no mercado as primeiras cámaras de filmación. Nun periodo de vinte anos a disponibilidade das mesmas aumentou de forma espectacular, grazas aos modelos de Louis Le Prince (1888), Charles Moisson (1894), os Irmáns Pathé (1896), Gaumont-Démény (1896) e Bell & Howell (1911-12).

É neste contexto cando Comas i Solà desenvolve a súa principal innovación tecnolóxica no campo da instrumentación para a observación astrofísica solar: a adaptación dun prisma ao obxectivo dunha cámara cinematográfica comercial, a fin de rexistrar con resolución temporal conveniente a aparición e a evolución do espectro lóstrego. O seu primeiro intento de uso, infructuoso, tivo lugar con ocasión da eclipse solar do 30 de agosto de 1905. Porén, na eclipse de 1912 foi quen de obter por vez primeira a nivel mundial dende a súa estación de observación no Barco de Valdeorras unha filmación exitosa do espectro lóstrego a cinco fotogramas por segundo, contendo perto dun centenar de imaxes das que se puideron extraer datos científicos de valor (Nuñez 2012). A cámara cinematográfica fóralle proporcionada pola casa Pathé, que tamén lle facilitou contar cun operador. Ao obxectivo fóronlle adaptados nesta ocasión dous prismas equiláteros no canto de un (Comas 1912a), utilizando probabelmente a configuración coñecida como 'cola de escorpión': un exemplo deste tipo de deseños pode verse en Clemente (2008).

O éxito da inciativa quedou reflectido nas diversas publicacións recollidas por Nuñez (2012), así como na memoria do curso académico 1911-1912 da RACAB (Bofill 1913) na que se fai constar que

> *" (...) entre los muchos trabajos astronómicos importantes que pueden citarse y que se deben, durante este último curso, al Observatorio Fabra, destaca en primer término el estudio del eclipse total de Sol, ocurrido el 17 de abril de 1912, que el señor Comas Solá, delegado y subvencionado por esta Academia, realizó en la provincia de Orense. Dadas las condiciones especiales en que tuvo lugar este eclipse, sobre todo por lo que se refiere a la estrechez de la faja de sombra que hacía dudar hasta de la totalidad del eclipse, el señor Comas utilizó, para estudiar el espectro de la cromósfera, el procedimiento de la cámara prismática cinematográfica, obteniendo satisfactorios resultados. Todos los señores académicos pudieron contemplar esta notable película, y las consecuencias que se deducen de algunos centenares de fotografías obtenidas con intervalos de 1/5 de segundo, fueron comunicadas a la Academia por su propio autor."*

Da valoración que o propio Comas fixo do seu resultado dan conta as súas palabras (Comas 1912a) nunha das crónicas remitidas por el á prensa nos días posteriores á eclipse do Barco:

> *"Para dar una idea de las grandes ventajas de este método cinematográfico, bastará decir que, hasta ahora, siguiendo los procedimientos ordinarios, se obtenían tres, cinco ó diez espectografias, durante la totalidad y muy raramente en el momento oportuno. Pues bien; con el procedimiento que he puesto á la práctica, he conseguido cien fotografías del espectro invertido en 20 segundos de tiempo, correspondiendo muy cerca de un quinto de segundo de exposición para cada una de ellas."*

A película orixinal está hoxe perdida mais o propio Comas deixou constancia precisa do seu contido, cun nivel de detalle propio dun guión cinematográfico, nun interesante artigo publicado en língua castelá na prestixiosa revista *Astronomische Nachrichten* (Comas 1912b) no que relata paso a paso as variacións rexistradas no espectro lóstrego. A meticulosidade coa que se describe a evolución temporal do espectro permite facer unha reconstrución vitual razoábelmente verosímil do filme orixinal (Figura 1).

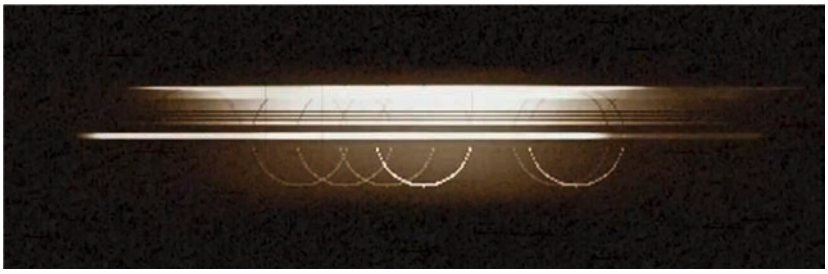


**Figura 1:** Fotograma sintetizado por ordenador en baixa resolución que forma parte da reconstrución tentativa do contido da película orixinal gravada por Comas i Solá coa súa cámara prismática cinematográfica no Barco de Valdeorras o 17 de abril de 1912.

A cámara prismática cinematográfica de Comas é até onde sabemos a primeira aplicación da cinematografía a nivel mundial para o estudo dun fenómeno de astrofísica solar. Que esta innovación se producise no ámbito catalán e non nos países centrais do sistema (Alemaña, Francia, Reino Unido ou EE.UU.) non resulta de todo sorprendente, tendo en conta que a comezos do século XX a comunidade astronómica do estado español iniciaba o que ía ser unha exitosa transición dende os estudos de astronomía posicional aos novos

estudos astrofísicos, un proceso no que as eclipses de principios de século (1900, 1905 e 1912) foron un factor de impulso relevante (Ruiz 2009). Resulta salientábel que esta innovación seguise un patrón que non resultará extraño aos deseñadores de instrumentación científica de hoxe en día: o hábil aproveitamento de compoñentes e dispositivos tecnolóxicos dispoñíbeis *off-the-shelf*, fabricados para satisfacer as necesidades do mercado de consumo e non especialmente pensados para aplicacións científicas. Polas conversas mantidas cos documentalistas ao cargo dos arquivos centrais da casa Gaumont-Pathé sabemos que nos mesmos non consta que existise unha colaboración específica da citada empresa con Comas para o desenvolvemento da cámara (Fernández 2012). Sempre a expensas dunha posíbel perda de información dado o tempo transcorrido dende aqueles eventos, cabe pensar que a colaboración coa firma Pathé citada por Comas se reducise ao préstamo ou venda en condicións vantaxosas dunha das súas cámaras estándar, así como a fornecerlle un operador da mesma para formar parte da súa expedición ourensá.

O de Comas non foi o único uso dun cinematógrafo no estudo científico da eclipse do 12. Atkinson (1953) describe que nesa ocasión tamén se usaron por vez primeira baterías de cámaras cinematográficas colocadas en diversas estacións para determinar con precisión o centro da liña de sombra mediante a observación simultánea das perlas de Baily e a valoración da uniformidade das mesmas arredor do limbo lunar. A diferenza da apliación astrofísica de Comas esta foi unha aplicación directa dos cinematógrafos ao rexistro de fenómenos puramente posicionais.

Sinalemos finalmente que método de rexistro cinematográfico do espectro lóstrego inventado por Comas semella ter caído pronto no esquecemento, sendo reinventado en diversas ocasións nas décadas seguintes. Unha das aplicacións da detección con alta resolución temporal do espectro lóstrego é a determinación precisa dos momentos do segundo e terceiro contactos do limbo lunar co borde do disco solar, un borde que, como ben sinalou Lindblad, non é brusco e ben definido senón que presenta un gradiente continuo de radiancia. O propio Lindblad propuxo utilizar cámaras prismáticas cinematográficas para medir con gran precisión sobre as películas os momentos de aparición do espectro lóstrego correspondente a eses contactos, no que resulta unha enxeñosa aplicación de métodos astrofísicos para obter información posicional. Segundo Sadler (1945) Lindblad xa utilizara unha cámara dese tipo traballando a 15 imaxes por segundo na eclipse total de 29 de xuño de 1927. Coa mesma fin foi utilizada na eclipse do 19 de xuño de 1936 en Hokkaido, segundo noticia recollida en The Observatory, sen que a velocidade a que traballaba a cámara fose coñecida polos redactores da nota, quen nembargantes precisaban que o tipo de cámaras cinematográficas utilizadas podían traballar a 1, 16 e 24 imaxes por segundo. A nota finaliza cun entusiasta "*The Japanese*

*observers and camera men are to be heartily congratulated on their success in a new line of eclipse work"* (TO 1937). Consta asimesmo o seu uso nas expedicións suecas que observaron as eclipses do 9 de xullo de 1945, 20 de maio de 1947 e 30 de xuño de 1954 (Kristenson 1960). A utilización deste tipo de cámaras pasou finalmente a ser coñecida como o "Método de Lindblad" (Loodts 1952), nome que actualmente conserva.

## Astronomía social: A incidencia da eclipse na vida cotiá do Barco

A Astronomía é unha das pólas do coñecemento científico con maior capacidade de atracción da atención do público. Tanto as novas achegas da investigación científica como os fenómenos astronómicos que acompañan a vida cotiá son centros de interese capaces de mobilizar a curiosidade de grupos moi diversos de persoas pertencentes a todos os sectores sociais. A Astronomía é pois un vizoso campo para a divulgación cientifica e para acadar o aumento da implicación cidadá coa ciencia, tarefas que nas últimas décadas teñen recibido un crecente apoio e atención por parte da comunidade investigadora. A Astronomía permite ademais ir un paso máis aló: é un eixo temático privilexiado en torno ao que se poden desenvolver variadas actividades sociais que reforzan o mutuo coñecemento e interrelación veciñal, a convivencia a nivel de pequenas comunidades, a educación non formal en entornos abertos, a presenza da ciencia na vida cotiá e o afortalamento do tecido asociativo local (Bará 2009). Esta última dimensión é a denominada "Astronomía social".

Esta verquente da Astronomía, porén, non é nova, sendo as eclipses un dos fenómenos que dende antigo concitaron os máis altos niveis de atención cidadá. No caso da eclipse que nos ocupa, a súa proximidade foi amplamente anunciada polos medios de comunicación locais, galegos, cataláns, do resto do estado español e internacionais. As súas principais características foron detalladamente difundidas con antelación contribuíndo eficazmente á xeración da expectación habitual que -aínda hoxe- se produce nas zonas polas que pasa a liña de centralidade dunha eclipse total (vid. e.g. Gallego 1912). Especial atención merece o conxunto de artigos e crónicas publicados por Comas i Solà en La Vanguardia nos meses de marzo e abril daquel ano (La Vanguardia 1912a). Os anuncios comerciais da época na prensa catalá son ben reveladores da importancia, presenza e actualidade da divulgación científica nos medios, e do valor engadido que para os anunciantes representaba asociarse á "causa cientifica" (La Vanguardia 1912b).

Polo nivel de expectación xerado, a relativa excepcionalidade deste tipo de fenómenos a nivel local e as súas evidentes posibilidades de aproveitamento didáctico para divulgar nocións básicas sobre o Sistema Sol-Terra-Lúa, non resulta aventurado supor que docentes de diferentes niveis do ensino, espe-

cialmente aqueles vencellados orgánica ou sociolóxicamente cos movementos de renovación pedagóxica da época, nomeadamente a *Institución Libre de Enseñanza* (Gurriarán 2004, 2006), aproveitasen a ocasión para realizar labores de difusión da ciencia fóra do estrito marco das aulas.

Un exemplo deste labor foi o realizado en Corme polo mestre Marcial Miguel de la Iglesia quen, en carta remitida ao Director do *Instituto Geográfico y Estadístico* de Madrid con data 25 de abril de 1912 relata as súas observacións da eclipse, sinalando:

> *"Solamente desde el punto de vista pedagógico tengo la satisfacción de haber llevado á cabo una labor utilísima, pues además de los niños fueron muchas las personas que atraidas por la curiosidad de aquella lección al aire libre en presencia de aquel hermoso fenómeno, han querido reunírsenos, enterándose con tal motivo de lo que más interesa saber para quitarse siquiera el miedo, y para no dejarse llevar de ciertas preocupaciones que siempre hay en más o en menos en todos los pueblos."*

Actividade pedagóxica que, segundo facía constar en carta do 8 de maio, non resultaba sinxela de conciliar coa simultánea toma de datos científicos, lamentando que

> *"(...) las condiciones en que me hallaba, rodeado de gentes del pueblo y al cuidado de mis alumnos, no me hayan permitido tomar notas más precisas y más útiles."*

Do acontecido no Barco conservamos a testemuña escrita do mestre de primeira ensinanza da vila Tomás Martínez y Martínez quen, en nota enviada ao *Instituto y Observatorio de Marina de San Fernando* (Martínez 1913), relata:

> *"Con un día hermoso y despejado pudimos los habitantes del Barco contemplar y observar á medida de nuestras fuerzas, de los cristalitos ahumados y gemelos el eclipse del día 17. Yo sorprendí el primer contacto á las $10^h$ y 28' aproximadamente. La totalidad ó máximo contacto á las $11^h$ y 49', y el último contacto á las $13^h$ y 14'. El eclipse no acabó de ser total, pues la sombra lunar nos dejó una pequeñísima (pequeñísima en apariencia desde la Tierra) parte de la fotosfera solar. Cuando se verificó el máximo ocultamiento, el espectáculo era á la par que imponente magnífico. El paisaje se presentó triste y macilento y el frío era bastante intenso. Las galllinas buscaban su alber-*

> *gue y una que ví y tenía sus polluelos los cobijó debajo de sus alas. También se vió un gran rato una estrella que, supongo, sería Venus, y varias nubecillas se presentaron en la atmósfera; pero no privaron de observar el grandioso fenómeno sideral. En el máximo se dejó ver algo la corona."*

A observación de que a eclipse non fora total na vila (debido a que a liña de centralidade pasou a uns km ao sur da mesma) é correcta, ainda que cabe preguntarse pola posibilidade real de que esa circunstancia puidese ter sido aprezada a ollo nu (Comas i Solà chegou a esa mesma conclusión, mais logo de analizar en detalle as imaxes obtidas co espectrógrafo cinematográfico). Venus era visíbel nos momentos centrais da eclipse a cara ao sur-oeste do Sol e con razoábel seguridade é o obxecto identificado polo mestre. As anotacións sobre o comportamento dos animais que ven chegar a noite inesperadamente forma parte do canon clásico de informes sobre eclipses (The New York Times 1912).

**Figura 2:** Veciñas e veciños do Barco de Valdeorras contemplando a eclipse de Sol do 17 de abril de 1912.

Un aspecto relevante da nota de Tomás Martínez é a presenza dos habitantes do Barco como suxeito plural participante na observación da eclipse. Contamos ao respecto cunha testemuña gráfica de valor excepcional e autoría descoñecida. Trátase dunha fotografía (Figura 2) na que un numeroso gru-

po de veciñas e veciños da vila, de diversa composición xeracional e social, observan unha das fases da eclipse. A ampla e variada asistencia, a cuidada composición da pose e a mesmo a vestimenta dalgúns dos asistentes (a eclipse aconteceu un día laborábel -mércores- cara mediodía) falan dunha fotografía non improvisada senón probabelmente anunciada e preparada con antelación entre veciños e escolares. Varias das persoas presentes observan o Sol a traverso de vidros escurecidos ou gafas de soldador. A adopción desas medidas estándar -aínda que non sempre eficaces- de protección permite supor a existencia dun labor de difusión e educación previo. Non resulta aventurado pensar que a organización da toma correu a cargo dalguén do entorno do mestre, se non do mestre mesmo. Da repercusión social que puido ter no seu día a realización desa fotografía é mostra o feito de que a mesma se conserve aínda hoxe en varias casas da vila, de acordo coas testemuñas recentemente recollidas.

A fotografía fora incorrectamente catalogada como pertencente á observación do paso do Cometa Halley acontecido a mediados de maio de 1910. Trátase obviamente da observación diurna dun fenómeno solar, non do Halley. Por outra banda, a datación da fotografía (mediante a identificación e avaliación da idade aproximada dalgunha das persoas que nela aparecen, consonte aos datos achegados polos seus descendentes directos) exclúe con seguridade a posibilidade de que se tratase da observación da eclipse solar anterior visíbel dende O Barco, que tivera lugar o de 30 de agosto de 1905.

Da expectación producida nas terras ourensás dá conta tamén o informe de Ricardo G. Rivados, profesor de ensino primario de Verín, quen en nota remitida ao *Instituto y Observatorio de Marina de San Fernando* (Rivados 1913) relata:

> *"Muchos curiosos salieron fuera tomando los altos, otros se llegaron á Alvarellos, varios á Nocedo, y todos vieron de igual modo el fenómeno, y me figuro que se pudo observar mejor desde Verín."*

É salientable o feito de que na nota do mestre Tomás Martínez non se faga referencia algunha á comisión científica da RACAB que neses momentos realizaba observacións na vila, mentres que Comas, pola súa banda, fai soamente constar onda el a presenza do alcalde e do gobernador civil da provincia, que asistiron á observación do fenómeno (Comas 1912). A participación das citadas autoridades dá unha idea da positiva valoración da expedición nos círculos oficiais da provincia ourensá. A ausencia de citas mutuas entre os grupos de Comas e de Martínez fai pensar porén que ambos realizaron as súas actividades de forma separada e independente. Dende o punto de vista estritamente científico esa separación non está xa que logo fóra de lugar, como

ben mostran as dificultades do mestre de Corme antes citadas. Todo apunta pois a que o labor de difusión científica de Comas con ocasión desta eclipse se centrou principalmente -se non de forma exclusiva- no seu público catalán, ao que chegaba regularmente a traverso dos seus artigos na prensa, quedando ao cuidado dos docentes locais o aproveitamento pedagóxico da eclipse na vila do Barco e adxacentes.

## A eclipse, cen anos depois

Ao longo do ano 2010, e como resultado dos traballos de pescuda levados a cabo por investigadores da USC, membros da RACAB e do Observatori Fabra, do Observatorio Astronómico de Madrid, das asociacións AstroGalicia e Aristarco Taller de Astronomía (Ourense), así como de persoas afeccionadas á Astronomía da comarca de Valdeorras, tense recuperado un interesante volume de documentación relativa á expedición de Comas que permite valorar a súa importancia no contexo científico da época e a súa repecursión pública a traverso das informacións recollidas pola prensa de entón. Unha serie de afortunadas coincidencias permitiu tamén localizar con aceptábel precisión o lugar dende o que se efectuou aquela observación.

Razóns de oportunidade suxeriron a conveniencia de aproveitar o centenario deste evento, en abril de 2012, como eixo vertebrador dunha serie de actividades no Barco de Valdeorras organizadas en colaboración entre as institucións académicas, municipais e entidades da sociedade civil co obxectivo xeral de facer da Ciencia e do seu desfrute na vida cotiá un elemento máis da paisaxe cidadá da vila. Esta acción tivo por obxectivos específicos:

- Recuperar a memoria científica e social daquela expedición,
- Afondar no coñecemento da situación da ciencia en Galicia e as súas relacións con Cataluña e o resto da peninsula a comezos do s. XX,
- Aproveitar o evento para facer presente a ciencia e as institucións académicas que a desenvolven no Barco de Valdeorras.
- Cooperar na promoción do asociacionismo relacionado coa Astronomía en terras de Valdeorras.

Abranguendo tres eixos principais de actuación

· Investigación: para recuperar os datos existentes sobre a expedición de Comas, a súa motivación, desenvolvemento e resultados, a súa relación coa sociedade galega e valdeorrense e as súas repercusións científicas e sociais.

· Difusión de resultados: para poñer a disposición da cidadanía, especialmente da da comarca de Valdeorras, e da comunidade científica as achegas e descubertas obtidas.

· Dinamización social: para xerar en torno a esta acción procesos de dinamización e participación social que poidan dar lugar á formación dun grupo

estábel de afeccionados á Astronomía nas terras do Barco, e á implementación -se procede- de programas relacionados a cargo de diversas Administracións.

**Figura 3:** A eclipse, cen anos despois. Inauguración dun reloxo de sol analemático e unha placa conmemorativa no Paseo do Malecón do Barco de Valdeorras. De esquerda a dereita: Aurentino Alonso (Concelleiro de Educación do Barco), Alfredo García (Alcalde do Barco), Jorge Núñez (Reial Académia de Ciéncies i Arts de Barcelona), Francisco Durán (Vicerreitor da USC), Josefina Ling (USC), Salvador Bará (USC), Catrina Martínez (PEC), Elena Theotonio (ATA), Ricardo Vázquez (PEC) e Francisco Fernández (ATA).

O programa de dinamización social concretouse nun amplo conxunto de actividades educativas e de difusión da ciencia que se celebraron ao longo do mes de abril de 2012 e incluíron observacións astronómicas abertas á cidadanía en lugares públicos da vila, exposicións de material astronómico en establecimentos comerciais, exposicións, charlas de divulgación en todos os centros educativos, obradoiros de formación para docentes sobre o uso da Astronomía nos diferentes niveis do ensino, unha xuntanza co sector da hostelaría sobre as posibilidades que ofrece a Astronomía como recurso turístico e a importancia de manter uns ceos escuros contrarrestando os crecentes niveis de contaminación lumínica. O venres 20 de abril tivo lugar no Concello do Barco unha sesión científica sobre diversos aspectos das investigacións realizadas arredor da eclipse de 1912 e a situación da ciencia en Galicia a comezos do

s. XX, que contou coas achegas de Ricardo Gurriarán ("A impermeabilidade universitaria para desenvolver a ciencia en Galicia: a libertade de cátedra"), Salvador Bará ("Innovacións tecnolóxicas na observación da eclipse do 17 de abril de 1912"), José Ángel Docobo e Iván Fernández ("Algúns comentarios sobre aspectos colaterais á eclipse solar de 1912") e Jorge Núñez e Josep Codina ("La participación de José Comas Solá, director del Observatorio Fabra, en el eclipse de 1912).

**Figura 4:** Detalle da placa conmemorativa.

Como elemento permanente da paisaxe urbana quedan na vila un reloxo de sol analemático e unha placa conmemorativa inaugurados con ocasión deste evento (Figuras 3 e 4). Os detalles do programa completo poden consultarse en OBV (2012).

## Agradecementos

Os traballos realizados con ocasión do centenario da eclipse de abril de 1912 son o resultado dunha obra coral na que participaron institucionalmente a Universidade de Santiago de Compostela (USC), a Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona (RACAB) e o Concello do Barco de Valdeorras (OBV), en cooperación coas entidades sociais Aristarco Taller de Astronomía (ATA), AstroGalicia (AG) e Puntitos en el Cielo (PEC), coa colaboración do Observatorio Astronómico Nacional do Ministerio de Fomento (OAN) e de diversas entidades empresariais e cidadás da vila do Barco. A comisión organizadora dos mesmos estivo formada por Aurentino Alonso, Francisco Fernández, Catrina Martínez, Elena Theotonio, Ricardo Vázquez, Dositeo Veiga e o autor deste artigo. Especialísima mención merecen as

achegas, o traballo e a colaboración de Josep M. Codina, Francisco Colomer, José A. Docobo, Francisco Durán, Alfredo García, Ricardo Gurriarán, Josefina Ling, Jorge Núñez e María Josefa Yzuel.

## Bibliografía

Atkinson R d'E (1953) Cinematography of partial solar eclipses: I. General. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 113:18-33.

Bará S (2009) Social Astronomy: Cooperating with Local Community Networks. Communicating Astronomy with the Public (CAP-journal, International Astronomical Union), 7:26-29.

Bofill A (1913), Reseña de los trabajos efectuados y principales hechos ocurridos en la Corporación durante el año académico de 1911 a 1912. Boletin de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona III:243.

Clemente C, Pérez Blanco F, Vallmitjana Rico S (2008) La restauració d'instruments de Física de la Universitat de Barcelona. Actes d'història de la ciència i de la tècnica 1: 35-44.

Comas Solà J (1912a) El eclipse de Sol del 17 de Abril. En La Vanguardia, edición de 25 de abril de 1912, pp. 8-9.

Comas Solà J (1912b) Sonnenfinsternis 1912 April 17: Mitteilung von Herrn José Comas Solá, Direktor des Observatoriums Fabra in Barcelona. Astronomische Nachrichten 192:205-207.

Fernández F (2012) Intercambio de correos co arquivo central da casa Gaumont-Pathé. Comunicación persoal.

Gallego Armesto H (1912) "Eclipse de Sol de 17 de abril de 1912. El eclipse en Galicia". En La Región, edición de 14 de abril de 1912.

Gurriarán Rodríguez R (2004) A investigación científica en Galicia (1900-1940): institucións, redes formativas e carreiras académicas. A ruptura da Guerra Civil. Tese de doutoramento, Universidade de Santiago de Compostela.

Gurriarán Rodríguez R (2006) Ciencia e Conciencia na Universidade de Santiago 1900-1940. Do influxo institucionista e a JAE á depuración do profesorado. USC Editora, Compostela.

Kristenson H (1960) The precise timing of the solar total eclipse June 30, 1954. Arkiv för Astronomi 2:315-343.

La Vanguardia (1912a) Hemeroteca. Dispoñíbel para consulta en liña na url http://www.lavanguardia.com/hemeroteca/

La Vanguardia (1912b). Edición de 16 de abril de1912, p.16.

Loodts J (1952) La détermination des distances au moyen d'éclipses de soleil et d'occultations d'étoiles par la lune. Ciel et Terre, 68: 200-207.

Martínez y Martínez T (1913) Informe en Eclipse total de Sol del 17 de Abril de 1912. Instituto y Observatorio de Marina San Fernando. San Fernando, Cádiz, p. 19.

Mitchell SA (1902) The Flash Spectrum. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, XIV:74-87.

Nuñez de Murga J, Codina Vidal JM (2012) La participación de Josep Comas Solà, director del Observatorio Fabra, en el eclipse de 1912. Neste número da revista da RAGC.

OBV (2012) Centenario da observación da eclipse de Sol no Barco de Valdeorras. Programa. Pode descargarse dende http://bit.ly/O0gwZ6

Rivados RG (1913) Informe en Eclipse total de Sol del 17 de Abril de 1912. Instituto y Observatorio de Marina San Fernando. San Fernando, Cádiz, pp. 18-19.

Ruiz Castell P (2009) Els eclipsis totals de Sol: Un punt d'inflexió en el desenvolupament de l'Astronomia i l'Astrofísica a l'Espanya de principis del segle XX. Actes d'història de la ciència i de la tècnica 2: 237-252.

Sadler DH, Hulme HR (1945) Proceedings at meeting of the Royal Astronomical Society 1945 May 11th. The Observatory, 66: 74-81.

The New York Times (1912) Tested animal fear during the eclipse. Edición do 28 de abril de 1912.

TO (1937)The Cinema at an Eclipse. The Observatory 60:222-228.

Revista Real Academia Galega de Ciencias. Vol. XXXI. Págs. 137-162 (2012)

# Macro y micronutrientes en acículas de *Pinus pinaster* de diferentes clases de edad y relación con el índice de sitio de las plantaciones

Cristina Eimil Fraga, Federico Sánchez Rodríguez, Roque Rodríguez-Soalleiro[1]

*[1]Unidad de Gestión Forestal Sostenible, Universidad de Santiago, E-27002 Lugo, España*
**Correspondencia: roque.rodriguez@usc.es.*

## Resumen

Este estudio se llevó a cabo en 31 parcelas de *Pinus pinaster* localizadas en el noroeste de España, en cada una se seleccionaron tres árboles y se muestreó una rama por árbol para evaluar el estado nutricional de las acículas de diferentes clases de edad. Los elementos analizados fueron: C, N, P, K, Ca, Mg, S, Al, Fe, Mn, Zn, B, Mo y Cu; se obtuvo su concentración y también se calculó el contenido de nutrientes. Se usaron seis tipos de funciones para modelar las concentraciones y los contenidos de los elementos como una función de la edad de las acículas.

Las concentraciones de P, Mg y K disminuyeron con la edad y las concentraciones de Ca, S, Fe, Mo y Mn aumentaron cuando las acículas eran más viejas, siguiendo diferentes tendencias (exponencial, logarítmica e hipérbola) cada elemento. Nutrientes como C, N y Al aumentaron primero y luego disminuyeron con la edad y las concentraciones de Cu y Zn primero disminuyeron y luego aumentaron, mostrando todas una tendencia parabólica. Los contenidos aumentaron con la edad de las acículas en todos los elementos. Las concentraciones de nutrientes no normalizadas se compararon con los rangos propuestos para acículas de *Pinus pinaster.* Las deficiencias más frecuentes en las parcelas se encontraron para P, N y K. La mayoría de las parcelas tenían niveles marginales de Fe y en cuanto al B sólo tenía valores adecuados 8 parcelas. La relación entre la concentración de nutrientes y el índice de sitio de las parcelas considerando la edad de las acículas fue mejor que la relación con los contenidos. La concentración de Ca, Mg, K, Mn y Mo foliar fue la

[1] Premio de Investigación Jóvenes Investigadores 2011 de la Real Academia Gallega de Ciencias.

que más se correlacionó con el índice de sitio. Concluimos que la mayoría de las plantaciones del noroeste de España, incluso las localizadas en terrenos agrícolas, son deficientes en algún nutriente y se recomienda fertilizar para mejorar la productividad de los rodales.

**Palabras clave:** *Pinus pinaster,* estado nutricional, acículas, clases de edad, índice de sitio.

## Abstract

This study was carried out in 31 *Pinus pinaster* plots located in northwestern Spain, where three trees were selected and a branch per tree was sampled to evaluate the nutritional status of needles of different age. C, N, P, K, Ca, Mg, S, Al, Fe, Mn, Zn, B, Mo and Cu were the elements analyzed; their concentrations were recorded and the nutrient content was also calculated. Six types of functions were used to model the concentrations and contents of elements as a function of the needles age.

Concentrations of P, Mg and K decreased with age and concentrations of Ca, S, Fe, Mo and Mn increased when needles were older, following different trends (exponential, logarithmic and hyperbola) for each element. Nutrients as C, N and Al first increased and then decreased with age and Cu and Zn concentrations first decreased and then increased, showing all a parabolic trend. Contents increased with age of needles in all elements. No normalized nutrient concentrations compared to the ranges provided for needles of *Pinus pinaster.* The most frequent deficiencies in plots were found for P, N and K. Most of the plots had marginal levels of Fe and as for the B only contains adequate values in 8 plots. The relationships among nutrient concentrations and site index of the plots considering the age of needles were better than with the contents. The concentration of Ca, Mg, K, Mn and Mo foliar were those most correlated with site index. We conclude that most plantations of northwestern Spain, even those located in former agricultural lands, are deficient in some nutrient and fertilizing is recommended to enhance stand productivity.

**Keywords:** *Pinus pinaster,* nutritional status, needles, age classes, site index.

## Introducción

*Pinus pinaster* es una de las especies arbóreas más importantes en España, tanto por la superficie que ocupa, 1.693.181 ha (MARM, 2008) como por la producción de madera. Esta especie empíricamente se considera frugal y se

usó en España para reforestaciones. La especie muestra una alta variabilidad genética debido a la gran diversidad ecológica y al aislamiento entre especies. Esta diferenciación resulta en la consideración de 20 regiones de procedencia de *Pinus pinaster* con características genéticas diferentes y adaptaciones al ambiente (Alía et al., 1996). Las plantaciones de pino atlántico en el noroeste de España tienen, entre otras, características directamente relacionadas con crecimiento rápido y por lo tanto muestran un potencial productivo importante.

La relación entre las propiedades del suelo y el estado nutricional de las especies depende en gran medida de factores como el clima, el tipo de suelo y las prácticas de gestión. Un estudio del estado nutricional proporciona información acerca de la evolución futura de los rodales debido a que los nutrientes afectan a la resistencia al estrés y a enfermedades y a muchos procesos fisiológicos. Entre los trece elementos esenciales, seis se clasifican como macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) los cuales son usados por las plantas en cantidades relativamente grandes y siete micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl, Mo) que son requeridos en cantidades muy pequeñas. Los requerimientos nutricionales varían dependiendo de la especie considerada, las coníferas generalmente se desarrollan bien en sitios menos fértiles con baja disponibilidad de P (Ballard, 1980).

La escasez de nutrientes puede limitar la producción forestal porque bajo condiciones naturales la disponibilidad de nutrientes es siempre limitada y las entradas externas son raras; además, las plantas necesitan reciclar, reducir las pérdidas y maximizar el uso eficiente de nutrientes para una mayor producción de biomasa. La disponibilidad de algunos elementos puede aumentar con la fertilización, como se afirmó en Francia (Bonneau, 1995; Trichet et al., 2009), norte de España (Bará, 1991) o en otras prácticas de gestión nutricional.

Para mantener la productividad forestal es esencial conservar los nutrientes del suelo, los cuales dependen de un balance positivo entre las entradas y salidas de estos nutrientes en el sistema (Jorgensen et al., 1975; Graham et al., 1991; Fisher y Binkley, 2000). El análisis nutricional permite cuantificar los nutrientes extraídos por los diferentes tipos de actividades humanas o procesos naturales (Freedman et al., 1981; Nambiar, 1996; Augusto et al., 2000). El análisis foliar se puede usar de dos maneras diferentes: para decidir qué nutrientes son deficientes en un rodal que está creciendo poco, o para comprobar qué respuesta se puede esperar de la aplicación de un fertilizante (Van Den Driessche, 1974). El análisis foliar puede suministrar información directa sobre el estado nutricional de una masa forestal, pero sólo información indirecta sobre el contenido de nutrientes del suelo (Tamm, 1964; Aerts y Chapin, 2000).

El estudio de los cambios en la concentración o el contenido foliar con la edad de las acículas proporciona información de los procesos de retraslocación de nutrientes y también de la edad más adecuada para muestrear y determinar el estado de nutrientes y la productividad del sitio (Aerts y Chapin, 2000; Romanyà y Vallejo, 2004). Normalmente se analiza el follaje que crece en el año actual, se prefiere debido a la gran correlación entre la concentración de nutrientes y la longitud del brote, índice de sitio y disponibilidad de los nutrientes del suelo. Sin embargo, también se sugiere que la edad de las acículas más adecuada para muestrear dependerá del nutriente que se estudie (Wells y Metz, 1963). La atención se centró sobretodo en el estado de N de los árboles, y el follaje actual es el indicador más sensible para esto. El follaje más viejo podría ser más informativo para otros nutrientes y la comparación entre el follaje de diferentes edades también puede ser informativo (Van Den Driessche, 1974).

Se observó que la concentración de N, P y K disminuye cuando aumenta la edad del follaje mientras Ca y Mg aumentan (Turner et al., 1977). Grundon et al., (1997) proporcionaron una clasificación de los principales nutrientes en elementos móviles (N, P, K, Mg), nutrientes de movilidad variable (S, Cu, Zn, Mo) y nutrientes inmóviles (Ca, Mn, Fe, B). El nivel de movilidad del B se revisó recientemente, apuntando procesos de retraslocación (Lehto et al., 2010).

Los suelos del área de estudio se caracterizan por ser muy lavados, altamente ácidos y con baja concentración de Ca, Mg, K y P (Macías y Calvo, 1992). Esto es debido a que predominan rocas minerales que no se alteran, altas precipitaciones y procesos de fijación de P como diferentes compuestos de Fe y Al, que limitan su asimilación por las plantas (Dambrine et al., 2000). Los suelos en Galicia también se caracterizan por ser ricos en materia orgánica, lo que pone de manifiesto una fuerte disponibilidad de las formas complejas, particularmente con Al (Carballas, 1982). El alto contenido de Al en la fase sólida y líquida podría causar toxicidad y desequilibrios nutricionales en las masas forestales (Alvarez et al., 2005).

Estudios recientes demostraron que la mayoría de las plantaciones forestales en el noreste de España tienen deficiencias nutricionales que limitan su producción, especialmente en el caso del P y Mg y en menor medida Ca y K (Sánchez Rodríguez et al., 2002; Merino et al., 2003; Martins et al., 2009). El contenido de N del suelo es normalmente suficiente para la producción forestal y puede incluso ser excesivo, lo que resulta en un desequilibrio con otros macronutrientes (Zas y Serrada, 2003).

Teniendo en cuenta las deficiencias generalizadas en plantaciones de *Pinus pinaster*, que provocan una baja productividad, la aplicación de fertilizantes puede ser recomendada y debe ser específicamente determinada en cada caso

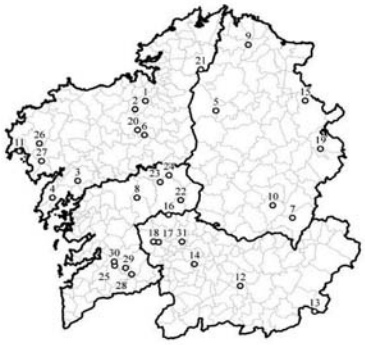
(Bará 1991; Martins et al., 2009). Los estudios sobre aspectos nutricionales en acículas de *Pinus pinaster* fueron realizados por autores franceses (Bonneau, 1995; Saur et al., 1992), autores australianos (Boardman et al., 1997) y en menor medida, en España (Bará, 1991; Alvarez Alvarez et al., 2011). A pesar de que los niveles críticos de N, P y K fueron propuestos por Bará (1991) y la relación positiva entre el P foliar y el índice de sitio (IS) se encontraron para Asturias (Alvarez Alvarez et al., 2011) y K para Galicia (Bará y Toval, 1983), los resultados obtenidos aún son incompletos.

Los objetivos del presente estudio fueron determinar la concentración y el contenido en acículas de *Pinus pinaster* de diferentes edades plantados en terrenos agrícolas abandonados, comprobar las deficiencias nutricionales en cada parcela y relacionar los nutrientes con el índice de sitio de las plantaciones.

## Material y métodos

### Selección de las parcelas muestreadas

Un total de 31 parcelas de edad entre 13 y 16 años se escogieron dentro del rango natural de la especie (Fig. 1). Las parcelas eran de 20x30 m y se localizaron en plantaciones de pino marítimo establecidas bajo el programa de reforestación de terrenos agrícolas abandonados. Los terrenos estaban en general cubiertos de matorral y el laboreo no se había aplicado en las últimas décadas. Las características climáticas y estacionales de las parcelas se describen en la Tabla 1. Las parcelas se instalaron en 2006, cuando se llevó a cabo un análisis del suelo (Tabla 2). Se seleccionaron 3 árboles dominantes en cada parcela y de cada árbol se cogió una rama bien iluminada del tercio superior de la copa (insertada a una altura de 4 ó 5 m) y todas las acículas se



clasificaron por clases de edad.

**Figura 1.** Localización de las 31 parcelas (puntos negros) de *Pinus pinaster* en Galicia (noroeste de España)

| Parcela | Edad (años) | Procedencia | Elevación (m) | IS (m) | Área basal ($m^2$/ha) | Densidad (pies/ha) | Profundidad suelo (cm) | Temperatura media (ºC) | Precipitación (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 15 | Costa | 83 | 15,9 | 17,9 | 817 | 60 | 13,1 | 959 |
| 2 | 14 | Costa | 443 | 16,1 | 27,3 | 933 | 40 | 11,6 | 1844 |
| 3 | 15 | Costa | 535 | 15,3 | 31,2 | 1450 | 40 | 12,4 | 1881 |
| 4 | 15 | Costa | 520 | 15,3 | 28,3 | 1117 | 40 | 12,5 | 1856 |
| 5 | 15 | Interior | 450 | 14,8 | 18,7 | 1117 | 20 | 10,9 | 1439 |
| 6 | 14 | Costa | 325 | 18,0 | 30,5 | 1000 | 40 | 12,4 | 1395 |
| 7 | 14 | Interior | 643 | 17,0 | 14,3 | 817 | 20 | 12,1 | 795 |
| 8 | 14 | Costa | 690 | 11,4 | 10,1 | 767 | 20 | 10,8 | 2089 |
| 9 | 14 | Costa | 510 | 13,8 | 19,1 | 817 | 30 | 11,8 | 1318 |
| 10 | 14 | Interior | 655 | 13,3 | 11,3 | 1417 | 25 | 11,6 | 1303 |
| 11 | 16 | Costa | 110 | 16,4 | 22,4 | 700 | 43 | 16,1 | 1552 |
| 12 | 15 | Interior | 840 | 8,5 | 9,9 | 1633 | 35 | 10,0 | 1064 |
| 13 | 14 | Interior | 875 | 11,3 | 16,0 | 1400 | 25 | 10,8 | 853 |
| 14 | 14 | Interior | 480 | 11,4 | 5,5 | 1200 | 40 | 14,3 | 728 |
| 15 | 15 | Interior | 643 | 8,2 | 3,9 | 1133 | 20 | 11,9 | 965 |
| 16 | 14 | Interior | 645 | 9,8 | 6,2 | 1267 | 30 | 11,0 | 1272 |
| 17 | 15 | Costa | 503 | 6,9 | 5,0 | 1033 | 30 | 11,5 | 1463 |
| 18 | 14 | Costa | 370 | 13,8 | 9,3 | 1200 | 15 | 12,7 | 1050 |
| 19 | 14 | Interior | 690 | 9,2 | 7,6 | 1450 | 40 | 11,6 | 728 |
| 20 | 15 | Costa | 290 | 17,9 | 37,7 | 1000 | 45 | 12,6 | 1358 |
| 21 | 15 | Interior | 558 | 7,9 | 3,9 | 783 | 25 | 11,3 | 1265 |
| 22 | 15 | Interior | 773 | 8,5 | 6,7 | 1067 | 30 | 10,4 | 1388 |
| 23 | 15 | Interior | 660 | 7,6 | 3,5 | 867 | 60 | 11,0 | 1286 |
| 24 | 15 | Interior | 447 | 9,5 | 4,4 | 800 | 20 | 12,0 | 1093 |
| 25 | 14 | Costa | 160 | 13,7 | 6,1 | 1017 | 60 | 14,2 | 1694 |
| 26 | 14 | Costa | 383 | 10,7 | 4,8 | 633 | 35 | 11,7 | 1610 |
| 27 | 14 | Costa | 475 | 10,7 | 8,7 | 850 | 15 | 11,2 | 1726 |
| 28 | 14 | Costa | 200 | 11,0 | 4,7 | 733 | 50 | 13,7 | 1828 |
| 29 | 14 | Costa | 500 | 16,1 | 15,9 | 1250 | 50 | 12,2 | 2287 |
| 30 | 14 | Costa | 340 | 15,8 | 14,9 | 667 | 50 | 13,0 | 2042 |
| 31 | 13 | Costa | 340 | 15,1 | 21,0 | 1267 | 60 | 12,9 | 1024 |

**Tabla 1**. Parámetros climáticos, de sitio y dendrométricos de las parcelas

| Variable | Media | Desviación típica | Percentil 0,25 | Percentil 0,75 |
|---|---|---|---|---|
| C (%) | 9,36 | 4,37 | 6,38 | 11,31 |
| N (%) | 0,55 | 0,29 | 0,33 | 0,68 |
| S (%) | 0,07 | 0,05 | 0,04 | 0,08 |
| P (mg/kg) | 9,61 | 10,67 | 3,75 | 11,59 |
| Ca (mg/kg) | 137,13 | 133,41 | 60,36 | 153,20 |
| Mg (mg/kg) | 52,99 | 63,54 | 16,05 | 51,88 |
| K (mg/kg) | 73,45 | 47,99 | 37,92 | 104,35 |
| Mn (mg/kg) | 15,88 | 19,04 | 3,08 | 23,26 |
| Fe (mg/kg) | 253,70 | 136,07 | 142,26 | 337,68 |
| Zn (mg/kg) | 2,49 | 3,12 | 0,07 | 4,52 |
| Ni (mg/kg) | 0,42 | 0,40 | 0,24 | 0,45 |
| Cu (mg/kg) | 0,61 | 0,58 | 0,23 | 0,72 |
| Cr (mg/kg) | 0,08 | 0,07 | 0,02 | 0,12 |
| As (mg/kg) | 0,28 | 0,35 | 0,12 | 0,31 |
| Mo (mg/kg) | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,04 |
| Cd (mg/kg) | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,03 |
| S (mg/kg) | 38,92 | 16,43 | 30,08 | 44,47 |
| Pb (mg/kg) | 2,33 | 1,95 | 1,17 | 2,87 |
| Co (mg/kg) | 0,21 | 0,26 | 0,05 | 0,22 |
| pH (agua) | 4,53 | 0,37 | 4,37 | 4,75 |
| pH (KCl) | 3,71 | 0,36 | 3,52 | 3,94 |
| Materia orgánica (%) | 16,13 | 7,54 | 11,00 | 19,49 |

**Tabla 2**. Análisis de suelo de las parcelas

## Análisis de acículas

Las acículas se agruparon para proporcionar una muestra compuesta para cada árbol y edad. Las muestras se secaron (65º, 48 horas) y se molieron (0,5 mm). C y N se analizaron por combustión, con un analizador Leco a través de oxidaciones instantáneas de la muestra y posteriormente se determinaron los gases procedentes de dicha combustión mediante un detector de conductividad térmica. El material de referencia certificado fue Barley 502-227 y EDTA. Para determinar los macronutrientes y los elementos traza se hicieron digestiones con $HNO_3$ en un microondas. Las concentraciones de P, K, Ca, Mg, S, Al, Fe, Mn, Zn, B, Mo, y Cu se midieron con un equipo ICP-OES

después de la digestión, empleando acículas de *Pinus pinaster* como material de referencia certificado.

## Transformación de datos

El contenido de los nutrientes en las acículas se calculó considerando la concentración de los nutrientes y el peso medio de cada acícula. Los árboles individuales de un sitio dado muestran una variación considerable de la concentración o contenido para la misma clase de edad, mientras los valores de un elemento en un sitio dado muestran que todos los árboles siguen el mismo patrón, aunque a diferentes niveles de concentración. Entonces se decidió usar datos normalizados para hacer comparaciones entre clases de edad. Con el fin de eliminar el efecto del cambio en los niveles medios de concentración o

$$c^{*}_{t,i} = (c_{t,i} / \Phi_i)\,\Omega$$

contenido de cada sitio, el procedimiento que se aplicó fue el de Wyttenbach et al., (1995b).

Los valores medios de cada árbol se normalizaron a nivel árbol por

donde t = edad, i = número de árbol, c = concentración o contenido medido y Φ = media de todos los valores medios para un árbol dado. La media del sitio y su error estándar para una clase de edad dada se calculó usando el valor normalizado $c^{*}_{t,i}$. Esta media y error normalizado se retransformaron a concentraciones (o contenidos) multiplicando por Ω, que es la media de todas las concentraciones (o contenidos) medios para este sitio.

$$C = a + b\, e^{c\ edad} \qquad [1]$$

$$C = a\, e^{c\ edad} \qquad [2]$$

$$C = a + b\ edad + c\ edad^{2} \qquad [3]$$

$$C = a + \frac{b}{edad} \qquad [4]$$

$$C = a + b\ \ln edad \qquad [5]$$

$$C = a\,(1 - e^{b\ edad}) \qquad [6]$$

Para estimar la concentración o contenido de los elementos como una función de la edad de las acículas, se usaron los siguientes tipos de funciones:

donde C = concentración o contenido de un elemento dado, a, b, c = parámetros, edad = clase de edad de las acículas.

$$\text{Adj. R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-p} \frac{\sum (c_i - \hat{c}_i)^2}{\sum (c_i - \bar{c}_i)^2}$$

Como una medida de precisión, se calculó el coeficiente de determinación ajustado de la siguiente forma:

donde n = número de datos, p = número de parámetros de la ecuación, ci = concentración o contenido de cada elemento, ĉ = valor predicho de cada elemento, $\bar{c}_1$ = valor medio de cada elemento.

Los datos no normalizados se usaron para determinar el estado de los nutrientes y la relación de la concentración y el contenido con el índice de sitio. El coeficiente de correlación de Pearson se calculó para evaluar la relación entre la concentración y el contenido de los nutrientes y el índice de sitio de las parcelas.

## Resultados

### Concentración

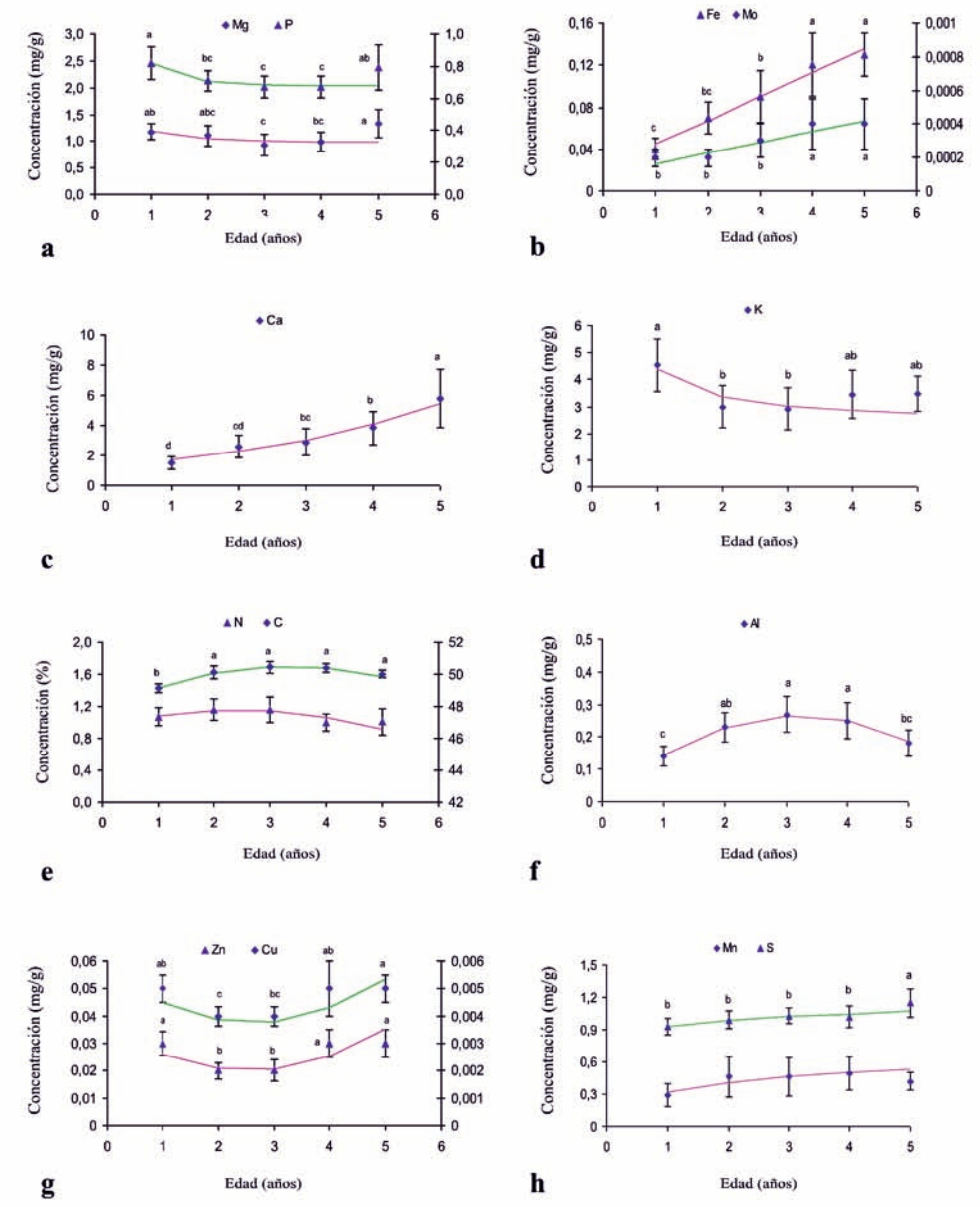
La concentración media de los elementos y el valor de la desviación estándar se muestran en la Tabla 3. Se encontraron diferencias significativas entre la clase de edad de las acículas y la concentración de la mayoría de los elementos estudiados.

La concentración de P y Mg disminuye exponencialmente con la edad de las acículas de acuerdo a la ecuación 1 y la concentración de Fe y Mn aumentan exponencialmente (Fig. 2a y 2b). La concentración de Ca aumenta exponencialmente con la edad de las acículas de acuerdo a la ecuación 2 (Fig. 2c). También se encontraron aumentos para S y Mn, pero con una evolución logarítmica (Ec. 5, Fig. 2h). La concentración de K también disminuye, pero la ecuación que mejor se ajustó fue una hipérbola (Ec. 4, Fig. 2d). La concentración de C, N y Al primero aumenta y luego disminuye con la edad de las acículas de acuerdo a la ecuación 3 (Fig. 2e y 2f). Las concentraciones de Cu y Zn también muestran una tendencia parabólica, pero primero disminuyen y

Tabla 3. Concentración media de los elementos (mg/g, C y N en porcentaje) ± desviación estándar en las diferentes clases y resultados del ajuste de las funciones

| Elemento | Clase de edad de acículas | | | | | Estadísticos | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Tendencia | Ecuación | Nivel *P* | $R^2$ |
| C | 49,12 ± 0,55 | 50,14 ± 0,76 | 50,44 ± 0,73 | 50,39 ± 0,57 | 50,02 ± 0,47 | + - | 3 | 0,0001 | 0,9878 |
| N | 1,07 ± 0,23 | 1,16 ± 0,27 | 1,16 ± 0,33 | 1 ± 0,21 | 1,01 ± 0,34 | + - | 3 | 0,0093 | 0,7701 |
| P | 0,82 ± 0,2 | 0,71 ± 0,13 | 0,67 ± 0,13 | 0,67 ± 0,13 | 0,79 ± 0,28 | - | 1 | 0,0001 | 0,8752 |
| Ca | 1,5 ± 0,81 | 2,59 ± 1,53 | 2,89 ± 1,84 | 3,85 ± 2,22 | 5,81 ± 3,87 | + | 2 | 0,0001 | 0,9379 |
| Mg | 1,17 ± 0,3 | 1,1 ± 0,39 | 0,92 ± 0,41 | 0,99 ± 0,37 | 1,33 ± 0,54 | - | 1 | 0,0018 | 0,4428 |
| K | 4,54 ± 1,94 | 2,99 ± 1,55 | 2,92 ± 1,59 | 3,45 ± 1,79 | 3,47 ± 1,3 | - | 4 | 0,0001 | 0,7671 |
| S | 0,93 ± 0,16 | 0,99 ± 0,16 | 1,03 ± 0,15 | 1,02 ± 0,2 | 1,15 ± 0,26 | + | 5 | 0,0001 | 0,8604 |
| Mn | 0,29 ± 0,22 | 0,46 ± 0,37 | 0,46 ± 0,35 | 0,49 ± 0,31 | 0,42 ± 0,17 | + | 5 | 0,0001 | 0,7785 |
| Fe | 0,04 ± 0,02 | 0,07 ± 0,03 | 0,09 ± 0,05 | 0,12 ± 0,06 | 0,13 ± 0,04 | + | 1 | 0,0001 | 0,9782 |
| Al | 0,14 ± 0,06 | 0,23 ± 0,09 | 0,27 ± 0,11 | 0,25 ± 0,11 | 0,18 ± 0,08 | + - | 3 | 0,0001 | 0,9945 |
| B | 0,01 ± 0,008 | 0,01 ± 0,009 | 0,01 ± 0,01 | 0,02 ± 0,01 | 0,01 ± 0,01 | | Errático | - | - |
| Zn | 0,03 ± 0,009 | 0,02 ± 0,006 | 0,02 ± 0,008 | 0,03 ± 0,01 | 0,03 ± 0,01 | - + | 3 | 0,0001 | 0,6581 |
| Cu | 0,005 ± 0,001 | 0,004 ± 0,0007 | 0,004 ± 0,0007 | 0,005 ± 0,002 | 0,005 ± 0,001 | - + | 3 | 0,0001 | 0,3657 |
| Mo | 0,0002 ± 0,0001 | 0,0002 ± 0,0001 | 0,0003 ± 0,0002 | 0,0004 ± 0,0003 | 0,0004 ± 0,0003 | + | 1 | 0,0001 | 0,8389 |

Las tendencias se indican por "+" (aumenta con la edad) o "-" (disminuye). Los números de las ecuaciones son los mismos números que se utilizaron en la sección relativa a métodos. También se muestra el nivel de P




luego aumentan (Fig. 2g). La concentración de B muestra tendencia errática, es decir, los patrones de variación no están claramente definidos.

**Figura 2.** Concentración de nutrientes en función de la edad de las acículas: Mg y P (a), Fe y Mo (b), Ca (c), K (d), N y C (e), Al (f), Zn y Cu (g), Mn y S (h). Las líneas verticales representan la desviación estándar y las diferentes letras se emplearon para detectar diferencias significativas aplicando el test de Tukey

## Contenido

El contenido medio de los elementos y el valor de la desviación estándar se muestran en la Tabla 4. Hubo diferencias significativas entre algunas clases de edad de las acículas en relación con el contenido de todos los elementos estudiados. El contenido de P, Mg, Cu, Mo y Fe aumentaron exponencialmente con la edad de las acículas de acuerdo a la ecuación 1 (Fig. 3a, 3b y 3c). Los contenidos de Ca y B también aumentan exponencialmente pero sin término independiente (Ec. 2, Fig. 3d). Se encontraron aumentos para S y C, pero con una evolución logarítmica (Fig. 3e). El contenido de Mn y N aumentaron exponencialmente con la edad de las acículas de acuerdo a la ecuación 6 (Fig. 3f). El contenido de Al primero aumenta y luego disminuye y el contenido de K también muestra una tendencia parabólica, pero con una tendencia que primero disminuye y luego aumenta (Fig. 3g). El contenido de Zn mostró una tendencia errática (Fig. 3h), siendo imposible con la información disponible definir claramente una tendencia que aumente o disminuya.

Tabla 4. Contenido medio de los elementos (mg/100 acículas) ± desviación estándar en las diferentes clases y resultados del ajuste de las funciones

| Elemento | Clase de edad de acículas | | | | | Estadísticos | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Tendencia | Ecuación | Nivel *P* | $R^2$ |
| C | 7187,77 ± 2004,59 | 8564,01 ± 1999,94 | 10160,65 ± 2343,16 | 10718,25 ± 2569,94 | 11436,98 ± 2199,05 | + | 5 | 0,0001 | 0,9732 |
| N | 159,91 ± 67,32 | 200,53 ± 79,61 | 232,28 ± 77,72 | 215,88 ± 86,3 | 239,58 ± 130,76 | + | 6 | 0,0001 | 0,9974 |
| P | 12,08 ± 4,4 | 12,18 ± 3,86 | 13,54 ± 4,33 | 13,89 ± 5,5 | 18,41 ± 7,24 | + | 1 | 0,0001 | 0,9145 |
| Ca | 21,95 ± 11,61 | 43,57 ± 23,73 | 56,93 ± 33,53 | 79,63 ± 58,39 | 134,41 ± 89,17 | + | 2 | 0,0001 | 0,9696 |
| Mg | 17,4 ± 7,06 | 19,01 ± 8,09 | 18,65 ± 9,32 | 20,65 ± 10,71 | 31,11 ± 13,34 | + | 1 | 0,0001 | 0,9447 |
| K | 66,14 ± 32,11 | 51,25 ± 28,81 | 58,13 ± 31,36 | 69,47 ± 40,5 | 82,9 ± 39,35 | - + | 3 | 0,0003 | 0,8708 |
| S | 13,75 ± 5,07 | 17,05 ± 5,61 | 20,78 ± 5,64 | 20,66 ± 7,31 | 26,48 ± 8,13 | + | 5 | 0,0001 | 0,9273 |
| Mn | 4,05 ± 3,17 | 7,63 ± 6,4 | 9,13 ± 7,73 | 9,87 ± 7,19 | 9,84 ± 4,38 | + | 6 | 0,0001 | 0,9741 |
| Fe | 0,66 ± 0,3 | 1,15 ± 0,65 | 1,78 ± 1,11 | 2,29 ± 1,43 | 2,98 ± 0,97 | + | 1 | 0,0001 | 0,9976 |
| Al | 2,11 ± 1,02 | 3,89 ± 1,9 | 5,52 ± 3,07 | 4,86 ± 2,59 | 4,02 ± 1,31 | + - | 3 | 0,0001 | 0,9651 |
| B | 0,17 ± 0,13 | 0,19 ± 0,16 | 0,23 ± 0,2 | 0,29 ± 0,23 | 0,33 ± 0,26 | + | 2 | 0,0001 | 0,9789 |
| Zn | 0,39 ± 0,17 | 0,34 ± 0,13 | 0,41 ± 0,17 | 0,56 ± 0,38 | 0,71 ± 0,33 | | Errático | - | - |
| Cu | 0,06 ± 0,02 | 0,06 ± 0,02 | 0,08 ± 0,02 | 0,09 ± 0,03 | 0,11 ± 0,04 | + | 1 | 0,0001 | 0,8664 |
| Mo | 0,003 ± 0,002 | 0,003 ± 0,002 | 0,005 ± 0,003 | 0,008 ± 0,006 | 0,01 ± 0,006 | + | 1 | 0,0001 | 0,9369 |

Las tendencias se indican por "+" (aumenta con la edad) o "-" (disminuye). Los números de las ecuaciones son los mismos números que se utilizaron en la sección relativa a métodos. También se muestra el nivel de P

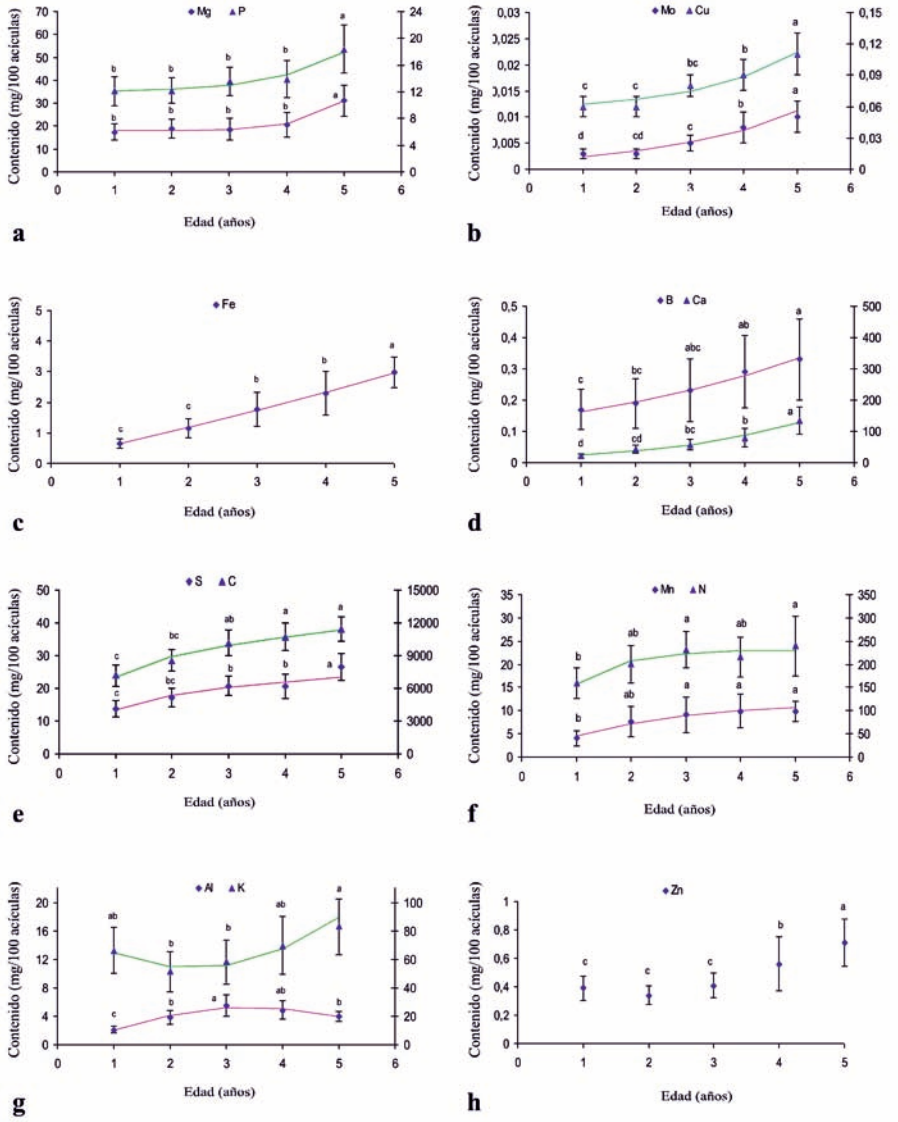



**Figura 3.** Contenido de nutrientes en función de la edad de las acículas: Mg y P (a), Mo y Cu (b), Fe (c), B y Ca (d), S y C (e), Mn y N (f), Al y K (g), Zn (h). Las líneas verticales representan la desviación estándar y las diferentes letras se emplearon para detectar diferencias significativas aplicando el test de Tukey

## Estado nutricional

La clasificación de las parcelas en cuanto al estado nutricional de los árboles para la concentración de macronutrientes en acículas de un año de edad se representa en la Fig. 5. Para esta clasificación se usaron los niveles de concentración dados por Bonneau (1995), Boardman et al., (1997) y Balboa (2005) para acículas de *Pinus pinaster* (Tabla 5).

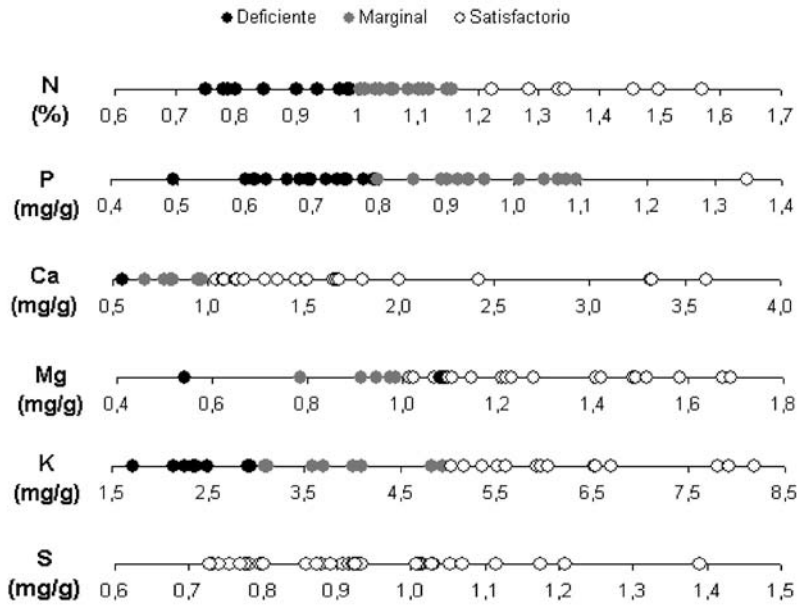



**Figura 4.** Concentración de los nutrientes foliares en las 31 parcelas de *Pinus pinaster* (puntos) de acuerdo a los valores dados por Bonneau (1995), Boardman et al (1997) y Balboa (2005)

**Tabla 5**. Niveles de concentración (mg/g, N en porcentaje) para acículas de *Pinus pinaster* dados por Bonneau[1] (1995), Boardman[2] et al., (1997) y Balboa[3] (2005). Los niveles de referencia se modificaron ligeramente para cubrir los valores observados. Tener en cuenta que los niveles satisfactorios para Mn, B y Zn también pueden cubrir niveles tóxicos, pero no estaban disponibles los umbrales de toxicidad

| Concentración | Niveles deficientes | Niveles marginales | Niveles satisfactorios |
|---|---|---|---|
| C | - | - | - |
| N[1] | < 1 | 1 - 1,2 | 1,2 - 1,5 |
| P[1] | < 0,8 | 0,8 - 1,1 | 1,1 - 1,5 |
| Ca[3] | < 0,6 | 1 | 1 - 1,2 |
| Mg[3] | < 0,7 | 0,7 - 1 | > 1 |
| K[1] | < 3 | 3 - 5 | > 5 |
| S[2] | - | - | 0,5 - 1,6 |
| Mn[2] | 0,007 - 0,01 | - | > 0,014 |
| Fe[2] | < 0,024 | 0,024 - 0,065 | 0,065 - 0,217 |
| Al | - | - | - |
| B[2] | < 0,006 | 0,006 - 0,016 | > 0,016 |
| Zn[2] | < 0,01 | - | > 0,01 |
| Cu[2] | < 0,003 | 0,003 - 0,004 | 0,004 -0,019 |
| Mo | - | - | - |

Los niveles para Ca y Mg dados por Balboa (2005) derivan de los valores publicados por Bará y Toval (1983) para acículas de *Pinus pinaster* en Galicia. Estos valores se representaron en histogramas (Fig. 5), en combinación con los valores de referencia de la Tabla 5. Considerando estos valores de referencia, las deficiencias más frecuentes se encontraron para el P, 16 de 31 parcelas mostraron valores bajos y solo una parcela tenía niveles satisfactorios (Fig. 5). Las concentraciones foliares de N y K fueron deficientes en 11 y 9 casos, respectivamente. Dieciséis parcelas tenían niveles de Ca por encima del óptimo y para Mg casi todas las parcelas estaban dentro de los niveles apropiados. La concentración de S estaba dentro del rango normal en todas las parcelas (Fig. 5).

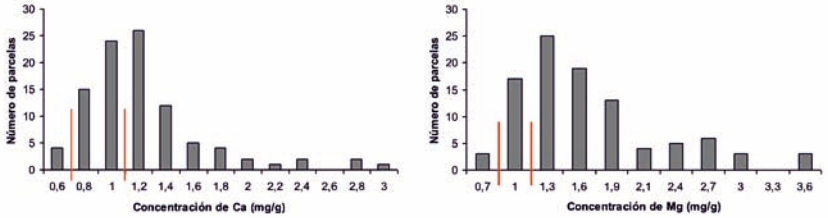



**Figura 5.** Histogramas para representar los niveles de Ca y Mg

Boardman et al., (1997) establecieron las Tablas con los rangos de concentración de macronutrientes y micronutrientes para diferentes especies, incluyendo *Pinus pinaster*, cuyos valores de macronutrientes son similares a los de Bonneau (1995). En nuestro estudio usamos los valores de referencia de macronutrientes y S dados por Boardman et al., (1997) (Tabla 5) para obtener la Fig. 6. La concentración de Mn y Zn estaban dentro del rango normal en todas las parcelas y en el caso del Cu, 22 parcelas también tenían valores apropiados. La mayoría de las parcelas (25 en total) tenían niveles marginales de Fe y para el B solo había cantidades adecuadas en 8 sitios.

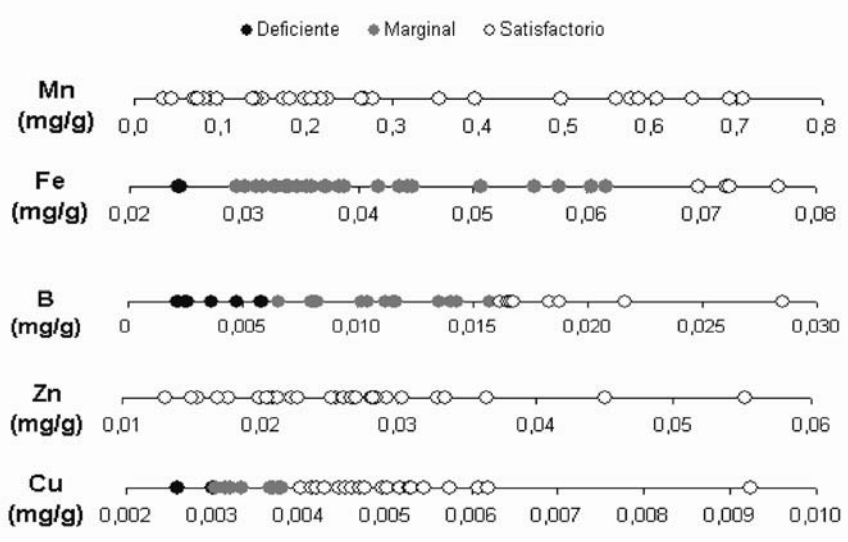



**Figura 6.** Concentración de los nutrientes foliares en las 31 parcelas de *Pinus pinaster* (puntos) de acuerdo a los valores dados por Boardman et al (1997)

La relación entre la concentración de nutrientes y el índice de sitio de las parcelas considerando la edad de las acículas fue mejor que la que se obtuvo con los contenidos (Tabla 6). La mayoría de las correlaciones del índice de sitio con los contenidos fueron negativas y solo se encontraron coeficientes significativos para N en acículas de 3 años de edad. Las concentraciones se correlacionaron positivamente con la productividad del sitio excepto para C y N. Las correlaciones fueron mayores para acículas de 2 ó 3 años que para acículas de clase de edad uno. En la edad 4 y 5 no hubo valores significativos (Tabla 6). Los macronutrientes Ca, Mg y K foliar y micronutrientes Mn y Mo foliar son los que se correlacionaron con el índice de sitio en todas las tres primeras clases de edad.

La tabla 7 muestra una comparación de concentraciones obtenidas con respecto a otros autores.

**Tabla 6.** Relación de las concentraciones y el contenido con el índice de sitio para las tres primeras edades (coeficiente de correlación de Pearson y entre paréntesis el nivel de significación)

| Nutrientes | Concentración | | | Contenido | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Edad 1 | Edad 2 | Edad 3 | Edad 1 | Edad 2 | Edad 3 |
| C | -0,3176 (0,0019) | -0,4544 (<0,0001) | -0,3983 (0,0002) | -0,3474 (0,0006) | - | -0,2994 (0,0060) |
| N | - | -0,2399 (0,0213) | -0,3259 (0,0026) | -0,2428 (0,0190) | -0,2246 (0,0314) | -0,4340 (<0,0001) |
| P | 0,2554 (0,0135) | - | - | - | - | - |
| Ca | 0,3528 (0,0005) | 0,4088 (<0,0001) | 0,4013 (0,0001) | - | 0,2857 (0,0055) | 0,2476 (0,0216) |
| Mg | 0,2924 (0,0044) | 0,3561 (0,0005) | 0,3852 (0,0002) | - | - | - |
| K | 0,3225 (0,0016) | 0,4632 (<0,0001) | 0,4702 (<0,0001) | - | 0,2940 (0,0042) | 0,2843 (0,0080) |
| S | 0,2253 (0,0299) | - | - | - | - | -0,2737 (0,0108) |
| Mn | 0,2244 (0,0305) | 0,2213 (0,0330) | 0,2116 (0,0505) | - | - | - |
| Fe | 0,2634 (0,0107) | - | - | - | - | -0,2196 (0,0422) |
| Al | - | - | -0,2384 (0,0271) | - | - | -0,3147 (0,0032) |
| B | - | 0,2198 (0,0342) | 0,2246 (0,0376) | - | - | - |
| Zn | - | 0,1969 (0,0586) | - | - | - | - |
| Cu | 0,3551 (0,0005) | 0,3118 (0,0023) | - | - | - | - |
| Mo | 0,2168 (0,0368) | 0,3144 (0,0021) | 0,2922 (0,0063) | - | 0,2183 (0,0355) | - |

## Discusión

### Variación de los nutrientes con la edad de las acículas

El comportamiento de la mayoría de los elementos se puede describir con funciones algebraicas. La ecuación 1 (exponencial) y la ecuación 2 (hipérbola) son apropiadas para una situación donde la captación durante el primer año es mucho más pronunciada que en años posteriores, es decir, las concentraciones son más altas en acículas más jóvenes, que son fisiológicamente más activas. Mg, P y K, claramente móviles, muestran este comportamiento, debido a su papel como elementos esenciales y su presencia en el desarrollo de acículas jóvenes es importante. Una tendencia similar a esta presentada aquí también se encontró en *Pinus sylvestris* (Helmisaari, 1992), *Picea abies* (Wyttenbach et al., 1995b) y *Abies alba* (Szymura, 2009). Los incrementos observados durante el primer año pueden deberse a la gran permeabilidad de las acículas jóvenes. En años posteriores la permeabilidad y la captación se reducen (Wyttenbach et al., 1995b).

La ecuación 3 (parábola) describe el comportamiento de elementos tales como C, N y Al, con aumentos seguidos de descensos con la edad de las acículas. Además, en este estudio el N muestra un patrón diferente al de otros macronutrientes móviles con un descenso continuo. El patrón observado en nuestro estudio es contrario al que se observó en la mayoría de las plantas (Field, 1983), pero también ha sido informado por Warren y Adams (2001) para *Pinus pinaster* en dos sitios de Australia con muestras otoñales, y se explica por los relativos excesos o deficiencias de N y el momento del año en que se cogen las muestras.

Las concentraciones de Cu y Zn también muestran una evolución parabólica, pero con un cambio opuesto de patrones que disminuyen a patrones que aumentan. Saur et al., (1992) informaron que las concentraciones de Zn y Cu disminuyen con la edad para pino marítimo de 16 años de edad. Algunos resultados confirman la alta movilidad de Zn y la capacidad de removilización (Taiz y Zeiger, 2002) mientras que otros apuntan un bajo transporte de este elemento (Larcher, 2003). Wyttenbach y Tobler (2000) observaron con *Picea abies* que la concentración de Zn aumentaba con la edad de las acículas en algunos sitios y en otro sitio se caracterizó por una tendencia que decrecía. En acículas de *Pinus nigra* la concentración de Zn también varió dependiendo del sitio (contaminado o sin contaminar) (Giertych et al., 1999). En *Pinus sylvestris* el Cu tuvo un comportamiento similar al de *Pinus pinaster*, pero la tendencia de Zn es diferente, aumenta con la edad. El comportamiento de la

concentración de Cu disminuye continuamente para *Picea abies* (Wyttenbach et al., 1995b).

Las concentraciones de Fe, Mo y Ca aumentaron con la edad y mostraron concentraciones más altas en acículas con actividad fisiológica más baja. Los aumentos de Fe y Mo podrían atribuirse a la contaminación superficial no fisiológica, como sus caracteres inmóviles no pueden explicar el aumento en la concentración (Wyttenbach et al., 1995b). El Ca es un elemento inmóvil que se acumula de manera constante en las hojas en forma de oxalatos (Larcher, 2003). Investigaciones anteriores mostraron que la concentración de Ca en las acículas aumenta casi linealmente en lugares con alto nivel de Ca en el suelo (Wyttenbach et al., 1995a). El comportamiento de Fe y Ca en *Pinus pinaster* es similar al de *Pinus sylvestris* (Helmisaari, 1992). Las concentraciones de Mn y S también incrementan durante el envejecimiento. El Mn es generalmente considerado póbremente móvil y se acumula en las acículas con la edad (Helmisaari, 1990). El Mn muestra la misma evolución en acículas de *Pinus sylvestris.* Para *Pinus pinaster* las concentraciones de Fe y Mn aumentan con el aumento de la edad de las acículas (Saur et al., 1992).

El comportamiento errático fue solo para microelementos: la concentración de B y el contenido de Zn. Durante un largo tiempo, el B se consideró como uno de los nutrientes menos móviles de las plantas (Grundon et al., 1997). La inmovilidad parece ser una consecuencia lógica del papel del B como constituyente de la pared celular. Sin embargo, en condiciones no deficientes, la fracción de B que no está vinculada a la pared celular es potencialmente móvil. Los estudios de árboles con niveles de B extremadamente bajos pueden contribuir a la sugerencia de que el B es inmóvil. En condiciones extremas, el B no es potencialmente móvil, o las concentraciones son similares o más altas en acículas más viejas comparado con acículas más jóvenes (Lehto et al., 2010).

La tendencia a aumentar en el contenido de P, Mg, Fe, Cu, Mo, Ca y B no se podría comparar con otros autores debido a la falta de estudios específicos. En cuanto a los resultados del contenido de nutrientes, hay que señalar que los pequeños cambios observados podrían derivar de una continuación en el crecimiento a partir de octubre (cuando se recogieron las acículas).

## Comparación de niveles foliares con otros autores

La comparación con otros trabajos aporta indicios del estado nutritivo del tipo de plantaciones estudiadas (Tabla 7). Freán (2009) presentó concentraciones de nutrientes foliares para estas 31 parcelas, con 2 años menos de edad y el resultado fue muy similar al presentado en nuestro trabajo excepto para la concentración de Mg y Cu, que tienen niveles marginales. Otras plantaciones

de *Pinus pinaster* estudiadas en Galicia tienen concentraciones de N con niveles satisfactorios, deficiencias en P y niveles bajos en Mg y K (Balboa, 2005; Brañas et al., 2001). Brañas et al., (2001) obtuvieron concentraciones de Mn, Fe, Zn y S más altas que las encontradas aquí. Afif Khouri et al., (2009) en plantaciones del noroeste de España encontraron claras deficiencias de P y K. Los valores de Mg fueron relativamente bajos mientras las concentraciones de N o Ca fueron satisfactorias (Tabla 7). En el suroeste de Francia Saur et al., (1992) determinaron los micronutrientes en acículas de *Pinus pinaster* (ramas de 6 años de edad), los resultados obtenidos para Mn Zn y Cu estuvieron por debajo de los valores encontrados aquí, mientras los niveles de Fe y B fueron similares (Tabla 7).

**Tabla 7.** Valores de nutrientes foliares (mg/g, C y N en porcentaje) en acículas actuales de Pinus pinaster

| Concentración | Eimil (2011) | Freán (2009) | Afif Khouri et al (2009) | Balboa (2005) | Brañas et al (2001) | Saur et al (1992) | ICP Forests (2010) Valores bajos | ICP Forests (2010) Valores altos |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 49,12 | 53,27 | - | 49,71 | - | - | 47 | 57 |
| N | 1,07 | 1,09 | 1,39 | 1,52 | 1,43 | - | 0,69 | 1,37 |
| P | 0,82 | 0,8 | 0,61 | 0,53 | 0,72 | - | 0,55 | 1,24 |
| Ca | 1,5 | 1,34 | 2,94 | 1,46 | 1,83 | - | 0,8 | 3,8 |
| Mg | 1,17 | 0,98 | 0,92 | 1,04 | 1,16 | - | 1,01 | 2,47 |
| K | 4,54 | 4,93 | 1,54 | 3,44 | 3,51 | - | 3,26 | 7,14 |
| Mn | 0,29 | 0,23 | - | 0,248 | 0,71 | 0,123 | 0,041 | 0,825 |
| Fe | 0,04 | 0,06 | - | 0,162 | 0,22 | 0,0445 | 0,0229 | 0,579 |
| Al | 0,14 | 0,15 | - | - | - | - | - | - |
| B | 0,0107 | 0,013 | - | 0,013 | - | 0,012 | 0,015 | - |
| Zn | 0,03 | 0,02 | - | 0,063 | 0,07 | 0,017 | 0,0156 | 0,039 |
| Cu | 0,005 | 0,003 | - | 0,003 | 0,025 | 0,0025 | 0,0017 | 0,0050 |
| Mo | 0,0002 | 0,0003 | - | - | - | - | - | - |
| S | 0,93 | 1,09 | - | 0,76 | 2,7 | - | 0,61 | 1,29 |

ICP Forests (2010) determinó concentraciones de elementos en el follaje de diferentes especies arbóreas. Nuestros valores están entre los límites observados para pino marítimo, excepto el B, que era más alto que nuestros valores. Los elementos como Cu y Zn estaban muy cerca de los valores altos y C, Ca, Mg, K y Fe estaban más cerca del límite inferior (Tabla 7).

La respuesta de los nutrientes foliares en cada rodal también se documentó en el noroeste de España (Martins et al., 2009). Las deficiencias se encontraron en P, como en este estudio, y Mg, en 16 y 18 de las 22 parcelas, respectivamente. Las concentraciones de K y Ca estaban por debajo del nivel

crítico en 11 y 7 casos, mientras que todas las parcelas mostraron niveles satisfactorios de N excepto 3 sitios y nosotros solo teníamos 7 parcelas con niveles adecuados.

## Productividad y evaluación del estado nutricional

Las concentraciones de nutrientes foliares no alcanzaron los niveles satisfactorios en la mayoría de los casos (Figuras 5 y 6). Las deficiencias más frecuentes se encontraron en P, N y K de acuerdo a los niveles marginales dados por Bonneau (1995). Las deficiencias en P y Mg y en menor medida en K y Ca estaban presentes tanto en plantaciones juveniles como en plantaciones maduras de *Pinus pinaster* (Martins et al., 2009), *Pinus radiata* (Sánchez-Rodríguez et al., 2002; Zas y Serrada, 2003), *Eucalyptus globulus* (Merino et al., 2003), *Pseudotsuga menziesii* (Solla-Gullón et al., 2006), mientras que el N normalmente estaba en cantidades adecuadas.

Sin embargo, para rodales de *Pinus pinaster* o para otras especies sin prácticas de gestión nutricional, las deficiencias de N son raras, y de otra manera no habría problemas significativos asociados con excesos relativos de este nutriente interfiriendo con la captación de otros (Bará, 1991). Además, los coeficientes de correlación entre los niveles de nutrientes y el índice de sitio no se ajustan a las deficiencias de N. Estos hechos cuestionan la utilidad de los rangos franceses para usar directamente en Galicia. Bará (1991) propuso niveles críticos para N, P y K de 0,98, 0,08 y 0,45%, respectivamente, por lo que los umbrales satisfactorios dados por Bonneau (1995) serían demasiado altos, especialmente para N y P. Además, varios autores insistieron en la necesidad de una calibración local de los niveles críticos para ser una herramienta útil (Turner y Lambert, 1986; Smethurst, 2006, etc.). Los valores críticos pueden ser extremadamente variables dependiendo de las condiciones locales (Turner y Lambert, 1986). Por ejemplo, Bará (1991) estimó un valor de 0,08% para P en Galicia, Dumbrell y McGrafth (2002) 0,07% en el oeste de Australia, mientras que la "práctica común" de las Landas francesas consiste en la aplicación anual de superfosfato para mantener la concentración foliar de P al 0,12% (Trichet et al., 2008).

Con respecto a los micronutrientes mostrados en la Figura 6, las deficiencias más frecuentes se encontraron en Fe y B de acuerdo a los valores dados por Boardamn et al., (1997). Sin embargo es poco probable que las deficiencias de Fe se desarrollen bajo las condiciones ácidas de Galicia y los niveles críticos para B también pueden ser muy variables con el clima local, disminuyendo con las lluvias de invierno y primavera para *Pinus radiata* (Turner y Lambert, 1986).

Las correlaciones no significativas se encontraron entre el índice de sitio y los niveles de nutrientes en la clase de edad 3 y 4. Esta falta de correlaciones significativas se relaciona con nuestra curva de supervivencia calculada en un estudio anterior, donde las acículas de mayor edad (3 y 4 años) tuvieron menor supervivencia (Eimil, 2010).

De acuerdo a la Tabla 6, K, Ca, Mg, Cu y Mo muestran correlaciones significativas (p por debajo de 1%) con el índice de sitio. Todos ellos, además de P y B son problemas típicos de condiciones ácidas (Marschner, 1995). Se encontraron correlaciones significativas entre los principales cationes (datos no mostrados) y correlaciones negativas con la concentración y contenido de Al en la clase de edad 3, sugiriendo que el pH del suelo o la acidez del suelo provocan baja productividad en plantaciones de *Pinus pinaster* como sucede en *Pinus radiata* (Sánchez-Rodríguez et al., 2002).

## Conclusiones

Las concentraciones de nutrientes foliares muestran variaciones con la edad de las acículas, ya sea aumentando o disminuyendo. Elementos esenciales como Mg, P y K fueron más altos durante las edades tempranas, pero los micronutrientes Fe, Mo y Mn y macronutrientes Ca y S tenían concentraciones más altas en las acículas más viejas. Los contenidos aumentaron con la edad de las acículas en todos los elementos. La mayoría de las parcelas muestran deficiencias en el estado nutricional, siendo las más graves para P, N y K de acuerdo a los niveles de referencia de Bonneau (1995). Entre los micronutrientes, algunas parcelas presentaron deficiencias en B y Fe. Los coeficientes de correlación entre los niveles de nutrientes y el índice de sitio no sugirieron un estado deficiente par N, B o Fe y apuntan a la necesidad de proponer niveles críticos locales. Concluimos que la mayoría de las plantaciones de esta área, incluso aquellas localizadas en terrenos agrícolas abandonados, son deficientes en algún nutriente y se recomienda fertilizar para mejorar la productividad de los rodales o hacer una gestión adecuada de los nutrientes.

## Agradecimientos

Este estudio fue financiado por la Xunta de Galica "*Programa de Consolidación y Estructuración de Unidades de Investigación Competitivas*" cofinanciado a través del programa FEDER de la Unión Europea.

## Bibliografía

Aerts R, Chapin FS (2000) The mineral nutrition of wild plants revisited: A re-evaluation of processes and patterns. Advances in Ecological Research. Vol. 30.

Afif Khouri E, Canga Líbano E, Oliveira Prendes JA, Gorgoso Varela JJ, Cámara Obregón MA (2009) Crecimiento anual en volumen y estado nutricional de *Pinus pinaster* Ait. en Asturias, España. Ciencia Forestal en México 34: 107-126.

Alía R, Martín S, de Miguel J, Galera R, Agúndez D, Gordo J, Salvador L, Catalán G, Gil L (1996) Regiones de procedencia de *Pinus pinaster* Aiton. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

Álvarez E, Fernández-Marcos ML, Monterroso C, Fernández-Sanjurjo MJ (2005) Application of aluminium toxicity indices to soils under various forest species. For Ecol Manag 211: 227-239.

Álvarez-Álvarez P, Afif Khouri E, Cámara-Obregón A, Castedo Dorado F, Barrio-Anta M (2011) Effects of foliar nutrients and environmental factors on site productivity in *Pinus pinaster* Ait. Stands in Asturias (NW Spain). Ann For Sci 68: 497-509.

Augusto L, Rager J, Ponette Q, Rapp M (2000) Relationships between forest tree species, stand production and stand nutrient amount. Ann For Sci 57: 313-324.

Balboa MA (2005) Biomasa arbórea y estabilidad nutricional de los sistemas forestales de *Pinus pinaster* Ait., *Eucalyptus globulus* Labill. y *Quercus robur* L. en Galicia. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.

Ballard R (1980) The role of phosphorus in agricultura. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI. 763-804.

Bará S, Toval G (1983) Calidad de estación del *Pinus pinaster* Ait. en Galicia. Comunicaciones INIA. Serie Recursos Naturales 24, Madrid.

Bará S (1991) Fertilización forestal. Consellería de Agricultura, Ganadería y Montes. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.

Boardman R, Lambert MJ, Webb M, Cromer RN (1997) Chapter 10: Forest Plantations. En: Plant Analysis: An Interpretation Manual. Second Edition. (Ed.) DJ Reuter, JB Robinson. CSIRO Land and Water.

Bonneau M (1995) Fertilisation des forêsts dans les pays tempérés. ENGREF. Nancy.

Brañas J, Conde P, Fontao M, López MF, Rodríguez A, Merino A, Viña J, Rodríguez R, Sánchez F (2001) Valoración del estado nutricional de repoblaciones forestales basada en el análisis foliar y de suelos. Asociación Galega Monte Industria, Universidad de Santiago de Compostela.

Carballas M (1982) Estudio de la génesis del Ranker atlántico. Ph.D. Tesis. Universidad de Santiago de Compostela, España.

Dambrine E, Vega JA, Taboada T, Rodríguez L, Fernández C, Macías F, Gras JM (2000) Bilans d'eléments minéraux dans de petits bassins versants forestiers de Galice (NW Espagne). Ann For Sci 57: 23-38.

Dumbrell IC, McGrath JF (2002) Growth and nutrient relationships of juvenile *Pinus pinaster* grown on ex-farmland in Western Australia. Australian Forestry Vol. 66 (2): 137-144.

Eimil C (2010) Longevidad y parámetros morfológicos de acículas de *Pinus pinaster*. Relación con el índice de sitio de las plantaciones. Proyecto fin de carrera. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela.

Field C (1983) Allocating leaf nitrogen for the maximisation of carbon gain: leaf age as a control on the allocation program. Oecologia 56:341-347.

Fisher RF, Binkley D (2000) Ecology and Management of Forest Soils. John Wiley & Sons, New York.

Freán L (2009) Estudio del efecto de factores estacionales en el crecimiento de plantaciones jóvenes de *Pinus pinaster* en terrenos agrícolas abandonados. Proyecto fin de carrera. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela.

Freedman B, Morash R, Hanson AJ (1981) Biomass and nutrient removals by conventional and whole-tree clear-cutting of a red-spruce-balsam fir stand in central Nova Scotia. Can J For Res 11: 249-257.

Giertych MJ, Karolewski P, Temmerman LO (1999) Foliage age and pollution alter content of phenolic compounds and chemical elements in *Pinus nigra* needles. Water Air Soil Poll 110: 363-377.

Graham RT, Minore D, Harvey AE, Jurgensen MF, Page-Dumroese DS (1991) Soil management as an integral part of silvicultural systems. USDA For Serv Gen Tech Rep INT-280: 59-64.

Grundon NJ, Robson AD, Lambert MJ, Snowball K (1997) Chapter 2: Nutrient deficiency and toxicity Symptoms. En: Plant Analysis: An Interpretation Manual. Second Edition. (Ed.) DJ Reuter, JB Robinson. CSIRO Land and Water.

Helmisaari H-S (1990) Temporal variation in nutrient concentrations of *Pinus sylvestris* needles. Scand J For Res 5: 177-193.

Helmisaari H-S (1992) Spatial and age-related variation in nutrient concentrations of *Pinus sylvestris* needles. Silva Fennica. 26 (3): 145-153.

ICP Forests (2010) Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part XII. Sampling and analysis of needles and leaves. United Nations Economic Commission for Europe.

Jorgensen JR, Wells CG, Metz LJ (1975) The nutrient cycle: key to continuous forest production. J For 73: 30-43.

Larcher W (2003) Physiological plant ecology. Springer, Heidelberg.

Lehto T, Ruuhola T, Dell B (2010) Boron in forest trees and forest ecosystems. For Ecol Manag 260: 2053-2069.

Macías F, Calvo de Anta R (1992) Suelos de la provincia de La Coruña. Diputación de La Coruña.

MARM (2008) Anuario de estadística forestal 2008. Área de Medio Ambiente (http://www.mma.es)

Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants. Second edition. London, Academic Press. 889pp.

Martins P, Sampedro L, Moreira X, Zas R (2009) Nutritional status and genetic variation in the response to nutrient availability in *Pinus pinaster*. A multisite field study in Northwest Spain. For Ecol Manag 258: 1429-1436.

Merino A, Rodríguez-López A, Brañas J, Rodríguez-Soalleiro R (2003) Nutrition and growth in newly established plantations of *Eucalyptus globulus* in northwestern Spain. Ann For Sci 60: 509-517.

Nambiar EKS (1996) Sustained productivity of forests is a continuing challenge to soil science. Soil Sci Soc Am J 60: 1629-1642.

Romanyà J, Vallejo VR (2004) Productivity of *Pinus radiata* plantation in Spain in response to climate and soil. For Ecol Manag 195: 177-189.

Sánchez-Rodríguez F, Rodriguez-Soalleiro R, Español E, López CA, Merino A (2002) Influence of edaphic factors and tree nutritive status on the productivity of *Pinus radiata* D. Don plantations in northwestern Spain. For Ecol Manag 171: 181-189.

Saur E, Ranger J, Lemoine B, Gelpe J (1992) Micronutrient distribution in 16 year old maritime pine. Tree Physiol 10: 307-316.

Smethurst PJ (2006) Options for managing nitrogen fertilisers in temperate eucalypt plantations. Technical Report 162. Co-operative Research Centre for Forestry. Tasmania, Australia.

Solla-Gullón F, Santalla M, Rodríguez-Soalleiro RJ, Merino A (2006) Nutritional status and growth of a young *Pseudotsuga menziesii* plantation in a temperate region after application of wood-bark ash. For Ecol Manag 237: 312-321.

Szymura TH (2009) Concentration of elements in silver fir (*Abies alba* Mill.) needles as a function of needles´age. Trees. 23: 211-217.

Taiz L, Zeiger E (2002) Plant physiology, 3rd edn. Sinauer Associates Inc. Publisher, Sunderland, p 690.

Tamm CO (1964) Determination of nutrient requirements of forest stands. Int Rev For Res 1: 115-170.

Trichet P, Bakker MR, Augusto L, Alazard P, Merzeau D, Saur E (2009) Fifty years of fertilization experiments on *Pinus pinaster* in Southwest France: The importance of phosphorus as a fertilizer. For Sci 55 (5): 390-402.

Trichet P, Loustau D, Lambrot C, Linder S (2008) Manipulating nutrient and water availability in a maritime pine plantation: effects on growth, production, and biomass allocation at canopy closure. Ann For Sci 65: 814-825

Turner J, Dice SF, Cole DW, Gessel SP (1977) Variation of nutrients in forest tree foliage. College of Forest Resources. University of Washington.

Turner J, Lambert MJ (1986) Nutritional and nutritional relationships of *Pinus radiata*. Ann Rev Ecol Sys 17:325–350.

Van Den Driessche R (1974) Prediction of mineral nutrient status of trees by foliar analysis. The Botanical Review. 40: 347-394.

Warren CR, Adams MA (2001) Distribution of N, rubisco and photosynthesis in *Pinus pinaster* and acclimation to light. Plant cell environ 24 (6): 597-609.

Wells CG, Metz LJ (1963) Variation in nutrient content of loblolly pine needles with season, age, soil and position on the crown. Soil Sci Soc Am Proc 27 (1): 90-93.

Wyttenbach A, Bajo S, Bucher J, Furrer V, Schleppi P, Tobler L (1995a) The concentration of Ca, Sr, Ba, and Mn in successive needle age classes of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst]. Trees Struct Funct 10 (1): 31-39.

Wyttenbach A, Schleppi P, Tobler L, Bajo S, Bucher J (1995b) Concentrations of nutritional and trace elements in needles of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst] as functions of the needle age class. Plant soil 168-169: 305-312.

Wyttenbach A, Tolber L (2000) The concentrations of Fe, Zn and Co in successive needle age classes of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst]. Trees (Berl). 14:198-205.

Zas R, Serrada R (2003) Foliar nutrient status and nutritional relationships of young *Pinus radiata* D. Don plantations in north-west Spain. For Ecol Manag 174: 167–176.

Revista Real Academia Galega de Ciencias. Vol. XXXI. Págs. 69-90 (2012)

# La participación de Josep Comas Solà, director del Observatorio Fabra, en el eclipse de 1912

Jorge Núñez de Murga [1,2], Josep Maria Codina Vidal [1,*]

*[1] Observatori Fabra, Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona*
*[2] Departament d'Astronomia i Meteorologia, Universitat de Barcelona*
*[*] Director del Observatori Fabra*
*Correspondencia: jorge@am.ub.es*

## Resumen

En el presente trabajo se describe la participación de Josep Comas Solà, director del Observatorio Fabra de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona en la preparación, observación y análisis del eclipse total de Sol del 17 de abril de 1912 en Barco de Valdeorras. Para ello, se utiliza como base las propias publicaciones de Comas Solà y de otros destacados astrónomos en la revista de SADEYA, fundada por el mismo Comas Solà, entre abril de 1911 y junio de 1912.

**Palabras clave:** Eclipses, Historia de la Astronomía, Observatorio Fabra.

## Abstract

The participation of Josep Comas Solà, director of the Fabra Observatory of the *Reial Acadèmia de Ciències i Arts* of Barcelona, in the planning, observation and analysis of the total solar eclipse of April 17th 1912 in Barco de Valdeorras, is described. The main sources we use for that purpose are the own publications of Comas Solà and other renowned astronomers in the SADEYA journal, founded by Comas Solà himself, during the period April 1911- July 1912.

**Keywords:** Eclipses, History of Astronomy, Fabra Observatory.

## Introducción.

Josep Comas Solà, como excelente observador y consciente de la enorme dificultad que entrañaba la observación del eclipse del 17 de abril de 1912 que

se suponía rozando el límite de la totalidad (no era seguro siquiera que llegase a ser total en algún punto), preparó con extraordinaria meticulosidad (incluso superior a la en él habitual) la realización y análisis de dicho evento. Prueba de esta inquietud o precaución de Comas Solà son los artículos, propios y ajenos, cuya publicación procuró en la, por él fundada, "Revista de la Sociedad Astronómica de España (SADE)", que muy pronto pasó a llamarse "Revista de la Sociedad Astronómica de España y América" (Sociedad que en adelante designaremos SADEYA). Eran artículos de reconocidas firmas en el campo astronómico, en un total de ocho desde abril de 1911 hasta junio de 1912, de los cuales seis se refieren a aspectos previos a la realización del fenómeno y constituyen, por tanto, las bases preparatorias indispensables para la debida observación del mismo.

## 1) El eclipse total de 1905 como antecedente.

Antes de pasar a describir los acaecimientos concretos relativos al eclipse de Sol de 1912, cabe comentar que el eclipse de 1912 era el tercero que se producía en España en pocos años ya que, con anterioridad, habían tenido lugar los eclipses del 28 de mayo de 1900 y del 30 de agosto de 1905 y aún anteriormente había tenido lugar otro eclipse total el 18 de julio de 1860 (figura). España fue el único país europeo desde el que se pudo observar la fase de totalidad de los eclipses de 1900 y 1905 en ambas ocasiones. Por tanto, el eclipse total-anular del 17 de abril de 1912 era el tercero de una serie muy poco frecuente en tan corto espacio de tiempo y en un mismo país (Figura 1).

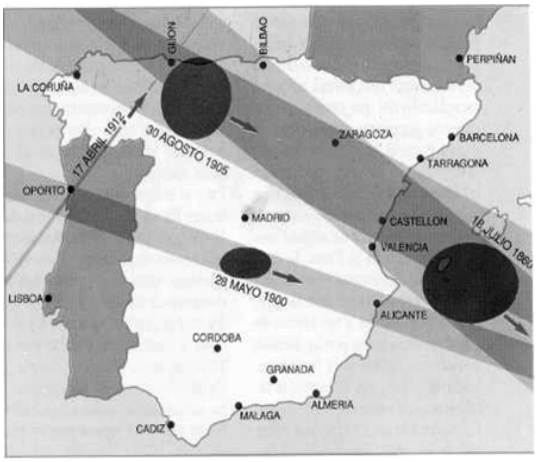



**Figura 1**. Mapa de los eclipses totales de Sol visibles en España el 18 de julio de 1860, 28 de mayo de 1900, 30 de agosto de 1905 y 17 de abril de 1912.

En particular, el eclipse de 1905 se produjo en unas condiciones idóneas debido a la gran duración de la fase de totalidad, lo que despertó un gran interés en muchos ámbitos que lo convirtieron en un fenómeno tanto científico como social de enorme magnitud. Desde el punto de vista científico, el interés de dicho eclipse se basaba en los estudios de la corona solar, la determinación exacta de las posiciones relativas del Sol y la Luna y la búsqueda de planetas intramercurianos. Nótese que en aquella época se desconocía la causa de la retrogradación del perihelio de Mercurio (posteriormente explicada en 1915 gracias a la teoría General de la Relatividad de Einstein) y algunos astrónomos todavía achacaban dicha retrogradación a la presencia hipotética de uno (denominado Vulcano) o varios planetas muy cercanos al Sol. Dado su gran interés científico, el eclipse fue observado por los principales astrónomos nacionales, incluyendo expediciones organizadas por el Observatorio de Madrid (actualmente Observatorio Astronómico Nacional, OAN) y el Observatorio de Marina de San Fernando (actualmente Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando, ROA). Igualmente, dada la importancia científica del fenómeno, el eclipse fue observado desde España por astrónomos británicos, alemanes, rusos, norteamericanos, etc. en una congregación de astrónomos extranjeros sin precedentes en España.

Para participar en tan importante evento, D. Josep Comas Solà, director del recientemente creado Observatorio Fabra (inaugurado el 7 de abril de 1904) solicitó a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona (RACAB), propietaria del observatorio, la observación de dicho eclipse desde la localidad de Vinaroz. Tal como señala P. Ruiz Castell ("*Fa cent anys d'aquell eclipse…*", Rev. Mètode, num. 47, pags. 29-32), las observaciones realizadas por Comas Solà de dicho eclipse consistieron en el estudio visual y fotográfico de la corona y la cromosfera, sobresaliendo el método cinematográfico utilizado por Comas Solà para efectuar estudios espectroscópicos durante el eclipse.

Desafortunadamente, los resultados no fueron totalmente satisfactorios debido a que los 25 metros de película preparados para registrar el eclipse fueron insuficientes para filmar la fase central y la película se agotó un minuto antes del inicio de la fase de totalidad del eclipse. En la figura 2 se muestran dos imágenes de la instrumentación desplegada, consistente en dos telescopios fotográficos y espectroscópicos.

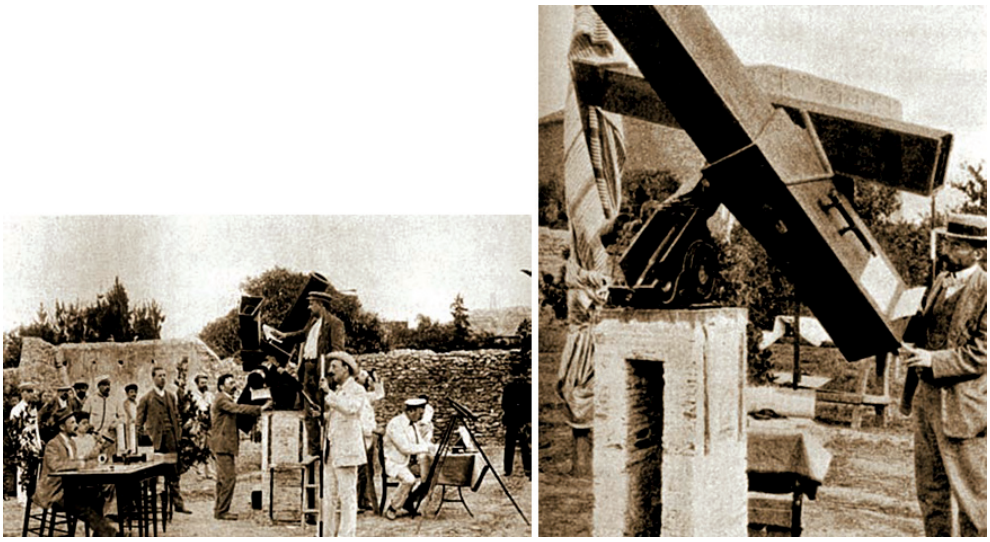


**Figura 2.** Instrumental utilizado por Josep Comas Solà para la observación del eclipse de 1905 en Vinaroz, consistente en dos telescopios fotográficos y espectroscópicos (Memorias de la RACAB, 1906, V. 479)

## 2) Factibilidad de observar el eclipse en El Barco de Valdeorras.

Tras estos antecedentes, era obvio que Comas Solà haría todo lo posible por observar también el elipse de 1912 y con este motivo comenzó a preparar la observación mediante una serie de seis artículos propios y de otros astrónomos publicados en 1911 y 1912 en las revistas de SADE y SADEYA y se dirigió a la junta directiva de la RACAB solicitando permiso y financiación para la realización de las observaciones.

Los dos primeros artículos se publicaron en 1911 en la revista de la SADE y en ellos se demostraba la factibilidad de la observación:

En el primero de dichos artículos titulado "*El eclipse de Sol del 17 de abril de 1912*", por **Francisco Iñíguez**, Director del Observatorio de Madrid y miembro de la Sociedad Astronómica de España, Revista SADE, año I, núm. 1, abril 1911 (número de inauguración de la revista). El autor, además de hacer una extensa revisión general sobre los eclipses totales y su importancia, considera las diversas predicciones efectuadas para el eclipse de 1912 tomando diferentes valores del diámetro lunar e indicando los consecuentes valores de la duración de la totalidad y las características de la banda o zona de eclipse total (que cruza Galicia), con consejos o recomendaciones para la observación.

En dicho artículo, F. Iñíguez recalca que la observación del eclipse ha de ser difícil debido a las circunstancias en las que se producirá y los errores (pequeños pero importantes) en parámetros fundamentales, tales como el valor de los semidiámetros lunar y solar y las incertidumbres en las efemérides del Sol y la Luna. Debido a esos errores e incertidumbres afirma que "*Ocurrirá el eclipse en condiciones tales de situación de la Luna en el espacio, que su disco aparente es casi igual al del Sol. Los cálculos ya hechos y publicados en las efemérides dan resultados bastante discrepantes, según el diámetro aparente de la Luna adoptado por cada calculador y el método de cálculo usado.*" F. Iñíguez comenta que "*Adoptando el mayor valor de los admitidos para el diámetro aparente de la Luna, el eclipse central comienza por ser anular, es total hacia las 11h 10m y vuelve á ser anular á las I2h 20m. Con el valor mínimo del diámetro lunar el eclipse es anular en toda su duración*" Así pues, se recalca que el eclipse podría no ser total en ninguna parte aunque lo más probable es que sí lo sea.

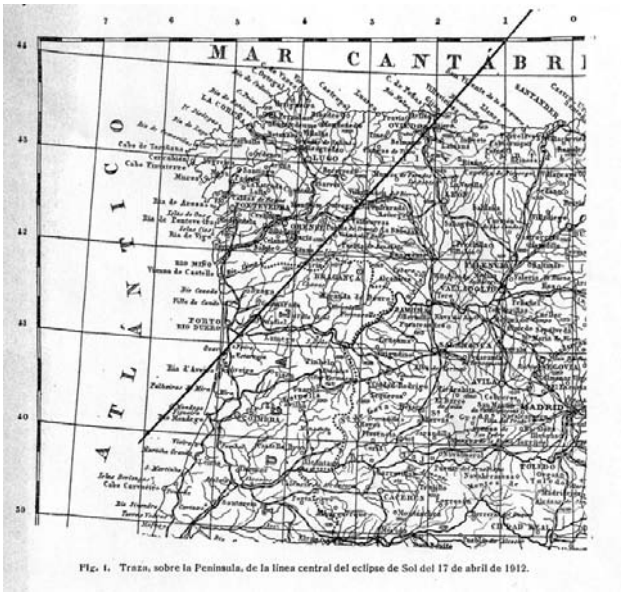



**Figura 3.** Mapa sobre la traza de la línea de centralidad del eclipse publicado por F. Iñíguez en la Revista de SADE año I, núm. 1, abril 1911.

En dicho artículo F. Iñíguez incluye un detallado mapa de la traza de la línea central del eclipse (Figura 3) en la que puede apreciarse el recorrido de la línea de centralidad del eclipse desde el sur de la ciudad portuguesa de Oporto hasta Gijón atravesando Galicia y pasando muy cerca de la localidad

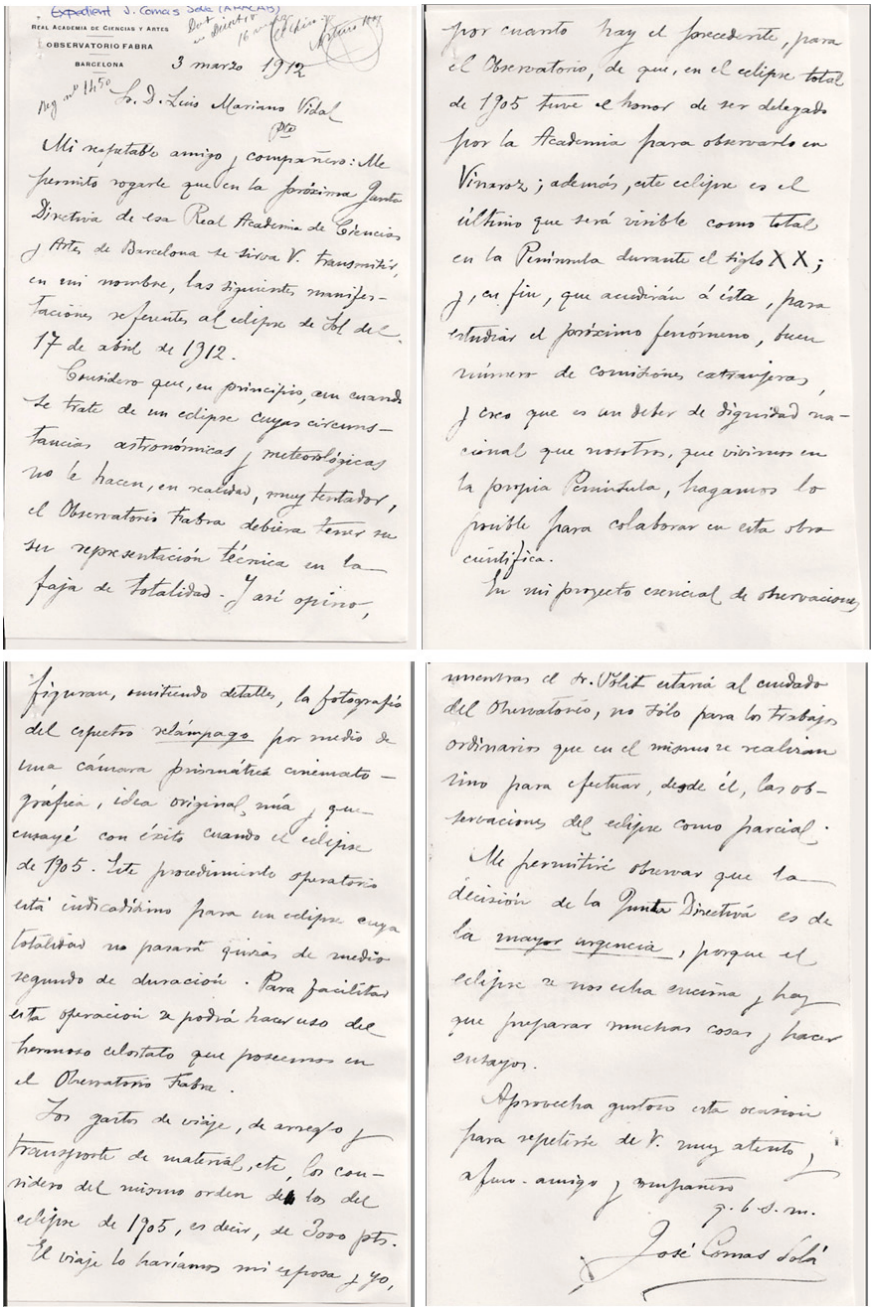
de Barco de Valdeorras. Sin embargo, F. Iñíguez advierte que "*situarse bien es la primera dificultad grave que en este caso habrá que vencer. Porque en el eclipse que nos ocupa es condición indispensable, para lograr algún éxito en muchos de los problemas que en los eclipses hay que resolver, situarse en un punto de la línea del eclipse central. Para ello sólo contamos con los mapas de la localidad atravesada por la banda del eclipse total, y aunque estos mapas son muy suficientes para muchas aplicaciones, también es cierto que las posiciones geográficas de los pueblos en ellos situados no son más que aproximadas. Y habrá de suceder que un astrónomo que haya elegido un lugar para sus observaciones, cuando se traslade á él y determine, mediante observaciones y cálculos prolijos, su verdadera posición, encontrará probablemente que no sólo no está en la línea del eclipse central, pero ni siquiera en la zona totalmente eclipsada*."

En el segundo artículo de la serie, titulado "*El eclipse anular y total de Sol del 16-17 de abril de 1912*", fue publicado por **José Joaquín Landerer**, de la Sociedad Astronómica de España, Revista SADE, año I, núm. 3, junio 1911. En el artículo, El autor realiza el cálculo de predicción tomando como diámetro lunar el confirmado por el eclipse de Sol de 1905 (semidiámetro de 15' 31",62), valor muy próximo al mínimo posible. Halla así una duración de la totalidad de 0,4 s en Peñafiel y de 0,2 s en El Barco de Valdeorras (y valor de la fase máxima en otros lugares de eclipse anular), con una anchura de la banda de totalidad de solo 166 m, todo lo cual hace sumamente delicada la labor de preparar la observación del fenómeno.

En este segundo artículo queda, por tanto, demostrada, la factibilidad de observar el fenómeno como eclipse total en algunos lugares de Galicia entre los que destaca la localidad de Barco de Valdeorras

### 3) La preparación del viaje y de la observación.

Una vez comprobada la factibilidad del eclipse en Galicia, Josep Comas Solà se dirigió, mediante un oficio de fecha 3 de marzo de 1912 que reproducimos a continuación, al Presidente de la RACAB, D. Luis Mariano Vidal, solicitando autorización y financiación de la Junta Directiva de la RACAB para acudir a observar el evento. Es interesante trascribir y comentar dicha petición puesto que en ella Josep Comas Solà expone el interés del evento, de la participación del Observatorio Fabra, el plan de trabajo y la financiación requerida (Figura 4).



Expedient J. Comas Solà (RACAB)

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS Y ARTES
OBSERVATORIO FABRA
BARCELONA

3 marzo 1912

Sr. D. Luis Mariano Vidal

Mi notable amigo y compañero: Me permito rogarle que en la próxima Junta Directiva de esa Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona se sirva V. transmitir, en mi nombre, las siguientes manifestaciones referentes al eclipse de Sol de 17 de abril de 1912.

Considero que, en principio, en cuanto se trate de un eclipse cuyas circunstancias astronómicas y meteorológicas nos le hacen, en realidad, muy tentador, el Observatorio Fabra debiera tener su representación técnica en la faja de totalidad. Y así opino, por cuanto hay el precedente, para el Observatorio, de que, en el eclipse total de 1905 tuve el honor de ser delegado por la Academia para observarlo en Vinaroz; además, este eclipse es el último que será visible como total en la Península durante el siglo XX; y, en fin, que acudirán á éste, para estudiar el próximo fenómeno, tuen número de comisiones extranjeras, y creo que es un deber de dignidad nacional que nosotros, que vivimos en la propia Península, hagamos lo posible para colaborar en esta obra científica.

En mi proyecto esencial de observación figuran, omitiendo detalles, la fotografía del espectro relámpago por medio de una cámara prismática cinematográfica, idea original mía y que ensayé con éxito cuando el eclipse de 1905. Este procedimiento operatorio está indicadísimo para un eclipse cuya totalidad no pasará quizás de medio segundo de duración. Para facilitar esta operación se podrá hacer uso del hermoso celostato que poseemos en el Observatorio Fabra.

Los gastos de viaje, de arreglo y transporte de material, etc, los considero del mismo orden que los del eclipse de 1905, es decir, de 2000 pts. El viaje lo haríamos mi esposa y yo, mientras el Dr. Vilat estaría al cuidado del Observatorio, no sólo para los trabajos ordinarios que en el mismo se realizan sino para efectuar, desde él, las observaciones del eclipse como parcial.

Me permitiré observar que la decisión de la Junta Directiva es de la mayor urgencia, porque el eclipse se nos echa encima y hay que preparar muchas cosas y hacer ensayos.

Aprovecha gustoso esta ocasión para repetirse de V. muy atento, afmo. amigo y compañero

q. b. s. m.

José Comas Solá

**Figura 4.** Reproducción del oficio de D. Josep Comas Solà a la Junta Directiva de la RACAB, solicitando autorización y financiación para observar el eclipse desde Barco de Valdeorras.

*3 de marzo 1912*

*Sr. D. Luis Mariano Vidal, Pte.*

*Mi respetable amigo y compañero: Me permito rogarle que en la próxima Junta Directiva de esa Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona se sirva V. transmitir en mi nombre, las siguientes manifestaciones referentes al eclipse de Sol del 17 de abril de 1912.*

*Considero que, en principio, aun cuando se trate de un eclipse cuyas circunstancias astronómicas y meteorológicas no le hacen, en realidad, muy tentador, el Observatorio Fabra debiera tener su representación técnica en la faja de totalidad. Y así opino, por cuanto hay el precedente , para el observatorio, de que en el eclipse total de 1905 tuve el honor de ser delegado por la Academia para observarlo en Vinaroz; además, este eclipse es el último que será visible en la Península durante el siglo XX; y, en fin, que acudirán a ésta, para estudiar el próximo fenómeno, buen número de comisiones extranjeras y creo que es un deber de dignidad nacional que nosotros, que vivimos en la propia Península, hagamos lo posible para colaborar en esta obra científica.*

*En mi proyecto esencial de observaciones figuran, omitiendo detalles, la fotografía del espectro relámpago por medio de una cámara prismática cinematográfica, idea original mía y que ensayé con éxito cuando el eclipse de 1905. Este procedimiento operatorio está indicadísimo para un eclipse cuya totalidad no pasará quizás de medio segundo de duración. Para facilitar esta operación se podrá hacer uso del hermoso celostato que poseemos en el observatorio Fabra.*

*Los gastos de viaje de arreglo y transporte de material, etc., los considero del mismo orden de los del eclipse de 1905, es decir, de 3000 pts. El viaje lo haríamos mi esposa y yo, mientras el señor Pólit estará al cuidado del observatorio, no solo para los trabajos ordinarios que en el mismo se realizan sino para efectuar, desde él, las observaciones del eclipse como parcial.*

*Me permito observar que la decisión de la Junta Directiva es de la mayor urgencia porque el eclipse se nos echa encima y hay que preparar muchas cosas y hacer ensayos.*

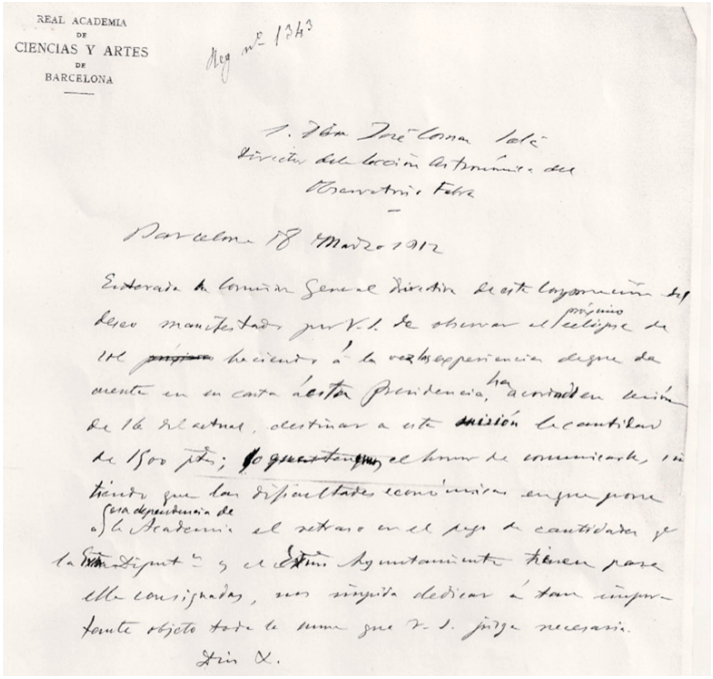
*Aprovecha gustoso esta ocasión para repetirse de V. muy atento y afmo. amigo y compañero,*

*q.b.s.m.*
*José Comas Solá*

Así pues Comas Solà expone la conveniencia de la observación y la necesidad de utilizar en este caso la técnica cinematográfica debido a la rapidez en que se desarrollará el fenómeno que según su carta durará probablemente

**menos de medio segundo**, 0.2s según J.J. Landerer, (nótese que **el de 1905 en Vinaroz duró 3m 42s**).

La respuesta afirmativa de la RACAB a la petición no se hizo esperar y se produjo en fecha 18 de marzo de 1912 mediante escrito del presidente que reproducimos y transcribimos a continuación (Figura 5):


REAL ACADEMIA
DE
CIENCIAS Y ARTES
DE
BARCELONA

Barcelona 18 Marzo 1912

**Figura 5.** Reproducción de la carta del Presidente de la RACAB D. Luis Mariano Vidal a Comas Solà accediendo a la petición de observación del eclipse pero recortando la petición económica a 1500 pts.

*Sr. D. José Comas Solá*
*Director de la sección Astronómica del Observatorio Fabra*
*Barcelona, 18 marzo, 1912*

*Enterada la Comisión General Directiva de esta Corporación del deseo manifestado por V.I. de observar el próximo eclipse de Sol haciendo a la vez las experiencias de que da cuenta en su carta a esta Presidencia, ha acordado en sesión del 16 del actual, destinar a esta misión la cantidad de 1500 pts.; lo que tenemos el honor de comunicarle, sintiendo que las dificultades económicas en que pone a esa dependencia de la Academia el retraso en el pago de las cantidades que la Excm. Diputación y el Excm. Ayuntamiento*

*tienen para ella consignadas, nos impida dedicar a tan importante objeto toda la suma que V.I. juzga necesaria.*

*Luis M. Vidal*

Es de interés ver que en la respuesta del Presidente de la RACAB se accede a la petición pero con un importante recorte en el presupuesto achacable a las dificultades económicas de la RACAB por el retraso de los pagos de las subvenciones de la Diputación y el Ayuntamiento al Observatorio Fabra.

Pocos días más tarde Comas Solà agradece a la RACAB la comisión de servicio, acepta el recorte en el presupuesto solicitado y expone el plan de viaje mediante la carta que transcribimos (Figura 6).

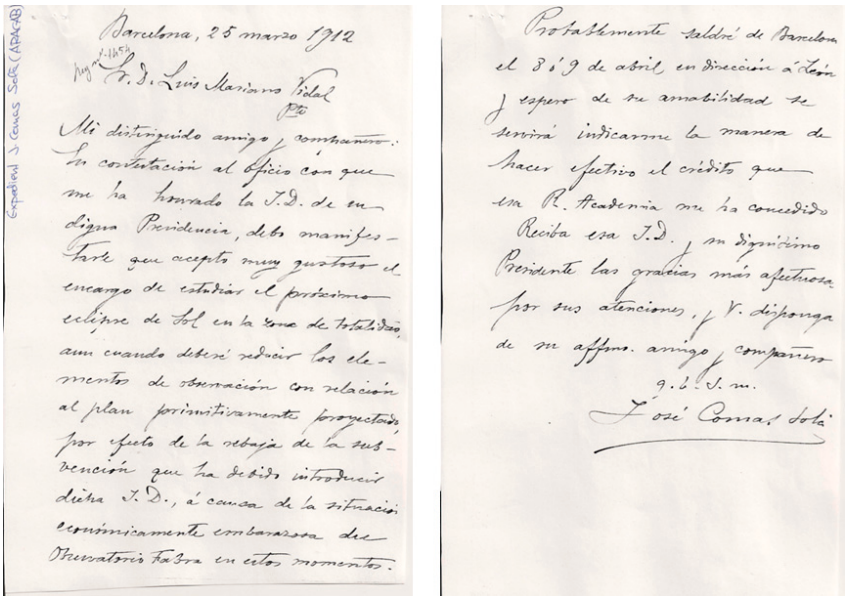


**Figura 6.** Reproducción de la carta de Comas Solà al Presidente de la RACAB D. Luis Mariano Vidal accediendo a la realización de la observación con el presupuesto concedido.

*Barcelona, 25 de marzo 1912*

*Sr. D. Luis Mariano Vidal, Pte.*

*Mi distinguido amigo y compañero: En contestación al oficio con que me ha honrado la J.D. de su digna Presidencia, debo manifestarle que acepto muy gustoso el encargo de estudiar el próximo eclipse de Sol en la zona de totalidad, aun cuando deberé reducir los elementos de observación*

*con relación al plan primitivamente proyectado, por efecto de la rebaja de la subvención que ha debido introducir dicha J.D., a causa de la situación económicamente embarazosa del Observatorio Fabra en estos momentos.*

*Probablemente saldré de Barcelona el 8 ó 9 de abril en dirección a León y espero de su amabilidad se servirá indicarme la manera de hacer efectivo el crédito que esa R. Academia me ha concedido.*

*Reciba esa J.D. y su dignísimo Presidente las gracias más afectuosas por sus atenciones, y V. Disponga de su afmo. amigo y compañero,*

*q.b.s.m.*
*José Comas Solá*

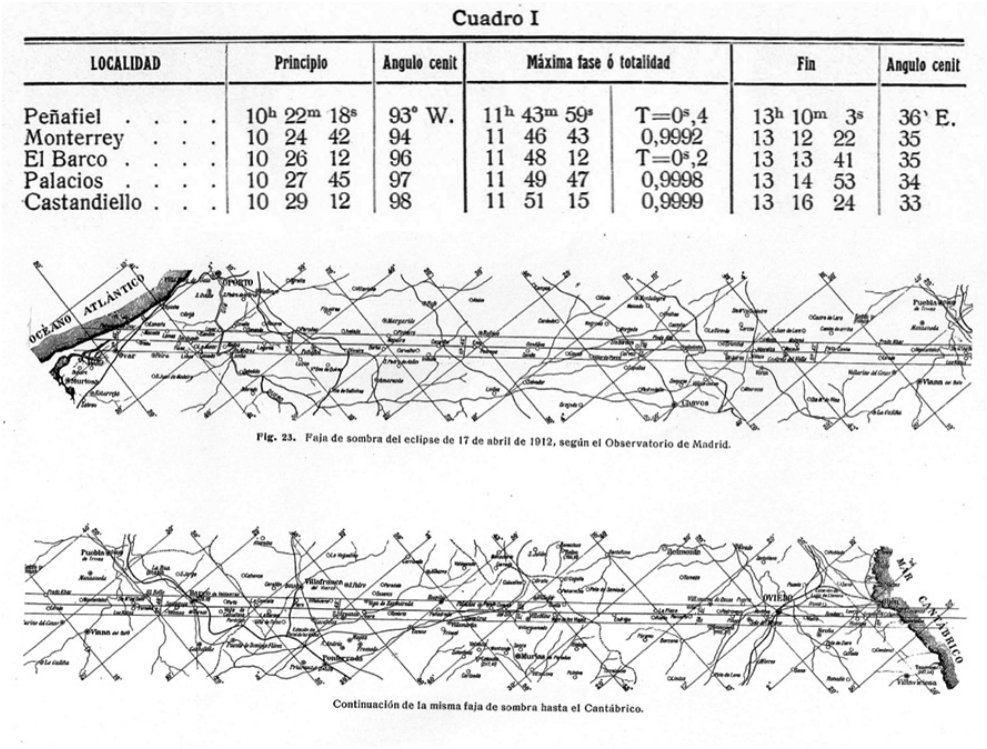
Este intercambio de oficios entre Comas Solà y la RACAB se complementa con los siguientes artículos (del 3 al 6 de la serie que comentamos) en los que se completa la preparación previa necesaria para la correcta observación del eclipse y el análisis de los resultados.

El tercer artículo de la serie se titula "*Eclipse de Sol de 17 de abril de 1912*" y es publicado ya por **Josep Comas Solà**, Revista SADEYA, año II, núm. 12, marzo 1912. En dicho artículo, Comas Solà recoge y comenta los dos trabajos anteriores y efectúa varias proposiciones para la observación. La Figura 7 reproduce de dicho artículo las circunstancias locales para diferentes lugares de observación, calculadas por J.J. Landerer, así como un detallado mapa de la franja de centralidad del eclipse entre los que destaca la localidad de El Barco de Valdeorras por ser su ubicación de casi plena certeza de que en dicho lugar el eclipse será total.

La serie de artículos preparatorios continua con un cuarto artículo: "*Efemérides astronómicas para abril de 1912*", confeccionadas por el Observatorio de Madrid, Revista SADEYA, año II, núm. 13, marzo 1912. En dicho artículo se facilita información general del sistema solar, con mención explícita del eclipse de Sol del día 17.

El quinto artículo preparatorio digno de mención se titula "Aplicación de los eclipses de Sol a la determinación de las longitudes geográficas", por **Francisco Iníguez**, Director del Observatorio de Madrid y miembro de SADEYA, Revista SADEYA, año II, núm. 13, marzo 1912. En dicho artículo, el autor expone una aplicación práctica concreta de la observación de un eclipse. Concretamente, la posibilidad de obtener la longitud geodésica (geográfica) de un lugar de observación mediante la observación de eclipses de Sol. Es de comentar que dicho método de cálculo de las coordenadas geodésicas mediante observación de eclipses solares y observación de ocultaciones de estrellas por la Luna ha sido hasta recientemente el único método válido para obtener las coordenadas geodésicas de islas oceánicas (sin visibilidad al continente)

partiendo de las coordenadas astronómicas. Solamente en los años 60s y 70s del siglo XX fue posible mejorar el método mediante los satélites artificiales de la constelación TRANSIT y, más recientemente, de GPS.



Cuadro I

| LOCALIDAD | Principio | Angulo cenit | Máxima fase ó totalidad | | Fin | Angulo cenit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Peñafiel . . . . | $10^h\ 22^m\ 18^s$ | 93° W. | $11^h\ 43^m\ 59^s$ | $T=0^s,4$ | $13^h\ 10^m\ 3^s$ | 36° E. |
| Monterrey . . . | 10 24 42 | 94 | 11 46 43 | 0,9992 | 13 12 22 | 35 |
| El Barco . . . . | 10 26 12 | 96 | 11 48 12 | $T=0^s,2$ | 13 13 41 | 35 |
| Palacios . . . . | 10 27 45 | 97 | 11 49 47 | 0,9998 | 13 14 53 | 34 |
| Castandiello . . . | 10 29 12 | 98 | 11 51 15 | 0,9999 | 13 16 24 | 33 |



Fig. 23. Faja de sombra del eclipse de 17 de abril de 1912, según el Observatorio de Madrid.

Continuación de la misma faja de sombra hasta el Cantábrico.

**Figura 7.** Reproducción de una tabla de circunstancias locales y un mapa detallado de la línea de centralidad.

Finalmente, el sexto de los artículos preparatorios se titula "*Nuevo método para el cálculo de los eclipses con aplicación al de 17 de abril de 1912*", **por Rafael Gago Palomo y José y Rafael Gago**, pertenecientes a SADEYA, Revista SADEYA, año II, núm. 13, marzo 1912. Trabajo muy teórico, de publicación inacabada por falta material de tiempo.

## 4) Observación del eclipse y resultados obtenidos por Comas Solà.

A estos seis artículos destinados a hacer posible y provechosa la observación del eclipse, siguieron otros dos en la misma revista dando cuenta de los resultados obtenidos en la observación del fenómeno. Utilizaremos esos artículos como fuente principal para comentar la observación efectuada y analizar los resultados.

En el primero de esos artículos está titulado "*El eclipse de Sol de 17 de abril de 1912*" y es autor del mismo **Josep Comas Solà**, Director del Observatorio Fabra y miembro de SADEYA, Revista SADEYA, año II. núm. 14, mayo 1912. En dicho artículo, que reproduce, en parte, un artículo suyo publicado en el diario **La Vanguardia el 25 de abril de 1912 (pags. 8 y 9)**, el autor da cuenta de la observación efectuada y es interesante reproducir aquí algunos párrafos de dicho estudio con el fin de saber de primerísima mano sus propias impresiones y reflexiones:

El autor constata que para el público en general el evento fue un tanto decepcionante por su corta duración pero destaca su gran interés astronómico por:

*1.º Comprobar si la línea central, real, coincidía con alguna de las líneas teóricas. 2.° Comprobar si el eclipse seria total ó anular en tales o cuales puntos y, en el primer caso, si la duración de la totalidad iba a ser cortísima ó bien alcanzaría algunos segundos.*

Comas Solà explica en primer lugar el porqué de la elección de El Barco de Valdeorras para efectuar la observación:

*1.º Por considerar que el eclipse sería total en las cercanías de aquel punto, dado que nuestro sabio consocio D. José J. Landerer, poniendo a contribución todas las meticulosidades de la teoría y del cálculo, así lo había supuesto. 2.° Por haberse determinado con toda la precisión deseable las coordenadas geográficas de un pilar instalado en un huerto del Barco (del Sr. Gurriarán) por una comisión de astrónomos del Observatorio de Madrid. 3.º Por resultar de las estadísticas meteorológicas que hacia aquella región eran mayores que en ninguna otra parte de la Península las probabilidades de buen tiempo. y 4.° Por su elevación sobre el nivel del mar (poco más de 300 metros), lo que debía prolongar algo, aunque poco, la duración de la totalidad.*

Como es sabido, el lugar finalmente escogido (el pilar indicado) se trata de un punto a la orilla derecha del río Sil:

*Nos instalamos á +42° 24',5 de latitud, y á 6° 58',7 al W. de Greenwich. Esta situación corresponde á la orilla derecha del caudaloso Sil, que vierte*

*sus aguas en el Miño, y en medio de un paisaje soberbio, limitado al Sudeste por los montes Cantábricos, cuyas cimas aparecían cubiertas de níveos mantos.*

La comisión científica fue finalmente muy reducida debido al recorte presupuestario y estuvo compuesta por **Josep Comas Solà, su esposa y D. Juan Solá, operador de la casa Pathé** que suministró la cámara cinematográfica. Respecto al instrumental utilizado, se limitó casi totalmente a la citada cámara cinematográfica tal como describe Comas Solà:

*Refiriéndome á mis observaciones, el instrumento que escogí fue muy sencillo y adecuado a las circunstancias de un eclipse total instantáneo. Se limitó á una cámara cinematográfica provista de dos prismas de 60° para obtener el espectro de la cromósfera (espectro relámpago) y coger, al vuelo, las importantísimas variaciones del espectro invertido, todavía poco estudiadas. Este procedimiento lo intenté por primera vez, y en principio con buen resultado, cuando el eclipse de 1905, y lo he repetido en toda su plenitud y con el mayor éxito en este último eclipse. Un deber de justicia me obliga á hacer constar que la casa Pathé me concedió toda clase de facilidades para llevar á efecto ese plan, y que el hábil operador de la propia casa, D. Juan Solá, ha procedido con el mayor acierto en la realización de mis indicaciones.*

Nótese que según comenta el propio Comas Solà, en esta ocasión el experimento cinematográfico se realizó con éxito a diferencia del experimento de 1905 que, como hemos comentado, probablemente no funcionó con pleno éxito debido a agotarse prematuramente la película. Puede, por tanto, deducirse que en el eclipse de El Barco de Valdeorras **se utilizó por primera vez con éxito la técnica cinematográfica para captar el espectro relámpago**. El espectro relámpago es el espectro de emisión de la cromosfera solar, observable durante unos pocos segundos justo antes y justo después un eclipse total. El espectro relámpago consiste en una amplia gama de longitudes de onda detectables en las emisiones del limbo del Sol durante los períodos de unos segundos, justo después del comienzo de la totalidad del eclipse o justo antes del instante de su terminación. Cuando la fotosfera solar es ocultada por la Luna, las capas de la atmósfera solar aparecen muy prominentes y el espectro muestra brevemente las líneas brillantes producidas por la emisión del tenue gas caliente luminoso. Excepto durante los eclipses, esta parte del espectro está enmascarada por el brillo del disco solar. El estudio del espectro relámpago proporciona información sobre el estado físico de la cromosfera solar. El espectro relámpago se observó por primera vez por el astrónomo nor-

teamericano Charles Augustus Young durante el eclipse del 22 de diciembre de 1870.

Comas Solà aprecia el eclipse como total pero instantáneo y precisa la posición de la línea central, tal como reporta:

*Desde nuestra estación, el eclipse fue, visual y sensiblemente, total; pero esta totalidad fue instantánea. Cuando desaparecía la falce de la izquierda, aparecía la de la derecha, ambas diametralmente opuestas. No obstante, de las fotografías espectroscópicas resulta, con toda evidencia, que estuvimos ligeramente desplazados hacia el Norte respecto de la línea central. Juzgo, por consiguiente, muy aproximado que la línea central pasó de uno á dos kilómetros más al Sur de nuestra estación, y que, por lo tanto, un punto situado á los 42° 23',5 de latitud, y en la misma longitud nuestra, correspondió á la línea central.*

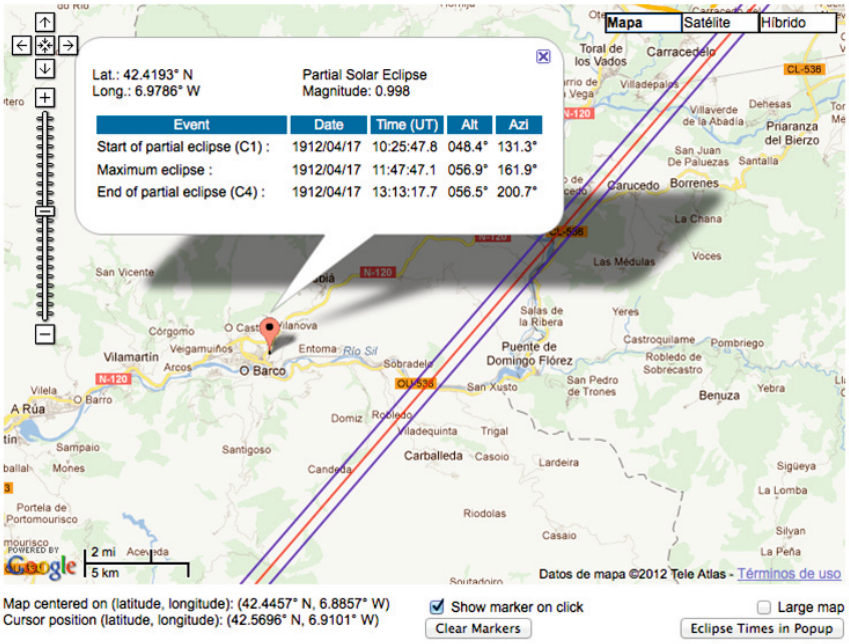



**Figura 8.** Mapa moderno de la línea de centralidad del eclipse de 1912 donde puede apreciarse que el casco urbano de Barco de Valdeorras quedó ligeramente al norte de la línea de centralidad.

En efecto, los mapas calculados con los medios modernos (mapas actuales, efemérides precisas del Sol y la Luna, nuevos valores de los semidiámetros, etc.) muestran que efectivamente la localidad de Barco de Valdeorras quedó

ligeramente por encima de la línea de centralidad (Figura 8) donde el eclipse, en el casco urbano, fue en realidad parcial con una magnitud de 0.998. En la Figura 8 pueden verse las circunstancias locales reales para el punto donde todo indica que se situó Comas Solà de coordenadas φ=42.419297°N, λ=6.978558°W referidas al elipsoide WGS84. Una comparación con las circunstancias locales calculadas en el Cuadro I (Figura 7) muestra que los tiempos reales se adelantaron unos 24 segundos respecto al cálculo efectuado por J.J. Landerer.

Respecto la observación de la corona, Comas Solà, consciente de la rapidez del evento propone observarla visualmente. Así lo hace y reporta notables diferencias con las observaciones de 1900 y 1905 debido a la mínima actividad solar (Figura 9).

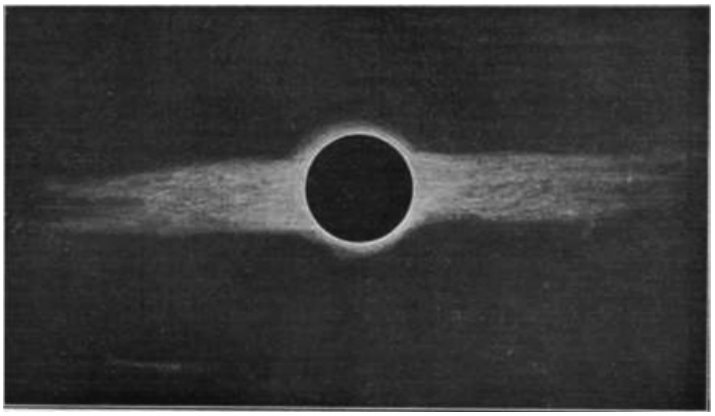


**Figura 9.** Reproducción de la observación visual de la corona solar efectuada por Comás Solà.

*Para la observación de la corona, el procedimiento más práctico en este eclipse, en mi concepto, era el visual; es decir, observarla visualmente y luego, rápidamente, trasladar al papel la forma y aspecto observados. Así se hizo; aquí se reproduce esta imagen. Quien recuerde las coronas de los eclipses de 1900 y 1905, notará con sorpresa la enorme diferencia que media entre ésta y aquellas formas. No obstante, la última forma se acerca mucho más á la de 1900 que á la de 1905, debido a estar el Sol, en la actualidad, en un acentuado mínimo de actividad, como ocurrió en 1900; pero, esta vez, la pasividad solar es extraordinaria, por manera que no se vieron, ni á simple vista ni con gemelos, protuberancias importantes ni grandes proyecciones coronales. La corona arrancaba de latitudes bajas y se extendía pálidamente,*

*formando filetes, hasta distancias enormes de la superficie solar, distancias que no bajaban de dos millones de kilómetros. Los haces de rayos polares faltaron por completo, visualmente. Y no obstante esta debilidad coronal, fue visible dicha aureola desde algunos segundos antes hasta algunos segundos después de la totalidad, y no sólo a la vista natural, sino al través de lentes fuertemente obscuros.*

Como hemos comentado, Comas Solà hace uso (probablemente por primera vez), del método espectro-cinematográfico con éxito, mencionando los principales detalles apreciados y, en particular, imágenes espectrales de la cromosfera (Figura 10):

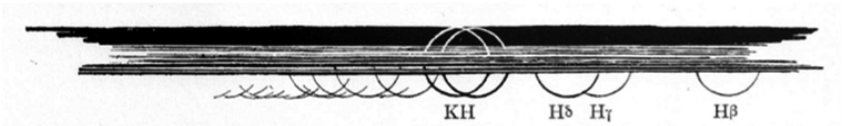



**Fig. 38.** Facsímile de una imagen obtenida con el espectrógrafo cinematográfico en los alrededores de la totalidad. (J. Comas Solá.)

**Figura 10.** Reproducción de uno de los espectros cinematográficos obtenidos por Comas Solà donde se aprecian las líneas H y K del calcio y las H-δ, H-γ y H-β.

*Un punto capitalísimo de mi programa era la fotografía espectral de la cromósfera solar, al objeto de obtener todo el proceso de la inversión de las rayas de absorción ó de Fraunhofer. Mi idea fue muy sencilla: transformar la conocida cámara prismática en cinematográfica.*

*Antes de la totalidad, aparece en la película la imagen espectral de la delgada falce solar surcada por innúmeras rayas de absorción. Es de notar que estas rayas son abundantísimas en la región ultraviolada del espectro. En las inmediaciones de la totalidad, se manifiestan las perlas de Baily como larguísimos filetes transversales. El efecto que produce la película cinematográfica, proyectándose adecuadamente, es que se levantara un telón de luz, y que dejara ver el espectro invertido. Desde que se levanta este telón hasta que vuelve á caer, transcurren unos 20 segundos, (cada imagen cinematográfica tiene 0,2 segundos de exposición), por manera que figuran en la película cien fotografías del espectro invertido es decir, desde que asoman los arcos cromosféricos hasta que vuelven á desaparecer completamente. En estos arcos cromosféricos aparecen algunas pequeñas protuberancias, y el número de arcos, que alcanzan durante unos instantes hasta más de media circunferencia, es de unos 20. Destácanse, en primera línea, los H y K del calcio; la serie de rayas que siguen hacia la región más refrangible que corresponden al hidrógeno, lo propio que* las H-δ, H-γ y H-β.

*y probablemente la $D_3$ del helio. No son en general las rayas más absorbentes las más emisivas. La capa cromosférica resulta de poco espesor respecto a 1900 y 1905. Para el estudio detenido de cada uno de estos espectrogramas y de la sucesión de variaciones de los mismos, puede hacerse uso de las ampliaciones de la película (las imágenes son bastante limpias para resistir sin menoscabo sensible ampliaciones de 10 á 20 veces); para hacerse cargo de la realidad de los fenómenos producidos por la inversión cromosférica, puede proyectarse la película, viéndose en este caso con toda su belleza y su esplendidez cómo las primitivas rayas de absorción van cambiando de aspecto, desaparecen, surgen maravillosamente los arcos cromosféricos durante unos instantes y luego se ocultan tras la cortina de luz, en la que vuelven a marcarse bien pronto las rayas de absorción, invertidas simétricamente en posición respecto á la posición anterior á la totalidad.*

Finalmente, cabe destacar que Comas Solà acompaña este artículo con notas que, sobre las respectivas observaciones del eclipse (total o parcial), le proporcionaron: **Francisco Iñíguez** (Director del Observatorio Astronómico de Madrid y miembro de SADEYA), **Tomás de Azcárate** (Director del Observatorio de Marina de San Fernando y miembro de SADEYA), **Luís de Ocharán** (Director del Observatorio Ocharán de Castro Urdiales y miembro de SADEYA), **Emilio Nóvoa González** (de la Coruña y miembro de SADEYA), **Horacio Bentabol** (Ingeniero de Minas) y **F.Garcia Muñoz** (Catedrático de historia Natural y miembro de SADEYA), **José Pratdesaba** (de Vich y miembro de SADEYA).

Respecto a la película cinematográfica pionera citada, cabe citar que dicha película fue proyectada en la RACAB en la Junta General Ordinaria del 29 de abril de 1912. Tal como consta en el acta de dicha sesión:

*El Académico D. José Comas Solá dio cuenta verbalmente de los primeros resultados obtenidos por el mismo…….. La totalidad fue, sensiblemente, completa e instantánea. Proyectose ante los srs. académicos la película espectral obtenida por el autor en los alrededores de la totalidad, mostrando el espectro relámpago y una porción de interesantes detalles que serán objeto de ulterior estudio.*

No queremos acabar este trabajo sin citar brevemente el último artículo de la serie que estamos comentando titulado "*Después del eclipse*", por **José J. Landerer** (miembro de SADEYA), Revista SADEYA, año II, núm. 15, junio 1912. El autor comenta la muy buena concordancia de la duración de la totalidad observada con el valor que previamente había calculado, prueba del correcto valor adoptado para el diámetro lunar. A la vez considera la desvia-

ción de la línea de centralidad real respecto de las posiciones previstas por el cálculo.

Finalmente y dentro del mismo artículo, se incluyen un conjunto de notas sobre otras observaciones, unas de carácter total y otras parcial, efectuadas por el mismo **Josep Comas Solà** (ampliando la información del artículo anterior), por **Isidro Pólit** (Ayudante técnico del Observatorio Fabra y miembro de SADEYA) y por **F. Armenter de Monasterio** y **Laureano Ichasmendi** (de SADEYA), con mención de ciertas observaciones efectuadas en Granada y en Francia.

**Figura 11.** Josep Comas Solà

## Conclusiones

Josep Comas Solà (Figura 11), excelente observador como era, procedía muy meticulosamente en la preparación, realización y análisis de las observaciones. Si ésta era su norma general, la siguió muy especialmente en el caso del eclipse de Sol de 1912, eclipse de predicción difícil pues se ofrecía rozando el

límite de la totalidad. Así pues J. Comas Solà, mediante la revista que acababa de fundar, prestó un muy especial interés en preparar ampliamente la observación del eclipse, para después recoger y difundir la información obtenida de las observaciones. Lógicamente, se ocupó también del fenómeno en otros ámbitos, de modo particular en comunicaciones presentadas en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona. Entre los hitos destacables de esta observación destaca hacer uso, quizás por primera vez con éxito, del método espectro-cinematográfico para filmar un eclipse solar y obtener importante información sobre la corona solar.

Desgraciadamente, la película obtenida durante el eclipse del 17 de abril de 1912 no ha podido ser localizada puesto que no consta en los archivos de la RACAB ni del Observatorio Fabra. Consideramos que la guardaba en su domicilio (en el que tenía su observatorio particular), donde falleció en 1937, en plena contienda civil; posteriormente la casa pasó, después de ciertas actuaciones, a propiedad del Ayuntamiento de Barcelona. Es evidente que, de encontrarse dicha película, constituiría un documento histórico de excepcional interés para la historia de la Ciencia en general y de la astronomía en particular.

**Agradecimientos**

Al terminar queremos manifestar nuestro agradecimiento al Dr. Ramón Parés Farrás, catedrático emérito de la Universidad de Barcelona y académico de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, quien nos ha proporcionado amablemente, a partir de su colección de la Revista, copia de todos los artículos aquí comentados.

## Bibliografía

Archivo de la RACAB (2012) Expediente de Josep Comas Solà.

Actas de la Junta General ordinaria de la RACAB 29 de abril 1912

Actas de la Junta General ordinaria de la RACAB 25 de junio 1912

Comas Solà J (1906) Memorias de la RACAB, 1906, V. 479

Comas Solà J (1912) "*Eclipse de Sol de 17 de abril de 1912*", Revista SADEYA, año II, núm. 12.

Comas Solà J (1912**)** La Vanguardia 25 abril 1912 páginas 8 y 9. Hemeroteca de la Vanguardia. Consultable en: http://hemeroteca.lavanguardia.com/preview/1912/04/25/pagina-8/33349378/pdf.html
http://hemeroteca.lavanguardia.com/preview/1912/04/25/pagina-9/33349379/pdf.html

Comas Solà J (1912) "*El eclipse de Sol de 17 de abril de 1912*", (con notas de F. Iñíguez, T. de Azcárate, L. de Ocharán, E. Nóvoa, H. Bentabol y F. Garcia Muñoz yJosé Pratdesaba), Revista SADEYA, año II. núm. 14.

Gago R (1912) "*Nuevo método para el cálculo de los eclipses con aplicación al de 17 de abril de 1912*", (con José y Rafael Gago**)**, Rev. SADEYA, año II, núm. 13.

Iñíguez F (1911) "*El eclipse de Sol del 17 de abril de 1912*", Revista SADE, año I, núm. 1, abril 1911 (número de inauguración de la revista).

Iñíguez F (1912) “Aplicación de los eclipses de Sol a la determinación de las longitudes geográficas”, Revista SADEYA, año II, núm. 13.
Landerer JJ (1911) “*El eclipse anular y total de Sol del 16-17 de abril de 1912*”, Revista SADE, año I, núm. 3, junio 1911.
Landerer JJ (1912)“*Después del eclipse*”, (con notas de J. Comas Solà, I, Pólit, F. Armenter y L. Ichasmendi), Revista SADEYA, año II, núm. 15.
Observatorio de Madrid (1912), “*Efemérides astronómicas para abril de 1912*”, Revista SADEYA, año II, núm. 13.
Ruiz Castell P (2005) “*Fa cent anys d’aquell eclipse…*”, Revista Mètode, 47: 29-32.

**Jorge Núñez de Murga**
Astrónomo del Observatorio Fabra
Académico de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona.
Catedrático de Astronomía y Astrofísica. Universidad de Barcelona.

**Josep Mª Codina Vidal**
Director del Observatorio Fabra.
Académico de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona.
Catedrático Emérito de la Universidad de Barcelona.
ExPresidente de SADEYA.

Revista Real Academia Galega de Ciencias. Vol. XXXI. Págs. 69-90 (2012)

# La participación de Josep Comas Solà, director del Observatorio Fabra, en el eclipse de 1912

Jorge Núñez de Murga [1,2], Josep Maria Codina Vidal [1,*]

*[1] Observatori Fabra, Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona*
*[2] Departament d'Astronomia i Meteorologia, Universitat de Barcelona*
*[*] Director del Observatori Fabra*
*Correspondencia: jorge@am.ub.es*

## Resumen

En el presente trabajo se describe la participación de Josep Comas Solà, director del Observatorio Fabra de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona en la preparación, observación y análisis del eclipse total de Sol del 17 de abril de 1912 en Barco de Valdeorras. Para ello, se utiliza como base las propias publicaciones de Comas Solà y de otros destacados astrónomos en la revista de SADEYA, fundada por el mismo Comas Solà, entre abril de 1911 y junio de 1912.

**Palabras clave:** Eclipses, Historia de la Astronomía, Observatorio Fabra.

## Abstract

The participation of Josep Comas Solà, director of the Fabra Observatory of the *Reial Acadèmia de Ciències i Arts* of Barcelona, in the planning, observation and analysis of the total solar eclipse of April 17th 1912 in Barco de Valdeorras, is described. The main sources we use for that purpose are the own publications of Comas Solà and other renowned astronomers in the SADEYA journal, founded by Comas Solà himself, during the period April 1911- July 1912.

**Keywords:** Eclipses, History of Astronomy, Fabra Observatory.

## Introducción.

Josep Comas Solà, como excelente observador y consciente de la enorme dificultad que entrañaba la observación del eclipse del 17 de abril de 1912 que

se suponía rozando el límite de la totalidad (no era seguro siquiera que llegase a ser total en algún punto), preparó con extraordinaria meticulosidad (incluso superior a la en él habitual) la realización y análisis de dicho evento. Prueba de esta inquietud o precaución de Comas Solà son los artículos, propios y ajenos, cuya publicación procuró en la, por él fundada, "Revista de la Sociedad Astronómica de España (SADE)", que muy pronto pasó a llamarse "Revista de la Sociedad Astronómica de España y América" (Sociedad que en adelante designaremos SADEYA). Eran artículos de reconocidas firmas en el campo astronómico, en un total de ocho desde abril de 1911 hasta junio de 1912, de los cuales seis se refieren a aspectos previos a la realización del fenómeno y constituyen, por tanto, las bases preparatorias indispensables para la debida observación del mismo.

## 1) El eclipse total de 1905 como antecedente.

Antes de pasar a describir los acaecimientos concretos relativos al eclipse de Sol de 1912, cabe comentar que el eclipse de 1912 era el tercero que se producía en España en pocos años ya que, con anterioridad, habían tenido lugar los eclipses del 28 de mayo de 1900 y del 30 de agosto de 1905 y aún anteriormente había tenido lugar otro eclipse total el 18 de julio de 1860 (figura). España fue el único país europeo desde el que se pudo observar la fase de totalidad de los eclipses de 1900 y 1905 en ambas ocasiones. Por tanto, el eclipse total-anular del 17 de abril de 1912 era el tercero de una serie muy poco frecuente en tan corto espacio de tiempo y en un mismo país (Figura 1).

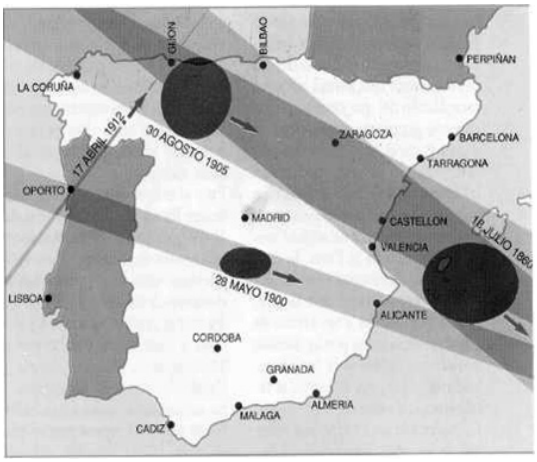



**Figura 1**. Mapa de los eclipses totales de Sol visibles en España el 18 de julio de 1860, 28 de mayo de 1900, 30 de agosto de 1905 y 17 de abril de 1912.

En particular, el eclipse de 1905 se produjo en unas condiciones idóneas debido a la gran duración de la fase de totalidad, lo que despertó un gran interés en muchos ámbitos que lo convirtieron en un fenómeno tanto científico como social de enorme magnitud. Desde el punto de vista científico, el interés de dicho eclipse se basaba en los estudios de la corona solar, la determinación exacta de las posiciones relativas del Sol y la Luna y la búsqueda de planetas intramercurianos. Nótese que en aquella época se desconocía la causa de la retrogradación del perihelio de Mercurio (posteriormente explicada en 1915 gracias a la teoría General de la Relatividad de Einstein) y algunos astrónomos todavía achacaban dicha retrogradación a la presencia hipotética de uno (denominado Vulcano) o varios planetas muy cercanos al Sol. Dado su gran interés científico, el eclipse fue observado por los principales astrónomos nacionales, incluyendo expediciones organizadas por el Observatorio de Madrid (actualmente Observatorio Astronómico Nacional, OAN) y el Observatorio de Marina de San Fernando (actualmente Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando, ROA). Igualmente, dada la importancia científica del fenómeno, el eclipse fue observado desde España por astrónomos británicos, alemanes, rusos, norteamericanos, etc. en una congregación de astrónomos extranjeros sin precedentes en España.

Para participar en tan importante evento, D. Josep Comas Solà, director del recientemente creado Observatorio Fabra (inaugurado el 7 de abril de 1904) solicitó a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona (RACAB), propietaria del observatorio, la observación de dicho eclipse desde la localidad de Vinaroz. Tal como señala P. Ruiz Castell ("*Fa cent anys d'aquell eclipse…*", Rev. Mètode, num. 47, pags. 29-32), las observaciones realizadas por Comas Solà de dicho eclipse consistieron en el estudio visual y fotográfico de la corona y la cromosfera, sobresaliendo el método cinematográfico utilizado por Comas Solà para efectuar estudios espectroscópicos durante el eclipse.

Desafortunadamente, los resultados no fueron totalmente satisfactorios debido a que los 25 metros de película preparados para registrar el eclipse fueron insuficientes para filmar la fase central y la película se agotó un minuto antes del inicio de la fase de totalidad del eclipse. En la figura 2 se muestran dos imágenes de la instrumentación desplegada, consistente en dos telescopios fotográficos y espectroscópicos.

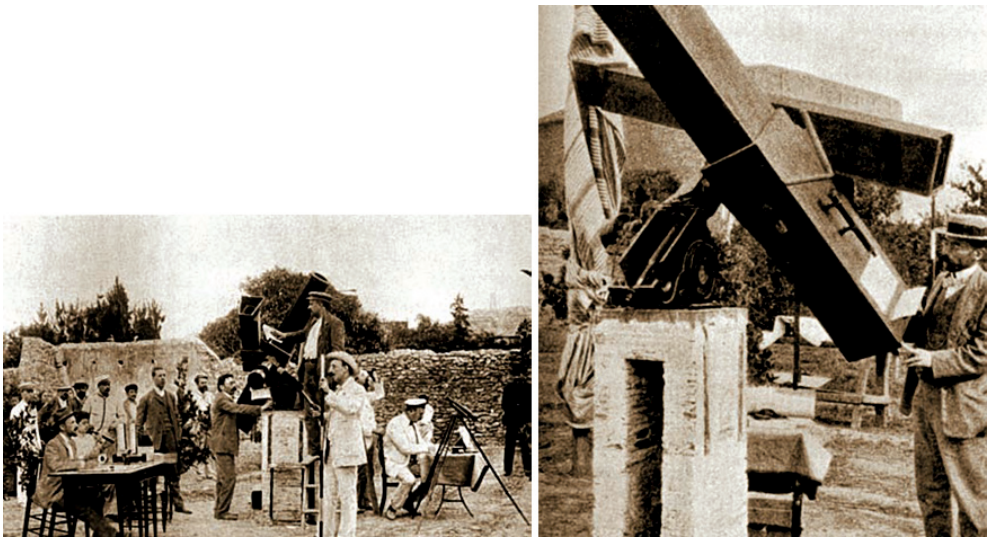


**Figura 2.** Instrumental utilizado por Josep Comas Solà para la observación del eclipse de 1905 en Vinaroz, consistente en dos telescopios fotográficos y espectroscópicos (Memorias de la RACAB, 1906, V. 479)

## 2) Factibilidad de observar el eclipse en El Barco de Valdeorras.

Tras estos antecedentes, era obvio que Comas Solà haría todo lo posible por observar también el elipse de 1912 y con este motivo comenzó a preparar la observación mediante una serie de seis artículos propios y de otros astrónomos publicados en 1911 y 1912 en las revistas de SADE y SADEYA y se dirigió a la junta directiva de la RACAB solicitando permiso y financiación para la realización de las observaciones.

Los dos primeros artículos se publicaron en 1911 en la revista de la SADE y en ellos se demostraba la factibilidad de la observación:

En el primero de dichos artículos titulado "*El eclipse de Sol del 17 de abril de 1912*", por **Francisco Iñíguez**, Director del Observatorio de Madrid y miembro de la Sociedad Astronómica de España, Revista SADE, año I, núm. 1, abril 1911 (número de inauguración de la revista). El autor, además de hacer una extensa revisión general sobre los eclipses totales y su importancia, considera las diversas predicciones efectuadas para el eclipse de 1912 tomando diferentes valores del diámetro lunar e indicando los consecuentes valores de la duración de la totalidad y las características de la banda o zona de eclipse total (que cruza Galicia), con consejos o recomendaciones para la observación.

En dicho artículo, F. Iñíguez recalca que la observación del eclipse ha de ser difícil debido a las circunstancias en las que se producirá y los errores (pequeños pero importantes) en parámetros fundamentales, tales como el valor de los semidiámetros lunar y solar y las incertidumbres en las efemérides del Sol y la Luna. Debido a esos errores e incertidumbres afirma que "*Ocurrirá el eclipse en condiciones tales de situación de la Luna en el espacio, que su disco aparente es casi igual al del Sol. Los cálculos ya hechos y publicados en las efemérides dan resultados bastante discrepantes, según el diámetro aparente de la Luna adoptado por cada calculador y el método de cálculo usado.*" F. Iñíguez comenta que "*Adoptando el mayor valor de los admitidos para el diámetro aparente de la Luna, el eclipse central comienza por ser anular, es total hacia las 11h 10m y vuelve á ser anular á las I2h 20m. Con el valor mínimo del diámetro lunar el eclipse es anular en toda su duración*" Así pues, se recalca que el eclipse podría no ser total en ninguna parte aunque lo más probable es que sí lo sea.

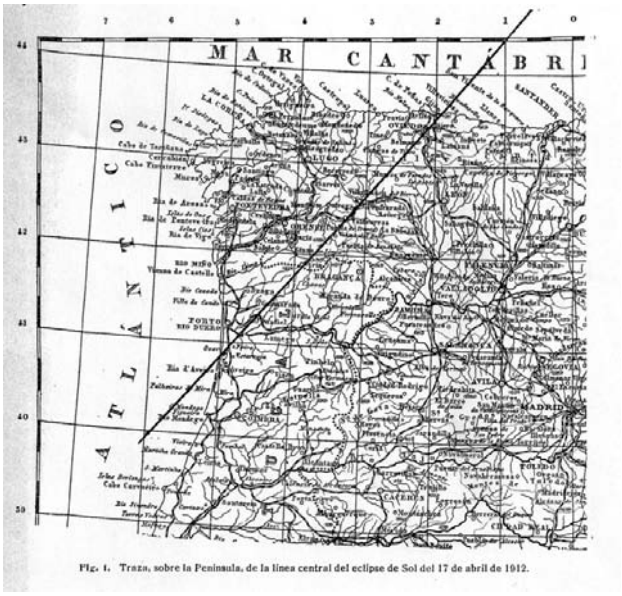



**Figura 3.** Mapa sobre la traza de la línea de centralidad del eclipse publicado por F. Iñíguez en la Revista de SADE año I, núm. 1, abril 1911.

En dicho artículo F. Iñíguez incluye un detallado mapa de la traza de la línea central del eclipse (Figura 3) en la que puede apreciarse el recorrido de la línea de centralidad del eclipse desde el sur de la ciudad portuguesa de Oporto hasta Gijón atravesando Galicia y pasando muy cerca de la localidad

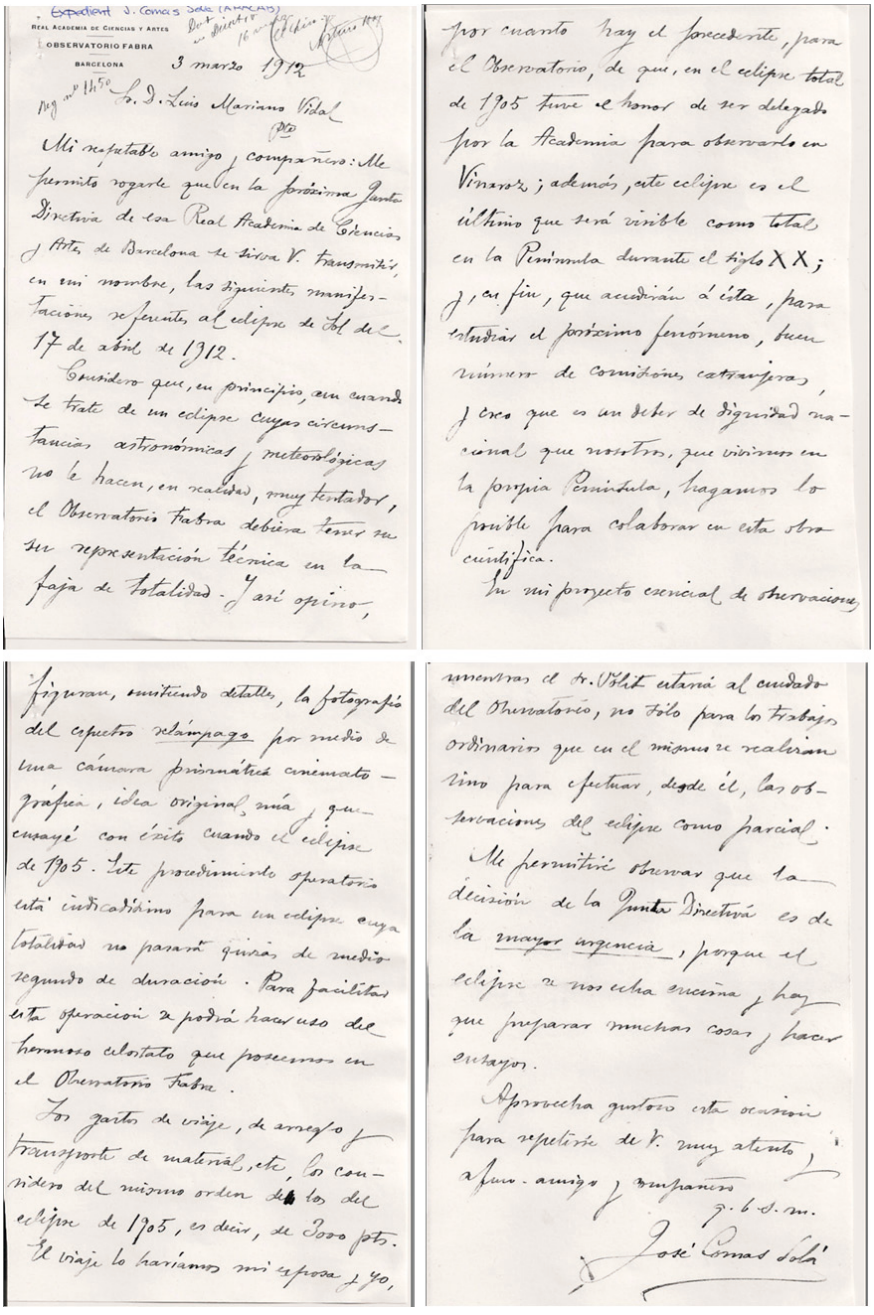
de Barco de Valdeorras. Sin embargo, F. Iñíguez advierte que "*situarse bien es la primera dificultad grave que en este caso habrá que vencer. Porque en el eclipse que nos ocupa es condición indispensable, para lograr algún éxito en muchos de los problemas que en los eclipses hay que resolver, situarse en un punto de la línea del eclipse central. Para ello sólo contamos con los mapas de la localidad atravesada por la banda del eclipse total, y aunque estos mapas son muy suficientes para muchas aplicaciones, también es cierto que las posiciones geográficas de los pueblos en ellos situados no son más que aproximadas. Y habrá de suceder que un astrónomo que haya elegido un lugar para sus observaciones, cuando se traslade á él y determine, mediante observaciones y cálculos prolijos, su verdadera posición, encontrará probablemente que no sólo no está en la línea del eclipse central, pero ni siquiera en la zona totalmente eclipsada*."

En el segundo artículo de la serie, titulado "*El eclipse anular y total de Sol del 16-17 de abril de 1912*", fue publicado por **José Joaquín Landerer**, de la Sociedad Astronómica de España, Revista SADE, año I, núm. 3, junio 1911. En el artículo, El autor realiza el cálculo de predicción tomando como diámetro lunar el confirmado por el eclipse de Sol de 1905 (semidiámetro de 15' 31",62), valor muy próximo al mínimo posible. Halla así una duración de la totalidad de 0,4 s en Peñafiel y de 0,2 s en El Barco de Valdeorras (y valor de la fase máxima en otros lugares de eclipse anular), con una anchura de la banda de totalidad de solo 166 m, todo lo cual hace sumamente delicada la labor de preparar la observación del fenómeno.

En este segundo artículo queda, por tanto, demostrada, la factibilidad de observar el fenómeno como eclipse total en algunos lugares de Galicia entre los que destaca la localidad de Barco de Valdeorras

### 3) La preparación del viaje y de la observación.

Una vez comprobada la factibilidad del eclipse en Galicia, Josep Comas Solà se dirigió, mediante un oficio de fecha 3 de marzo de 1912 que reproducimos a continuación, al Presidente de la RACAB, D. Luis Mariano Vidal, solicitando autorización y financiación de la Junta Directiva de la RACAB para acudir a observar el evento. Es interesante trascribir y comentar dicha petición puesto que en ella Josep Comas Solà expone el interés del evento, de la participación del Observatorio Fabra, el plan de trabajo y la financiación requerida (Figura 4).



Expedient J. Comas Solà (RACAB)

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS Y ARTES
OBSERVATORIO FABRA
BARCELONA

3 marzo 1912

Sr. D. Luis Mariano Vidal

Mi notable amigo y compañero: Me permito rogarle que en la próxima Junta Directiva de esa Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona se sirva V. transmitir, en mi nombre, las siguientes manifestaciones referentes al eclipse de Sol de 17 de abril de 1912.

Considero que, en principio, en cuanto se trate de un eclipse cuyas circunstancias astronómicas y meteorológicas nos le hacen, en realidad, muy tentador, el Observatorio Fabra debiera tener su representación técnica en la faja de totalidad. Y así opino, por cuanto hay el precedente, para el Observatorio, de que, en el eclipse total de 1905 tuve el honor de ser delegado por la Academia para observarlo en Vinaroz; además, este eclipse es el último que será visible como total en la Península durante el siglo XX; y, en fin, que acudirán á éste, para estudiar el próximo fenómeno, tuen número de comisiones extranjeras, y creo que es un deber de dignidad nacional que nosotros, que vivimos en la propia Península, hagamos lo posible para colaborar en esta obra científica.

En mi proyecto esencial de observación figuran, omitiendo detalles, la fotografía del espectro relámpago por medio de una cámara prismática cinematográfica, idea original mía y que ensayé con éxito cuando el eclipse de 1905. Este procedimiento operatorio está indicadísimo para un eclipse cuya totalidad no pasará quizás de medio segundo de duración. Para facilitar esta operación se podrá hacer uso del hermoso celostato que poseemos en el Observatorio Fabra.

Los gastos de viaje, de arreglo y transporte de material, etc, los considero del mismo orden que los del eclipse de 1905, es decir, de 2000 pts. El viaje lo haríamos mi esposa y yo, mientras el Dr. Vilat estaría al cuidado del Observatorio, no sólo para los trabajos ordinarios que en el mismo se realizan sino para efectuar, desde él, las observaciones del eclipse como parcial.

Me permitiré observar que la decisión de la Junta Directiva es de la mayor urgencia, porque el eclipse se nos echa encima y hay que preparar muchas cosas y hacer ensayos.

Aprovecha gustoso esta ocasión para repetirse de V. muy atento, afmo. amigo y compañero

q. b. s. m.

José Comas Solá

**Figura 4.** Reproducción del oficio de D. Josep Comas Solà a la Junta Directiva de la RACAB, solicitando autorización y financiación para observar el eclipse desde Barco de Valdeorras.

*3 de marzo 1912*

*Sr. D. Luis Mariano Vidal, Pte.*

*Mi respetable amigo y compañero: Me permito rogarle que en la próxima Junta Directiva de esa Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona se sirva V. transmitir en mi nombre, las siguientes manifestaciones referentes al eclipse de Sol del 17 de abril de 1912.*

*Considero que, en principio, aun cuando se trate de un eclipse cuyas circunstancias astronómicas y meteorológicas no le hacen, en realidad, muy tentador, el Observatorio Fabra debiera tener su representación técnica en la faja de totalidad. Y así opino, por cuanto hay el precedente , para el observatorio, de que en el eclipse total de 1905 tuve el honor de ser delegado por la Academia para observarlo en Vinaroz; además, este eclipse es el último que será visible en la Península durante el siglo XX; y, en fin, que acudirán a ésta, para estudiar el próximo fenómeno, buen número de comisiones extranjeras y creo que es un deber de dignidad nacional que nosotros, que vivimos en la propia Península, hagamos lo posible para colaborar en esta obra científica.*

*En mi proyecto esencial de observaciones figuran, omitiendo detalles, la fotografía del espectro relámpago por medio de una cámara prismática cinematográfica, idea original mía y que ensayé con éxito cuando el eclipse de 1905. Este procedimiento operatorio está indicadísimo para un eclipse cuya totalidad no pasará quizás de medio segundo de duración. Para facilitar esta operación se podrá hacer uso del hermoso celostato que poseemos en el observatorio Fabra.*

*Los gastos de viaje de arreglo y transporte de material, etc., los considero del mismo orden de los del eclipse de 1905, es decir, de 3000 pts. El viaje lo haríamos mi esposa y yo, mientras el señor Pólit estará al cuidado del observatorio, no solo para los trabajos ordinarios que en el mismo se realizan sino para efectuar, desde él, las observaciones del eclipse como parcial.*

*Me permito observar que la decisión de la Junta Directiva es de la mayor urgencia porque el eclipse se nos echa encima y hay que preparar muchas cosas y hacer ensayos.*

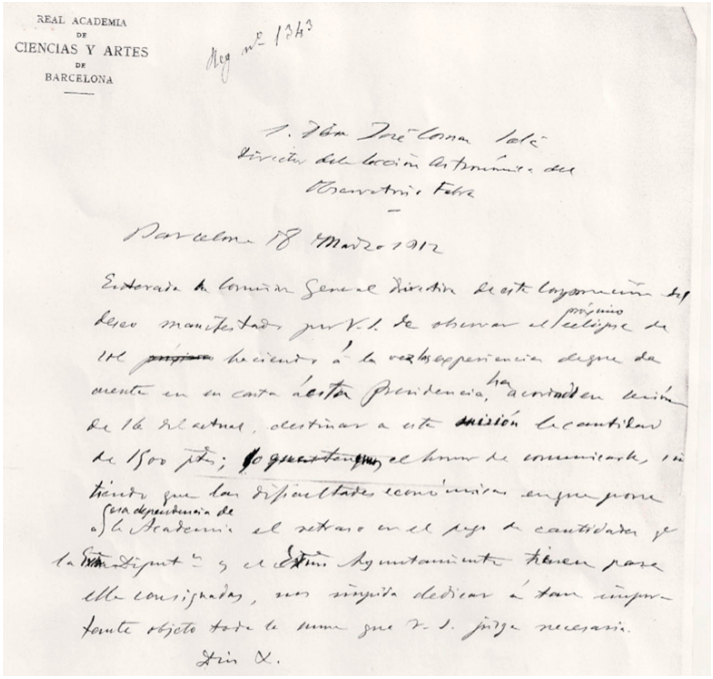
*Aprovecha gustoso esta ocasión para repetirse de V. muy atento y afmo. amigo y compañero,*

*q.b.s.m.*
*José Comas Solá*

Así pues Comas Solà expone la conveniencia de la observación y la necesidad de utilizar en este caso la técnica cinematográfica debido a la rapidez en que se desarrollará el fenómeno que según su carta durará probablemente

**menos de medio segundo**, 0.2s según J.J. Landerer, (nótese que **el de 1905 en Vinaroz duró 3m 42s**).

La respuesta afirmativa de la RACAB a la petición no se hizo esperar y se produjo en fecha 18 de marzo de 1912 mediante escrito del presidente que reproducimos y transcribimos a continuación (Figura 5):


REAL ACADEMIA
DE
CIENCIAS Y ARTES
DE
BARCELONA

Barcelona 18 Marzo 1912

**Figura 5.** Reproducción de la carta del Presidente de la RACAB D. Luis Mariano Vidal a Comas Solà accediendo a la petición de observación del eclipse pero recortando la petición económica a 1500 pts.

*Sr. D. José Comas Solá*
*Director de la sección Astronómica del Observatorio Fabra*
*Barcelona, 18 marzo, 1912*

*Enterada la Comisión General Directiva de esta Corporación del deseo manifestado por V.I. de observar el próximo eclipse de Sol haciendo a la vez las experiencias de que da cuenta en su carta a esta Presidencia, ha acordado en sesión del 16 del actual, destinar a esta misión la cantidad de 1500 pts.; lo que tenemos el honor de comunicarle, sintiendo que las dificultades económicas en que pone a esa dependencia de la Academia el retraso en el pago de las cantidades que la Excm. Diputación y el Excm. Ayuntamiento*

*tienen para ella consignadas, nos impida dedicar a tan importante objeto toda la suma que V.I. juzga necesaria.*

*Luis M. Vidal*

Es de interés ver que en la respuesta del Presidente de la RACAB se accede a la petición pero con un importante recorte en el presupuesto achacable a las dificultades económicas de la RACAB por el retraso de los pagos de las subvenciones de la Diputación y el Ayuntamiento al Observatorio Fabra.

Pocos días más tarde Comas Solà agradece a la RACAB la comisión de servicio, acepta el recorte en el presupuesto solicitado y expone el plan de viaje mediante la carta que transcribimos (Figura 6).

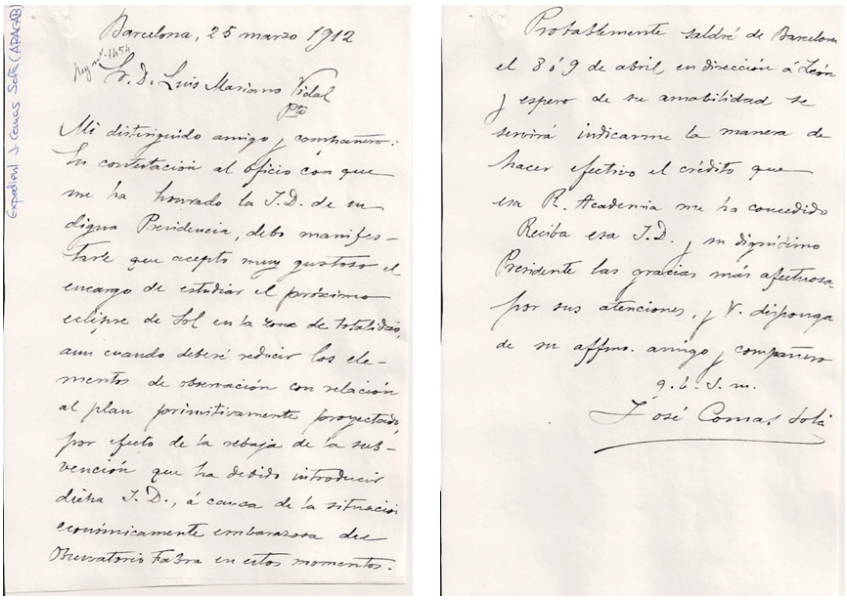


**Figura 6.** Reproducción de la carta de Comas Solà al Presidente de la RACAB D. Luis Mariano Vidal accediendo a la realización de la observación con el presupuesto concedido.

*Barcelona, 25 de marzo 1912*

*Sr. D. Luis Mariano Vidal, Pte.*

*Mi distinguido amigo y compañero: En contestación al oficio con que me ha honrado la J.D. de su digna Presidencia, debo manifestarle que acepto muy gustoso el encargo de estudiar el próximo eclipse de Sol en la zona de totalidad, aun cuando deberé reducir los elementos de observación*

*con relación al plan primitivamente proyectado, por efecto de la rebaja de la subvención que ha debido introducir dicha J.D., a causa de la situación económicamente embarazosa del Observatorio Fabra en estos momentos.*

*Probablemente saldré de Barcelona el 8 ó 9 de abril en dirección a León y espero de su amabilidad se servirá indicarme la manera de hacer efectivo el crédito que esa R. Academia me ha concedido.*

*Reciba esa J.D. y su dignísimo Presidente las gracias más afectuosas por sus atenciones, y V. Disponga de su afmo. amigo y compañero,*

*q.b.s.m.*
*José Comas Solá*

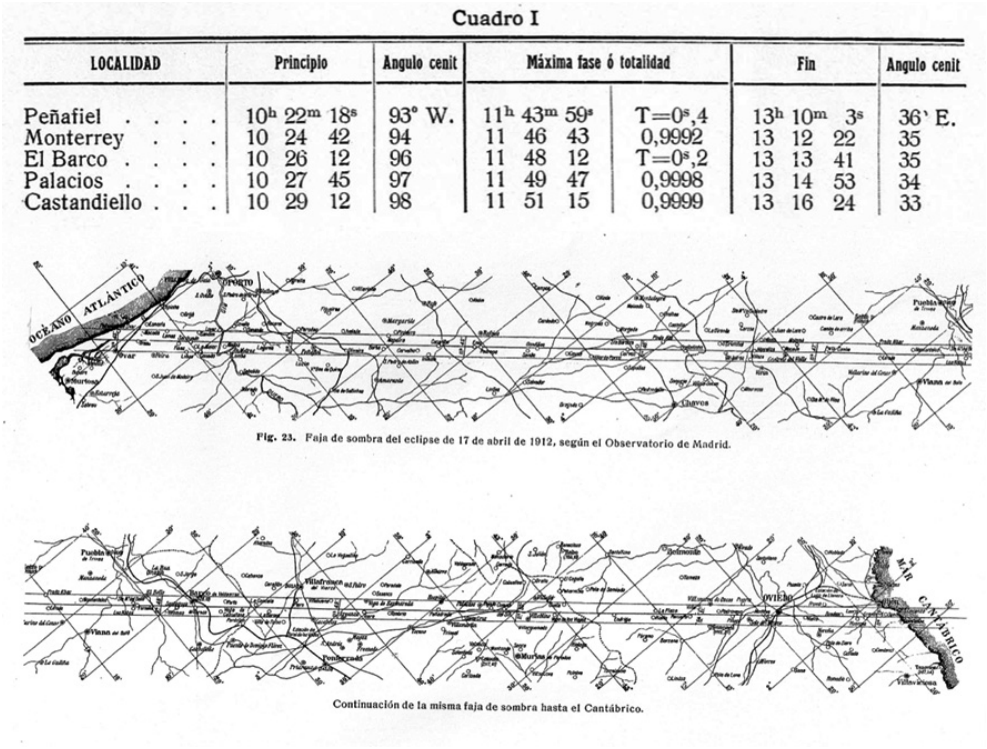
Este intercambio de oficios entre Comas Solà y la RACAB se complementa con los siguientes artículos (del 3 al 6 de la serie que comentamos) en los que se completa la preparación previa necesaria para la correcta observación del eclipse y el análisis de los resultados.

El tercer artículo de la serie se titula "*Eclipse de Sol de 17 de abril de 1912*" y es publicado ya por **Josep Comas Solà**, Revista SADEYA, año II, núm. 12, marzo 1912. En dicho artículo, Comas Solà recoge y comenta los dos trabajos anteriores y efectúa varias proposiciones para la observación. La Figura 7 reproduce de dicho artículo las circunstancias locales para diferentes lugares de observación, calculadas por J.J. Landerer, así como un detallado mapa de la franja de centralidad del eclipse entre los que destaca la localidad de El Barco de Valdeorras por ser su ubicación de casi plena certeza de que en dicho lugar el eclipse será total.

La serie de artículos preparatorios continua con un cuarto artículo: "*Efemérides astronómicas para abril de 1912*", confeccionadas por el Observatorio de Madrid, Revista SADEYA, año II, núm. 13, marzo 1912. En dicho artículo se facilita información general del sistema solar, con mención explícita del eclipse de Sol del día 17.

El quinto artículo preparatorio digno de mención se titula "Aplicación de los eclipses de Sol a la determinación de las longitudes geográficas", por **Francisco Iníguez**, Director del Observatorio de Madrid y miembro de SADEYA, Revista SADEYA, año II, núm. 13, marzo 1912. En dicho artículo, el autor expone una aplicación práctica concreta de la observación de un eclipse. Concretamente, la posibilidad de obtener la longitud geodésica (geográfica) de un lugar de observación mediante la observación de eclipses de Sol. Es de comentar que dicho método de cálculo de las coordenadas geodésicas mediante observación de eclipses solares y observación de ocultaciones de estrellas por la Luna ha sido hasta recientemente el único método válido para obtener las coordenadas geodésicas de islas oceánicas (sin visibilidad al continente)

partiendo de las coordenadas astronómicas. Solamente en los años 60s y 70s del siglo XX fue posible mejorar el método mediante los satélites artificiales de la constelación TRANSIT y, más recientemente, de GPS.



Cuadro I

| LOCALIDAD | Principio | Angulo cenit | Máxima fase ó totalidad | | Fin | Angulo cenit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Peñafiel . . . . | $10^h\ 22^m\ 18^s$ | 93° W. | $11^h\ 43^m\ 59^s$ | $T=0^s,4$ | $13^h\ 10^m\ 3^s$ | 36° E. |
| Monterrey . . . | 10 24 42 | 94 | 11 46 43 | 0,9992 | 13 12 22 | 35 |
| El Barco . . . . | 10 26 12 | 96 | 11 48 12 | $T=0^s,2$ | 13 13 41 | 35 |
| Palacios . . . . | 10 27 45 | 97 | 11 49 47 | 0,9998 | 13 14 53 | 34 |
| Castandiello . . . | 10 29 12 | 98 | 11 51 15 | 0,9999 | 13 16 24 | 33 |



Fig. 23. Faja de sombra del eclipse de 17 de abril de 1912, según el Observatorio de Madrid.

Continuación de la misma faja de sombra hasta el Cantábrico.

**Figura 7.** Reproducción de una tabla de circunstancias locales y un mapa detallado de la línea de centralidad.

Finalmente, el sexto de los artículos preparatorios se titula "*Nuevo método para el cálculo de los eclipses con aplicación al de 17 de abril de 1912*", **por Rafael Gago Palomo y José y Rafael Gago**, pertenecientes a SADEYA, Revista SADEYA, año II, núm. 13, marzo 1912. Trabajo muy teórico, de publicación inacabada por falta material de tiempo.

## 4) Observación del eclipse y resultados obtenidos por Comas Solà.

A estos seis artículos destinados a hacer posible y provechosa la observación del eclipse, siguieron otros dos en la misma revista dando cuenta de los resultados obtenidos en la observación del fenómeno. Utilizaremos esos artículos como fuente principal para comentar la observación efectuada y analizar los resultados.

En el primero de esos artículos está titulado "*El eclipse de Sol de 17 de abril de 1912*" y es autor del mismo **Josep Comas Solà**, Director del Observatorio Fabra y miembro de SADEYA, Revista SADEYA, año II. núm. 14, mayo 1912. En dicho artículo, que reproduce, en parte, un artículo suyo publicado en el diario **La Vanguardia el 25 de abril de 1912 (pags. 8 y 9)**, el autor da cuenta de la observación efectuada y es interesante reproducir aquí algunos párrafos de dicho estudio con el fin de saber de primerísima mano sus propias impresiones y reflexiones:

El autor constata que para el público en general el evento fue un tanto decepcionante por su corta duración pero destaca su gran interés astronómico por:

*1.º Comprobar si la línea central, real, coincidía con alguna de las líneas teóricas. 2.° Comprobar si el eclipse seria total ó anular en tales o cuales puntos y, en el primer caso, si la duración de la totalidad iba a ser cortísima ó bien alcanzaría algunos segundos.*

Comas Solà explica en primer lugar el porqué de la elección de El Barco de Valdeorras para efectuar la observación:

*1.º Por considerar que el eclipse sería total en las cercanías de aquel punto, dado que nuestro sabio consocio D. José J. Landerer, poniendo a contribución todas las meticulosidades de la teoría y del cálculo, así lo había supuesto. 2.° Por haberse determinado con toda la precisión deseable las coordenadas geográficas de un pilar instalado en un huerto del Barco (del Sr. Gurriarán) por una comisión de astrónomos del Observatorio de Madrid. 3.º Por resultar de las estadísticas meteorológicas que hacia aquella región eran mayores que en ninguna otra parte de la Península las probabilidades de buen tiempo. y 4.° Por su elevación sobre el nivel del mar (poco más de 300 metros), lo que debía prolongar algo, aunque poco, la duración de la totalidad.*

Como es sabido, el lugar finalmente escogido (el pilar indicado) se trata de un punto a la orilla derecha del río Sil:

*Nos instalamos á +42° 24',5 de latitud, y á 6° 58',7 al W. de Greenwich. Esta situación corresponde á la orilla derecha del caudaloso Sil, que vierte*

*sus aguas en el Miño, y en medio de un paisaje soberbio, limitado al Sudeste por los montes Cantábricos, cuyas cimas aparecían cubiertas de níveos mantos.*

La comisión científica fue finalmente muy reducida debido al recorte presupuestario y estuvo compuesta por **Josep Comas Solà, su esposa y D. Juan Solá, operador de la casa Pathé** que suministró la cámara cinematográfica. Respecto al instrumental utilizado, se limitó casi totalmente a la citada cámara cinematográfica tal como describe Comas Solà:

*Refiriéndome á mis observaciones, el instrumento que escogí fue muy sencillo y adecuado a las circunstancias de un eclipse total instantáneo. Se limitó á una cámara cinematográfica provista de dos prismas de 60° para obtener el espectro de la cromósfera (espectro relámpago) y coger, al vuelo, las importantísimas variaciones del espectro invertido, todavía poco estudiadas. Este procedimiento lo intenté por primera vez, y en principio con buen resultado, cuando el eclipse de 1905, y lo he repetido en toda su plenitud y con el mayor éxito en este último eclipse. Un deber de justicia me obliga á hacer constar que la casa Pathé me concedió toda clase de facilidades para llevar á efecto ese plan, y que el hábil operador de la propia casa, D. Juan Solá, ha procedido con el mayor acierto en la realización de mis indicaciones.*

Nótese que según comenta el propio Comas Solà, en esta ocasión el experimento cinematográfico se realizó con éxito a diferencia del experimento de 1905 que, como hemos comentado, probablemente no funcionó con pleno éxito debido a agotarse prematuramente la película. Puede, por tanto, deducirse que en el eclipse de El Barco de Valdeorras **se utilizó por primera vez con éxito la técnica cinematográfica para captar el espectro relámpago**. El espectro relámpago es el espectro de emisión de la cromosfera solar, observable durante unos pocos segundos justo antes y justo después un eclipse total. El espectro relámpago consiste en una amplia gama de longitudes de onda detectables en las emisiones del limbo del Sol durante los períodos de unos segundos, justo después del comienzo de la totalidad del eclipse o justo antes del instante de su terminación. Cuando la fotosfera solar es ocultada por la Luna, las capas de la atmósfera solar aparecen muy prominentes y el espectro muestra brevemente las líneas brillantes producidas por la emisión del tenue gas caliente luminoso. Excepto durante los eclipses, esta parte del espectro está enmascarada por el brillo del disco solar. El estudio del espectro relámpago proporciona información sobre el estado físico de la cromosfera solar. El espectro relámpago se observó por primera vez por el astrónomo nor-

teamericano Charles Augustus Young durante el eclipse del 22 de diciembre de 1870.

Comas Solà aprecia el eclipse como total pero instantáneo y precisa la posición de la línea central, tal como reporta:

*Desde nuestra estación, el eclipse fue, visual y sensiblemente, total; pero esta totalidad fue instantánea. Cuando desaparecía la falce de la izquierda, aparecía la de la derecha, ambas diametralmente opuestas. No obstante, de las fotografías espectroscópicas resulta, con toda evidencia, que estuvimos ligeramente desplazados hacia el Norte respecto de la línea central. Juzgo, por consiguiente, muy aproximado que la línea central pasó de uno á dos kilómetros más al Sur de nuestra estación, y que, por lo tanto, un punto situado á los 42° 23',5 de latitud, y en la misma longitud nuestra, correspondió á la línea central.*

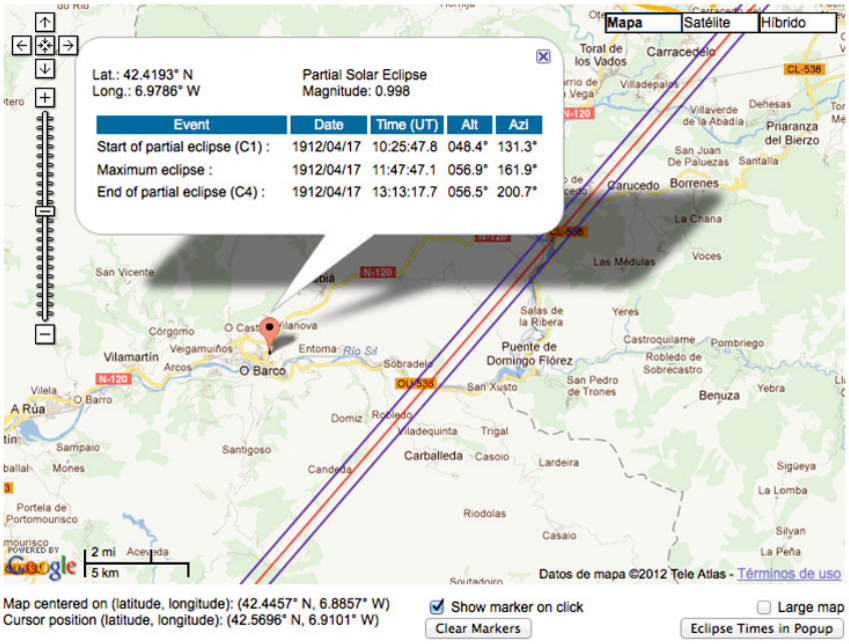



**Figura 8.** Mapa moderno de la línea de centralidad del eclipse de 1912 donde puede apreciarse que el casco urbano de Barco de Valdeorras quedó ligeramente al norte de la línea de centralidad.

En efecto, los mapas calculados con los medios modernos (mapas actuales, efemérides precisas del Sol y la Luna, nuevos valores de los semidiámetros, etc.) muestran que efectivamente la localidad de Barco de Valdeorras quedó

ligeramente por encima de la línea de centralidad (Figura 8) donde el eclipse, en el casco urbano, fue en realidad parcial con una magnitud de 0.998. En la Figura 8 pueden verse las circunstancias locales reales para el punto donde todo indica que se situó Comas Solà de coordenadas φ=42.419297°N, λ=6.978558°W referidas al elipsoide WGS84. Una comparación con las circunstancias locales calculadas en el Cuadro I (Figura 7) muestra que los tiempos reales se adelantaron unos 24 segundos respecto al cálculo efectuado por J.J. Landerer.

Respecto la observación de la corona, Comas Solà, consciente de la rapidez del evento propone observarla visualmente. Así lo hace y reporta notables diferencias con las observaciones de 1900 y 1905 debido a la mínima actividad solar (Figura 9).

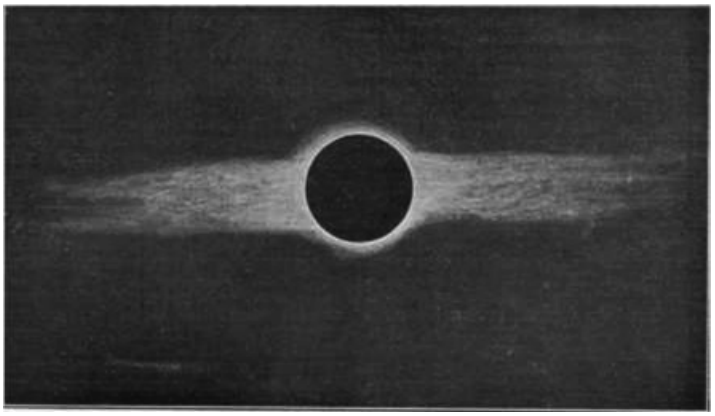


**Figura 9.** Reproducción de la observación visual de la corona solar efectuada por Comás Solà.

*Para la observación de la corona, el procedimiento más práctico en este eclipse, en mi concepto, era el visual; es decir, observarla visualmente y luego, rápidamente, trasladar al papel la forma y aspecto observados. Así se hizo; aquí se reproduce esta imagen. Quien recuerde las coronas de los eclipses de 1900 y 1905, notará con sorpresa la enorme diferencia que media entre ésta y aquellas formas. No obstante, la última forma se acerca mucho más á la de 1900 que á la de 1905, debido a estar el Sol, en la actualidad, en un acentuado mínimo de actividad, como ocurrió en 1900; pero, esta vez, la pasividad solar es extraordinaria, por manera que no se vieron, ni á simple vista ni con gemelos, protuberancias importantes ni grandes proyecciones coronales. La corona arrancaba de latitudes bajas y se extendía pálidamente,*

*formando filetes, hasta distancias enormes de la superficie solar, distancias que no bajaban de dos millones de kilómetros. Los haces de rayos polares faltaron por completo, visualmente. Y no obstante esta debilidad coronal, fue visible dicha aureola desde algunos segundos antes hasta algunos segundos después de la totalidad, y no sólo a la vista natural, sino al través de lentes fuertemente obscuros.*

Como hemos comentado, Comas Solà hace uso (probablemente por primera vez), del método espectro-cinematográfico con éxito, mencionando los principales detalles apreciados y, en particular, imágenes espectrales de la cromosfera (Figura 10):

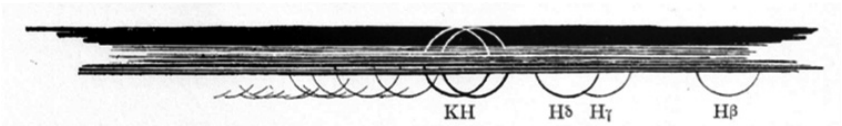



**Fig. 38.** Facsímile de una imagen obtenida con el espectrógrafo cinematográfico en los alrededores de la totalidad. (J. Comas Solá.)

**Figura 10.** Reproducción de uno de los espectros cinematográficos obtenidos por Comas Solà donde se aprecian las líneas H y K del calcio y las H-δ, H-γ y H-β.

*Un punto capitalísimo de mi programa era la fotografía espectral de la cromósfera solar, al objeto de obtener todo el proceso de la inversión de las rayas de absorción ó de Fraunhofer. Mi idea fue muy sencilla: transformar la conocida cámara prismática en cinematográfica.*

*Antes de la totalidad, aparece en la película la imagen espectral de la delgada falce solar surcada por innúmeras rayas de absorción. Es de notar que estas rayas son abundantísimas en la región ultraviolada del espectro. En las inmediaciones de la totalidad, se manifiestan las perlas de Baily como larguísimos filetes transversales. El efecto que produce la película cinematográfica, proyectándose adecuadamente, es que se levantara un telón de luz, y que dejara ver el espectro invertido. Desde que se levanta este telón hasta que vuelve á caer, transcurren unos 20 segundos, (cada imagen cinematográfica tiene 0,2 segundos de exposición), por manera que figuran en la película cien fotografías del espectro invertido es decir, desde que asoman los arcos cromosféricos hasta que vuelven á desaparecer completamente. En estos arcos cromosféricos aparecen algunas pequeñas protuberancias, y el número de arcos, que alcanzan durante unos instantes hasta más de media circunferencia, es de unos 20. Destácanse, en primera línea, los H y K del calcio; la serie de rayas que siguen hacia la región más refrangible que corresponden al hidrógeno, lo propio que* las H-δ, H-γ y H-β.

*y probablemente la $D_3$ del helio. No son en general las rayas más absorbentes las más emisivas. La capa cromosférica resulta de poco espesor respecto a 1900 y 1905. Para el estudio detenido de cada uno de estos espectrogramas y de la sucesión de variaciones de los mismos, puede hacerse uso de las ampliaciones de la película (las imágenes son bastante limpias para resistir sin menoscabo sensible ampliaciones de 10 á 20 veces); para hacerse cargo de la realidad de los fenómenos producidos por la inversión cromosférica, puede proyectarse la película, viéndose en este caso con toda su belleza y su esplendidez cómo las primitivas rayas de absorción van cambiando de aspecto, desaparecen, surgen maravillosamente los arcos cromosféricos durante unos instantes y luego se ocultan tras la cortina de luz, en la que vuelven a marcarse bien pronto las rayas de absorción, invertidas simétricamente en posición respecto á la posición anterior á la totalidad.*

Finalmente, cabe destacar que Comas Solà acompaña este artículo con notas que, sobre las respectivas observaciones del eclipse (total o parcial), le proporcionaron: **Francisco Iñíguez** (Director del Observatorio Astronómico de Madrid y miembro de SADEYA), **Tomás de Azcárate** (Director del Observatorio de Marina de San Fernando y miembro de SADEYA), **Luís de Ocharán** (Director del Observatorio Ocharán de Castro Urdiales y miembro de SADEYA), **Emilio Nóvoa González** (de la Coruña y miembro de SADEYA), **Horacio Bentabol** (Ingeniero de Minas) y **F.Garcia Muñoz** (Catedrático de historia Natural y miembro de SADEYA), **José Pratdesaba** (de Vich y miembro de SADEYA).

Respecto a la película cinematográfica pionera citada, cabe citar que dicha película fue proyectada en la RACAB en la Junta General Ordinaria del 29 de abril de 1912. Tal como consta en el acta de dicha sesión:

*El Académico D. José Comas Solá dio cuenta verbalmente de los primeros resultados obtenidos por el mismo…….. La totalidad fue, sensiblemente, completa e instantánea. Proyectose ante los srs. académicos la película espectral obtenida por el autor en los alrededores de la totalidad, mostrando el espectro relámpago y una porción de interesantes detalles que serán objeto de ulterior estudio.*

No queremos acabar este trabajo sin citar brevemente el último artículo de la serie que estamos comentando titulado "*Después del eclipse*", por **José J. Landerer** (miembro de SADEYA), Revista SADEYA, año II, núm. 15, junio 1912. El autor comenta la muy buena concordancia de la duración de la totalidad observada con el valor que previamente había calculado, prueba del correcto valor adoptado para el diámetro lunar. A la vez considera la desvia-

ción de la línea de centralidad real respecto de las posiciones previstas por el cálculo.

Finalmente y dentro del mismo artículo, se incluyen un conjunto de notas sobre otras observaciones, unas de carácter total y otras parcial, efectuadas por el mismo **Josep Comas Solà** (ampliando la información del artículo anterior), por **Isidro Pólit** (Ayudante técnico del Observatorio Fabra y miembro de SADEYA) y por **F. Armenter de Monasterio** y **Laureano Ichasmendi** (de SADEYA), con mención de ciertas observaciones efectuadas en Granada y en Francia.

**Figura 11.** Josep Comas Solà

## Conclusiones

Josep Comas Solà (Figura 11), excelente observador como era, procedía muy meticulosamente en la preparación, realización y análisis de las observaciones. Si ésta era su norma general, la siguió muy especialmente en el caso del eclipse de Sol de 1912, eclipse de predicción difícil pues se ofrecía rozando el

límite de la totalidad. Así pues J. Comas Solà, mediante la revista que acababa de fundar, prestó un muy especial interés en preparar ampliamente la observación del eclipse, para después recoger y difundir la información obtenida de las observaciones. Lógicamente, se ocupó también del fenómeno en otros ámbitos, de modo particular en comunicaciones presentadas en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona. Entre los hitos destacables de esta observación destaca hacer uso, quizás por primera vez con éxito, del método espectro-cinematográfico para filmar un eclipse solar y obtener importante información sobre la corona solar.

Desgraciadamente, la película obtenida durante el eclipse del 17 de abril de 1912 no ha podido ser localizada puesto que no consta en los archivos de la RACAB ni del Observatorio Fabra. Consideramos que la guardaba en su domicilio (en el que tenía su observatorio particular), donde falleció en 1937, en plena contienda civil; posteriormente la casa pasó, después de ciertas actuaciones, a propiedad del Ayuntamiento de Barcelona. Es evidente que, de encontrarse dicha película, constituiría un documento histórico de excepcional interés para la historia de la Ciencia en general y de la astronomía en particular.

**Agradecimientos**

Al terminar queremos manifestar nuestro agradecimiento al Dr. Ramón Parés Farrás, catedrático emérito de la Universidad de Barcelona y académico de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, quien nos ha proporcionado amablemente, a partir de su colección de la Revista, copia de todos los artículos aquí comentados.

## Bibliografía

Archivo de la RACAB (2012) Expediente de Josep Comas Solà.

Actas de la Junta General ordinaria de la RACAB 29 de abril 1912

Actas de la Junta General ordinaria de la RACAB 25 de junio 1912

Comas Solà J (1906) Memorias de la RACAB, 1906, V. 479

Comas Solà J (1912) "*Eclipse de Sol de 17 de abril de 1912*", Revista SADEYA, año II, núm. 12.

Comas Solà J (1912**)** La Vanguardia 25 abril 1912 páginas 8 y 9. Hemeroteca de la Vanguardia. Consultable en: http://hemeroteca.lavanguardia.com/preview/1912/04/25/pagina-8/33349378/pdf.html
http://hemeroteca.lavanguardia.com/preview/1912/04/25/pagina-9/33349379/pdf.html

Comas Solà J (1912) "*El eclipse de Sol de 17 de abril de 1912*", (con notas de F. Iñíguez, T. de Azcárate, L. de Ocharán, E. Nóvoa, H. Bentabol y F. Garcia Muñoz yJosé Pratdesaba), Revista SADEYA, año II. núm. 14.

Gago R (1912) "*Nuevo método para el cálculo de los eclipses con aplicación al de 17 de abril de 1912*", (con José y Rafael Gago**)**, Rev. SADEYA, año II, núm. 13.

Iñíguez F (1911) "*El eclipse de Sol del 17 de abril de 1912*", Revista SADE, año I, núm. 1, abril 1911 (número de inauguración de la revista).

Iñíguez F (1912) “Aplicación de los eclipses de Sol a la determinación de las longitudes geográficas”, Revista SADEYA, año II, núm. 13.
Landerer JJ (1911) “*El eclipse anular y total de Sol del 16-17 de abril de 1912*”, Revista SADE, año I, núm. 3, junio 1911.
Landerer JJ (1912)“*Después del eclipse*”, (con notas de J. Comas Solà, I, Pólit, F. Armenter y L. Ichasmendi), Revista SADEYA, año II, núm. 15.
Observatorio de Madrid (1912), “*Efemérides astronómicas para abril de 1912*”, Revista SADEYA, año II, núm. 13.
Ruiz Castell P (2005) “*Fa cent anys d’aquell eclipse…*”, Revista Mètode, 47: 29-32.

**Jorge Núñez de Murga**
Astrónomo del Observatorio Fabra
Académico de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona.
Catedrático de Astronomía y Astrofísica. Universidad de Barcelona.

**Josep Mª Codina Vidal**
Director del Observatorio Fabra.
Académico de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona.
Catedrático Emérito de la Universidad de Barcelona.
ExPresidente de SADEYA.

Revista Real Academia Galega de Ciencias. Vol. XXXI. Págs. 45-54 (2012)

# Voltage-dependent calcium channels in marginal sphincter cells sarcolemma of the sea anemone *Phymactis clematis* (Actiniaria)

González Olivera, E.[1], Sánchez Terrero, C., Patronelli, L.

*Laboratorio de Fisiología Animal. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Mar del Plata. Funes 3250 – 7600 Mar del Plata. Argentina.*
*[1]Correspondencia: egolivera@gmail.com*

## Abstract

In order to demonstrate the presence of calcium channels in the sarcolemma of marginal sphincter of the sea anemone *Phymactic clematis*, dose-response curves were carried out to KCl in sea water (e1), sea water with the addition of a calcium channel blocker (felodipine) (e2) and again in sea water (e3), in a sequential way for each of the increasing concentrations of KCl. It was observed an increase in the contractile force in sea water with felodipine (e2) and a decrease in sea water (e3) comparing to e1. This suggests that felodipine would act as a partial agonist (first as a synergist and then as an antagonist), binding to different sites of voltage-dependent calcium channel $\alpha_1$ subunit or blocking sarcolemma $Ca^{2+}$-ATPase pump.

**Key Words**: Calcium channels, calcium channel blockers, marginal sphincter, muscular contraction, sea anemone, smooth muscle

## Resumen

Para demostrar la presencia de canales de $Ca^{2+}$ en el sarcolema del esfínter marginal de la anemona de mar *Phymactis clematis*, se realizaron curvas dosis respuesta al KCl en agua de mar (e1), en agua de mar con el agregado de un bloqueante de canales de $Ca^{2+}$ (felodipina) (e2) y nuevamente en agua de mar (e3) en forma secuencial para cada una de las concentraciones crecientes de KCl. Se observó un aumento en la fuerza de contracción en agua de mar con

felodipina (e2) y una disminución en agua de mar (e3) con respecto a e1. Estos resultados sugieren que la felodipina actuaría como agonista parcial (primero como sinergista y luego como antagonista), uniéndose a distintos sitios de la subunidad $\alpha_1$ del canal de $Ca^{2+}$ voltaje dependiente o bloqueando la bomba $Ca^{2+}$-ATPasa del sarcolema.

**Palabras claves**: Anémona de mar, bloqueantes de canales de calcio, canales de calcio, contracción muscular, esfínter marginal, músculo liso

## Introduction

Cnidarians of the Actiniidae family possess a highly complex and specialized marginal sphincter, with fibers with mechanical, histological and physiological smooth muscle features, as it was demonstrated in the sea anemone *Phymactis clematis* Dana, 1849 (Patronelli et al. 1998). These sphincters, when isolated, do not possess rhythmic activity, but develop contractile responses at depolarizing concentrations of KCl (Patronelli et al., 1999).

Smooth muscles with developed sarcoplasmic reticulum maintain significant contractile responses in absence of extracellular calcium (Somlyo et al., 1971; Devine et al., 1972; Somlyo and Somlyo, 1976). In these muscles, $Ca^{2+}$ release from intracellular stores can be caused by extracellular influx of $Ca^{2+}$ or $Na^{+}$ (Ebashi, 1979). In *Phymactis clematis* it has been demonstrated that, in absence or in low concentrations of extracellular $Ca^{2+}$, contractile responses are not sufficiently sustained. The substantial falling of the developed force after the first stimulus, is due to the poorly developed sarcoplasmic reticulum that this muscle possesses (Patronelli et al., 1999; González Olivera et al., 2002).

Extracellular calcium influx is produced through specific membrane channels following the electrochemical gradient. Calcium channels found in cells are classified as are activated by voltage changes (L, T, N, P/Q and R types that allow calcium entrance when the normal state of polarization is altered); by specific receptors activation (for catecholamines, angiotensin II or endothelines); by second messengers (G protein, $IP_3$, cAMP) or by stretching (Pérez-Vizcaíno et al., 2009). Calcium gating through any of these channels, directly or by releasing additional calcium from intracellular deposits, joins calmodulin and produces the first step of the cascade that finishes with muscular contraction (Patronelli et al., 2000). During relaxation, part of the calcium is kidnapped in intracellular storage sites (Somlyo et al., 1981; Karaki et al., 1997), while in rest it is extracted from the cell by $Ca^{2+}$-ATPase dependent pumps (Sulakhe and St. Louis, 1980; Karaki et al., 1997) and $Na^{+}$-$Ca^{2+}$ exchangers located in the membrane surface (Van Breemen et al., 1979; Karaki

et al., 1997). In excitable cells, voltage-dependent calcium channels are the most important way of calcium influx. Once opened, it enables the selective calcium ions flux through the pore of the channel, initiating intracellular contraction processes. Thus, the voltage-dependent calcium channels are the fundamental link between the electrical signal from the membrane surface and the intracellular biochemical responses (Izaguirre and Zavaleta, 1998). In smooth muscle cells prevails L-type or full-length voltage activated channels, also called slow channels. L-type channels are heterooligomeric proteins constituted by five subunits called $\alpha_1$, $\alpha_2$, $\beta$, $\delta$ and $\gamma$. From a functional point of view, $\alpha_1$ subunit is the principal as it has four ion pores forming domains, gates that open and close the channel and voltage sensor, as well as binding sites for $Ca^{2+}$ antagonists; the other subunits are considered auxiliary (Pérez-Vizcaíno et al., 2009).

The aim of this work is to demonstrate the presence of voltage-dependent calcium channels in the cellular membrane of smooth muscle in the marginal sphincter of the sea anemone *Phymactis clematis.*

## Materials and methods

Experiments were carried out using the isolated marginal sphincter of *Phymactis clematis.* Collection and maintenance of the specimens were carried out according to methods stated in Patronelli et al. (1987); species identification was carried out according to Zamponi (1977), and sphincters were removed and dissected following the techniques described in Patronelli et al. (1987). A segment of the muscle was fixed at one end, with a piece of thread, to the bottom of a chamber for isolated organ. The other end of the muscle was connected to a force transducer and this to a polygraph. The resting state tension was adjusted to 3.0 ± 0.5 grams force (**g)** using a micromanipulator that holds the force transducer (1**g=**1cm of displacement of the needle recorder). Muscles were allowed to develop maximal tension for each experimental condition. Once stabilized the system on the baseline, dose-response curves (DRC) at increasing concentrations of KCl and DRC to increasing concentrations of KCl with the addition of felodipine (3- ethyl 5-methyl 4- (2, 3 diclorophenyl) – 2, 6 - dimethyl- 1,4 - dihydropyridine- 3,5 dicarboxilate) (FLD) A. B. Hässle (Mölndal, Sweden) solubilized in polyethylenglycol (PEG) were performed. The final concentration of FLD in the chamber was of 10 μM. This value was determined by assay. Media used was sea water in controlled conditions of temperature (18 - 20º C), pH 8 ± 0.1 and 33 ‰ salinity.

The muscles were stimulated at KCl concentrations of 20; 40; 60; 80; 100; 120; 140 and 160 mM. Three successive experiments at each KCl concentration were carried out in the following way: experiment 1 (e1) in sea water; ex-

periment 2 (e2) in sea water with a fix dose of FDL before each concentration of KCl; and experiment 3 (e3) again in sea water. In order to attain muscle relaxation after each concentration of KCl or KCl with FLD, muscles were washed with sea water until baseline stabilization was achieved. To discard the influence of the duration of the experiments (6 hours approximately) on the results, three successive experiments were carried out at each concentration of KCl. In all cases only sea water (SW) was used denominating each of the DRC SWI, SWII and SWIII. To determine the effect of PEG, DRC at increasing concentrations of KCl were made using sea water with the addition of a fixed dose of PEG (100μM). For each DRC the number of experiments that is indicated with the results was carried out.

All drugs used in this study were of analytical grade. Tension variations in response to different solutions were analyzed for plotting curves expressed in tension in grams (**g**) vs. concentration. These curves were plotted with experimental mean values ± SE. To compare and determine the level of signification of the obtained results, ANOVA test was used and $p < 0.05$ values were considerate statistically different (Sokal and Rohlf 1995).

## Results

It is observed that the CDR to increasing concentrations of KCl (e1) reached with 120 mM a maximum response of 2.70 ± 0.12**g** (n=10). With the addition of FLD to the medium (e2) it is registered an increase of the contractile force with a maximum response of 2.90 ± 0.28**g** with 140 mM of KCl (n=10). Sequentially DRC to increasing concentrations of KCl were made (e3) observing a reduction of the maximum response compared with e1, this being of 2.24 ± 0.22**g** with 140 mM of KCl (n=10).

The DRC obtained before (e1) and after (e3) of the CDR done with FLD, do not present significant differences between each other when depolarizing at low concentrations of KCl ($p>0.05$); showing differences from a KCl concentration of 80 mM ($p<0.05$) (Fig. 1).

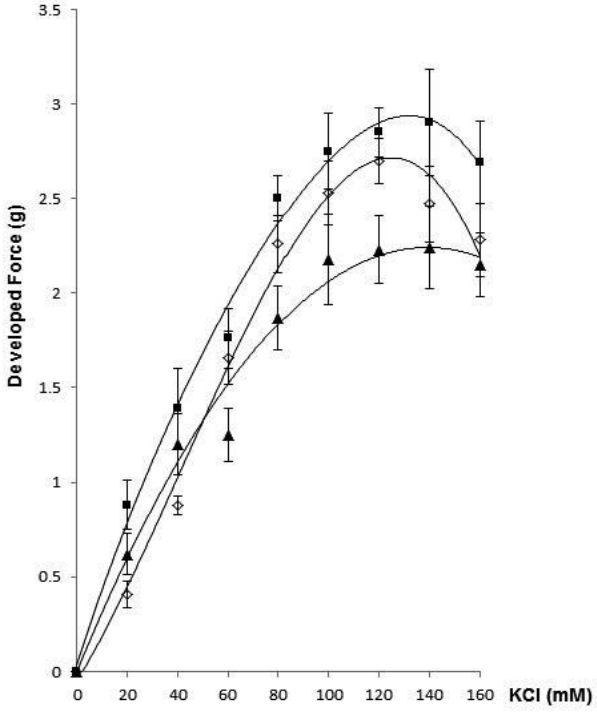



**Figure 1**. DRC to increasing concentrations of KCl in sea water and in sea water with the addition of felodipine. ◊ Sea water (e1) (n=10); ■ Sea water with felodipine (e2) (n=10); ▲ Sea water (e3) (n=10); g: grams force. Bars represent SE

In order to establish the temporary effect during the experiments, DRC were made and compared with each other (Fig. 2). No significant differences are observed between the first curve (SWI) and the second (SWII), the second and the third (SWIII) and the third and first one ($p>0.05$). Being maximal responses obtained: 2.80±0.06**g** for SW I; 2.60±0.16**g** for SWII and 2.78±0.24**g** for SW III in all cases with 120 mM of KCl (n=10).

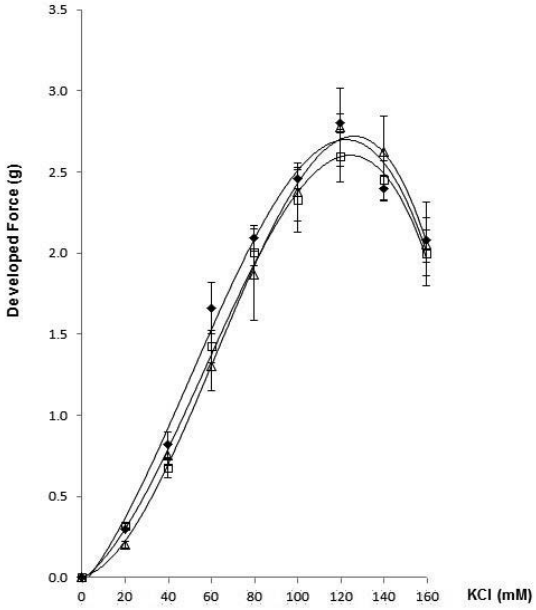



**Figure 2.** DRC to increasing concentrations of KCl in sea water.

◆ SW I (n=10); □ SW II (n=10); △ SW III (n=10); **g:** grams force. Bars represent SE

Comparing statistically the curves shown in Fig. 1 with curves in Fig. 2 it is observed that the first curve (e1) with the first sea water curve (SWI) do not differ significantly ($p > 0.05$). When analyzing the third curve (e3) in relation to the third in sea water (SWIII) a significant difference is shown from 80 mM of KCl ($p<0.05$); but between the curve of sea water with the addition of FLD (e2) and the second curve in sea water (SWII) significant differences are found at all concentrations of KCl ($p<0.05$), the higher values being obtained with FLD (Fig. 3).

A DRC to PEG was made with the aim of determining its influence in muscular contraction. By comparing results before and after PEG addition, we could ascertain that muscle response is not affected (data not shown since the experiments were carried out only to determine PEG's behavior (n=10)).

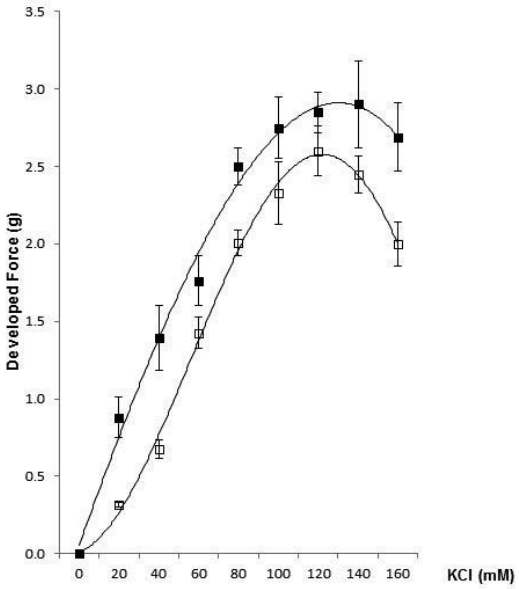



**Figure 3.** Comparison between SWII DRC and sea water with felodipine DRC.

□ SW II (n=10); ■ Sea water with felodipine (e2) (n=10); **g:** grams force. Bars represent SE

## Discussion

Calcium channel antagonists are a very heterogeneous group of drugs that selectively inhibit calcium influx through L-type voltage-dependent calcium channels from excitable cell surface membranes, being these drugs active both in the intracellular and the extracellular medium (Church and Zsoter, 1980; Janis and Scriabine, 1983; Abernethy and Schwartz; 1999). According to their chemical structure they subdivide in phenylalquilamines, benzotiazepines, piperazines and dihidropiridines (DHP) where the FLD belongs. These substances specifically bind to receptors located in $\alpha_1$ subunits calcium channels. DHP receptor is located on the outer surface of $\alpha_1$ subunit. The binding of calcium antagonists to the receptor is modulated by the conformational state of this, which can be at rest, active or inactive; the rest and inactive states do not allow the entry of calcium (Tikhonov and Zhorov, 2009).

Comparing the results obtained with FLD (e2) and in sea water before the addition of it (e1), is showed an increase of contraction force produced by FLD. The response in sea water (e3) after the administration of FLD (e2) is lower than the one obtained in sea water (e1). These results show a dual effect of FLD. We can suggest that during the depolarizing pulse in presence of

FLD, it would act first as a sinergist and then as an antagonist. Calcium antagonists have a very high affinity for the inactive state, which is dominant after the depolarization with KCl, producing its stabilization in this state and hence a voltage-dependent blockade of the calcium current. This response would be produced by the union of FLD to the receptor $\alpha_1$ subunit (Porzig, 1990; Tikhonov and Zhorov, 2009). These results could be due to that during depolarization with KCl in the absence of FLD, carried out later (e3), the channel is blocked and therefore calcium influx is lower, with consequent decrease in contractile force.

It would be necessary to deepen the study of partial agonism in our experimental model to elucidate the effects found. These may be caused by inhibition of sarcolemma $Ca^{2+}$ ATPase pump by FLD, thereby preventing the momentarily extracellular calcium output with the consequent increase of the strength of contraction. These results are comparable to those obtained by Lamers et al. (1985) in sarcolemma purified of porcine heart. Other explanation could be the one made by Tikhonov and Zhorov (2009) in which they postulate that the binding of DHP to other sites of different segments of the channel, would be the fundamental mechanism of the agonist action of FLD.

From the analysis of the DRC from Fig. 2, it appears that the muscle behavior is not altered when exposed to repeated concentrations over a long period. This behavior was observed every time the muscles were subjected to prolonged experiments.

We can conclude, according to data obtained in this work, that the sarcolemma of smooth muscle cells from the marginal sphincter of the sea anemone *Phymactis clematis* has voltage-dependent calcium channels that were altered by FLD.

**Acknowledgements**

The authors thank Miss Pamela Kerr for her critical reading of the manuscript in English language.

## References

Abernethy DR, Schwartz JB (1999) Calcium-antagonists Drugs. New England J Medicine, 34: 1447-1457.

Alexander SPH, Mathie A, Peters JA (2011) Guide to receptors and channels (GRAC). 5th ed. British Journal Pharmacology. Supplement 1, 164: 42-43.

Church J, Zsoter T (1980) Calcium antagonistic drug. Mechanism of action. Can J Physiol and Pharma, 58: 254-264.

Devine CE, Somlyo AB, Somlyo AP (1972) Sarcoplasmic reticulum and excitation-contraction coupling in mammalian smooth muscle. J Cell Biol, 52: 690-718.

Ebashi S (1979) Advances in Pharmacology and Therapeutics. Proceeding of the 7th International Congress of Pharmacology. Ions-cyclic nucleotides cholinergy, 3: 81-98.

González Olivera E, Patronelli DL, Zamponi MO, Oppedisano MA (2002) The marginal sphincter of the sea anemone *Phymactis clematis* (ANTHOZOA): Transmission Electron Microscopic Analysis. Revista Real Academia Galega de Ciencias, 21: 31-38.

Izaguirre V, Zavaleta AI (1998) Canales de calcio voltaje-dependientes. Ciencia e Investigación, 1 (1).

Janis RA, Scriabine A (1983) Sites of action of $Ca^{2+}$ channel inhibitors. Biochem Pharmacol, 32: 3499-3507.

Karaki H, Ozaki H, Hori M, Mitsui-Saito M, Amano K, Harada K, Miyamoto S, Nakazawa H, Won K, Sato K (1997) Calcium Movements, Distribution, and Functions in Smooth Muscle. Pharmacol Reviews, 49: 157-230.

Lamers JMJ, Cysow KJ, Verdouw PD (1985) Slow calcium channel blockers and calmodulina. Effect of Felodipine, Nifedipine, Prenylamine and Bepridil on cardiac sarcolemmal calcium pumping ATPase. Biochem Pharmacol, 34: 3837-3843.

Patronelli DL, Zamponi M, Bustos A, Vega F (1987) Morphological and physiological adaptations in the marginal sphincter of anemone *Phymactis clematis* Dana, 1849, from different environments. Comparative Biochem Physiology, 88A: 337-340.

Patronelli DL, Petcoff G, González Olivera E (1998) Estudio histofisiológico comparativo del esfínter marginal de *Phymactis clematis* (Coelenterata: Actiniaria) de diferentes ambientes. Biociências, 6: 67-78.

Patronelli DL, González Olivera E, Panzeri A, Zabaleta G, Zabaleta A (1999) Respuesta contráctil del esfínter marginal de la anémona *Phymactis clematis* (Actiniaria): Efecto de diferentes iones. Biociências, 7: 25-41.

Patronelli DL, Méndez P, González Olivera E (2000) Calcio Calmodulina en el mecanismo contráctil del esfínter marginal de la anémona *Phymactis clematis* (Actiniaria). Biociências, 8: 19-32.

Pérez-Vizcaíno F, Collogudo Á, Tamargo J (2009) Fármacos Vasodilatadores. Antagonistas de los canales de calcio. Fármacos Antihipertensivos. En: Ed. Médica Panamericana. Velázquez. Farmacología Básica y Clínica. Parte I. Madrid. pp 419-439.

Porzig H, (1990) Pharmacological modulation of voltage-dependent calcium channels in intact cells. Physiol Biochem Pharmacol, 144: 209-262.

Sokal LR, Rohlf TJ (1995) Biometry: The Principles and Practice of statistics in Biological Research. 3rd ed. Freeman H.W. and Co. New York.

Somlyo AP, Devine CE, Somlyo AB, North SR (1971) Sarcoplasmic reticulum and the temperature-dependent contraction of smooth muscle in calcium free solution. J Cell Biol, 51: 722-741.

Somlyo AP, Somlyo AB (1976) Ultraestructural aspects of activation and contraction of vascular smooth muscle. Federation proceedings, 35: 1288-1293.

Somlyo AV, González Serratos H, Shuman H, Mc Clelian G, Somlyo AP (1981) Calcium release and ionic changes in the sarcoplasmic reticulum of tetanized muscle: an electron ion-probe study. J Cell Biol, 90: 577-594.

Sulakhe PV, St. Louis P (1980) Passive and active calcium fluxes across plasma membrane. Progress Biophysics Mol Biol, 35: 135-195.

Tikhonov DB, Zhorov BS (2009) Structural model for Dihidropiridine binding to L-type calcium channels. J Biol Chem, 284: 19006-19007.

Van Breemen C, Aaronson P, Loutzenhiser R (1979) Sodium-calcium interaction in mammalian smooth muscle. Pharmacol Review, 30: 167-208.

Zamponi MO (1977) La anemonofauna de Mar del Plata y localidades vecinas I. Las anémonas *Boloceroidaria* y *Endomyaria* (Coelenterata: Actiniaria). Neotropica, 23: 137-153.