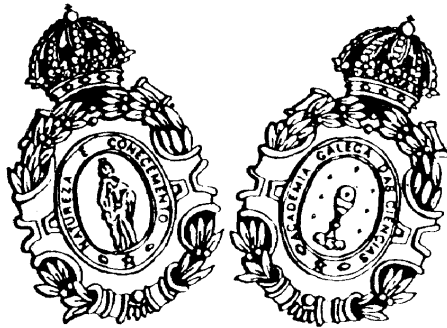


ISSN - 1135 - 5417

REVISTA REAL ACADEMIA GALEGA DE CIENCIAS

VOLUMEN XXXIV



SANTIAGO DE COMPOSTELA

2015

Revista Real Academia Galega de Ciencias

COMITE EDITORIAL

- D.F. ROBERTS. Dept. of Human Genetics. University. New Castle upon Tine.
- CHARLES SUSANNE. Vrije Universiteit Brussel. Bélgica.
- F. FRAGA. Instituto Investigaciones Marinas. Vigo.
- LIEVEN VANHECKE. Katholieke Universiteit Leuven.
- R. SALEMA. Centro de Citología Experimental. Universidade do Porto.
- JOCHEN KLEINSCHMIT. Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Escherode.
- F. NORONHA. Centro de Geologia. Universidade do Porto.
- M^a P. FERNÁNDEZ OTERO. Dpto. Fisiología Animal. Universidad de Navarra.
- L. SUÁREZ-LLANOS. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad de Santiago.
- R. TOJO SIERRA. Dept. de Pediatría. Facultad de Medicina. Santiago.
- ANDRÉ LEGUEBE. Institut Royal des Sciences Natureles de Belgique.

COMITE DE REDACCIÓN

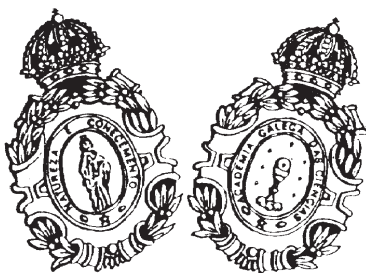
- DR. TITO ANTONIO VARELA LÓPEZ
- DR. LUIS CORDERO REGO
- DR. ANTONIO BALLESTER ÁLVAREZ-PARDIÑAS
- DR. MIGUEL Á. RÍOS FERNÁNDEZ

R E V I S T A

REAL

ACADEMIA GALEGA DE CIENCIAS

VOLUMEN XXXIV



SANTIAGO DE COMPOSTELA

2015

Real Academia Galega de Ciencias
<http://www.ragc.cesga.gal>
ragciencias@terra.com

ISSN - 1135 - 5417

© REAL ACADEMIA GALEGA DE CIENCIAS

IMPRIME: GRAFICOLOR MINERVA, S.L.U.

Polígono Industrial do Tambre - Gutenberg, 5 - SANTIAGO, 2015

DEPÓSITO LEGAL: C - 277 / 84

Subvencionada por:

Fundación Barrié



XUNTA DE GALICIA
CONSELLERÍA DE ECONOMÍA,
EMPREGO E INDUSTRIA

ÍNDICE

Pág.

La oceanógrafa Ángeles Alvariño (1916-2005): Desde Galicia para el mundo , Juan Pérez-Rubín Feigl.	5
Estado de conservación de la liebre ibérica en Galicia , Juan Carlos Jaramillo-Fayad	61
Holografía en Teorías no Conformes , Yago Bea Besada.	75
 Vida da Real Academia Galega de Ciencias	
Memoria das actividades	129
Cursos de conferencias	132
Día da Ciencia en Galicia 2015	138
Premios Investigación	139
Incorporación de novos Académicos	142
Convenios.....	143
Composición da Real Academia	157
Instruções para os autores	163

LA OCEANÓGRAFA ÁNGELES ALVARIÑO (1916-2005): DESDE GALICIA PARA EL MUNDO¹

Juan Pérez-Rubín Feigl

Dr. Oceanógrafo. Científico Titular.

Centro Oceanográfico de Málaga del Instituto Español de Oceanografía.

Correspondencia: jprubin@ma.ieo.es

Resumen

Esta bióloga gallega inició su carrera investigadora en el Instituto Español de Oceanografía (1948) y disfrutó de becas en Inglaterra y EEUU. Trabajó en prestigiosos laboratorios costeros de California y se especializó en la nascente especialidad de oceanografía biológica, convirtiéndose en experta mundial de varios grupos del zooplancton útiles como bioindicadores. Describió 22 nuevas especies y publicó cerca de un centenar de artículos entre 1951 y 1999, con varios de ellos citados ininterrumpidamente cada año en la literatura científica internacional. Podemos considerarla la primera científica española de relevancia mundial, al ser la única incluida en la *Encyclopedia of World Scientists* (Oakes, 2007).

Aportamos una renovada visión global de sus múltiples investigaciones en diferentes mares y océanos, con una selección de sus propios textos e imágenes técnicas que nos permiten explicar la evolución de sus contribuciones y pueden ser útiles para comprender las marcadas diferencias entre biología marina y oceanografía biológica.

Palabras clave: Alvariño, oceanógrafa, pionera, plancton, Galicia, España.

¹ Esta contribución está basada en la conferencia *Ángeles Alvariño (1916-2005): la primera oceanógrafa gallega*, pronunciada por el autor en el marco del “Día da Ciencia en Galicia 2015–Ángeles Alvariño”, RAGC, 1 Junio 2015. La ampliación de la información que aportamos entonces sobre la vigente relevancia mundial de sus investigaciones nos ha permitido actualizar el título y enriquecer el contenido en los últimos meses.

Summary

Ángeles Alvariño biologist, born in Galicia, began her research career at the Spanish Institute of Oceanography (1948) and enjoyed fellowship in England and the US. She worked in prestigious laboratories in California coast and specialized in the emerging biological oceanography, becoming a global expert of several groups of zooplankton useful as bioindicators. She described 22 new species and published nearly one hundred articles between 1951 and 1999, several of them continuously cited in the international scientific literature. We can consider like the first Spanish science women of global significance, being the only one included in the *Encyclopedia of World Scientists* (Oakes, 2007).

We provide a renewed global vision of her investigations in different seas and oceans, with a selection of her texts and technical images, that allow us to explain the evolution of their contributions and may be useful to understand the marked differences between marine biology and biological oceanography.

Key words: Alvariño, oceanographer, pioneer, plankton, Galicia, Spain.

ÁNGELES ALVARIÑO Y SU MUNDO: EL REINO DEL PLANCTON MARINO

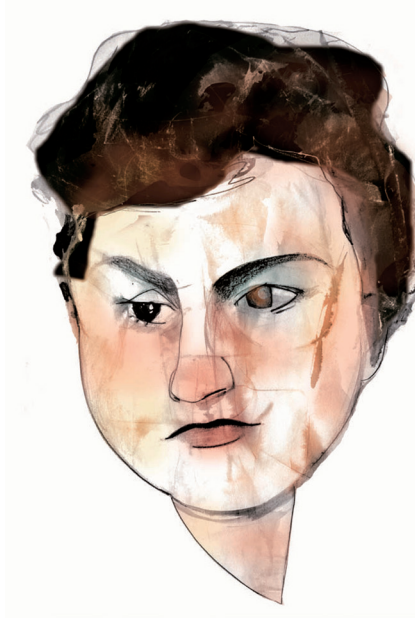


Figura 1. Retrato de Ángeles Alvariño González (1916-2005) por Eulogia Merle [2014, Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, FECYT].



Figura 2. Antiguas cromolitografías del italiano G. Mercuriano mostrando una selección de la diversidad de criaturas marinas, mayoritariamente diminutas, que vagan a la deriva a merced de las corrientes y forman parte de la comunidad planctónica.

Ángeles Alvariño González (Ferrol, 1916–2005, California)

Era hija del médico Antonio Alvariño Grimaldos y de María del Carmen González Díaz-Saavedra. Se casó en 1940 con el marino militar Eugenio Leira Manso (1907-2006). Ubicada profesionalmente en la 2ª generación de oceanógrafas españolas, inició su carrera investigadora en el Instituto Español de Oceanografía (IEO) en 1948, en cuyas publicaciones de los años cincuenta aparecieron sus primeros trabajos. Abarcando éstos diferentes áreas geográficas, se centraron mayoritariamente en el plancton y en las pesquerías. Durante su estancia en el IEO disfrutó de becas en Inglaterra (Marine Biological Laboratory, Plymouth) y EEUU (Woods Hole Oceanographic Institution, Massachusetts). Continuaría en ese último país su carrera profesional, trabajando en otros prestigiosos centros de investigación en California [Scripps Institution of Oceanography (1958–1969) y Southwest Fisheries Center (1970–1987)]. Dirigió sus investigaciones hacia la naciente oceanografía biológica, y se convirtió en experta mundial de diferentes grupos del zooplancton marino, tanto en sus aspectos taxonómicos, como biogeográficos y de aplicación a las pesquerías. Particularmente interesada en los grupos depredadores (quetognatos, sifonóforos, hydromedusas y ctenóforos), demostró la importancia de bastantes especies como indicadores de masas de agua concretas. Describió un total de 22 nuevas especies, fruto del paciente análisis al microscópico de muestras biológicas procedentes de lugares muy distantes, tanto a nivel oceánico (Atlántico, Antártico, Pacífico e Índico), como recogidas en determinadas áreas más restringidas, tales como los mares de Cortés (Méjico) y del Sur de China, los golfos de Siam y de Tailandia, etc. Publicó cerca de un centenar de artículos en reputadas revistas españolas, norteamericanas y sudamericanas; así como monografías y capítulos de libros. Participó activamente en 29 congresos de variadas temáticas, principalmente desarrollados durante el quinquenio de 1975–1979. También se interesó por las históricas expediciones científicas españolas, sobre las que la Xunta de Galicia le publicó un libro en 2002.

Desde 1976 realizó estancias, como profesora asociada o visitante, en las universidades Autónoma de Méjico y de San Diego, así como en el Instituto Politécnico mejicano. Tras jubilarse pasó a la categoría de científico emérito en 1987, y pudo continuar con sus investigaciones.

Se demostró el importante impacto y marcada continuidad de Alvariño en la bibliografía internacional (Pérez-Rubín y Wulff, 2011), con una media en torno a 9 citas anuales continuas para el período analizado (1964–2008). Las 387 citas contabilizadas (excluyendo las autocitas) se reparten en diferentes aspectos relacionados con las especies predadoras del plancton y su incidencia sobre los huevos y larvas de peces. Dicho análisis cuantitativo fue

determinante para que el director general del IEO decidiera bautizar con su nombre al nuevo buque oceanográfico *Ángeles Alvariño*, que entró en servicio al año siguiente.

Igualmente, varios colegas han inmortalizado su apellido incluyéndolo en la nomenclatura de especies planctónicas recién descubiertas, como el que-tognato *Aidanosagitta alvarinoae* (Pathansali, 1974) y la hydromedusa *Lizzia alvariñoae* (Segura, 1980). Esta última dedicada por su discípula mejicana María-Lourdes Segura (1943–2008).

Introducción

La Agencia Europea de Medio Ambiente (European Environment Agency) ha delimitado la región biogeográfica conocida internacionalmente como *The North-east Atlantic Ocean* (Johnsen et al., 2010), que se extiende ininterrumpidamente hacia el Norte desde las aguas peninsulares del estrecho de Gibraltar, abarcando todo el golfo de Vizcaya y el mar Céltico, ampliándose hacia el Oeste hasta las aguas oceánicas más influenciadas por la corriente del golfo de Méjico. Desde Galicia se han impulsado diferentes actividades a lo largo de los últimos siglos que han contribuido, directa o indirectamente, al mejor conocimiento de dicha importante región biogeográfica, tanto en sus aguas costeras o litorales como en las de mar abierto. Sirvan como ejemplo el conocimiento de las corrientes y vientos oceánicos por los navegantes del siglo XVI que ya establecieron la comunicación con los puertos de Irlanda siguiendo la peligrosa ruta directa desde Finisterre, descrita por el catedrático Andrés de Poza en 1585²; junto con la valiosa información de interés pesquero contenida en la *Descripción del Reyno de Galizia* del licenciado Juan de Molina (1550), magistral de Mondoñedo. Más divulgadas han sido las investigaciones del ilustrado José Cornide de Saavedra sobre la fauna marina y la pesca, que se extendieron en el siglo XVIII desde las Rías hasta el golfo de Cádiz, coincidiendo en esa área andaluza con los estudios sobre la pesquería de atunes del benedictino Martín Sarmiento³. Incluso la rica y fiable información sobre meteorología oceánica consignada en los libros de navegación de los buques correo de la ruta Coruña-La Habana-Coruña (1764-1769) ha servido a científicos del siglo XXI para reconstruir la dirección media del viento en todo el Atlántico Norte durante ese periodo (García Herrera et al., 2003).

² Poza (1585). Leemos en el Libro II, página 108 (*De los braceajes de la costa de Irlanda para quien va de España*): *Sabe que una nao que parte de Finisterre y quiere ir en busca del Cabo Viejo [de Irlanda], corre 100 leguas al Norte, despues toma la cuarta del Nordeste [...]*.

³ Su manuscrito *De los atunes y de sus transmigraciones, y Conjeturas. Sobre la Decadencia de las Almadrabas; y sobre los Medios para restituirlas*. Véanse López Capont (1997) y Regueira (2009).

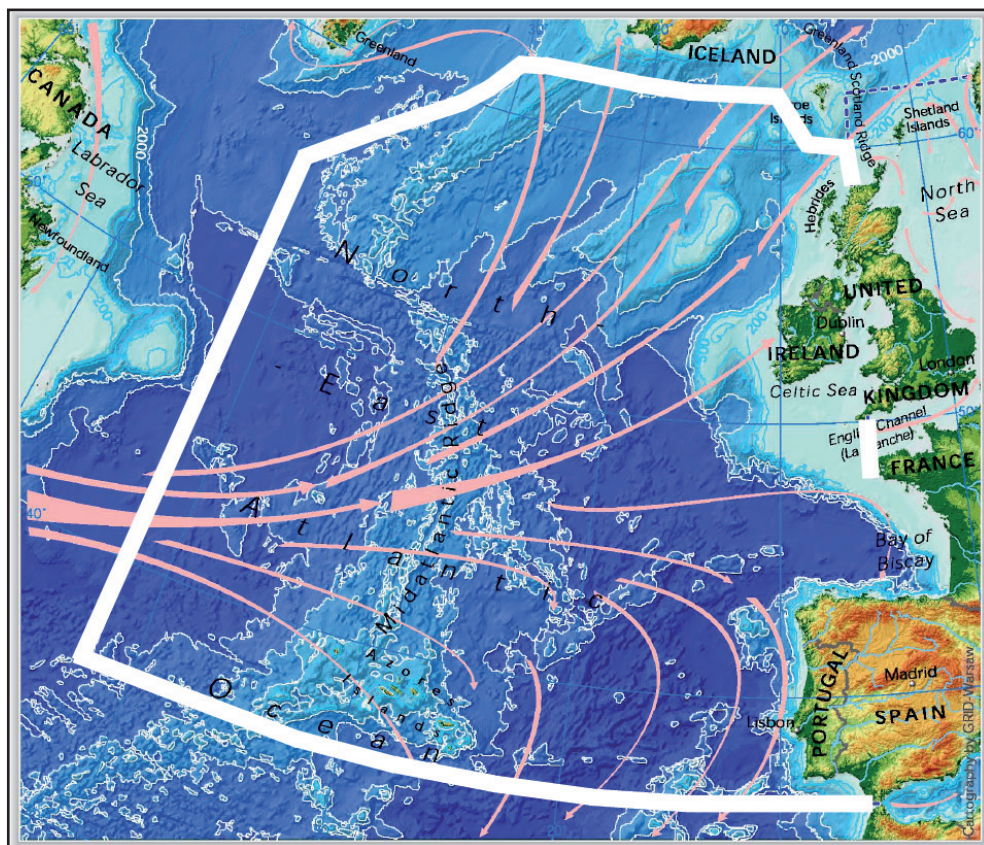


Figura 3. Delimitación de la región biogeográfica *The North-east Atlantic Ocean* (<http://www.eea.europa.eu>).

Mientras tanto las mujeres del litoral gallego y de la cornisa cantábrica se dedicaban, en su hogar y fuera de él, a “las labores propias de su sexo”: las variadas y siempre duras tareas reservadas para ellas (marisqueo, recolección de algas, venta de pescado, operarias en las fábricas de salazón y conservas, etc.). Fue un lento y difícil proceso evolutivo hasta que las dos primeras mujeres con estudios medios se convirtieron en colaboradoras de investigación en la Estación de Biología Marina de Santander entre finales del siglo XIX y principios del siguiente: Luisa de la Vega y Wetter (1862-1944, pionera del dibujo científico de especies marinas) y Josefa Sanz Echeverría (1889-1952, la primera ayudante técnica de Laboratorio biológico marino). Varias décadas después jóvenes estudiantes universitarias acudían a los cursos de verano en la gallega Estación de Biología de Marín, de vida efímera (1932-1935). A todas ellas las recordamos en el homenaje gráfico elaborado para la figura 4,

donde se representa la transformación socioeconómica que consiguió apartar a las mujeres de la costa de sus habituales tareas profesionales ligadas al sector pesquero-marisquero para ir incorporándose, muy lentamente, a otros trabajos más cualificados dentro del campo de la investigación en ciencias marinas. No olvidemos que hasta 1910 no se consiguió la plena admisión de las mujeres en las universidades españolas (Ausejo y Magallón, 1994)⁴, un importante logro que debió impulsar la condesa de Pardo Bazán desde su reciente cargo de consejera de Instrucción Pública. Quien también fue amiga personal del príncipe de los oceanógrafos: Alberto I de Mónaco, cuyas históricas visitas a Galicia se han documentado en los últimos años (Concello da Coruña, 2009⁵ y Fraga, 2014).



Figura 4. Una muestra de la lenta evolución sociolaboral de las mujeres de las costas gallegas y del Cantábrico desde el sector primario hasta el centro de investigación marina (Josefa Sanz Echeverría, 1889-1952). Visita del príncipe de Mónaco a E. Pardo Bazán [archivos del autor y del Centro Oceanográfico de Santander del IEO, Fraga (2014)].

⁴ En la Tabla I de esas autoras comprobamos como en la Universidad de Santiago el porcentaje de mujeres en los cursos de 1929-1930 (6,9 %) y 1932-1933 (7,8 %) superaba a la media nacional (6,1 y 7,4 % respectivamente).

⁵ *Historia do príncipe e a sardiña*. Exposición producida por los Museos Científicos Coruñeses en colaboración con el Museo Oceanográfico de Mónaco y con la participación y patrocinio del Museo do Mar de Galicia. Se imprimió un catálogo con motivo de la exposición en el Aquarium Finisterrae.

De gran trascendencia había sido la fundación en 1906 de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, que durante su existencia pensionó en el extranjero a cerca de 2.600 jóvenes universitarios españoles de ambos sexos, representando las mujeres un exiguo 15,6 % (Magallón, 2010).

Igualmente resultó decisiva la creación del Instituto Español de Oceanografía (IEO, 1914) –un par de años antes del nacimiento de Ángeles Alvariño– por el biólogo Odón de Buen y del Cos (1863-1945), basándose en los Laboratorios costeros existentes en Santander, Mallorca y Málaga. Se estableció la sede central del organismo en Madrid y sucesivamente se inauguraron otros centros de investigación en San Sebastián (fundado originariamente por la Sociedad Oceanográfica de Guipúzcoa), Vigo (1917), Las Palmas de Gran Canaria (1927), etc. Al IEO se fueron incorporando las primeras investigadoras marinas del país (licenciadas en biología, química o farmacia) y una de ellas consiguió una temprana beca en EEUU⁶. Ángeles Alvariño pertenecerá a la segunda generación de oceanógrafas españolas y desarrolló la mayor parte de su dilatada vida profesional en el extranjero.

Precisamente durante la etapa fundacional del Instituto estaba consolidándose en España la denominada “Generación del 14”, liderada por José Ortega y Gasset, de la que formaron parte notables científicos, pensadores, historiadores y escritores nacidos en torno al año 1880 y que alcanzaron su madurez hacia 1914. Su propósito fue modernizar al país a través de la educación, la razón, la ciencia y la experimentación. Así se pronunciaba al respecto Gregorio Marañón en 1927: *Hay generaciones que [...], sin previo acuerdo, actúan como tal comunidad cronológica, independientemente de la acción personal de sus prohombres. A esta generación nuestra [...] se debe un golpe de timón que puso definitivamente la nave de la ciencia española proa al universo.*

La Guerra Civil abortaría dramáticamente todo un largo proceso renovador iniciado a finales del siglo anterior: la brillante Edad de Plata de la Cultura Española (1898-1936). Durante la larga y dura posguerra, agravada hasta 1945 por el difícil escenario europeo sometido a la conflagración bélica mundial, el IEO comenzó su reconstitución interna y se diseñaron las tareas para la recuperación de las investigaciones marinas y la reanudación de las relaciones internacionales. España se iba incorporando a las nuevas organizaciones científico-técnicas que se fueron creando en el contexto de la ordenación pesquera y de la oceanografía, comenzando en 1952 con la Convención Internacional de las Pesquerías del Atlántico Noroeste y el Consejo

⁶ La andaluza Jimena Quirós Fernández-Tello disfrutó en 1926 de una beca en la Universidad de Columbia, bajo la dirección principal del profesor Douglas W. Johnson (1878-1944), reconocido experto en geomorfología submarina.

General de Pesca del Mediterráneo. Paralelamente, desarrollaría el Instituto sus primeras experiencias de acuicultura intensiva en Galicia y organizaba campañas de prospección pesquera en los alejados caladeros africanos (desde 1941 en aguas saharianas) y de Terranova (a partir de 1953), mientras se sentaban las bases para que la flota congeladora de altura gallega se convirtiera en la primera de Europa en explotar las tan distantes pesquerías americanas y africanas del Atlántico Sur desde 1961-1963 (Pérez-Rubín, 2014).

Sin embargo, en esa última década era muy negativa la situación de nuestros investigadores y del sistema de enseñanza universitaria. Aunque éste se estaba reformando, con la participación de sobresalientes científicos como el fisiólogo F. Grande Covián (residente en EEUU desde 1953), en la prensa periódica nacional aparecían artículos denunciando la frecuente marcha al extranjero de los “cerebros” españoles más prometedores. Incluso llegaron a ofrecerse internacionalmente un grupo de 45 investigadores *de centros oficiales del Estado, quienes después de largos años de estudio y prácticas de investigación en los mejores centros de varios países europeos, los más avanzados (Inglaterra, Alemania, Francia), no hallan una posición económica suficiente y digna* (Gómez Gil, 1971).

Comprobaremos cómo durante un decenio clave (1948-1957) desarrolló Ángeles Alvariño sus primeras investigaciones en España e Inglaterra, que se fueron extendiendo desde el Atlántico Norte a paradigmáticos ecosistemas del Pacífico y de otras áreas mundiales, tras su incorporación a diferentes instituciones oceanográficas de los Estados Unidos de Norteamérica. En la década de los años 50 comenzaban a publicarse en el extranjero las primeras descripciones de variados sistemas ecológicos en el océano, mostrando algunas relaciones íntimas entre los seres vivos y su medio ambiente característico. Se fue intensificando el enfoque multidisciplinar y se desarrolló convenientemente una nueva disciplina: la oceanografía biológica. Describía interacciones biológicas, químicas y físicas a escala oceánica, y demostraba cómo los procesos fisico-químicos en mar abierto influyen decisivamente en la vida y en los desplazamientos de los seres vivos, desde los diminutos componentes del plancton hasta las gigantescas ballenas. Alcanzó Alvariño un alto nivel de excelencia en dicha novedosa especialidad que la ha convertido en la investigadora marina española y latina de mayor relevancia mundial y en un referente en todo el continente americano como destacada mujer hispana.

Convencidos de que los resultados de la investigación científica deben traducirse en cultura para la sociedad, en consonancia con una historia cultural de la ciencia, describiremos sus meritorias pesquisas en muy diferentes ecosistemas marinos mundiales con una selección de imágenes y párrafos de sus publicaciones. Un esfuerzo que irá describiendo el nacimiento y desarrollo de esta apasionante disciplina científica –la oceanografía biológica–, de

la mano de la protagonista principal de estas páginas. Igualmente, esta recopilación de información permite avanzar en el conocimiento de la “historia medioambiental y de las poblaciones marinas”, campo actual de investigación pluridisciplinar más desarrollado en otras latitudes y en el que colaboran biólogos marinos, oceanógrafos, investigadores de pesquerías e historiadores.

Una nueva disciplina: la Oceanografía Biológica

El zoólogo inglés George H. Fowler (1861–1940), impulsor del Laboratorio de Plymouth de la Marine Biological Association y de la Challenger Society for Marine Science, fue el coordinador de la campaña oceanográfica de 1900 con el buque *Research* en el golfo de Vizcaya para investigar el plancton oceánico. Se encargó personalmente del estudio de diferentes grupos (quetognatos, taliáceos y ostrácodos), quedando los restantes en manos de otros colegas como E. T. Browne (medusas) y el norteamericano H. B. Bigelow (sifonóforos).

Desde entonces se fueron produciendo avances y se obtuvieron importantes resultados con la labor de Alister Hardy (1896-1985), del Fisheries Laboratory en Lowestoft, quien diseñó un novedoso aparato para el registro continuo de plancton (CPR) y amplió considerablemente la cobertura espacial de sus estudios, aprovechando la expedición inglesa de 1925-1927 a la Antártida. En la región de las islas Británicas este investigador y otros dos biólogos marinos (F. S. Russell y J. H. Fraser) desarrollaron ampliamente durante el período 1933-1956 la línea de investigación dirigida a conocer los organismos del plancton que fueran útiles como indicadores de las cambiantes condiciones del medio marino: sus particulares patrones de presencia temporal y distribución espacial deberían reflejar tanto los cambios espacio-temporales en las masas de agua (en relación directa con las corrientes marinas), como las notorias fluctuaciones en las capturas pesqueras del arenque. Particularmente Russell, inspirándose en estudios pioneros de sus antecesores desde comienzos del siglo (Gough, Bygrave, Farran, Bowman y Meek), consiguió demostrar la importancia del estudio continuado a lo largo del año de las variaciones en la abundancia y distribución de los copépodos, quetognatos, sifonóforos, ctenóforos y medusas, junto con las larvas de peces.

Como consecuencia de la demostrada utilidad de determinados grupos del plancton animal para el avance de la oceanografía y de la investigación pesquera, el International Council for the Exploration of the Sea (ICES) solicitó a los más reconocidos expertos europeos en grupos taxonómicos concretos que colaboraran en la elaboración de las diferentes Fichas de Identificación del Plancton (*ICES Identification Leaflets for Plankton*) que comenzaron a distribuirse desde 1939. Examinando la relación de autores nos encontramos con los mencionados Russell, especialista en diferentes tipos de medusas (hy-

dro-, scypho-, trachy-, y narcomedusas), y Fraser, experto en quetognatos, sálpidos, doliólidos y sifonóforos.

Sin embargo, como los resultados más notables de “bioindicadores” se encontraron con varias especies de quetognatos, este grupo es el que fue más estudiado internacionalmente desde entonces y, según se afirmaba en 1959, al menos en 10 países trabajaban prioritariamente con esos depredadores planctónicos 24 científicos, la mayoría relacionados con la investigación gubernamental en pesquerías (Bieri, 1959).

Se materializó en EEUU el mayor impulso tras la organización en la Scripps Institution of Oceanography del simposio internacional *Perspectives in Marine Biology* en la primavera de 1956. Entre las numerosas comunicaciones presentadas destacamos la del español Ramón Margalef, experto en el fitoplancton o plancton vegetal, y la del escocés K. M. Rae. En la exposición de éste (*Parameters of the marine environment*) se reivindicaba la gran importancia del “factor biológico” (el contenido orgánico del agua de mar), como complemento indispensable a las investigaciones tradicionales de las variables ambientales marinas de carácter físico y químico (principalmente temperatura y disponibilidad de nutrientes). Un bienio después, en 1958, las comentadas amplias prospecciones oceánicas de Hardy con el colector de plancton CPR se extendieron al Atlántico Oeste, con financiación de la Oficina de Investigación Naval (Office of Naval Research) de la Armada estadounidense. Los resultados de la primera década de prospecciones, con alrededor de 40.000 muestras planctónicas, fueron publicados en formato de atlas por el Edinburgh Oceanographic Laboratory en 1973 (*A plankton atlas of the North Atlantic and the North Sea*), con registros para más de 250 taxones (Beaugrand, 2004).

En España el investigador del IEO Fernando Lozano Cabo (1916-1980), del departamento de Biología, era un destacado divulgador de la importancia del estudio del plancton desde que en 1943 aparecieran sus *Nociones de Biología Marina aplicada a la Pesca*, libro de texto para los pescadores de las Escuelas Medias. El progresivo interés en las universidades españolas y latinoamericanas por las investigaciones marinas aplicadas a la pesquerías le llevó a publicar su popular tratado de *Oceanografía, Biología Marina y Pesca* en tres volúmenes (con varias ediciones desde 1970). Debió ser este biólogo quien propuso a Alvariño su especialización en Inglaterra, apoyándola científicamente tras su regreso a España, como ella agradece en sus primeras publicaciones planctónicas en aguas peninsulares.

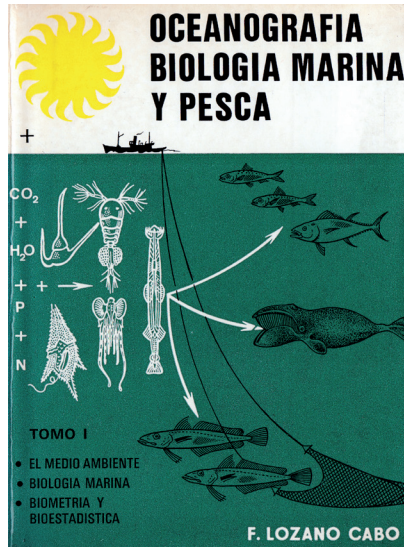


Figura 5. Cubierta del tomo I del tratado de F. Lozano Cabo sobre *Oceanografía, Biología Marina y Pesca*, 1ª edición (Lozano, 1970).

En 1977 ella describía pormenorizadamente los avances concretos que se fueron produciendo internacionalmente gracias a las investigaciones pioneras más destacadas en la materia:

*Russell observó que grandes concentraciones de larvas de peces coincidían con una abundancia de planctones herbívoros, principalmente copépodos que servían de alimento a las larvas de los peces, y poblaciones escasas de larvas de peces se presentaban juntamente con una abundancia de medusas, sifonóforos y ctenóforos. [... Años después] estudió las especies indicadoras en el plancton de la región de las islas Británicas, en particular los quetognatos, en relación con la pesca, y así consideró que varias especies del zooplancton servían en determinadas regiones, para identificar las características de las aguas, proporcionando información valiosa que se podía aplicar a los estudios pesqueros. De esta forma las especies indicadoras nos informan sobre los diversos factores bióticos y abióticos que pueden afectar al potencial de supervivencia de los pececillos recién nacidos, así como las variaciones que pueden presentarse en las rutas migratorias seguidas por las poblaciones pesqueras, ya sea locales o de gran alcance en el ámbito oceánico. Un sencillo ejemplo de esto lo constituyen los estudios de Russell sobre la influencia de las aguas identificadas por *Sagitta setosa* y *S. elegans* en la*

región de las islas Británicas, en relación con la riqueza pesquera y las condiciones oceanográficas.

Lucas y Henderson observaron que cuando abundaban las medusas en la región de Escocia, no se obtenían buenas capturas de arenque. Bigelow explica que las fluctuaciones en la producción pesquera del golfo de Maine y zonas adyacentes dependía de la abundancia de los organismos depredadores en el plancton: quetognatos, medusas, ctenóforos y anfípodos.

Hardy considera muy sugestivo el estudio de las variaciones que se presentan en el plancton y añade que nadie puede dudar que aquí se encuentran importantes claves para una mejor comprensión del éxito o fracaso de las pesquerías, y que la información sobre variaciones en el plancton proporciona los antecedentes de las pesquerías y es un indicador de los grandes cambios en el movimiento y condiciones del mar.

*Al analizar los datos que presentan varios biólogos, se observa una estrecha relación inversa entre la abundancia de quetognatos y larvas de peces. Así los estudios de Corbin sobre la abundancia en la región de las islas Británicas de larvas de *Scomber scombrus* (caballa) y *Sardina pilchardus* (sardina) en relación con especies de quetognatos (*Sagitta setosa*, *S. tasmanica* y *S. lyra*) y el sifonóforo *Muggiaea atlantica*, indican que la presencia de las larvas de estos peces coincidían con escasez de quetognatos y sifonóforos, y elevadas concentraciones de éstos con pocas larvas de aquellos peces (Alvariño, 1977).*

Más adelante subrayaba la misma autora las negativas consecuencias sobre las poblaciones de peces de la depredación de los ctenóforos y sifonóforos:

La abundancia de depredadores planctónicos, en especial los ctenóforos, deben producir una destrucción en las poblaciones de copépodos, de manera que no queda suficiente alimento para las poblaciones de peces.

*[En la entrada del canal de la Mancha y zonas próximas] Russell indicaba que en la segunda quincena de mayo de 1930 desecendió dramáticamente la abundancia de larvas de peces, coincidiendo con una enorme concentración de ctenóforos acompañados por el sifonóforo *Stephanomia bijuga* y las medusas *Bougainvillia* y *Obelia* [...]. En 1929 fueron escasas las capturas de larvas de peces, coincidiendo con la extremada abundancia de tres especies concretas de ctenóforos durante el período de reproducción de los peces y de otros organismos del plancton, actuando como depredadores y competidores por el alimento.*

Hardy observó los bancos del arenque en Yorkshire, en donde a veces aparecen grandes acumulaciones de ctenóforos, y comenta que en

esas situaciones los ctenóforos han de ocasionar grandes destrozos en las crías de arenque, y así las variaciones drásticas que se observan en estas pesquerías de un año para otro en aquellas regiones, deben estar íntimamente relacionadas con la abundancia de los ctenóforos, ya que en los años en que estos aparecen en grandes concentraciones la generación de arenque resultaba muy reducida y viceversa [...].

Cuando Alvariño escribía esos párrafos, a mediados de la década de los 70, se iban imponiendo en la oceanografía las bases del actualmente vigente enfoque ecosistémico. Ya se contaba con una definición integradora de lo que era un ecosistema: una unidad funcional abierta, aunque con límites reconocibles y cierto grado de capacidad de autoregulación, en el que los organismos también interaccionan con su medio ambiente inorgánico. En la práctica entrañaba gran dificultad establecer la frontera exacta, en aguas alejadas de la costa, entre los límites de los ecosistemas costeros y los oceánicos. Problemas adicionales se encontraban en esa década los oceanógrafos en las tan productivas regiones de afloramiento o *upwelling* (donde ascienden a superficie aguas frías profundas y ricas en nutrientes, como en las Rías gallegas), porque aún se carecía de información suficiente sobre la estructura y función de esas regiones como unidades ecológicas diferenciadas.

En el siglo XXI se ha incrementado el interés científico por el plancton gelatinoso al reconocerse que es un eslabón muy importante en la cadena trófica marina, tanto en los sistemas naturales considerados tradicionalmente como poco productivos como en los productivos.

Sus investigaciones sobre el Atlántico

Tras finalizar los estudios universitarios en Madrid inició A. Alvariño su carrera profesional en el Instituto Español de Oceanografía (IEO, 1948-1956). Los temas de sus publicaciones científicas reflejarán las líneas prioritarias de investigación del Instituto de la época, que incluían el desarrollo de las pesquerías (tanto en el caladero nacional como en áreas alejadas) y variadas investigaciones de aplicación directa relacionadas con el auge de las industrias conserveras y de construcción naval, sin olvidar la complementaria labor de divulgación a la sociedad (como veremos al final de este trabajo).

En la revista científico-técnica institucional (el *Boletín del IEO*) aparecieron los resultados de sus primeros trabajos de investigación. Abarcó variados temas y diferentes áreas geográficas: el zooplancton (de Terranova, del Atlántico y del Mediterráneo occidental) y la formación de incrustaciones marinas en los cascos de los buques. Este último asunto, con una directa utilidad práctica, era de importancia primordial en la construcción y mantenimiento nava-

les para conseguir mejorar la protección de las planchas sumergidas frente al inevitable deterioro y corrosión en el medio marino (Alvariño, 1951).

Realmente cambiaría su vida la beca que se le concedió durante 1953-1954 en Inglaterra (Marine Biological Laboratory, Plymouth), que le permitió ponerse en contacto directo con la ciencia internacional de vanguardia. Allí se relacionó con gran número de expertos en los diferentes organismos del plancton, y tuvo acceso a las publicaciones técnicas internacionales más relevantes, tanto las clásicas como las más modernas, con lo que su formación teórica y práctica resultó completa.

Bajo la dirección principal del veterano investigador Frederick S. Russell (1897–1984) se fue especializando en el estudio de varios grupos de predadores zooplanctónicos (hydromedusas, quetognatos y sifonóforos) y en el ictioplancton (huevos y larvas de peces), con muestras de agua del golfo de Vizcaya y del sector del canal de la Mancha cercano a Plymouth. Así tuvo la oportunidad de revisar amplias colecciones de material planctónico obtenidas en prospecciones mensuales realizadas a lo largo del año y su activa participación en la campaña con el nuevo buque *Sarsia* en 1954 (colaborando en los muestreos de Peter Corbin). Con 39 m de eslora había sido bautizado en recuerdo del pionero noruego en zoología marina Michael Sars, cuyo apellido también se recuerda en un género de medusas.

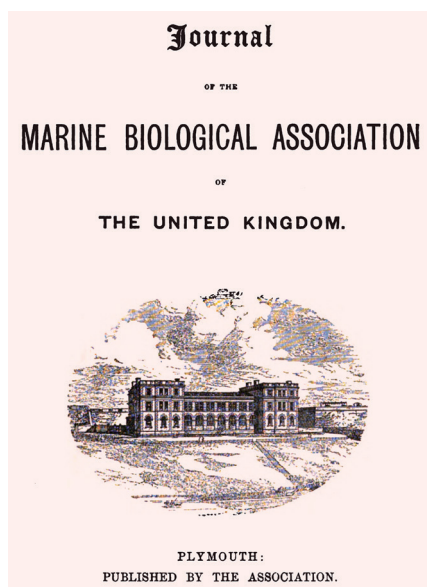


Figura 6. Portada de la clásica publicación científica *Journal of the Marine Biological Association*, mostrando el edificio de la institución donde Alvariño disfrutó su primera estancia de formación en el extranjero.

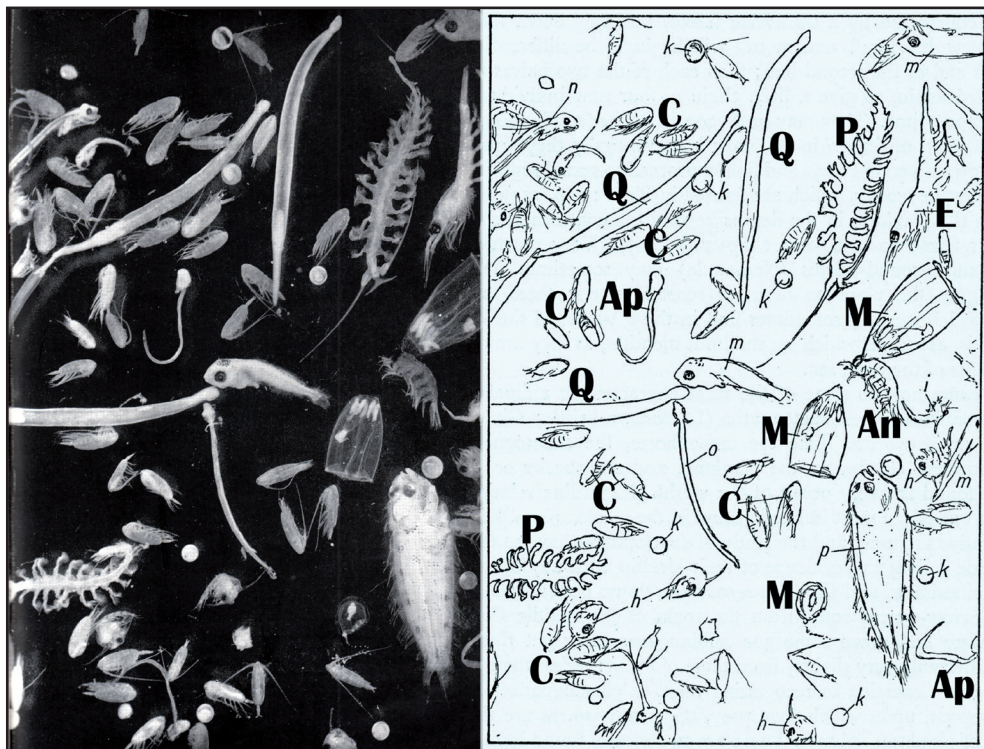


Figura 7. Mezcla de componentes del plancton animal (zooplancton), típica al norte de las islas Británicas. Distinguimos entre los organismos temporales (fases larvarias y huevos de diferentes especies de peces y crustáceos) y los principales componentes permanentes en la comunidad: Anfipodos (An), Apendicularias (Ap), Copépodos (C), Eufausiáceos (E), Medusas (M), Poliquetos (P) y Quetognatos (Q) (Hardy, 1956).

Tras varias décadas con muestreos mensuales llevados a cabo en la zona sur de Inglaterra (sector oeste del Canal de la Mancha) se logró demostrar la gran utilidad de dos especies de quetognatos como “indicadoras” de cambios generales en el ecosistema, pues las detectadas sustituciones interanuales en sus mayores abundancias reflejaron drásticas alteraciones medioambientales a gran escala. Éstas se pudieron correlacionar con períodos de claras fluctuaciones climáticas: el calentamiento del hemisferio Norte hasta 1950, seguido de enfriamiento. En efecto entre 1930 y 1938 la especie ártica-boreal *Sagitta elegans* (asociada con el plancton de aguas frías) fue remplazada, como el “quetognato dominante” del área de Plymouth, por la nerítica-templada *Sagitta setosa* (preponderante durante 1939-1968) (Southward, 1984).

Fueron diferentes autores británicos los que se especializaron en el estudio de los quetognatos y su aplicación a la caracterización de las diferentes

masas de agua en el área. En un excelente libro de Alister Hardy (1956) se integraba en una imagen la información disponible hasta la fecha y se concretaban las tres asociaciones características entre aguas de distinta naturaleza y origen, añadiendo al par de especies nombradas una tercera: *Sagitta serratodentata* (mar abierto), *S. setosa* (aguas costeras) y *S. elegans* (mezcla de aguas oceánicas y costeras).



Figura 8. Distribución geográfica alrededor de las islas Británicas de tres asociaciones características entre masas de agua y especies de quetognatos (*Sagitta serratodentata*, *S. setosa* y *S. elegans*) (Hardy, 1956).

Alvariño descubrió en el plancton a un quetognato indicador de aguas costeras templado-cálidas del Atlántico E (*Sagitta friderici*), así como abundantes huevos y larvas de sardina en áreas tradicionalmente de pesca del arenque. En efecto, los grandes cambios detectados en las comunidades marinas

durante aquella década de los 30, también se manifestaron en la tradicional pesquería del arenque en el Canal de la Mancha, que fue disminuyendo progresivamente mientras que la población de sardina y la comunidad de plancton de agua cálida se expandían en el área. Esos años tan favorables para la explotación sardinera se manifestaron en las capturas obtenidas por las flotas pesqueras en costas tan distantes como Galicia, California y Japón, reflejando el mencionado calentamiento mayoritario del hemisferio septentrional. La situación contraria se presentó a finales de la siguiente década: cuando los alarmantes descensos de las capturas de la sardina gallega contrastaban con el gran incremento experimentado más al sur (en el mar de Alborán) con la flota centralizada en Málaga, puerto donde se asentaron nuevas fábricas conserveras y trañas de gran tonelaje pertenecientes a armadores gallegos, alicantinos y valencianos (Pérez-Rubín, 2008).

Tras el regreso a España de nuestra biografiada, en el IEO desarrolló su novedosa especialidad de oceanografía biológica, analizando las muestras de plancton obtenidas en las campañas de prospección del Instituto durante 1953-1955 en el Atlántico Norte, tanto en el área de Terranova como a lo largo de las costas peninsulares, comprendiendo éstas el sector occidental del mar de Alborán, estrecho de Gibraltar, golfo de Cádiz y Galicia. Sus publicaciones sobre la mencionada área del Atlántico noroeste están basadas en el análisis del material biológico obtenido en campañas científicas desarrolladas en Terranova con buques bacaladeros españoles en 1953 y 1955 (Alvariño 1956a y 1956b). Agradece las sugerencias científicas recibidas de su mentor, el Dr. Fernando Lozano Cabo, y la recogida de las muestras a bordo por varios colegas (Olegario Rodríguez Martín, Rafael López Costa y Alfonso Rojo Lucio).

Dejemos que sea ella quien explique en qué consistían sus investigaciones en aquellas frías aguas canadienses y la importancia ecológica de las mismas al relacionar a los diminutos organismos estudiados con el particular medio ambiente marino en el que viven:

La región explorada comprende a las zonas del Gran Banco, Banco Saint Pierre, Banquereau y proximidades de la Fosa de la Ballena, área recorrida para la pesca del bacalao y sus afines destinados a la salazón. Las colecciones [de plancton] se hicieron cuando el tiempo y las faenas pesqueras lo permitían, ya que, trabajando en un barco dedicado exclusivamente a la pesca, lógicamente las rutas seguidas y las maniobras están únicamente supeditadas a ese objetivo [...]. Se registraron temperaturas y salinidades [datos necesarios para identificar las diferentes masas de agua...].

Damos una exposición general de las comunidades planctónicas de la zona explorada, ateniéndose principalmente a la presencia de los gru-

pos y especies más importantes, teniendo como objetivo primordial el estudio de los “indicadores planctónicos” así como el de las comunidades pelágicas que tales organismos adoptan en aguas de Terranova en la época en que tales muestras se recogieron [...]. Incluimos en el estudio las formas planctónicas de los peces (huevos y estados larvarios), con objeto de poder detallar y determinar sus épocas y áreas de puesta.

[La importancia de los quetognatos y otros grupos]: *Ya ha sido establecida una correlación entre las diversas especies de quetognatos y distintos tipos de ambientes marinos, y teniendo en cuenta que las aguas en que viven están constantemente en movimiento, desplazándose de unos lugares a otros, tanto vertical como horizontalmente, su frecuencia nos proporciona información relacionada con las condiciones hidrográficas locales, así como del origen de las masas de agua en las que aparecen. Los quetognatos están asociados con otros organismos, que a su vez sirven para afirmar las características hidrográficas señaladas por aquéllos [...]. Concretamente la distribución de Sagitta es interesante como “indicador” de corrientes, y así sirve de ayuda inestimable para descifrar el sistema de corrientes en la región en que se lleve a cabo un estudio sistemático, tomando como base tales indicadores. Actualmente se considera como un factor decisivo “indicador”, en aguas inglesas por Russell y Fraser, y en el golfo de Maine por Redfield y Beale.*

[Investigaciones que completó Alvariño con el análisis de estómagos de peces adultos, como ejemplo:] *Mallotus villosus es un pez que sirve de alimento a otros peces, así como a muchos cetáceos, focas, etc. El bacalao devora buena cantidad de estos pececillos; así hemos recogido, al analizar el contenido estomacal de una serie de individuos, buen número de Mallotus que medían aproximadamente de 12 a 16 cm de longitud. Los ejemplares identificados en el contenido estomacal de bacalao estudiados eran, en su mayoría, hembras maduras, prestas para soltar los óvulos, lo cual está de acuerdo con el periodo de puesta determinado, que se extiende desde finales de mayo hasta julio o principios de agosto. En esta época es precisamente cuando el área que nos ocupa recibe la influencia de las aguas más cálidas. Se sabe además que las hembras que se encuentran en aguas profundas, cuando alcanzan la madurez sexual, se dirigen a las zonas costeras para realizar la puesta. Nuestras muestras proceden de localidades distantes de las costas de Terranova, de modo que puede comprenderse fácilmente que el bacalao tuvo la oportunidad de alimentarse de los Mallotus que en bancos más o menos apretados se dirigían a las áreas de puesta (Alvariño 1956a).*

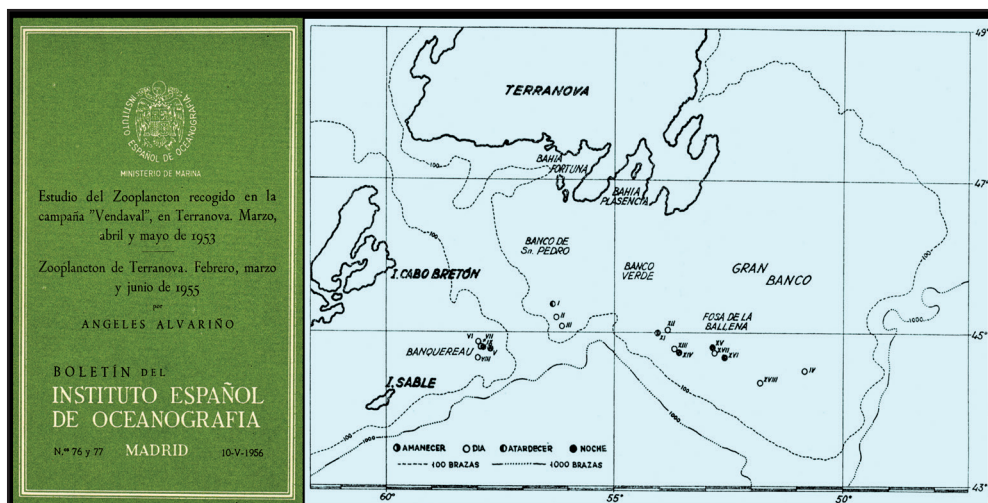


Figura 9. Las campañas biológico-pesqueras del IEO en Terranova durante los años 1953 y 1955. Portada de la doble publicación sobre el plancton del área y carta de las estaciones de muestreo (Alvariño, 1956a, 1956b).

Al otro lado del océano, en el Atlántico nororiental, se llevó a cabo la campaña oceanográfica del IEO con el buque *Xauen* durante el verano de 1954. Prospección que comenzó en Málaga y finalizó en Ribadeo, Galicia. Alvariño se encargaría del análisis de la totalidad de muestras de plancton recogidas durante el amplio periplo náutico y la publicación de sus resultados en dos artículos independientes para las áreas atlántica y mediterránea (sector occidental del mar de Alborán). En los agradecimientos de esa publicación (Alvariño 1957b) reconoce la colaboración prestada por tres investigadores veteranos: F. Lozano Cabo (responsable de la sección biológica durante la campaña: la documentación científica aportada y sus orientaciones), J. H. Fraser (Marine Laboratory, Aberdeen: *por el interés mostrado en mi trabajo y por su valiosa ayuda proporcionándome todos los datos y consejos que he precisado*) y F. S. Russell (director del Laboratorio de Plymouth: comprobó la identificación taxonómica de una especie).

Así destacaba la importancia del área atlántica prospectada: *El océano Atlántico, en torno a la Península Ibérica, constituye un sugestivo y fértil campo de estudio en relación con el tema que nos ocupa, debido a las variadas condiciones hidrográficas ocasionadas en gran parte por las fluctuaciones de la corriente atlántica nórdica, que atraviesa este océano en dirección Este, aproximadamente a la latitud de los 45° N* (Alvariño, 1957b).

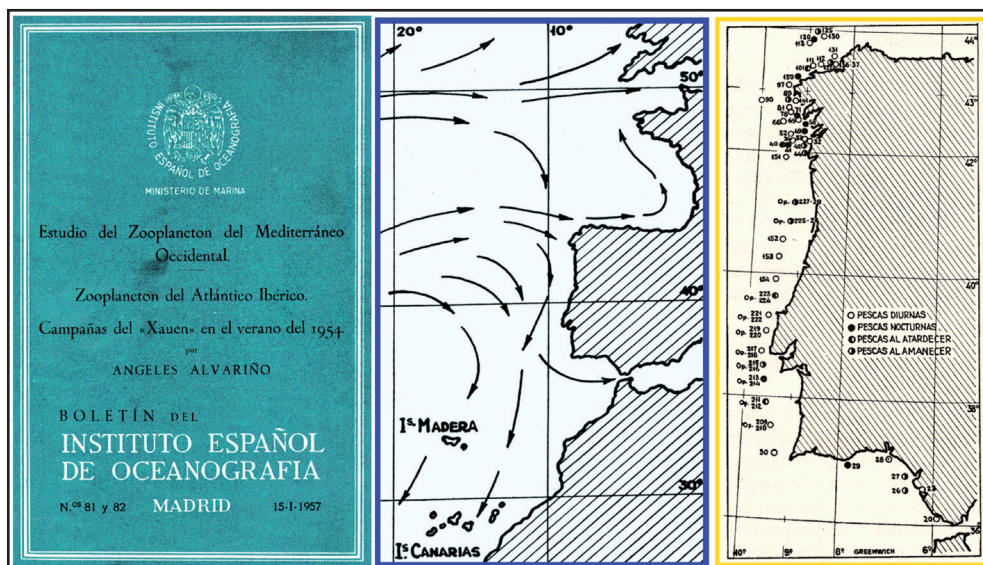


Figura 10. Cubierta conjunta de las dos publicaciones de Alvaríño resultantes de la campaña con el *Xauen* de 1954, e imágenes que muestran el régimen de corrientes en el área atlántica y la situación de las estaciones en las que se verificaron las pescas de plancton (Alvaríño 1957a, 1957b).

En las tablas incluidas en su publicación detalla *cuantitativamente la distribución de los diversos organismos planctónicos en las estaciones respectivas, considerando únicamente aquellos que puedan tomarse como “indicadores” de desplazamientos de masas de agua o que caractericen diversos ambientes.* Sus análisis taxonómicos incluyeron muy diversos organismos planctónicos: 19 taxones correspondientes a huevos y larvas de peces, sifonóforos (11 especies), quetognatos (10), tunicados (9), medusas (7), eufausiáceos (4), ctenóforos (2), moluscos pelágicos (2) y otros.

Aunque, como destacaremos más adelante, Alvaríño continuaría su carrera en instituciones norteamericanas del Pacífico siguió desarrollando sus investigaciones sobre el plancton del Atlántico NE y mantuvo las relaciones con España, donde viajaba intermitentemente. Concretamente en 1966 estuvo dos meses en Madrid para ultimar varios aspectos de su próxima tesis doctoral e intentar recuperar antiguos datos climáticos españoles sobre el Pacífico.

Al año siguiente defiende en la madrileña Universidad Complutense, su tesis de doctorado sobre *Los Quetognatos del Atlántico. Distribución y notas esenciales de sistemática*, que será publicada un bienio después por el Instituto Español de Oceanografía (Alvaríño, 1969a), incluida en la serie *Trabajos del IEO* con cerca de 300 páginas y gran cantidad de ilustraciones.

Abarca el estudio del material biológico obtenido durante más de una década (1952-1965), cedido por ese Instituto español y otros organismos extranjeros. Describe una treintena de especies, incluyendo una revisión de los caracteres morfológicos esenciales de las mismas, figuras detalladas y notas complementarias sobre los diferentes estadios de madurez sexual. En la figura 11 presentamos una muestra de sus ilustraciones en la que podemos comprobar el grado de minuciosidad en la descripción de las características externas e internas más notables de cada taxón (en este caso la batipelágica *Eukrohnia fowleri*) y de sus particulares distribuciones geográficas (aquí *Sagitta planctonis* y *Sagitta tasmanica*, actuales *Solidosagitta planctonis* y *Serratosagitta tasmanica*).

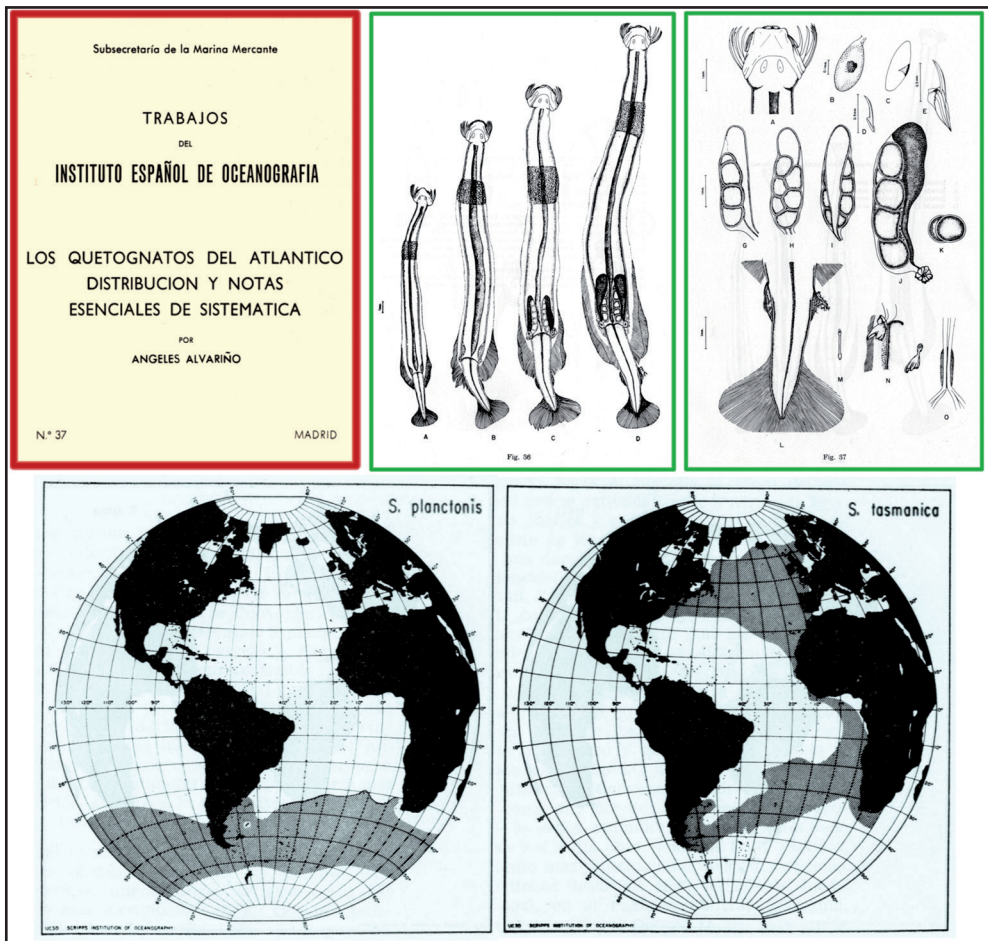


Figura 11. Selección de figuras representativas extraídas del monográfico *Los Quetognatos del Atlántico. Distribución y notas esenciales de sistemática* (Alvariño, 1969).

Incursiones en el Mediterráneo

La primera fase de la descrita campaña del verano de 1954 con el *Xauen* incluyó el estudio del sector del mar de Alborán más próximo al estrecho de Gibraltar. Las numerosas investigaciones realizadas abarcaron las condiciones oceanográficas (observaciones físico-químicas de temperatura, salinidad, fosfatos, oxígeno disuelto, pH, etc.) y el zooplancton superficial (arrastres entre 0-15 m profundidad).

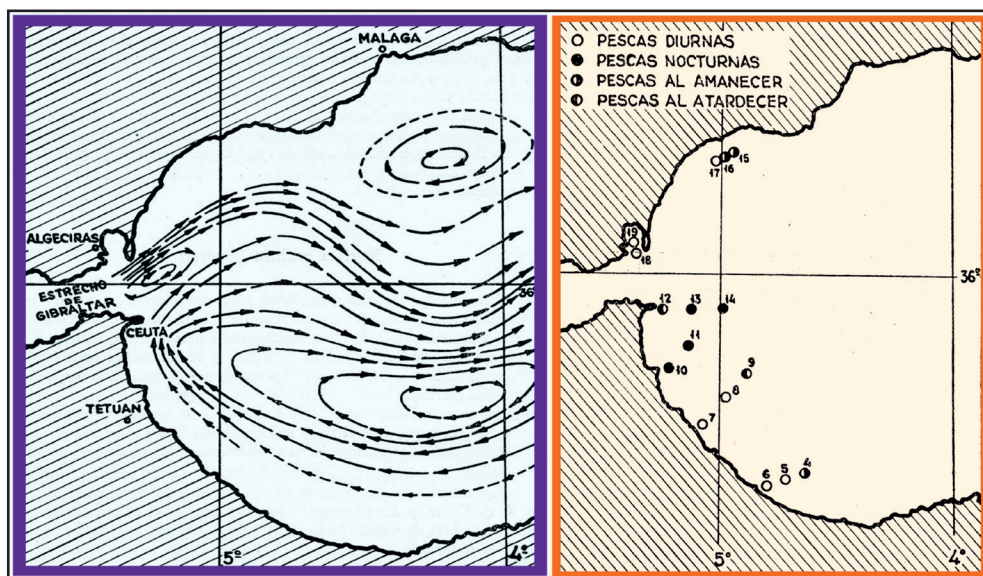


Figura 12. Campaña mediterránea del *Xauen* (1954) en el mar de Alborán y estrecho de Gibraltar. Distribución de la corriente atlántica superficial en el sector occidental y la carta de estaciones del muestreo planctónico (Alvariño, 1957a).

Leamos sus explicaciones sobre la importancia del área, sus características oceanográficas y el objetivo principal de los estudios planctónicos:

El mar de Alborán es una zona de gran interés, tanto desde el punto de vista biológico e hidrográfico, como del de la importancia económica, por la abundante vida marina que allí existe, debido a los aportes atlánticos en nutrientes que, a través del estrecho de Gibraltar, renuevan las aguas de esta parte del Mediterráneo.

El objeto de nuestro estudio es el conocimiento del plancton en esta zona y poder llegar a reconocer en futuros trabajos cierto número de organismos que puedan considerarse "indicadores" de masas de agua; de ahí establecer una correlación entre las variaciones que sus registros presentan, con la proporción de peces en sus fases planctónicas y la

identificación de masas de agua que difieren ecológicamente, así como también deducir sus desplazamientos.

Dedicamos especial atención a los quetognatos y sifonóforos, huevos y estados larvarios de peces.

Las condiciones hidrográficas del mar de Alborán en las inmediaciones del estrecho de Gibraltar determinan una entrada de agua atlántica en superficie, que podríamos considerar dominante sobre la corriente profunda de salida de aguas mediterráneas [...]. Las aguas atlánticas de entrada se mezclan en parte con las mediterráneas, y en su curso hacia el Este, la salinidad va incrementándose, porque el aporte que llega está constituido por aguas de mezcla [...]. Se puede establecer una distinción entre aguas atlánticas y aguas típicamente mediterráneas en el área estudiada. La distribución de los indicadores planctónicos establece una correlación paralela con la extensión que presentan dichas masas de agua. De ahí que las observaciones planctónicas nos indiquen los avances producidos por la corriente atlántica al entrar por el Estrecho (Alvariño, 1957a).

En el laboratorio llevó a cabo un amplio análisis de los componentes de la comunidad planctónica del área, abarcando la identificación de huevos y larvas de peces (como el boquerón o anchoa y otros siete taxones). Entre los grupos permanentes encontró escasos representantes de los tunicados, sifonóforos y eufausiáceos; junto con numerosas especies de medusas (*desde hace algún tiempo consideradas por algunos investigadores como valiosos indicadores, cuando conozcamos con precisión la biología de las especies respectivas*). Estableció diferentes clasificaciones para los quetognatos hallados según su hábitat y mayor o menor expansión espacial (nerítico, oceánico, epiplanctónico, “casi cosmopolita”). Se encontró con varias especies que ya había identificado en sus anteriores muestreos en aguas inglesas y del golfo de Vizcaya: la medusa *Liriope tetraphylla* (*de amplia distribución geográfica, en los tres océanos y en el Mediterráneo*) y el ya mencionado quetognato costero *Sagitta friderici*, hallado por ella en esa amplia campaña oceanográfica de 1954 desde el mar de Alborán hasta la altura de Ferrol (*especie descrita inicialmente en la región de Canarias, también se conocía en aguas de Marruecos y en las mediterráneas de Israel*).

Finalizaba su caracterización de ese último grupo taxonómico sugiriendo cuatro especies *indicadoras del camino seguido por las aguas [atlánticas] en el Mediterráneo, pudiendo estimarse su origen en la región de las Azores y Canarias*: *Pterosagitta draco*, *Sagitta enflata*, *S. bipunctata* y *Krohnitta subtilis*. Conclusiones que la autora recomendaba mantener como provisionales

dada la insuficiente cobertura espacial y temporal de esa campaña, en cuyo diseño original al plancton se le dio un protagonismo secundario:

Para poder determinar las especies de indicadores precisos de las distintas masas de agua a considerar en esta área necesitaríamos muchas estaciones planctónicas establecidas en puntos clave de dicha región, además de un sistemático y continuo estudio a través de todas las épocas del año y con pescas planctónicas procedentes de diferentes profundidades. Solo se podría lograr una visión clara del problema, tanto biológico propiamente dicho, como oceanográfico, al realizar el estudio combinando ambos (Alvariño, 1957a).

Veinte años después dirigirá su atención investigadora al sector más oriental del Mediterráneo, con una publicación donde analiza la distribución de los sifonóforos en la región israelita de Suez en comparación con las colecciones obtenidas en el americano Canal de Panamá (Alvariño, 1974a).

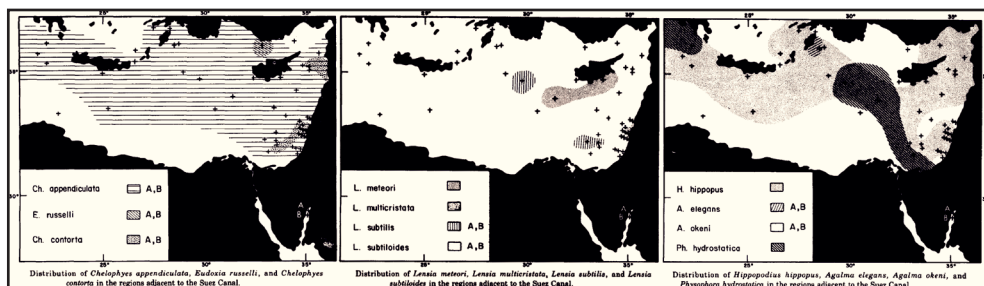


Figura 13. Distribución espacial de sifonóforos procedentes de prospecciones planctónicas desarrolladas por Israel entre 1967-1970 en el Mediterráneo oriental y en el mar Rojo, golfo de Elat (Alvariño, 1974a).

El complejo Pacífico

El estadounidense Henry B. Bigelow (1879-1967), era un sobresaliente especialista en ictiología y en sifonóforos (ya mencionamos que colaboró con una pionera campaña inglesa de 1900 en el golfo de Vizcaya). También se convertiría en referente internacional para los científicos de la primera mitad del siglo XX interesados en investigar las relaciones entre el plancton animal y la oceanografía en el Atlántico Norte. Demostró la interdependencia de la física, química y biología del mar, como ejemplificó en sus modélicos estudios sobre el golfo de Maine y aguas adyacentes (prospecciones durante 1912-1924) y en su impulso para la creación de la Woods Hole Oceanographic Institution

(Massachusetts), de la que fue su primer director hasta 1939. Experto mundial en la taxonomía y biología de sifonóforos, medusas y ctenóforos, publicaría artículos sobre muy diferentes áreas oceánicas alejadas (Filipinas, Ártico Canadiense, corriente del Labrador, islas Bermudas, golfo de Méjico, etc.). Jubilado en 1952, una discípula suya (Mary Sears) se encargará, como luego veremos, en dirigir los primeros pasos de Alvariño en EEUU.

Igualmente, su compatriota Martin W. Johnson (1893-1984), de la Scripps Institution of Oceanography (Universidad de California, La Jolla), fue otro referente de los investigadores especializados en la identificación de masas de agua en base a la particular composición en los organismos planctónicos hallados en ellas. Coautor de un libro ejemplar conocido popularmente durante varias décadas como “la biblia de la oceanografía” (*The Oceans: Their Physics, Chemistry and General Biology*), había demostrado que gran parte de la fauna planctónica encontrada en las muestras del sector central de la Corriente de California pertenecían a una mezcla de especies que eran muy abundantes en otras zonas alejadas del área y aparentemente ajenas al sistema.

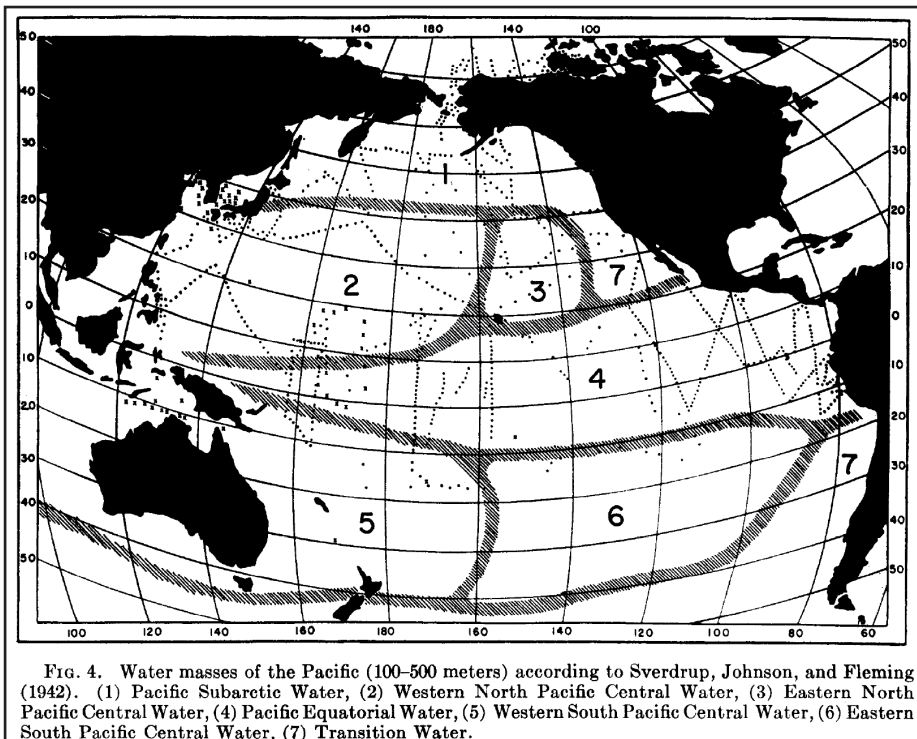


Figura 14. Masas de Agua del Pacífico (100-500 m), según concretaron Sverdrup, Johnson y Fleming en 1942 (Bieri, 1959).

A partir de 1950 Johnson impulsaría las investigaciones de R. Bieri y de T. S. Hida para determinar la presencia y distribución de las especies de quetognatos del Pacífico americano útiles como bioindicadores. El primer autor catalogó una veintena de especies y mostró su distribución espacial, en relación con las diferentes masas de agua oceánica de toda el área (Bieri, 1959). El segundo especialista (Hida, 1957) estudió la posibilidad de emplear a quetognatos y pterópodos como indicadores biológicos de diferentes “ambientes oceanográficos” que permitieran localizar y definir áreas donde fuera probable la presencia de cardúmenes de la albacora o atún blanco (*Thunnus alalunga*), especie de gran importancia pesquera que también estudiaría Alvariño entre 1963 y 1970.

El ecosistema de la corriente de California

El programa CalCOFI (*California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations*) está considerado mundialmente como el más ambicioso monitoreo intensivo del océano a gran escala temporal y espacial. Se implantó para intentar determinar las verdaderas causas de las fluctuaciones de la población de sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*), que habían llevado al colapso de la pesquería y a la desaparición de la industria conservera regional por la acción combinada de radicales cambios ambientales en el océano y una notoria sobrepesca. Basándose en extensos estudios físicos y químicos, con detalladas observaciones del plancton vegetal y animal, y abarcando análisis exhaustivos sobre huevos y larvas de peces (Ohman y Venrick, 2003).

El núcleo de la región prospectada se extiende superando un millón de Km², entre EEUU y Méjico: desde la frontera de Oregón-California hasta el sector meridional de Baja California Sur, abarcando en mar abierto hasta cerca de las 400 millas náuticas. Desde 1996 sabemos que engloba ambientes marinos muy diferentes ecológicamente: tres provincias zoogeográficas costeras, una zona de surgencia de aguas profundas (*upwelling*), y tres masas de agua oceánica diferentes (Moser, 1996).

A partir de 1951 se llevaron a cabo esas prospecciones marítimas periódicas, impulsándose extensos y modélicos estudios sobre hidrografía y plancton que consiguieron caracterizar oceanográficamente el sobresaliente fenómeno de El Niño del período 1957-1959, que modificó con claridad la fuerza de la Corriente de California, provocando un calentamiento del agua y el incremento del nivel del mar (causados por niveles anómalos del flujo frío desde el polo). Para los ambiciosos estudios biológicos se constituyó un equipo de trabajo con diferentes expertos en biogeografía planctónica que se encargaron de la identificación taxonómica de los grupos más interesantes del plancton permanente:

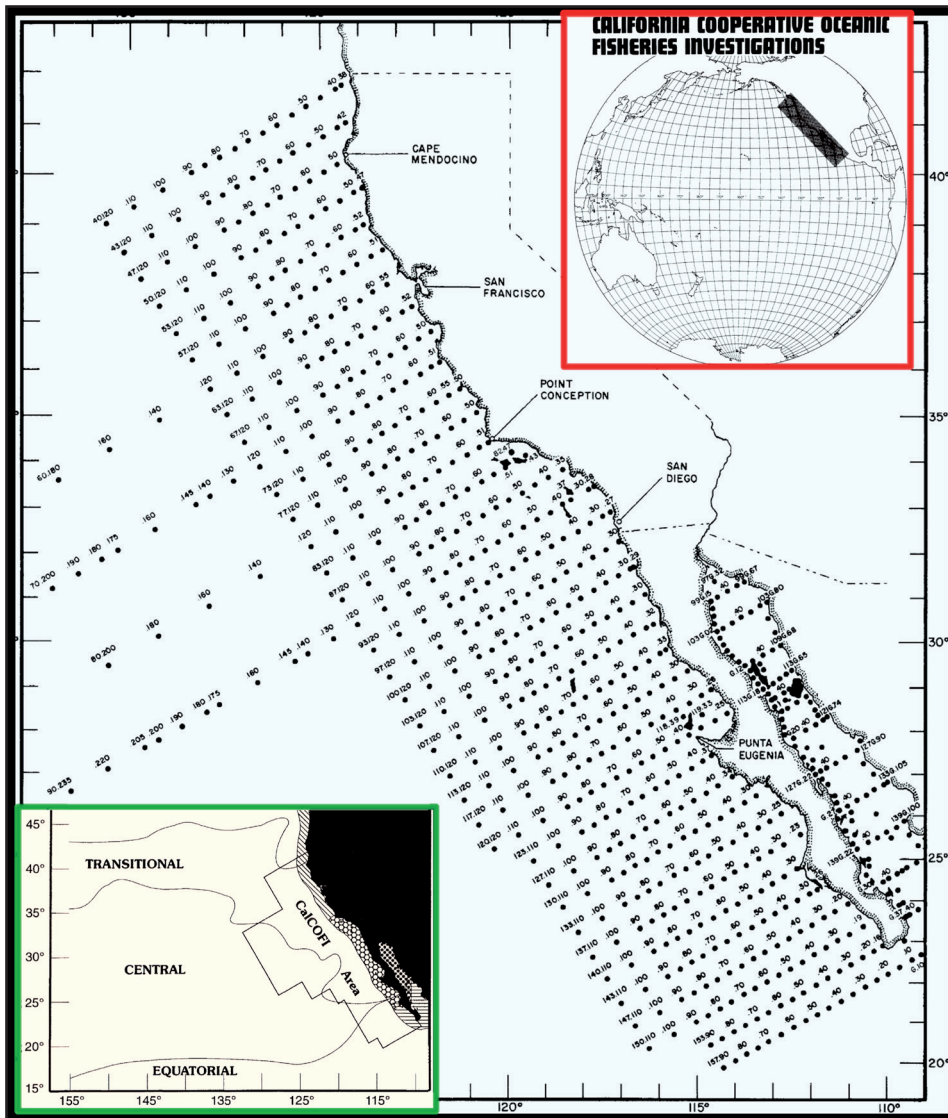


Figura 15. Área cubierta por los muestreos del programa CalCOFI en aguas de EEUU y México. Recuadro pequeño (abajo): delimitación de las tres masas de agua principales (Moser, 1996).

A. Alvariño (quetognatos), A. Fleminger (copépodos), E. Brinton (eufausiáceos), J. McGowan (moluscos pelágicos) y L. Berner (taliáceos). De las larvas de peces de gran número de especies se ocuparon principalmente E. Ahlstrom y H. Moser. Todos esos estudios biológicos fueron intensivos a lo largo de los

años y en 1969 Scripps ya podían presumir de conservar más de 60.000 muestras planctónicas: la mayor colección del mundo de un área marina concreta.

Efectivamente, fue en esa complicada e interesante área oceanográfica donde continuaría Alvariño su especialización profesional, con una beca en la nombrada Woods Hole (1956-1957), colaborando con Mary Sears, zooloquista experta especialmente en sifonóforos, quien la recomendó seguidamente al director de la Scripps. Trabajó la española de bióloga en esa última institución durante doce años (1958-1969), estudiando miles de muestras planctónicas obtenidas principalmente en el área de California. Recordaba años más tarde su llegada al citado organismo: *Me encontré con un océano de muestras de plancton para estudiar, e inicié con ansia y entusiasmo esos estudios con las colecciones obtenidas en ese año* [1958].

A esa institución dedicó una nueva especie descubierta (*Sagitta scrippsae*) útil indicadora de las aguas frías procedentes del Norte (Corriente de California) que se extendían extensamente en verano hacia el Sur. También analizó en su laboratorio colecciones de material biológico procedente de otras zonas del Pacífico, del Atlántico e Índico y se convirtió en una de las primeras mujeres en publicar un artículo en el acreditado *Bulletin* de la Scripps (1962: *Two new Pacific Chaetognaths: their distribution and relationship to allied species*). En esta nueva etapa profesional publicó 20 artículos científicos, mayoritariamente sobre chaetognatos (el 85 %), seguidos de los sifonóforos y las hidromedusas. Particularmente destacadas fueron sus publicaciones del quinquenio 1965–1969, que recibirían el mayor número de citas de toda su carrera profesional (Pérez-Rubín y Wulff, 2011).

En uno de sus celebrados artículos de 1965 identificaba a las diferentes especies de chaetognatos asociadas con las aguas cálidas o frías en el Sistema de la Corriente de California y también distinguió entre los taxones neríticos y mesopelágicos. Las especies propias del agua fría del norte incluyen a *Sagitta maxima* y *Eukronita hama* en profundidades mayores de 100 m, y a *S. scrippsae* en las capas superficiales. Igualmente ésta resultó ser un buen indicador de las aguas frías procedentes del Norte (Corriente de California) y variaban con ella: en invierno (solo al norte) y verano (con su máxima extensión, llegando al sur californiano). Por otro lado, mientras que *S. pacifica* es típica de agua cálida y central, *S. euneritica* es propia del sector costero. Completaba su investigación distinguiendo entre variadas especies caracterizables como “tropicales” o “mesopelágicas”.

Totalizaron más de 2.000 muestras de plancton del Pacífico (pertenecientes a 15 campañas de varias instituciones americanas) las analizadas por Alvariño para varias de sus publicaciones de 1962 a 1965. Con esa valiosa documentación generada acometió la elaboración del extenso monográfico *Distributional Atlas of the Chaetognatha in the California Current Region*,

que vio la luz en diciembre de ese último año (Alvariño, 1965). Para este trabajo seleccionó las muestras recogidas en las campañas mensuales de CalCOFI pertenecientes a dos años representativos de situaciones térmicas extremas: 1954 (año frío) y 1958 (cálido). Las numerosas figuras incluidas mostraban la variación de la abundancia estacional y distribución de las diferentes especies de quetognatos del área, información de gran interés para comprobar sus particulares relaciones con las respectivas masas de agua.

El año anterior había publicado otra importante monografía sobre la distribución de ese mismo grupo taxonómico en todo el océano Pacífico y en áreas próximas septentrionales y meridionales: *Bathymetric distribution of Chaetognaths* (Alvariño, 1964). Un quinquenio después completaría esa catalogación global con los sifonóforos mundiales, aunque con particular atención en las especies pacíficas (*Siphonophores of the Pacific with a review of the world distribution*), con más de 400 páginas y 66 figuras mostrando las distribuciones geográficas de otras tantas especies modélicas, donde también se concretaban las diferentes cotas batimétricas donde habían sido capturadas en las múltiples campañas analizadas (Alvariño, 1971).

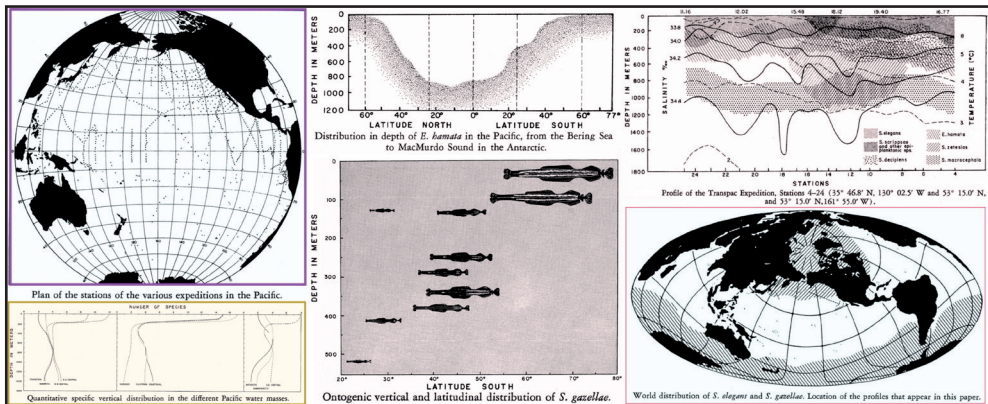


Figura 16. Selección de imágenes extraídas de la publicación de Alvariño (1964) sobre la distribución batimétrica de los quetognatos. Cartografía del Pacífico ubicando las estaciones de muestreo prospectadas en múltiples expediciones y estudio comparado de la variación vertical del número de especies en variadas masas de agua (columna izquierda). Dos tipos de gráficas muestran los particulares patrones de dos taxones concretos (centro). Distribuciones espaciales de las especies en función de variadas condiciones termo-salinas y repartición geográfica opuesta que presentan dos especies a escala global (columna derecha).

Un inciso para insertar una muestra del espíritu inquieto de Ángeles Alvariño y de su pasión investigadora en diferentes ámbitos. En 1966, aprovechando una larga estancia en Madrid, intentó localizar y recuperar antiguos datos

climáticos sobre California en los archivos históricos españoles, incluyendo al del Museo Naval. Probablemente seguía la recomendación de su colega John Isaacs, de la Scripps, que estaba convencido de que los diarios de navegación españoles de la ruta transpacífica del Galeón de Manila (1565-1815) debían contener series muy valiosas de información meteorológica del Pacífico.

Durante las dos décadas siguientes desarrollaría sus investigaciones en otro prestigioso instituto de investigación oceanográfica y pesquera en California: el Southwest Fisheries Center (dependiente de la NOAA), donde se incorporó en 1970 al equipo científico liderado por E. Ahlstrom, R. Lasker y A. Longhurst. Continuaron las prospecciones periódicas en el mar y diseñaron estudios experimentales enfocados a mejorar el conocimiento de los dos factores que se consideraba afectaban principalmente a la supervivencia de las primeras etapas del desarrollo de los pequeños peces pelágicos: inanición (grave debilidad individual causada principalmente por falta del alimento adecuado) y predación. Particularmente se complementaron las investigaciones sobre la ecología larvaria de la especie de anchoa del área (*Engraulis mordax*), al considerarse que era un componente muy importante del mismo ecosistema que compartía con la sardina. Mientras que los huevos de ambas especies son muy fáciles de distinguir por su diferente morfología (uno es esférico y el otro elíptico), las respectivas larvas solo pueden diferenciarlas los analistas entrenados.

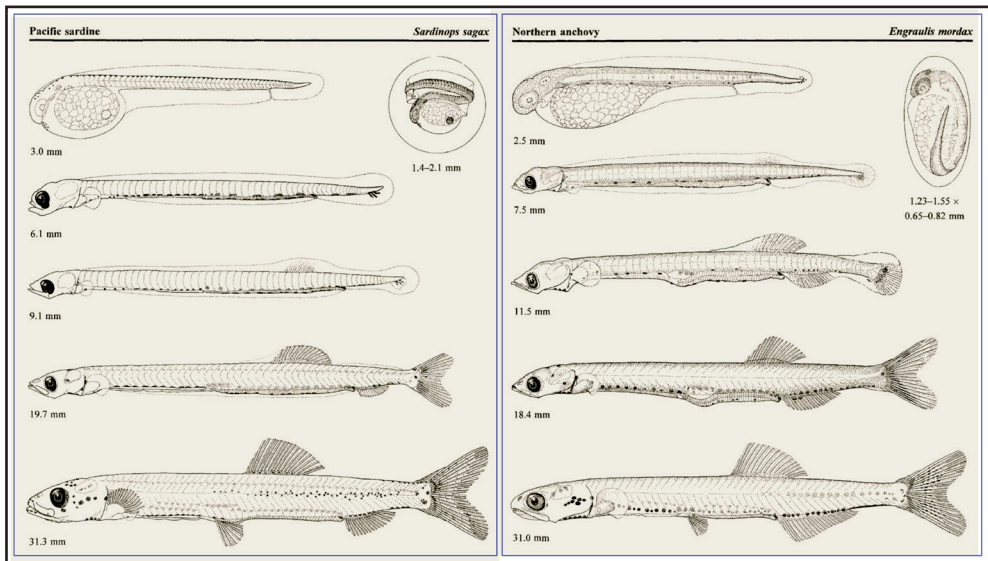


Figura 17. Huevos y fases larvarias de la sardina y anchoa del Pacífico (Moser, 1996).

Cómo se había comprobado en las muestras oceánicas del golfo de Maine que algunos eufausiáceos también devoraban larvas de peces, se decidió llevar a cabo experimentos sobre depredación en pequeños acuarios instalados en el laboratorio. Eligieron respectivamente dos de las especies más abundantes y significativas en la región de la Corriente de California, tal y como nos describe Alvariño: *Theilacker y Lasker (1973) mantuvieron en el laboratorio ejemplares de Euphasia pacifica junto con larvas de anchoa (Engraulis mordax), y observaron que estos eufausiáceos capturaban las larvas de anchoa recién nacidas, pero que cuando las larvas aumentaban de tamaño y con ello su movilidad y rapidez, las capturas se reducían progresivamente hasta llegar a cero (Alvariño, 1977).*

Durante esa renovada etapa de investigaciones experimentales, nuestra biografiada contribuyó en gran medida a desarrollar la ecología de la comunidad planctónica del área californiana, orientando su interés en la interpretación de la presencia espacial y temporal de las larvas de diferentes especies de peces en función de las particulares distribuciones presentadas simultáneamente por el zooplancton invertebrado depredador. A continuación resumimos una exposición divulgativa donde queda patente su amplia experiencia con clarificadores razonamientos científicos, describiendo las negativas consecuencias para las pesquerías de *la depredación en el reino del plancton* y explicando su aplicación a la biología pesquera. Excluye por tanto a los peces adultos que, aunque también son depredadores de peces jóvenes y larvas, no pertenecen a la comunidad planctónica, sino a la nectónica (al ser nadadores):

Mi experiencia personal en el estudio del plancton y el análisis crítico de la literatura relacionada con la mortalidad de las larvas de peces, demuestra sin lugar a refutación, que la depredación que ejercen los organismos carnívoros del plancton en las larvas de peces es probablemente el agente más importante en la mortalidad de las mismas. Así lo reconocen otros muchos autores. Por lo tanto, he tratado de enfocar mi investigación sobre este derrotero, y al fin he conseguido que fuese aceptado un proyecto de estudios de depredación en el reino del plancton, para que los resultados obtenidos se apliquen directamente a los estudios pesqueros.

Quetognatos, sifonóforos, condróforos, medusas, ctenóforos y otros zooplanctontes carnívoros consumen grandes cantidades de las delicadas larvas de peces, al mismo tiempo que compiten con ellas y los peces planctófagos en la captura del alimento [...].

En la región de California el accidente oceanográfico más importante es la Corriente de California, cuya acción hace variar la temperatura

de las aguas y el complejo faunístico de esa región, tanto en la calidad como en la cantidad de especies. Esta región oceánica presentó de 1944 a 1956 temperaturas más bajas que las normales, de 1957 hasta 1960 las temperaturas aparecían más elevadas, desde 1960 hasta 1964 las temperaturas fueron bajas en general, aunque no tanto como en la primera parte de la década de los cincuenta, y de 1965 hasta la fecha [1977] las temperaturas pueden considerarse elevadas o normales, pero no tan altas como en la segunda década de los 1950. Murphy indica que los años cálidos tienden a coincidir con una generación próspera de sardinas, y los años fríos con una generación pobre.

Durante los años de temperaturas bajas, los organismos depredadores estaban constituidos por especies grandes, de elevada capacidad depredadora, y sus poblaciones eran muy abundantes, mientras que en los años con temperaturas altas, las especies eran de menor tamaño y sus poblaciones no eran muy abundantes. También hay que indicar aquí, que las temperaturas bajas contribuyen a la prolongación de la fase larval y por lo tanto el período crítico de la vida de la larva se alarga, estando así expuesta durante más tiempo a las injurias ambientales y bióticas. De modo que en el caso descrito para la región de California, durante los años fríos, la depredación sería más activa, de mayor magnitud, y más intensa debido respectivamente a las características del plancton y a la extensión del periodo larval [...].

Mis datos inéditos sobre la abundancia en tiempo y espacio de varias especies de quetognatos y larvas de peces en la región de California (estudio de muestras mensuales sobre toda la región y durante varios años) indican que una abundancia elevada en las poblaciones de quetognatos coincide con escasez de larvas de peces y viceversa.

He observado que en el intestino de los quetognatos aparecen con más frecuencia larvas de peces en una fase de desarrollo avanzada que larvas en la fase del saco vitelino. Esto puede ser debido a que las larvas en la fase de saco vitelino son digeribles con mayor rapidez, o que los quetognatos detectan con mayor eficacia las vibraciones producidas al nadar por las larvas más desarrolladas que las recién nacidas. Es posible que ambos factores sean válidos, es decir, digestión rápida y mayor eficacia en la captura de larvas más desarrolladas, aunque éstas tengan un potencial natatorio mayor.

Hay por lo tanto que analizar y estudiar con detalle las múltiples facetas de la investigación relacionada con las poblaciones pesqueras, esto es, el estudio de los factores bióticos y abióticos, en relación con las poblaciones de larvas y juveniles, los peces en la fase de reclutamiento

en las pesquerías y la población adulta correspondiente. Entonces se conseguirá conocer y tratar de determinar los efectos que tales cambios ambientales producen en la pesquería, y se podrá predecir con gran aproximación la magnitud de la población pesquera [...].

Por todo lo expuesto se puede reconocer la magnitud de la devastación que afecta a las crías de los peces oceánicos, y por lo tanto deseo hacer énfasis sobre este tema para resaltar la necesidad de llevar a cabo más investigaciones relacionadas con depredación. Los valores específicos que se obtengan en estas investigaciones se podrán aplicar entonces a los cálculos correspondientes para determinar la abundancia de las poblaciones pesqueras y en consecuencia orientar con mayor precisión los varios aspectos de la pesca, su estrategia, conservación y la industria pesquera [...].

A continuación inserto algunos datos sobre la abundancia y alimentación de los organismos depredadores, quetognatos, celentéreos (medusas, condróforos, sifonóforos), ctenóforos y otros carnívoros que integran el reino del plancton [...].

Todos los celentéreos (condróforos, sifonóforos y medusas) son carnívoros, y se puede observar su acción depredadora en las poblaciones de peces. Poseen un sistema especial que produce un veneno que inyectan a sus víctimas, ocasionando en ellas un letargo, parálisis y muerte. La captura del alimento en los celentéreos y en varios ctenóforos está relacionado íntimamente con esta producción e inoculación de veneno [...]. La anatomía de los sifonóforos está perfectamente diseñada para pescar activamente y desplazarse rápida y furtivamente en el agua. Son transparentes en su mayor parte, y extienden sus redes de tentáculos que llegan a alcanzar varios metros. De las 150 especies reconocidas, solamente se ha observado el alimento en nueve especies, de modo que aquí hay todavía un amplio campo de estudio para los biólogos interesados en estas investigaciones [...]. Las medusas producen un veneno con el cual atacan a las víctimas, dejándolas inmóviles y dispuestas para ser devoradas con mayor facilidad. Todas son carnívoras, devorando larvas de peces y de otros animales de importancia comercial (crustáceos, moluscos) [...]. Adoptan formas variadas y caprichosas con multitud de gamas de colores. El estudio de estos animales es interesante para el conocimiento de la fauna, ecología, indicadores de condiciones oceánicas y depredación, así como en los modernos estudios farmacológicos en relación con las investigaciones médicas [...].

Los ctenóforos son tan voraces que barren prácticamente del plancton la región que habitan dejándola limpia, así ningún zooplanctonte

puede coexistir con ellos. En sus movimientos peculiares en circunvoluciones rizando el rizo, exploran grandes volúmenes de agua, y así capturan enormes cantidades de organismos [...] (Alvariño, 1977).

En su línea de trabajo sobre el estudio comparado entre las distribuciones de los predadores planctónicos con las larvas de anchoa (*Engraulis mordax*), continuó examinando al microscopio colecciones planctónicas mensuales de CalCOFI recogidas durante años mejor caracterizados térmicamente con respecto a las condiciones climáticas normales en la región: frío (1954), extremadamente frío (1956) y cálido (1958). En la publicación integradora (Alvariño, 1980), además de incluir los resultados del análisis de las poblaciones de especies predatoras (quetognatos, sifonóforos, condróforos, medusas y ctenóforos), aportaba datos sobre la abundancia de otros zooplanctontes presentes en las mismas muestras (copépodos, eufausiáceos, larvas de decápodos, pterópodos, heterópodos, poliquetos, salpas, doliólidos y pirosoomas). Obtuvo las siguientes conclusiones, destacadas en su resumen:

En general, la concentración de depredadores y larvas de anchoa aparecía en relación inversa. Se observó con frecuencia que en las zonas de surgencia no aparecían larvas de anchoa. Esta ausencia coincidía con la presencia de procordados, larvas de decápodos, pterópodos, heterópodos, y poliquetos; y la abundancia de larvas de anchoa concurría con gran cantidad de copépodos y eufausiáceos. Este hábitat podría denominarse “agua de anchoa”.

Los análisis del contenido estomacal de los depredadores y las correspondientes muestras planctónicas han demostrado que cuando abundaban en el plancton copépodos y eufausiáceos, los depredadores ingerían menos larvas de peces (Alvariño, 1980).

En un artículo posterior retoma esas investigaciones con la anchoa (cuando era *el pez más abundante en la región*) e identifica a los sectores con presencia de las mencionadas aguas frías de afloramiento o surgencia durante aquel trienio (1954/1958). Añade al análisis unos completos muestreos estacionales llevados a cabo en 1969, durante el día y la noche, en ocho niveles batimétricos comprendidos desde los 600 m hasta la superficie. Tras mucho esfuerzo y paciencia consiguió identificar a un quetognato como indicador de esas zonas frías de gran productividad y sus resultados numéricos mostraban una íntima relación inversa entre las mencionadas aguas de surgencia y la abundancia de dichas larvas. Éstas resultaron ser más frecuentes en primavera, y más escasas e infrecuentes en el invierno y en las mencionadas zonas de afloramiento:

Las larvas de anchoa abundan en aguas caracterizadas por elevada densidad de poblaciones de Sagitta euneritica, S. bierii, Muggiaea atlántica y copépodos [...].

Las surgencias se presentaron con mayor intensidad en 1956 (11,1 %), con mínimos en 1954 (1,4 %) y con intensidad intermedia en 1958 (5,1 %) [...]. Al parecer las surgencias han sido más activas en 1969 que en los otros años estudiados. La abundancia de S. decipiens en los estratos de 0 a 100m de profundidad puede considerarse un índice de afloramiento y de su intensidad, y así resulta el invierno con mayor abundancia y frecuencia de este indicador planctónico, seguido del otoño, verano y primavera (Alvariño, 1985).

Son resultados muy clarificadores y particularmente interesante la confirmación de que en el año “extremadamente frío” de 1956 las surgencias se presentaron con mayor intensidad (para los otros dos años los resultados se alejan de lo esperado *a priori*).

Otras especies de peces de interés económico estudiadas por Alvariño tiempo después fueron ejemplares adultos de la albacora (*Thunnus alalunga*) y larvas del jurel (*Trachurus symmetricus*), encontrando con ambos una correlación positiva entre sus distribuciones y las del quetognato *Sagitta scrippsae* (Alvariño, 1983a).

Como paralelamente ella mantenía su interés en los sifonóforos de las aguas de California y Baja California, aprovechó igualmente los muestreos intensivos de aquel año 1969 para conocer la variación estacional en la abundancia y distribución batimétrica diurna y nocturna de gran número de especies. Condensó toda la información disponible, publicada principalmente por ella misma con anterioridad, ampliando de forma notable la relación de especies con nuevas y destacadas aportaciones (Alvariño, 1991).

Importantes mejoras metodológicas habían comenzado a aplicarse en las prospecciones planctónicas desde comienzos de la década de los 80, pues se diseñaron nuevos modelos de redes que permitían la obtención de capturas más rápidas y precisas de los huevos y larvas de anchoa, junto con el resto de la comunidad planctónica presente. Un detallado informe firmado por Alvariño y Kimbrell (1987), exponía a la comunidad científica los resultados obtenidos en la identificación faunística del zooplancton capturado en cuatro campañas oceanográficas estacionales del período 1981-1985 (totalizando 243 colecciones), con las redes de los modelos Calvet y Pairovet. Estos análisis taxonómicos se enmarcaban en un ambicioso proyecto liderado por R. Lasker (1929-1988) consistente en un método multidisciplinar dirigido a la estimación de la biomasa desovante de esa especie de pez de interés pesquero

basado en la información sectorial aportada por especialistas en diferentes campos. Simplificando mucho la base teórica podemos decir que se apoya en la consideración de que, en un área marina concreta, la producción de huevos de la especie objetivo durante su época de puesta es proporcional al peso de la fracción madura de la población. Para poder aplicar el modelo matemático también hay que investigar durante la campaña oceanográfica determinados parámetros de los peces adultos, como la proporción de sexos y la fecundidad relativa en toda el área prospectada.

Al nombrado Lasker también se debieron estudios pioneros para avanzar en la comprensión de las causas de la mortalidad de las larvas de peces, que dieron lugar al desarrollo de renovadas técnicas capaces de mostrar en esas fases de desarrollo sus particulares crecimiento y estado de condición fisiológica. Concretamente durante la época de desove de la anchoa se implementaron estudios de campo intensivos en diferentes sectores del sur de California (aguas costeras y de mar abierto), dirigidos específicamente a relacionar procesos medioambientales marinos con la probabilidad de supervivencia larvaria, como avance para el proceso de reclutamiento. Apoyados con la toma de datos físico-químicos y bióticos, y el empleo de boyas subsuperficiales a la deriva para un seguimiento *in situ* de las variaciones locales diarias. Alvariño participó en estas investigaciones y los resultados obtenidos sugerían que la puesta de los bancos de adultos de la especie no era indiscriminada sino que los ejemplares maduros tendían a desovar bajo condiciones que permitieran la posterior supervivencia de la prole (Owen et al., 1990).

Otras áreas distantes

El amplio interés de Alvariño por regiones muy alejadas de su área de trabajo más cercana (el Pacífico) queda patente en la descripción que hace de las fluctuaciones en las pesquerías del caladero canario-sahariano (otra gran área de afloramiento con altísima producción pesquera), basándose en una publicación de sus compatriotas José Luís Cort (IEO, Santander) y Germán Pérez-Gándaras (Instituto de Investigaciones Pesqueras, Vigo), avisando ella a sus colegas americanos de la pesca intensiva internacional que ya se estaba produciendo en esa área frente al entonces denominado Sahara Español:

[Los cefalópodos] *Octopus vulgaris*, *Loligo vulgaris* y *Sepia officinalis* aparecieron en gran abundancia en el Banco Sahariano en 1966-1967, en un área que abarca desde 23 °N hasta 25° N con profundidades de unos 50 m frente al Sahara Español (según Cort y Pérez-Gandaras en 1973). Se observó que los espáridos (*Dentex dentex*, *D. canariensis* y *Pagrus pagrus*) habían disminuido drásticamente en esa región desde

1960 debido a que se había venido practicando una pesca excesiva en estas poblaciones. Simultáneamente con esta desaparición de los espáridos, se observó que las poblaciones de cefalópodos aparecían en gran abundancia, y devoraban grandes cantidades de larvas de espáridos. En otras épocas, cuando estos espáridos eran muy abundantes en el Banco Sahariano, las poblaciones de cefalópodos estaban controladas por la actividad depredadora de los espáridos. Se observó así mismo que en otras zonas próximas a esta región, donde las poblaciones de peces no han sido sometidas a una pesca excesiva, se mantiene un equilibrio entre las poblaciones de peces y cefalópodos, de carácter semejante a la que existía antes en el Banco Sahariano. De modo que lo que ahora sucede es, que las poblaciones de peces no pueden recuperarse debido al ataque depredador que ejercen los cefalópodos, al devorar las larvas, y a su vez los peces no son suficientes para consumir cefalópodos, así que estos estarán solo controlados por la escasez de alimento, ya que no existen peces en número suficiente para mantener reducida la producción de cefalópodos, y por una pesca intensiva que precisamente está iniciándose en aquella región (Alvariño, 1977).

Por otro lado, debido a su sólida y amplia formación en diferentes grupos planctónicos de distribución mundial fue requerida en numerosas ocasiones para analizar muestras de las extensas campañas oceanográficas que desarrollaron los EEUU en la década de los años 60 en extensas áreas oceánicas que todavía no se habían investigado convenientemente. En general incluyeron la necesaria colaboración de otros países, destacando las denominadas: *Naga Expedition* (1959-1961, en el golfo de Tailandia y mar del Sur de China), *International Indian Ocean Expedition* (1959-1965), conocida abreviadamente como *Monsoon Expedition*, para estudiar oceanográficamente el complejo sistema de corrientes en el Índico y la meteorología, y el *U.S. Antarctic Research Program* (1963-1967, prospecciones con el R/V *Eltanin* y capturas planctónicas a más de 1.000 m de profundidad). En esta última serie se abarcaron en las prospecciones las aguas antárticas, subantárticas y de regiones adyacentes del Atlántico y Pacífico.

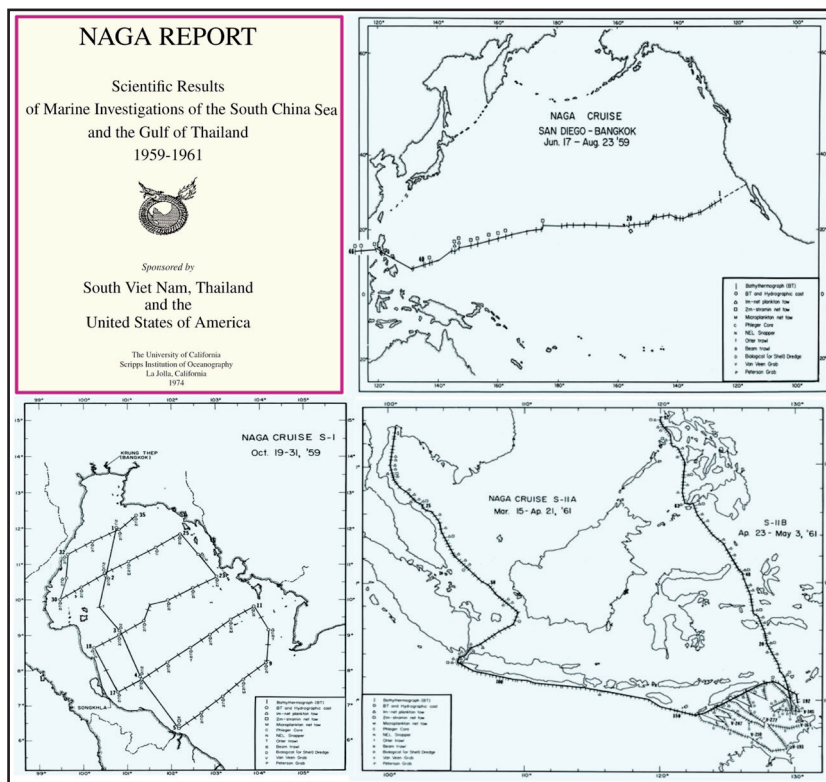


Figura 18. Muestra de la cobertura espacial de varias campañas de la serie NAGA (1959-1961): atravesando el Pacífico, en el golfo de Tailandia y mar del Sur de China (Faughn, 1974).

En varias publicaciones desarrolló Alvariño su interés investigador por conocer las inestables e imprevisibles situaciones oceanográficas que se presentaban en aquellas regiones del planeta donde confluyen aguas de diferentes océanos, convirtiéndose en muy variables y complejos escenarios de transición donde se diluyen las barreras o fronteras físico-químicas en amplias zonas de mezcla de masas de agua y especies planctónicas de orígenes geográficos muy distantes.

Un caso paradigmático es el estrecho de Magallanes, donde se presenta una gran dificultad práctica para llegar a delimitar inequívocamente las muy cambiantes influencias de las aguas del Atlántico y Pacífico. Este interesante sector de estudio está incluido en la actualidad dentro del área biogeográfica denominada “Sudamérica Antiboreal” o “Magallánica”, región que se extiende desde los 42° S hasta la Convergencia Antártica, incluyendo a las islas Malvinas.

Otro enclave fronterizo atlántico-pacífico muy interesante oceanográficamente se constituye en relación con el Canal de Panamá, donde la Scripps llevó a cabo prospecciones entre 1962-1969 que incluyeron el Caribe y sectores pacíficos adyacentes al Canal. Alvariño publicó en 1974 un estudio comparado sobre las diferencias en la distribución espacio temporal de los sifonóforos entre esta área americana (figura 19) y la muy distante mediterránea del Canal de Suez (figura 13). Los resultados preliminares se presentaron a un congreso internacional en Montecarlo (*Symposium on Biological Effects of Interoceanic Canals*), a falta de la información hidrográfica complementaria que no se la facilitaron a tiempo los oceanógrafos físicos responsables. La publicación resultante era un complemento de sus anteriores estudios sobre ese mismo grupo taxonómico en regiones oceánicas trópico-ecuatoriales (Alvariño, 1968 y 1972b) y en el Pacífico central americano (Alvariño, 1971), completando este último con una recopilación de datos sobre las variadas distribuciones a escala global.

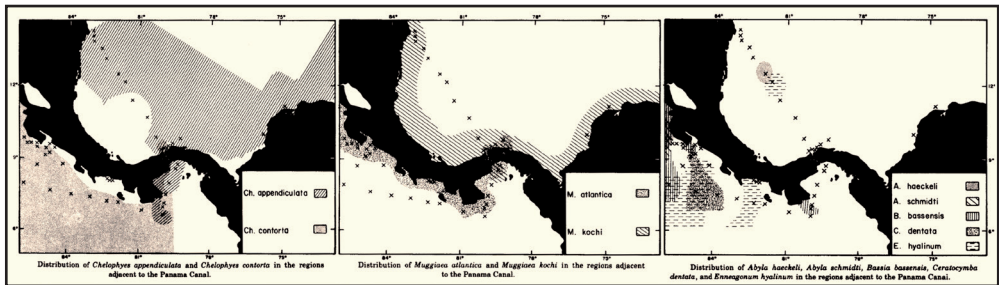


Figura 19. Distribuciones espaciales de sifonóforos en el Canal de Panamá. Estudio basado en el material colectado por campañas de la Scripps en el Caribe y sectores del Pacífico adyacentes al Canal (1962-1969) (Alvariño, 1974a).

El Índico

En otro artículo de 1974, publicado por la Marine Biological Association de la India, demostraba la importancia del océano Índico como origen de especies planctónicas y trascendental enlace biológico uniendo los océanos Pacífico y Atlántico (Alvariño, 1974b). También muy destacable la presencia en el Índico de especies de peces procedentes del Mediterráneo, como demostraba en ese mismo número de la revista el ictiólogo Enrico Tortonese.

Los orígenes del interés oceanográfico internacional por esa extensa área se remontan a la famosa y multitudinaria Expedición Internacional al Océano Índico (1959-1965), que incluyó los mares adyacentes. Se planificó porque era

en aquella época el menos conocido científicamente de los océanos no polares y sus abundantes recursos pesqueros estaban escasamente aprovechados. Las investigaciones abarcaron la oceanografía física y química, la meteorología, la biología marina, la geología marina y la geofísica. Contaron a lo largo de los años con 46 buques de investigación, bajo 13 pabellones diferentes, con la participación más importante y numerosa de nueve países y prospecciones simultáneas de grandes buques como el inglés *Discovery* y el estadounidense *Anton Bruun* de la Woods Hole, con una brillante dirección de los estudios biológicos a cargo de John Ryhter (1922-2006). Ese buque americano, un exyate presidencial reformado convenientemente, se convirtió durante dos años en un gran laboratorio flotante multicultural con científicos invitados de 16 nacionalidades diferentes, incluida la española.

La incidencia científica del proyecto resultó trascendental y se desarrollaron nuevos métodos de exploración conjunta del océano. Para Tailandia, India y Pakistán significó el necesario impulso nacional para sus respectivos programas oceanográficos. Incluso se publicó un libro divulgativo patrocinado por la UNESCO, traducido en España, donde se plasmaba: *la dimensión humana de la expedición, con comentarios personales de los participantes, los éxitos y fracasos, las controversias y la pasión que suscita la investigación científica* (Behrman, 1981).

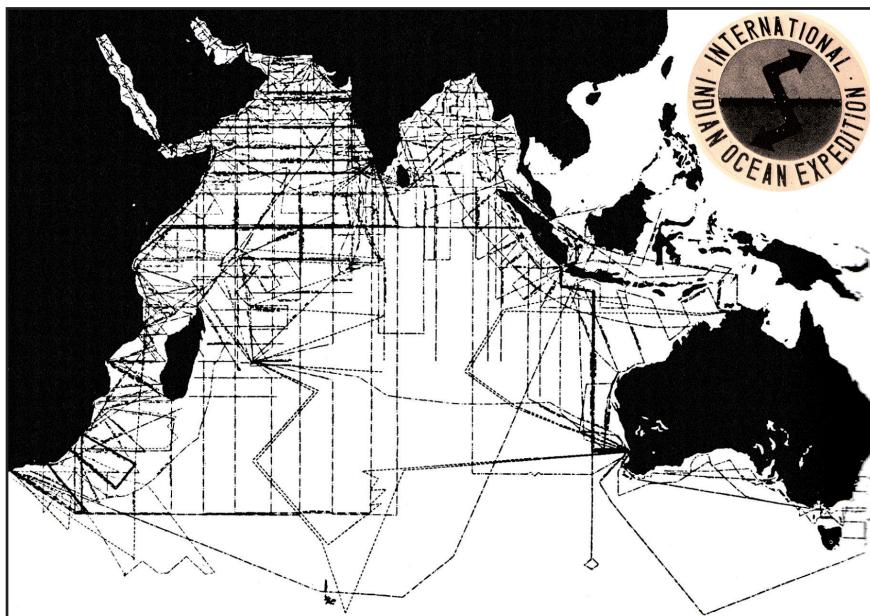


Figura 20. Perfiles de muestreo de diferentes buques oceanográficos participantes en la International Indian Ocean Expedition, 1959-1965 (Behrman, 1981).

Las investigaciones meteorológicas fueron independientes y desarrollaron un Experimento Global de la Atmósfera con el mayor despliegue de medios de todos los tiempos (9 buques meteorológicos, 100 aviones de investigación, 5 satélites meteorológicos, 300 globos de gran altura, boyas a la deriva en el océano Austral, etc).

En la última década de nuestro siglo se han intensificado las investigaciones internacionales en dicho océano Antártico o Austral (Southern Ocean), por su destacado protagonismo en el acoplamiento del océano con la atmósfera y criósfera (áreas heladas), en íntima relación con la variabilidad climática global. Se monitorean actualmente tanto las conexiones oceanográficas Indo-Atlánticas como las Indo-Pacíficas. Ecológicamente esta última región, reconocida como centro global de biodiversidad, abarca una amplia y compleja variedad de áreas marinas, incluyendo al propio océano Índico, el sector templado y tropical del Pacífico Oeste con sus mares marginales adyacentes, y los del sudeste asiático.

Precisamente el año pasado, coincidiendo con el cincuentenario de esa magna Expedición, en la 47ª reunión del Consejo Ejecutivo de la UNESCO (julio 2014), se estudió la propuesta de participación de su Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) en una segunda Expedición Internacional al Océano Índico, después de que se elabore un plan de investigación dirigido por el Comité Científico de Investigaciones Oceánicas (SCOR).

Sus aportaciones taxonómicas

La descripción de nuevas especies para la zoología marina representó cerca del 17 % del total de los artículos científicos de Alvariño, y fueron publicados entre los años 1961 y 1988. Corresponden a 22 especies descubiertas por ella: 12 de quetognatos (8 pelágicos y 4 bentónicos), 9 de sifonóforos y 1 hidromedusa. Su reparto geográfico muestra que la mayor parte de las especies (el 41 %) son propias del Pacífico Norte –incluyendo muestras de California, Méjico y las islas Hawaii y Marshall–, siguiéndoles en orden decreciente las de otras áreas más distantes: Pacífico Sur y Antártida, mar del Sur de China y golfo de Tailandia, y océano Atlántico (Pérez-Rubín y Wulff, 2011).

La gran calidad científica de las ilustraciones de Alvariño sigue siendo reconocida en trabajos actuales, como en la guía del zooplancton del Índico de Conway et al. (2003), quienes reproducen las figuras de 16 especies descritas originariamente por ella de forma magistral (*the wonderfully detailed drawings of chaetognaths by Angeles Alvariño*).

Particularmente artística resultó su representación gráfica del muy infrecuente y particularmente bello ejemplar del sifonóforo *Epibulia ritteriana* (Alvariño, 1972a), descrito originariamente por el naturalista Haeckel en 1888

en base al individuo capturado seis años antes en la emblemática campaña del buque *Challenger* a la altura de Ceylán. Sin embargo no fue especie aceptada en el siglo XX por los especialistas Totton y Bargmann, que la consideraron probablemente irreal e idealizada en la artística ilustración original del autor alemán. Alvariño obtuvo su ejemplar en aguas del Atlántico SO y según un investigador actual (Boltovskoy) podría tratarse de otra especie diferente: *Rhizophysa filiformis*.

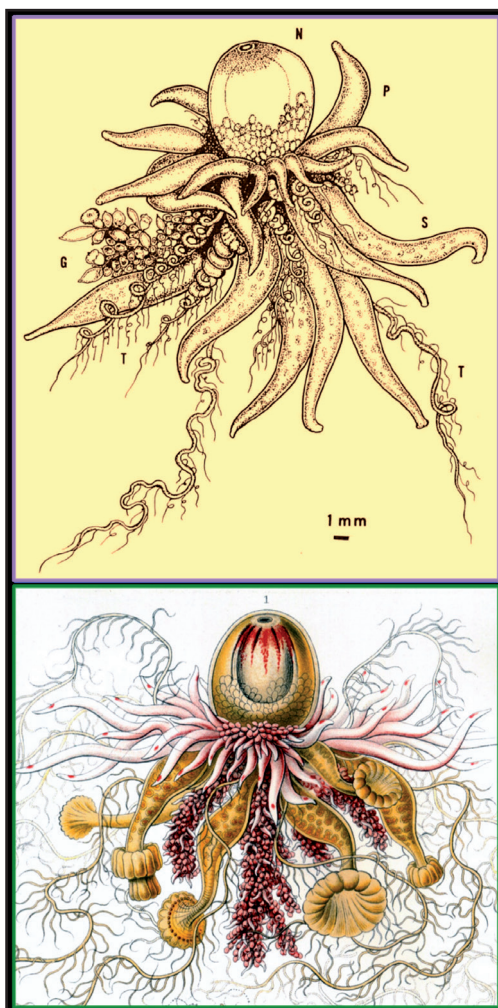


Figura 21. Representaciones gráficas del sifonóforo (colonial) *Epibula Ritteriana* Haeckel (1888). El dibujo técnico original de arriba corresponde al ejemplar descrito por Alvariño (1972a), y contrasta con la ilustración aparentemente más fantástica e idealizada de Haeckel (1904, *Kunstformen der Natur*).

Al igualmente raro y pequeño cefalópodo *Alloposus mollis* corresponden sus destacadas ilustraciones para la contribución científica que firmó con su colega J. R. Hunter, y que reproducimos con varios detalles anatómicos en la figura 22 (Alvariño y Hunter, 1981).

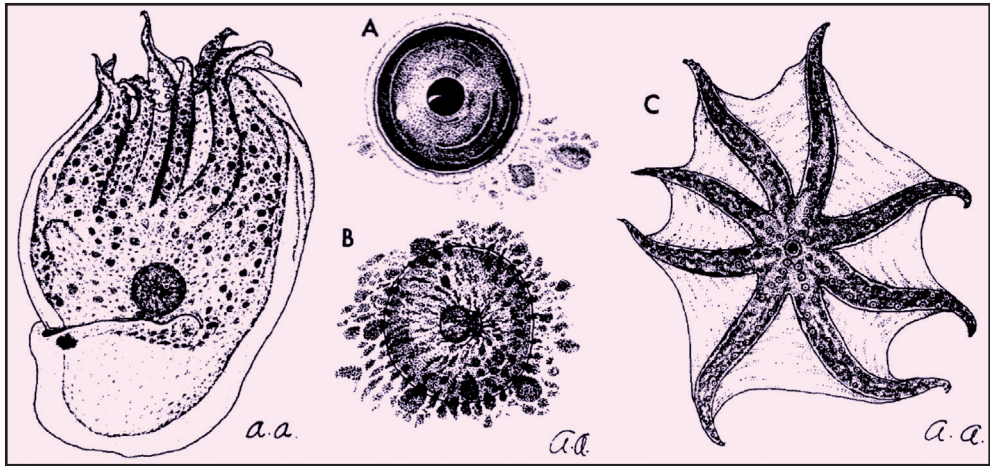


Figura 22. El poco frecuente cefalópodo *Alloposus mollis*. Vista lateral (izquierda), con detalles de los ojos (A, B) y de la corona de tentáculos con su membrana (Alvariño y Hunter, 1981).

En el trío de figuras 23 a 25 hemos seleccionado y agrupado una amplia colección de imágenes originales de Alvariño publicadas durante el período 1967-1988, correspondientes a una muestra de una docena de especies nuevas halladas y descritas por ella: quetognatos (*Spadella legazpichessi* y *S. pimukatharos*), medusa (*Pandea cybeles*) y sifonóforos (*Nectocarmen antonioi*, *Vogtia kuruae*, *Thalassophyes ferrarii*, *Lensia lelouveteau*, *L. eugenioi*, *Heteropyramis alcalá*, *L. eltanin*, *L. reticulata* y *L. landrumae*). En la leyenda de cada figura detallamos las diferentes fuentes bibliográficas utilizadas.

Figuras 23-25. Detalladas descripciones de dos especies nuevas de quetognatos bentónicos del género *Spadella* descubiertas por Alvariño: *S. legazpichessi* (izquierda) y *S. pimukatharos*. Vistas dorsales de la cabezas (letras A) y colas (B), junto con las secciones laterales del dorso (C) y vientre (D) (Alvariño, 1981 y 1987) [Figura 23]. La medusa *Pandea cybeles*, detallando los bulbos en los tentáculos marginales (A) y las gónadas (B) (Alvariño, 1988) [Figura 24]. Montaje del autor a partir de una selección de imágenes extraídas de varias publicaciones de Alvariño sobre nuevas especies de sifonóforos descubiertas, descritas y dibujadas por ella. Un individuo completo de *Nectocarmen antonioi* de unos 20 cm de longitud (izquierda, incluyendo gastrozooides en el recuadro). Nectóforos de *Vogtia kuruae* (1), *Thalassophyes ferrarii* (2), *Lensia lelouveteau* (3, eudoxio completo), *L. eugenioi* (4), *Heteropyramis alcalá* (5), *L. eltanin* (6), *L. reticulata* (7) y *L. landrumae* (8) y según Alvariño, 1967, 1983b; Alvariño y Wotjan, 1984; Alvariño y Frankwick, 1983) [Figura 25].

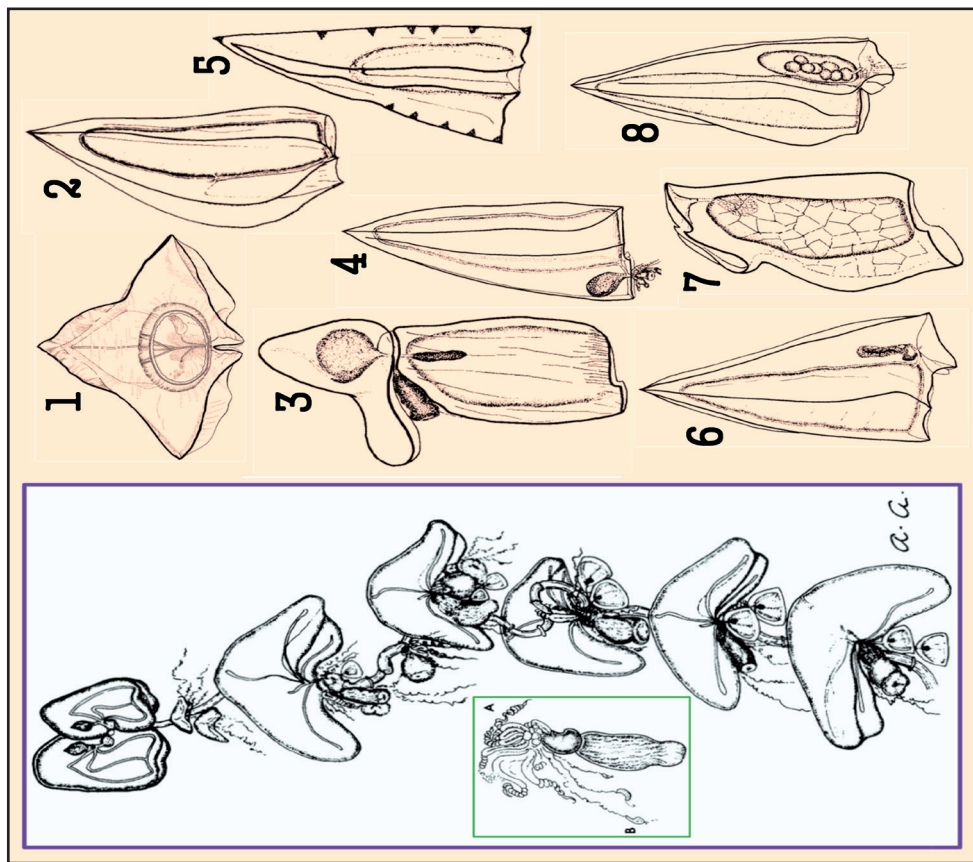


Figura 25.

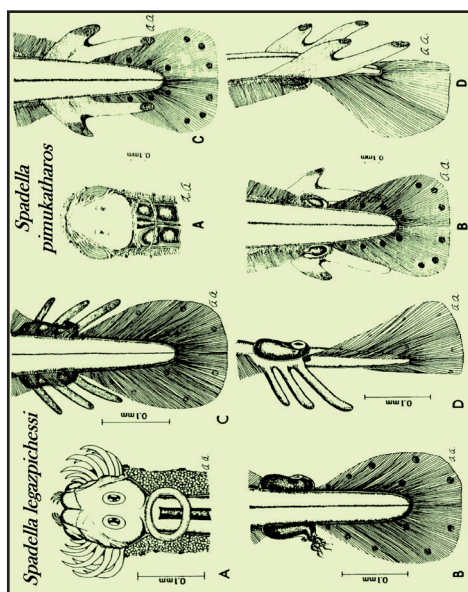


Figura 23.

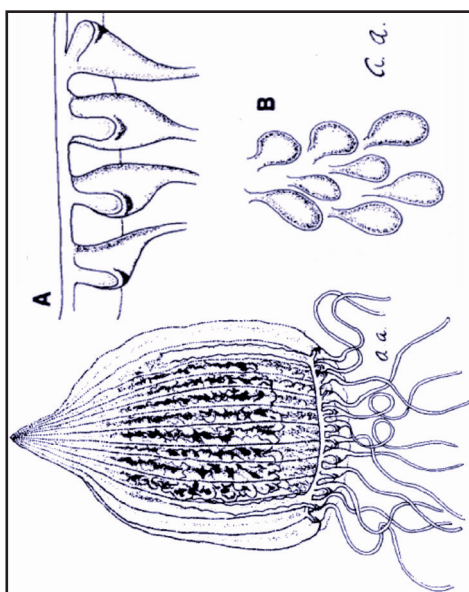


Figura 24.

La divulgación

Fue autora, junto con su colega Olegario Rodríguez (1916-2009), de dos libros de divulgación de cerca de un centenar de páginas cada uno: *Angulas y anguilas* y *La merluza, el bacalao y especies afines*. En la primera obra (Rodríguez y Alvariño, 1951) se mencionan a un total de 50 especies de peces que incluyen a 22 de anguilas de todo el mundo. Como la especie objetivo es la europea se repasan las investigaciones sobre ella llevadas a cabo por varios científicos, particularmente el danés Johannes Schmidt (1877-1933) que tras muchos años de estudio pudo demostrar la migración de las anguilas adultas del Atlántico y Mediterráneo al mar de los Sargazos para reproducirse y el posterior proceso de dispersión de sus larvas (leptocéfalos), que llegarán hasta los ríos de origen de sus padres y se transformarán en la codiciada angula. Describen en detalle los variados procesos implicados en cada una de las fases del ciclo biológico de la especie, sus particulares parásitos y enemigos naturales, las diferentes modalidades para la pesca de adultos y angulas, con la respectiva legislación española vigente, las operaciones para un correcto proceso de ahumado que alargue su conservación y una veintena de recetas culinarias. Con todo ese interesante conjunto de información se trataba de revalorizar a la especie y promover su consumo en los hogares españoles.

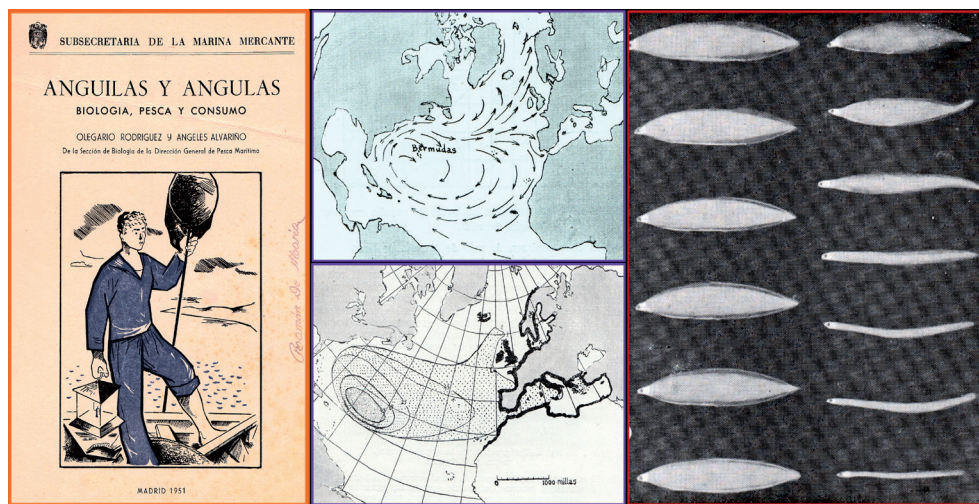


Figura 26. Imágenes del libro *Anguilas y angulas. Biología, pesca y consumo* (Rodríguez y Alvariño, 1951). En el centro se representa gráficamente el sistema de corrientes del Atlántico Norte (arriba), con las áreas de puesta y distribución de las larvas de *Anguilla anguilla* (según Schmidt). En la colección ordenada de individuos incluidos en la fotografía se comprueban las sucesivas transformaciones morfológicas desde la larva leptocéfala hasta alcanzar la fase de angula.

El largo título del segundo volumen resumía perfectamente su contenido: *La merluza, el bacalao y especies afines. Peculiaridades de su vida y del medio en que se desarrollan y se les captura, reproducción, crecimiento y migraciones. Información gráfica de la pesca en Terranova* (Alvariño y Rodríguez, 1956). Con esa obra, complementada con un apartado histórico por J. de Castro, el Instituto Español de Oceanografía inauguraba la nueva serie de *Publicaciones Informativas* sobre el mar, que tenía un claro objetivo: *Colección destinada a llevar al gran público –de un modo ameno y por medio de las documentaciones más recientes y completas– el conocimiento en sus diversos aspectos de la vida en el océano, tan compleja y llena de interés. Se pondrá al alcance de los lectores las apasionantes peculiaridades y costumbres de los habitantes del mar; sin prescindir del necesario verismo científico, pero a través de relaciones sencillas y de estilo fácil, que excluyan toda aridez de carácter exclusivamente técnico.*

El éxito y pervivencia de esa publicación quedaba patente 15 años después cuando el diario *ABC* (1966) dedicó su sección de Páginas del Mar al reportaje del periodista especializado en información marítima Teófilo G. Calatrava (*Las campañas bacaladeras*), donde se revalorizaban a los sufridos pecadores y las investigaciones de los científicos: *En aquellas aguas frías hay que buscar al bacalao y allí los pescadores le buscan. Vayamos tras él, de la mano de estos buenos amigos nuestros, los marineros o trabajadores y productores del mar, y asimismo de la mano amiga de nuestros biólogos marinos, científicos o investigadores –como Ángeles Alvariño y Olegario Rodríguez, que aquí vienen a acompañarnos– consagrados al estudio de la vida animal y vegetal de las aguas, de cuanto alienta en el líquido elemento.*



Figura 27. Resumen fotográfico del libro divulgativo *La merluza, el bacalao y especies afines* (Alvariño y Rodríguez, 1956).

Concluyendo, queremos recordar la contribución de Alvariño a la historia de las expediciones científicas españolas, sobre las que consiguió que la Xunta de Galicia le publicara un libro pocos años antes de su fallecimiento: *España y la primera expedición científica oceánica, 1789–1794. Malaspina y Bustamante con las corbetas Descubierta y Atrevida*. En él cuenta cómo en 1966 se encontró casualmente, en el despacho del subdirector del Museo Naval de Madrid (Roberto Barreiro-Meiro, cartógrafo militar e historiador): *un álbum con magníficas acuarelas de peces, que contemplé extasiada de admiración [...]. Me interesaba muchísimo conocer más sobre dicha expedición, que desconocía. No podía comprender mi ignorancia, yo, un científico, no saber que España había patrocinado una expedición científica preferentemente oceánica, y por lo tanto oceanográfica* (Alvariño, 2002).

Aquel marino militar debió recomendarle entonces dos publicaciones muy importantes, consideradas actualmente como joyas de la bibliografía hispana sobre las expediciones marítimas nacionales, y que Alvariño compró ese mismo día para su biblioteca particular. Concretamente la monografía de 1885, con grabados y más de 700 páginas, del teniente de navío Pedro de Novo y Colson sobre aquel memorable periplo ultramarino (*Viaje político-científico alrededor del mundo por las corbetas Descubierta y Atrevida al mando de los capitanes de navío D. Alejandro Malaspina y D. José de Bustamante Guerra desde 1789 a 1794*). Y la edición limitada de una selecta colección de 78 *Mapas españoles de América (siglos XV-XVII)*, con textos de varios académicos de la Historia, impresa en 1951. De esta obra adquirió otro ejemplar para la biblioteca institucional de la Scripps.

Completaría su documentación personal encargando al servicio de reprografía del Museo Naval copias, en formato diapositiva, de todas las ilustraciones zoológicas de dicha expedición existentes en su Archivo. Cuando recibió esa información gráfica en California la compartió orgullosa con sus compañeros oceanógrafos (*los directores y colegas en Scripps estaban maravillados de la belleza y precisión de las ilustraciones de peces, aves y otros animales. Querían que se divulgase este hallazgo*). Fue estudiando todos los textos e imágenes recopilados sobre la antigua cartografía española de América y la Expedición Malaspina, que abarcaban los mencionados cuatro siglos (XV-XVIII). Sobre todo ese rico y desconocido material de interés científico impartiría en los siguientes años bastantes conferencias en varias instituciones y universidades, tanto estadounidenses como latinoamericanas.

Durante las décadas posteriores continuó acopiando pacientemente bibliografía actualizada internacional sobre las imágenes zoológicas originales de aquel periplo ultramarino liderado por Malaspina y Bustamante. Suponemos que le serviría de gran ayuda el exhaustivo catálogo en dos tomos, superando el millar de páginas, de Carmen Sotos Serrano, publicado en Madrid

por la Real Academia de la Historia: *Los pintores de la expedición de Alejandro Malaspina* (1982).

Pudo impulsar Alvariño estas investigaciones históricas cuando tras su jubilación un colega y directivo del Southwest Fisheries Center, John R. Hunter, permitió que continuara en la institución como científica emérita, manteniendo su despacho y laboratorio, así como la colaboración de la muy competente bibliotecaria (Debra Losey) para obtener la bibliografía actualizada que iba solicitando. En el epílogo de ese su último libro confirmaba que había finalizado este interesante proyecto histórico con vistas a su divulgación, aunque lamentablemente su fallecimiento impidió que llegara a publicarse.

Consideramos que sería muy recomendable editar en 2016, coincidiendo con el centenario del nacimiento de su autora, ese trabajo inédito, basado en su particular selección de ilustraciones de peces y: *de organismos del zooplankton marino y otros invertebrados, [... con los que] se establece la identidad sistemática de cada especie con su descripción, distribución, reproducción, ciclo vital, migraciones, comportamiento y características de las poblaciones* (Alvariño, 2002).

Su hija, Ángeles Leira Alvariño, nos ha confirmado que está transfiriendo a un ordenador el borrador que su madre le dejó y de esa manera organizará convenientemente toda esa documentación histórica, que le gustaría saliera a la luz como su última obra póstuma. El manuscrito consta de 575 páginas (a doble espacio) incluyendo 266 mapas, fotos e ilustraciones complementarias.

A la vista de la bibliografía histórica más actualizada disponible podemos afirmar que esa expedición fue la más importante de las 63 comisiones científicas que la España ilustrada envió a América y Filipinas durante el siglo XVIII. La ingente documentación generada se custodia principalmente en Madrid, repartida entre los archivos del Real Jardín Botánico y de tres museos: Naval (cerca de 5.000 documentos), Nacional de Ciencias Naturales y de América. De dibujos y acuarelas se conservan más de 820 originales (mayoritariamente de botánica). Como no se pudo impedir que una parte del material gráfico acabara en el extranjero, actualmente se encuentra documentación original repartida entre el Museo Británico, la Biblioteca de Sidney y las universidades americanas de Chile, California y Yale (Pérez-Rubín, 2011). En la figura 28 aportamos una pequeña muestra de imágenes originales de la Expedición Malaspina (1789-1794) conservadas en el Museo Naval de Madrid.

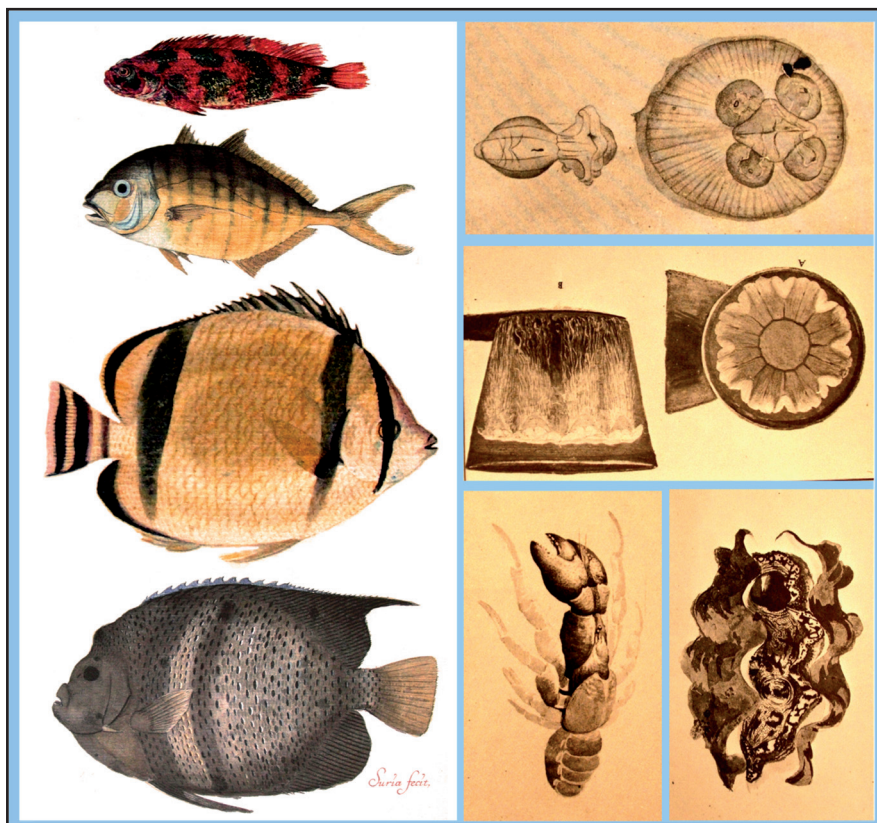


Figura 28. Selección de imágenes originales de peces e invertebrados marinos, creadas por diferentes artistas participantes en la pluridisciplinar Expedición Malaspina (1789-1794) y custodiadas en el Museo Naval de Madrid (Pérez-Rubín, 2011).

Impacto de su obra en el siglo XXI

Alvariño obtiene su primer gran reconocimiento como científica de prestigio internacional con la publicación en EEUU de la *International Encyclopedia of Women Scientists* (Oakes, 2001) y, al año siguiente, en Europa se la incluye en una guía de las mujeres mundiales más eminentes (Sleeman, 2002). Consolida esa proyección global en la siguiente recopilación enciclopédica de la primera autora mencionada: *Encyclopedia of World Scientists* (Oakes, 2007), figurando como la única española. En sus páginas incluye a otras colegas suyas en oceanografía biológica, no todas tan destacables. Nos sorprenden las ausencias de otros notables científicos españoles de nombradía internacional como Ramón Margalef (1919-2004), galardonado en 1980 con el Premio Huntsman

en ciencias marinas (considerado el Nobel de la oceanografía), y otros cinco que llegaron a la excelencia precisamente en EEUU y fueron más conocidos mundialmente desde que en 1959 Severo Ochoa consiguiera su Nobel⁷.

Otro par de obras impresas en norteamérica incorporan a nuestra biografía en sus repertorios como destacada mujer latina en aquel continente: *A to Z of Latino Americans* (Newton, 2007) y *The Book of Latina Women* (Mendoza, 2004).

Complementariamente, para conocer la magnitud actual de las citas mundiales a las publicaciones de Alvariño, hemos llevado a cabo un sencillo muestreo con los resultados obtenidos con el buscador “académico” más sencillo de internet (<https://scholar.google.es/>), considerando únicamente los primeros resultados referentes a publicaciones desde el año 2000. Aparte del ya comentado reconocimiento de Conway et al (2003), hemos seleccionando una quincena de títulos contemporáneos como aceptable indicador de la vigencia y persistencia de múltiples investigaciones de Alvariño en la literatura científica internacional a escala global. Tras una ordenación mínima de los temas y áreas geográficas, la dispersión es patente y podemos afirmar que las “semillas” que plantó en tan variados y alejados ecosistemas marinos continúan fructificando en nuestros días. Por ello la citan como vigente autoridad en referencia al zooplancton en general en los mares de Filipinas (Relox et al, 2000) y de Vietnam (Nguyen y Nguyen, 2012). Sobre los quetognatos y/o eufausiáceos: en aguas de Brasil (Souza et al, 2014), región Magallánica (Palma y Aravena, 2001), sector atlántico del océano Austral (Kruse et al, 2009), mar de Filipinas (Nagai et al., 2015) y en el Índico (Nair et al., 2015; Buchanan y Beckley 2015). Así como sobre los integrantes del zooplancton gelatinoso (sifonóforos, hydrozoos, ctenóforos y taliáceos): en una revisión global sobre sus particulares interacciones con los peces (Purcell y Arai, 2001), las migraciones nictimerales detectadas en el Adriático con algunas especies concretas (Lucic et al, 2011), junto con sus distribuciones en las aguas belgas del Mar del Norte (Vansteenbrugge y Van Regenmortel, 2015), y a lo largo del Pacífico americano: en aguas canadienses (Mapstone, 2009), mejicanas (Gamero-Mora et al, 2015) y chilenas (Palma y Silva, 2006).

Aparte de estos temas esperados nos ha agradado localizar otras publicaciones relativas a asuntos colaterales que trató Alvariño y que también son revalorizados actualmente, por ello es citada en monografías tan dispares como *Dynamics and Characterization of Marine Organic Matter* (Handa et al, 2000) o *Intertidal Invertebrates from Central California to Oregon* (Carlton, 2007).

⁷ Principalmente J. Folch, S. Grisolia, J. Oró, J. M. Rodríguez Delgado y F. Grande Covián. En 1971 todos ellos sonaban reiteradamente año tras año en los más variados y acreditados centros y medios científicos del mundo, como favoritos al otorgamiento del Premio Nobel (Gómez Gil, 1971).

La dedicación de Alvariño a la oceanografía se mantenía incluso durante el año 2004, el previo a su fallecimiento, cuando consta que contribuyó a las investigaciones planctónicas de una autora mejicana que le agradece su especial colaboración (Fernández-Álamo, 2004).

Finalizamos con unas conclusiones basadas en el análisis global del centenar de artículos y monografías científicas de Alvariño, cuyo registro cronológico publicamos en otro lugar (Pérez-Rubín y Wulff, 2011). Revisando esa extensa relación hemos comprobado que fue la autora responsable de la inmensa mayoría de las publicaciones, como se pone de manifiesto al figurar su nombre en primer lugar (con la única excepción del artículo multidisciplinar con Owen et al., 1990). Además, mayoritariamente es autora única, hecho que caracteriza a un investigador especializado independiente y autosuficiente. Únicamente en nueve artículos tardíos del período 1981-1990 firma con un colaborador (en cinco ocasiones) o con dos (en cuatro casos), aunque tan solo repitió coautoría con un trío de colegas (J. R. Hunter, R. F. Ford y J.M. Wojtan).

Agradecimientos

A la Real Academia Galega de Ciencias por la gentileza en invitarme a participar con una conferencia en el entrañable homenaje que organizaron en memoria de Ángeles Alvariño y las facilidades dadas posteriormente para la publicación de este trabajo. Al Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (MUNCYT) la cesión para nuestro artículo de una copia digital del retrato de Ángeles Alvariño por Eulogia Merle, que exponen en su sede de Madrid.

Bibliografía

- Alvariño A (1951) Incrustaciones marinas. Boletín del IEO, 45: 1-12.
- Alvariño A (1956a) Estudio del zooplancton recogido en la campaña del *Vendaval*, en Terranova (marzo, abril y mayo de 1953). Boletín del IEO, 76: 1-28.
- Alvariño A (1956b) Zooplancton de Terranova (febrero, marzo y junio de 1955). Boletín del IEO, 77: 1-18.
- Alvariño A (1957a) Estudio del zooplancton del Mediterráneo occidental. Campaña del *Xauen* en el verano de 1954. Boletín del IEO, 81: 1-26.
- Alvariño A (1957b) Zooplancton del Atlántico Ibérico. Campañas del *Xauen* en el verano de 1954. Boletín del IEO, 82: 1-51.
- Alvariño A (1962) Two new Pacific Chaetognaths. Their distribution and relationship to allied Species. Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography, 8 (1): 1-50.
- Alvariño A (1964) Bathymetric distribution of Chaetognaths. Pacific Science, 18 (1): 64-82. [Y en: Contributions Scripps Institution of Oceanography, 3 (1616): 39-57.]
- Alvariño A (1965) Distributional atlas of the Chaetognatha in the California Current region. CalCOFI Atlas, 3: 1-294.
- Alvariño A (1967) A new Siphonophore, *Vogtia Kuruae*. Pacific Science, 21 (2): 236-240. [Y en: Contributions Scripps Institution of Oceanography, 37 (2109): 186-190].
- Alvariño A (1968) Los quetognatos, sifonóforos y medusas en la región del Atlántico Ecuatorial bajo la influencia del Amazonas. Anales del Instituto de Biología, Serie Ciencia, Mar y Limnología [Méjico], 39 (1): 41-76.

- Alvariño A (1969) Los quetognatos del Atlántico. Distribución y notas esenciales de sistemática. Trabajos del IEO, 37: 1-290.
- Alvariño A (1971) Siphonophores of the Pacific with a revision of the world distribution. Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography, 16: 1-432.
- Alvariño A (1972a) A second record of a rare siphonophore *Epibulia ritteriana* Haeckel 1888. Fishery Bulletin, 70: 507-509.
- Alvariño A (1972b) Zooplankton from the Caribbean, Gulf of Mexico, mediate regions of the Pacific and fisheries. Memoirs IV National Congress of Oceanography, Méjico: 223-247.
- Alvariño A (1974a) Distribution of siphonophores in the regions adjacent to the Suez and Panama Canals. Fishery Bulletin, 72 (2): 527-546.
- Alvariño A (1974b) The importance of the Indian Ocean as origin of species and biological link uniting the Pacific and Atlantic Oceans. Journal of the Marine Biological Association of India, 14 (2): 713-722. [Abstract en: Proceeding Symposium on Indian Ocean and adjacent Seas, 199: 221-222].
- Alvariño A (1977) Depredadores planctónicos y la pesca. Memorias del II Simposio Latinoamericano sobre Oceanografía Biológica (Cumaná, Venezuela). Vol. I: 141-160.
- Alvariño A (1980) The relation between the distribution of zooplankton predators and anchovy larvae. CalCOFI Invest. Rep. 21: 150-160.
- Alvariño A (1981) *Spadella legazpichesi*, a new benthic chaetognath from Enewetok, Marshall Islands. Proc. Biol. Soc. Wash., 92-94: 107-121.
- Alvariño A (1983a) The depth distribution, relative abundance and structure of the population of the chaetognath *Sagitta scrippsae* Alvariño 1962, in the California Current off California and Baja California. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Méjico, 10 (1): 47-84.
- Alvariño A (1983b) *Nectocarmen antonioni*, a new Prayinae, calycophorae, siphonophorae from California. Proc. Biol. Soc. Wash., 96 (3): 339-348.
- Alvariño A (1985) Las surgencias en la región de California-Baja California. Relaciones con el zooplancton y poblaciones de *Engraulis mordax* (Pisces). Investigaciones Marinas CICIMAR, Méjico, 2 (1): 81-102.
- Alvariño A (1987) *Spadella pimukatharos*, a new benthic chaetognath from Santa Catalina Island, California. Proc. Biol. Soc. Wash., 100: 125-133.
- Alvariño A (1988) *Pandea cybeles* a new medusa from the Sargasso Sea (Coelenterata: Anthomedusae: Pandeidae). Proc. Biol. Soc. Wash. 101, 102-108.
- Alvariño A (1991) Abundancia y distribución batimétrica diurna y nocturna de los sifonóforos durante las cuatro estaciones del año 1969, en aguas de California y Baja California. Investigaciones Marinas CICIMAR, Méjico, 6 (2): 1-37.
- Alvariño A (2002) España y la Primera Expedición Científica Oceánica, 1789-1794: Malaspina y Bustamante con las Corbetas *Descubierta* y *Atrevida*. Xunta de Galicia [Santiago de Compostela].
- Alvariño A, Frankwick KR (1983) *Heteropyramis alcalá* and *Thalassophyes ferrarii*, new species of Clausophyidae (Calycophorae: Siphonophorae) from the South Pacific. Proc. Biol. Soc. Wash., 96 (4): 686-692.
- Alvariño A, Hunter JR (1981) New records of *Alloposus mollis* Verrill (Cephalopoda, Octopoda) from the Pacific Ocean. The Nautilus, 95 (1): 26-32.
- Alvariño A, Kimbrell C (1987) Abundance of zooplankton species in California coastal waters during april 1981, february 1982, march 1984 and march 1985. NOAA Technical Memorandum, 74: 1-59.
- Alvariño A, Rodríguez O (1956) La Merluza, el Bacalao y Especies Afines. IEO, Madrid.
- Alvariño A, Wojtan JM (1984) Three new species of *Lensia*, and description of eudoxia stages of *Lensia reticulate* and *Lensia leiouveteau* (Calycophorae, Syphonophora). Proc. Biol. Soc. Wash., 97 (1): 49-59.
- Ausejo E, Magallón C (1994): Women's participation in spanish scientific institutions (1868-1936). Physis, Rivista Internazionale di Storia della Scienza, 31(2): 537-551.
- Beaugrand G (2004) Continuous Plankton Records: plankton atlas of the North Atlantic Ocean (1958–1999). I. Introduction and methodology. Mar Ecol Prog Ser, Suppl 2004: 3-10.

- Behrman D (1981) Assault on the largest unknown. The International Indian Ocean Expedition 1959-65. Unesco Press, Paris. [Hay versión española de 1984: Asalto a lo Desconocido. La Expedición Internacional al Océano Índico (1959-1965). Ediciones del Serbal, Barcelona].
- Bieri R (1959) The distribution of the planktonic chaetognaths in the Pacific and their relationship to the water masses. *Limnology and Oceanography*, 4 (1): 1-28.
- Buchanan PJ, Beckley LE (2015) Chaetognaths of the Leeuwin Current system: oceanographic conditions drive epi-pelagic zoogeography in the south-east Indian Ocean. *Hydrobiologia*: 1-16.
- Carlton JT (ed., 2007) Intertidal invertebrates from Central California to Oregon. University of California Press, Berkeley.
- Concello da Coruña (ed., 2009): Historia do príncipe e a sardiña. A expedición científica de Alberte I de Mónaco ás costas de Galicia e Portugal. Catálogo da exposición.
- Conway D, White R, Hugues-Dit-Ciles J, Gallienne C, Robins D (2003) Guide to the coastal and surface zooplankton of the south-western Indian ocean. Marine Biological Association of the United Kingdom Occasional Publication, 15: 1-354.
- Faughn JL (1974) NAGA Expedition: station index and data. Scientific results of marine investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand, 1959-1961. NAGA Report, 1: 1-177.
- Fernández-Álamo MA (2004) Distribution of holoplanktonic typhlocoelids (Annelida-Polychaeta) in the eastern tropical Pacific Ocean. *Journal of Plankton Research*, 26 (6): 647-657.
- Fraga XA (2014) O príncipe e a condesa. A visita á Coruña do fundador da oceanografía en 1909. *La Opinión*, 15/6/2014: p. 11.
- Gamero-Mora E, Ceballos-Corona G, Gasca R, Morales-Blake A (2015) Análisis de la comunidad del zooplancton gelatinoso (Hydrozoa, Ctenofora, Thaliacea) en el Pacífico central mexicano, abril-mayo 2011. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 50 (1): 111-124.
- García Herrera R, García R, Prieto R, Hernández E, Gimeno L, Díaz H (2003). The use of spanish historical archives to reconstruct climate variability. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84 (8): 1.025-1.035.
- Gómez Gil A (1971) 'Cerebros' Españoles en U.S.A. Plaza y Janés, Barcelona.
- Handa N, Tanoue E, Hama T (2000) Dynamics and characterization of marine organic matter. *Ocean Sciences Research*, 2. Kluwer Academic Publishers, Tokio.
- Hardy H (1956): *The Open Sea. Its Natural History: The World of Plankton*. Collins, Londres.
- Hida T S (1957) Chaetognaths and Pteropods as biological indicators in the North Pacific. *US Fish and Wildlife Service. Special Scientific Report-Fisheries*, 215: 1-13.
- Johnsen T, Nygaard K, Olsgard F (2010) EEA. Biogeographical regions in Europe. The North-east Atlantic Ocean, huge, deep and heavily exploited. [<http://www.eea.europa.eu>].
- Kruse S, Bathmann U, Brey T (2009) Meso- and bathypelagic distribution and abundance of chaetognaths in the Atlantic sector of the Southern Ocean. *Polar Biol*, 32: 1359-1376.
- López Capont F (1997) *La Faceta Pesquera del Padre Sarmiento y su Época*. Caixa Pontevedra, Pontevedra.
- Lozano Cabo F (1970) *Oceanografía, Biología Marina y Pesca*. (3 tomos). Paraninfo, Madrid.
- Lucic D, Benovic A, Batistic M, Morovic M, Onofri I, Molinero J-C, Kogovsek T, Gangai B, Miloslavica M (2011) A short-term investigation of diel vertical migrations of the calyphoran siphonophora in the open south Adriatic Sea (July 2003). *Acta Adriat.*, 52 (2): 159-172.
- Magallón C (2010) Las mujeres que abrieron los espacios de las ciencias experimentales para las mujeres, en la España del primer tercio del siglo XX. *Arenal*, 17 (2): 319-347.
- Mapstone GM (2009). *Siphonophora (Cnidaria: Hydrozoa) of Canadian Pacific Waters*. Canadian Science Publishing, Ottawa.
- Mendoza S (2004) *The Book of Latina Women. 150 Vidas of Passion, Strength, and Success*. Adams Media, Massachusetts.
- Molina [J. de] (1550): Descripción del Reino de Galicia, y de las Cosas Notables del [...]. Mondoñedo.
- Moser HG (ed., 1996) The early stages of fishes in the California Current Region. *CalCOFI Atlas*, 33: 1-1.505.
- Nagai N, Tadokoro K, Kuroda K (2015) Latitudinal distribution of chaetognaths in winter along the 137° E meridian in the Philippine Sea. *Plankton and Benthos Research* 10(3): 141-153.

- Nair VR, Kusum KK, Gireesh R, Nair M (2015) The distribution of the chaetognath population and its interaction with environmental characteristics in the Bay of Bengal and the Arabian Sea. *Marine Biology Research*, 11 (3): 269-282.
- Newton DE (2007) A to Z of Latino Americans. *Latinos in Science, Math, and Professions. Facts on File*, Nueva York.
- Nguyen T, Nguyen C (2012) Marine zooplankton researches in Vietnam: An overview. *Coastal Marine Science*, 35 (1): 221-226.
- Oakes EH (2001) *International Encyclopedia of Women Scientists. Facts on File*, Nueva York.
- Oakes EH (2007). *Encyclopedia of World Scientists. Facts on File*, Nueva York.
- Ohman M D, Venrick, E L (2003) CalCOFI in a changing ocean. *Oceanography*, 16(3): 76–85.
- Owen RW, Lo NCH, Butler JL, Theilacker GH, Alvariño A, Hunter JR, Watanabe Y (1990). Spawning and survival patterns of larval northern anchovy, *Engraulis mordax*, in contrasting environments. A site-intensive study. *Fishery Bulletin*, 87: 673-688.
- Palma S, Aravena G (2001): Distribución de quetognatos, eufáusidos y sifonóforos en la región Magallánica. *Cienc. Tecnol. Mar.*, 24: 47-59.
- Palma S, Silva N (2006) Epipelagic siphonophore assemblages associated with water masses along a transect between Chile and Easter Island (eastern South Pacific Ocean). *Journal of Plankton Research*, 28 (12): 1143-1151.
- Pérez-Rubín J (2008) Un Siglo de Historia Oceanográfica del Golfo de Vizcaya (1850-1950). *Ciencia, Técnica y Vida en sus Aguas y Costas. Aquarium de Donostia, San Sebastián*.
- Pérez-Rubín J (2011) Notas sobre la multidisciplinar expedición Malaspina (1789-1794). *Revista del IEO*, 16: 50-55.
- Pérez-Rubín (ed., 2014) 100 Años Investigando el Mar. El IEO en su Centenario (1914-2014). IEO, Madrid.
- Pérez-Rubín J, Wulff E (2011) Ángeles Alvariño (1916-2005): la pionera de la oceanografía española de mayor proyección internacional. *X Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas (Badajoz, 2011)*: 255-268.
- Poza A de (1585) Hydrografía la más curiosa que hasta aquí ha salido a luz, en que de más de un derrotero general, se enseña la navegación por altura y derrota [...], y la navegación al Catayo [China] por cinco vías diferentes. Bilbao.
- Purcell JE, Arai MN (2001) Interactions of pelagic cnidarians and ctenophores with fish: a review. *Hydrobiologica*, 451: 27-44.
- Regueira J (2009): El informe de Martín Sarmiento sobre las migraciones de los atunes en el Estrecho. *Almoraima*, 38: 69-80.
- Relox JR, Furio EF, Borja VM (2000) Abundance and distribution of zooplankton in the South China Sea, Area III: Western Philippines: 164-176. In *Proceedings of the Third Technical Seminar on Marine Fishery Resources Survey in the South China Sea. SEAFDEC Special Paper*, 41.
- Rodríguez O, Alvariño (1951) Anguilas y Angulas. *Biología, Pesca y Consumo. Subsecretaría de la Marina Mercante*, Madrid.
- Sleeman E (2002, 3ª ed.) *The International Who's Who of Women. A Biographical Reference Guide to the Most Eminent, Talented and Distinguished Women in the World*. Europa Publications Limited, Londres.
- Southward (1984) Fluctuations in the "indicator" chaetognaths *Sagitta elegans* and *Sagitta setosa* in the Western Channel. *Oceanologica Acta*, 7 (2): 229-239.
- Souza C de, Luz JAG, Mafalda PO (2014) Relationship between spatial distribution of chaetognaths and hydrographic conditions around seamounts and islands of the tropical southwestern Atlantic. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86 (3): 1151-1165.
- Vansteenbrugge L, Van Regenmortel T (2015) Gelatinous zooplankton in the Belgian part of the North Sea and the adjacent Schelde estuary: Spatio-temporal distribution patterns and population dynamics. *Journal of Sea Research*, 97: 28-39.

ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA LIEBRE IBÉRICA EN GALICIA

Juan Carlos Jaramillo-Fayad

Departamento de Ciencias Ambientales y de la Construcción. Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas. Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín - Colombia
jc.jaramillofayad@gmail.com

Resumen

La Liebre Ibérica (*Lepus granatensis*) es una de las principales especies cinegéticas en España, presenta una amplia distribución y poblaciones estables en casi la totalidad del territorio. En Galicia, en los últimos años, factores como la modificación del hábitat, el aumento en la presión de caza y la construcción de infraestructuras viales han venido afectando a muchas poblaciones, llevando a la especie a una reducción e inclusive desaparición en algunas zonas atlánticas de la comunidad. La acelerada modificación de los hábitats naturales, ha obligado a la especie a ocupar nuevos territorios, no existiendo actualmente información sobre la forma en la que el animal responde a estos nuevos medios.

En este artículo se busca recopilar la información publicada y los informes técnicos sobre la distribución histórica de la Liebre Ibérica en Galicia. Se pretende mostrar una visión general del estado de conservación de la especie en la Comunidad Autónoma gallega, destacando los factores que más han influido en su situación actual.

Palabras Clave: Conservación, Galicia, *Lepus granatensis*, Liebre Ibérica.

Abstract

The Iberian hare (*Lepus granatensis*) is one of the primary game species in Spain, has a wide distribution and stable populations in almost the entire territory. In Galicia, in recent years, factors such as habitat modification, increased hunting pressure and the construction of road infrastructure have been affecting many populations; therefore, the species has been reduced and even

has disappeared in some Atlantic areas. Rapid modification of natural habitats has forced the species to occupy new territory, there is currently no information on how the animal responds to these new media.

This article seeks to collect published information and technical reports on the historical distribution of Iberian hare in Galicia. It is intended to provide an overview of the conservation status of the species in the Galician autonomous community, highlighting the factors that have influenced their current status.

Key Words: Conservation, Galicia, Iberian hare, *Lepus granatensis*.

INTRODUCCIÓN

En España habitan tres especies de liebres: la Liebre del Piornal *Lepus castroviejo* (Palacios, 1977), la Liebre Ibérica *Lepus granatensis* (Rosenhauer, 1856) y la Liebre Europea *Lepus europaeus* (Pallas, 1778). La especie más abundante y de mayor distribución en la península Ibérica es *L. granatensis*. En la mayor parte de su territorio es una especie común y abundante, incluida actualmente por la IUCN (International Union for Conservation of Nature) en una categoría de Preocupación Menor (LC), con una tendencia Estable (Ballesteros et al., 1996; Duarte et al. 2002; IUCN, 2015).

La estabilidad de las poblaciones de *L. granatensis* en la península, tiene como notable excepción, a la mitad occidental de Galicia, a la franja costera asturiana y al límite noreste de su área de distribución. Donde la especie es muy escasa y en algunos puntos ha desaparecido. En Asturias, la liebre Ibérica está presente en el 23% del área que ocupaba en 1950 y ha desaparecido de la parte más oriental de su distribución en la comunidad desde hace 40 o 45 años. En Galicia, las poblaciones silvestres de *L. granatensis* se han visto afectadas de forma considerable por factores como la caza desmedida, la pérdida de hábitat y los atropellos, entre otras circunstancias. Esto ha llevado a la especie a una reducción, e inclusive desaparición, de algunas zonas atlánticas de la comunidad (Palacios 1979, Ballesteros 1996, Balado et al. 1995, Duarte 2000).

A pesar de que no existen trabajos recientes que nos proporcionen información del estado actual de las poblaciones de Liebre Ibérica en Galicia. Sí se puede verificar en los mapas de distribución realizados por autores como Madoz (1850), Palacios (1979), Castells y Mayo (1993), Balado et al. (1995) y Carro y Soriguer (2007, 2010), que existe una significativa pérdida de presencia en la distribución de la especie. A esto se le puede sumar lo revelado por un informe realizado por Álamo (1989), que concluye que la Liebre Ibérica es una especie escasa en toda la Comunidad Autónoma de Galicia.

En la provincia de A Coruña, información proveniente de los cotos de caza del período 2003-2007 y recopilada por la Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible, muestra el aumento de los cotos que no permitieron la caza de la especie y la importante disminución de los animales abatidos en la provincia.

Como ya se mencionó, una de las principales causas del descenso en las poblaciones de liebre de la Península Ibérica y especialmente en Galicia, es la pérdida y modificación de hábitats naturales, especialmente para plantaciones masivas de pinos y eucaliptos o para la ganadería extensiva (Munilla et al. 1991; Castells y Mayo, 1993; Ballesteros, 1998; Duarte et al. 2002). Este importante factor de amenaza para la conservación de la liebre está en constante aumento, sin que hasta la fecha exista información sobre la forma en que las poblaciones de la especie responden a estos nuevos medios.

La liebre ibérica en España

La Liebre Ibérica (*Lepus granatensis*) en la mayor parte de su área de distribución es una especie común y abundante, especialmente en zonas agrícolas, cultivos de cereales, viñedos, prados, campos de alfalfa, entre otras. Esta especie incluida actualmente por la IUCN en una categoría de Preocupación Menor (LC), con una tendencia Estable (Ballesteros, 1998, Duarte, 2000; Duarte, 2002; Carro, 2005).

Es muy escasa o ha desaparecido en algunas zonas de la mitad occidental de Galicia, de la franja costera asturiana y del límite noreste de su área de distribución. En Asturias la Liebre Ibérica está presente en el 23% del área que ocupaba en 1950, ha desaparecido de la parte más oriental de su distribución en la comunidad, desde hace 40 ó 45 años (Ballesteros et al., 1996). Posteriormente la regresión de la Liebre Ibérica continuó sobre todo en la franja costera y el sector occidental, consecuencia de las alteraciones del hábitat y la masiva plantación de pinos y eucaliptos. Este proceso de regresión ha hecho que en los últimos 15 ó 20 años desapareciera de los valles y de las zonas bajas, dejando poblaciones relegadas a las zonas de páramo y laderas de cierta altura que conservan hábitats menos alterados (Palacios y Meijide, 1979; Balado et al. 1995; Ballesteros et al. 1996; Duarte, 2000, 2002; Carro y Soriguer, 2010).

La liebre ibérica en Galicia

En el caso específico de Galicia, la Liebre Ibérica presenta una situación sensible de conservación especialmente en la provincia de A Coruña. En el trabajo de Palacios y Meijide (1979), ya se empezaba a destacar que el oeste de Galicia era la zona más extensa en la que *L. granatensis* se había extinguido o estaba

en peligro de extinción. Incluía algo más de la mitad oeste de A Coruña, casi toda Pontevedra y la mitad oeste de Ourense; mientras que la casi totalidad del territorio restante se consideraba provisto de poblaciones estables pero poco densas.

Los hallazgos de Palacios y Mejjide (1979) coinciden con los de Balado et al. (1995). Plantean que en la comunidad Gallega la Liebre Ibérica es una especie poco común, bien distribuida, pero con escaso número de ejemplares. El mayor número está representado en las provincias de Lugo y Ourense, siendo muy escasa o inexistente en zonas de A Coruña y Pontevedra, principalmente en buena parte de los Concellos del litoral tanto del norte como del oeste. En la provincia de A Coruña, ha desaparecido en la sierra de la Capelada y en parte de los Concellos de la Costa da Morte, conservándose en mejor estado en las áreas montañosas del este y oeste. En la zona norte de la provincia de Lugo la especie cuenta con dos núcleos donde es más común, incluyen los Concellos de Cervo-Xove, Oourol y Ferreira, en las áreas próximas a las fragas es donde está mejor conservada.

En la provincia de Pontevedra sólo se conserva en las cimas de las sierras orientales cerca de los límites con Lugo y Ourense (Balado et al. 1995). En esta zona se produjo un cambio drástico en el número y distribución de la especie hasta extinguirse en algunos sectores de la franja costera, donde su desaparición se calcula entre los años 50 y 60, dando paso a continuación a la de las zonas bajas y vegas de la mitad occidental de la provincia (Munilla et al. 1991).

Un informe realizado por Álamo (1989) a través de la Conselleria de Agricultura, presenta un Inventario de las poblaciones cinegéticas gallegas, y concluye que la Liebre Ibérica, es una especie escasa en toda la Comunidad Autónoma. Según las estimaciones de abundancia, el número de liebres es mayor en la Galicia interior que en la costa. En este estudio no se estimaron más de 500 liebres para la provincia de Pontevedra, y en gran parte de las comarcas costeras de la provincia de A Coruña, de la comarca de Ferrol y de la costa lucense se presentó una baja abundancia. En la comarca de Ribadeo se estimó la densidad más baja de Galicia (Tabla 1) (Álamo, 1989).

Tabla 1. Densidad de *Lepus granatensis* en las cuatro provincias gallegas (Álamo, 1989).

PROVINCIA	EJEMPLARES ESTIMADOS	%PROVINCIAL	DENSIDAD 100 ha
A Coruña	2,117	29,5	0,26
Lugo	2,487	34,65	0,27
Pontevedra	459	6,39	0,1
Ourense	2,113	29,44	1,52
Total	7,176	99,98	0,243

El mismo informe destaca que en las zonas interiores es donde la liebre parece mantenerse en mejor situación, en dos zonas principales:

Zona Central-Norte: Incluiría la Terra Cha de Lugo, montes de Villalba, Serras de Cova da Serpe, Serra do Careon, Terra de Melide y las partes más altas de los valles del Tambre y Ulla. En general esta zona es uniforme, con alturas medias de 500 metros, relieve suave y vegetación de matorral, cultivos y bosquetes dispersos (incluye parte de la zona norte de Lugo y la zona oriental de A Coruña).

Zona Sudoriental: Está íntegramente en la provincia de Ourense, es una zona muy irregular, con valles profundos alternando con valles amplios, áreas de media montaña y áreas de alta montaña. Incluye el valle del Limia y sierras adyacentes, valle del Monterrei y serra de Queixa, San Mamede, O Burgo, Trevinca y Serra del Eje. La liebre en esa zona está más dispersa, tendiendo a concentrarse en núcleos pequeños y distantes entre sí.

Con el fin de ampliar la información sobre la situación de la Liebre Ibérica en la Provincia de A Coruña, se utilizó la información obtenida sobre los cotos de caza existentes, proporcionada por la Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible, Delegación Provincial de A Coruña. El análisis de la información entre los años 2003-2007 indica que de los 132 cotos existentes en la provincia, 67 (50,8%) tienen *L. granatensis* vedada para su caza, o el número de animales cazados en el periodo ha sido cero. Dos de los cotos que permitían la caza de liebres no han presentado capturas. De los cotos que permitían la caza o contaban con ejemplares en sus terrenos, 40 (30,3%) informaron haber disminuido el número de ejemplares y 29 cotos (17,4%) mostraron un aumento en el número de capturas, lo que denota una importante disminución de la actividad cinegética entorno a esta especie, lo que está vinculado a su estado de conservación en esta región. A pesar de que diferentes autores reconocen los problemas de conservación de la especie en Galicia (Palacios y Meijide, 1979; Balado et al., 1995; Ballesteros et al., 1996). La información sobre su presencia actual e histórica es imprecisa y en muchos casos inexistente. Se presentan amplios vacíos de información en aspectos básicos de su biología y comportamiento. La literatura ofrece muy pocos trabajos publicados sobre la especie en la zona y en su gran mayoría provienen del conocimiento obtenido por su explotación como especie cinegética. A la ya preocupante situación de conservación de la especie se puede agregar que la Liebre Ibérica que habita en Galicia es una subespecie propia clasificada como *L. g. gallaecius* Miller 1907 (Jones, 1999).

El mapa de distribución y estado de conservación de la *L. granatensis* propuesto por Castells y Mayo (1993) (Figura 1), permite observar como Ga-

licia es la comunidad autónoma con un menor porcentaje de territorio con poblaciones estables.

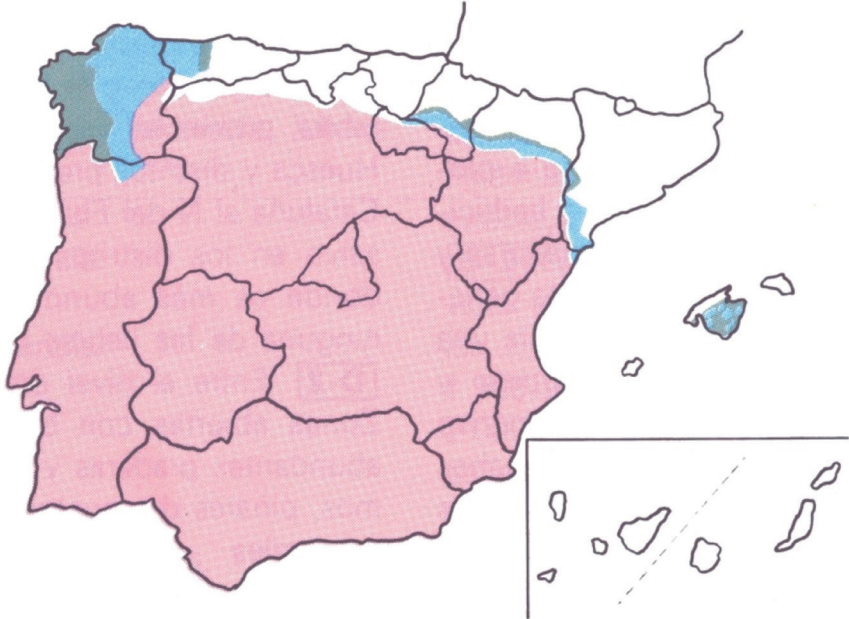


Figura 1. Mapa de distribución y estado de conservación de *Lepus granatensis* en España (Castells y Mayo, 1993) (Color Rojo: Estable y Abundante. Azul: Estable, poco densa. Verde: Escasa – extinguida).

Una forma de visualizar la situación de las poblaciones de Liebre Ibérica en Galicia a través del tiempo, es comparando mapas de distribución elaborados por diferentes autores. Aunque estos mapas en algunos casos presentan diferencias en el tamaño de la cuadrícula UTM utilizada se pueden establecer comparaciones claras sobre la presencia y distribución de la especie. Inicialmente tomando como base las referencias plasmadas en el Diccionario Geográfico-Estadístico Histórico de España y sus posesiones de Ultramar, por Pascual Madoz (1846–1850), sobre un mapa de Galicia, con una cuadrícula UTM de 10 x 10 Km., hemos señalado los lugares donde esta publicación indica la presencia de la especie *L. granatensis* o actividades de caza menor (Figura 2).

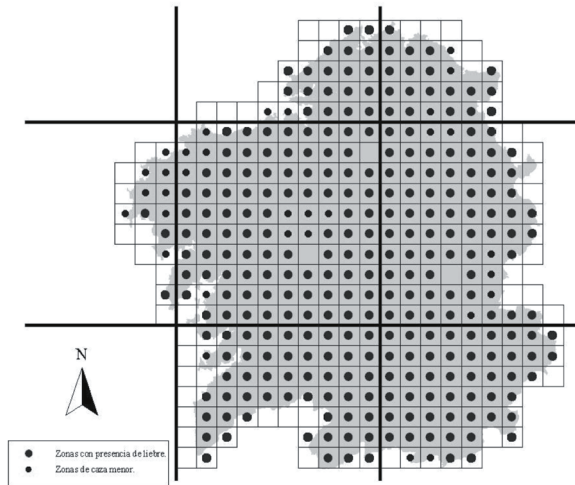


Figura 2. Mapa de presencia y caza menor de *Lepus granatensis* en Galicia (Madoz, 1850), (Cuadrícula UTM de 10 x 10 Km.). Elaboración propia.

El siguiente mapa de distribución es del Atlas de Mamíferos Terrestres de España (2002) tiene una cuadrícula UTM 10 X 10 Km. (Figura 3).

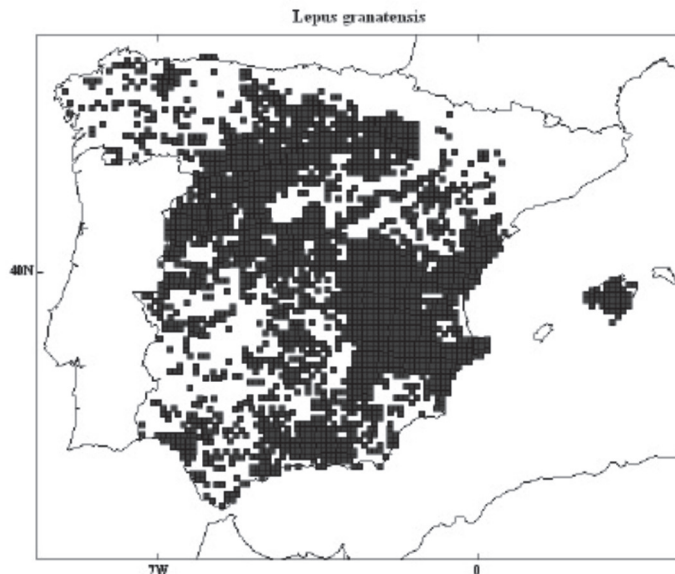


Figura 3. Distribución de *Lepus granatensis* en España. (Carro y Sorieguera, 2007). (Cuadrícula UTM de 10 x 10 Km.).

La Figura 4, muestra el mapa de distribución de *L. granatensis*, incluido en el Atlas de Vertebrados de Galicia (1995), con una cuadrícula UTM de 18,5 x 27,5 Km.

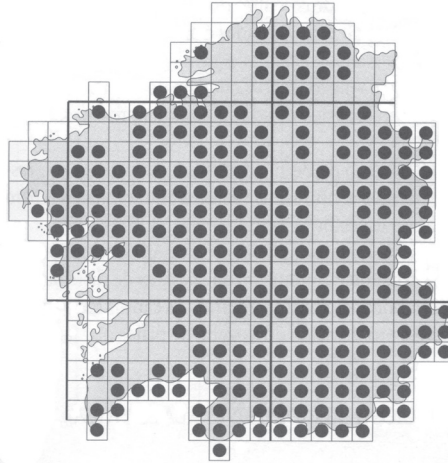


Figura 4. Mapa de distribución de *Lepus granatensis* en Galicia (Balado et al. 1995) (Cuadrícula UTM de 18,5 x 27,5 Km).

Por último, la Figura 5, muestra una ampliación de la comunidad autónoma de Galicia, con la distribución de la Liebre Ibérica, extraída del mapa de distribución para toda España, incluido en el Atlas y Libro Rojo de los Mamíferos Terrestres de España (2007), con una cuadrícula UTM de 10 x 10 Km (Figura 5).

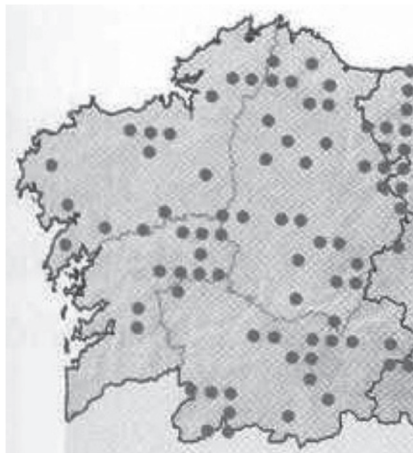


Figura 5. Mapa de distribución de *Lepus granatensis* en Galicia. Libro Rojo de los Mamíferos Terrestres de España. (Carro y Soriguer 2007) (Cuadrícula UTM de 10 x 10 Km).

Los mapas muestran claramente la evolución de la presencia de *L. granatensis* en la comunidad autónoma de Galicia, se observa como los mapas más antiguos muestran una presencia casi generalizada, mientras que la información más actual revela la desaparición de la especie en gran parte del territorio, con especial intensidad en las zonas atlánticas y en general en las provincias de Pontevedra y A Coruña.

Factores que afectan la conservación

A pesar de la estabilidad en general de las poblaciones de *L. granatensis* en la península Ibérica, actualmente se presentan factores importantes que están afectando la conservación de la especie y que son especialmente notorias en las comunidades de Galicia y Asturias. Las presiones y actividades que afectan la conservación de la Liebre Ibérica son comunes a muchas especies animales y se han reproducido continuamente durante muchos años. Palacios y Meijide (1979) indicaron que las principales amenazas para la conservación de las liebres son: 1) La excesiva presión de caza durante su período de caza; 2) La intensa explotación agrícola, con uso indiscriminado e incontrolado de insecticidas y herbicidas; 3) La caza furtiva en cualquier época; 4) Los atropellos en carretera, por lo general intencionados; 5) Los accidentes causados por cosechadoras y segadoras; y 6) La captura de ejemplares jóvenes para su mantenimiento en cautividad.

Estos problemas antes que mejorar se han incrementado con los años, y han aumentado los factores de alteración. Actualmente, también, la reducción de la diversidad de cultivos, la pérdida de linderos y las repoblaciones forestales madereras están afectando negativamente la supervivencia de la liebre. Es importante profundizar en el entendimiento de estas problemáticas y ver de qué forma afectan las poblaciones naturales de Liebre Ibérica.

Excesiva presión cinegética y furtivismo

Son factores de riesgo para la conservación de las liebres que han tenido un gran crecimiento. Se calcula que el número de cazadores se multiplicó por 7 en los últimos 40 años. La disminución drástica del conejo como principal especie de caza menor en el país, la mejora en las armas de fuego, la mayor accesibilidad a nuevas zonas y la ausencia de modificaciones en la legislación sobre caza, han generado una sobre explotación de la Liebre Ibérica (Álamo, 1989; Munilla et al. 1991; Castells y Mayo, 1993; Ballesteros et al. 1996; Rodríguez et al. 1997; Ballesteros, 1998; Duarte, 2000; Carro y Soriguer, 2005; Carro y Soriguer, 2007).

En el informe de Álamo (1989), sobre el Inventario de las poblaciones Cienéticas de Galicia, se menciona que el número de ejemplares cazados para esa fecha era bastante alto y que representa aproximadamente el 25% de las liebres existentes en Galicia, de las cuales la mitad fueron cazadas en Lugo. Es de destacar que en las encuestas realizadas para este estudio prácticamente todas señalaron el furtivismo nocturno como el culpable del descenso del número de liebres.

Modificación de tierras agrícolas o ganaderas y uso de pesticidas y semillas blindadas

La incorporación de nuevas técnicas agrícolas que utilizan grandes maquinarias y el uso excesivo de productos fitosanitarios y semillas blindadas son factores que han diezariado las poblaciones de liebres en lugares donde antes eran habituales precisamente por la presencia de cultivos. En este sentido, el abandono de tierras antes cultivadas o utilizada para ganadería extensiva ha contribuido también, en muchas zonas, a la pérdida de espacios abiertos de pastizal a favor del monte, del matorral, o de la plantación de extensas zonas de pinos o eucaliptos, produciendo la consiguiente reducción del hábitat para la liebre (Duarte, 2000). Igualmente estos monocultivos han propiciado la reducción de la diversidad botánica y paisajística de las zonas y de su capacidad de carga, lo que repercute en el mantenimiento de poblaciones de liebres libres (Tapper y Barnes, 1986; Munilla et al., 1991; Castells & Mayo, 1993; Ballesteros et al., 1996; Rodríguez et al., 1997; Ballesteros, 1998; Duarte, 2000, 2002; Carro y Soriguer, 2010; Manson, 2005).

Aumento en la construcción de infraestructura vial

Además de facilitar el acceso a zonas antes imposibles para los coches, se han convertido en importantes obstáculos y “trampas” mortales para muchos animales que intentan cruzarlas, para ingresar a otros territorios. La falta de precaución de los conductores y la poca permeabilidad de las infraestructuras viales, han terminado por convertir esta problemática en un importante factor de mortalidad para la fauna. Aunque parezca que la incidencia de los atropellos es baja, cifras obtenidas en otros países nos ilustran su magnitud. Es así como en Alemania se estima que 100.000 liebres mueren atropelladas cada año (Reicholf 1993), citado por Rodríguez et al. (1997). En Galicia, la construcción de numerosas vías que aíslan terrenos, sumada a la incomunicación que generan los grandes cultivos de pinos y eucaliptos han disgregado las poblaciones de liebres en pequeños núcleos que quedan aislados unos de otros, hecho que es de fácil comprobación al observar el mapa de distribución de

los núcleos de población (Álamo, 1989; Munilla et al. 1991; Castells y Mayo, 1993; Ballesteros et al. 1996; Rodríguez et al. 1997; Ballesteros, 1998; Duarte, 2000; Carro y Soriguer, 2007; Manson, 2005).

Incremento de depredadores

Principalmente los depredadores oportunistas se han convertido, en algunos lugares, en una amenaza para la conservación de las poblaciones de liebres. Zorros, jabalís, perros errantes, gatos domésticos y asilvestrados han presentado un incremento significativo de sus poblaciones, causado principalmente por el hombre que pone a su disposición grandes cantidades de fuentes de alimento en basureros, granjas, depósitos y diversos lugares de acumulación de residuos (Munilla et al. 1991; Ballesteros et al. 1996; Rodríguez et al. 1997; Ballesteros, 1998; Duarte, 2000; Carro y Soriguer, 2007).

Repoblaciones en forma ilegal

Las acciones de repoblamiento se han hecho sin ninguna garantía sanitaria y sin la asesoría necesaria por parte de especialistas. En consecuencia se han propagado muchas enfermedades, afectando así a las poblaciones naturales de liebres. De la misma manera puede producirse una contaminación genética con la introducción de ejemplares de diferentes procedencias, sin realizar los estudios previos necesarios. A estos altos riesgos se le suma que las repoblaciones se hacen sin controlar los factores causantes de la desaparición de las poblaciones naturales, por lo cual la tasa de supervivencia de las liebres reintroducidas es mínima y la contribución a la conservación de la especie en la zona es reducida o inexistente (Rodríguez et al. 1997; Ballesteros, 1998; Duarte, 2000; Carro y Soriguer, 2010).

Medidas de prevención y conservación

Como respuesta a los diferentes factores que amenazan la conservación de la Liebre Ibérica, varios autores han propuesto una variedad de medidas que pueden contrarrestar sus efectos y que son aplicables no sólo en las zonas con una gran disminución en las poblaciones de la especie, sino en general como disposiciones de prevención. Entre estas medidas se encuentran:

La recuperación de los hábitats: Recuperación de zonas de cultivos que promuevan la diversificación agrícola y la preservación de vegetación nativa, que proporcione lugares de refugio para los animales. En este sentido algo que puede estimular la entrada de las liebres es la realización de desbroces selectivos en zonas de matorral denso, y crear así parcelas de alimentación y hábitat

potencial para la liebre (Duarte et al. 2002). Adicionalmente, pueden crearse perdederos y zonas de encame artificial, o estimular la recuperación de linderos como perdederos naturales (Ballesteros et al. 1996; Rodríguez et al. 1997; Ballesteros, 1998; Carro y Soriguer, 2010; Duarte et al. 2002).

Limitar el número de piezas cazadas: En las zonas de cacería, limitar las horas y días de cacería y establecer una adecuada gestión cinegética que garantice la conservación de las poblaciones de liebres (Munilla et al. 1991; Castells y Mayo, 1993; Ballesteros et al. 1996; Rodríguez et al. 1997; Ballesteros, 1998; Duarte, 2000; Carro, 2005; Duarte et al. 2002; Manson, 2005).

Control de los depredadores: Principalmente de zorros, perros o gatos asilvestrados que han aumentado en forma notable sus poblaciones y que pueden llegar a ser una amenaza importante para una población de liebres (Ballesteros et al. 1996, 1998).

Control de la ganadería: Las grandes concentraciones de ganado pueden convertirse en potenciales focos de epidemias para las liebres (Tapper y Barnes, 1996; McLaren et al. 1997; Duarte et al. 2002).

Repoblación: Implementar esta metodología con ejemplares procedentes de otras zonas es una práctica polémica y sólo es recomendada para casos muy especiales. Se debe efectuar con las precauciones adecuadas, como son la realización de estudios genéticos de las poblaciones a reintroducir, que garanticen la reducción de los riesgos que conlleva este procedimiento (Ballesteros et al. 1996, 1998; Rodríguez et al. 1997; Duarte et al. 2002).

Estudios sobre la especie: Es importante ampliar la información sobre aspectos básicos, que en muchos casos, son aun poco conocidos. Se debería tener un conocimiento suficiente sobre la biología de la especie, su estado de conservación, su distribución, densidad y demás aspectos que permitan generar programas de conservación efectivos (Ballesteros et al. 1996, 1998; Rodríguez et al. 1997; Duarte, 2000; Manson, 2005).

Agradecimientos

Al Doctor José Miguel Rey Salgado por la dirección del trabajo que dio origen a este artículo.

A los docentes del departamento de Zooloxía e Antropoloxía Física de la Universidade de Santiago de Compostela por su constante apoyo.

A los biólogos Adrian Lamosa y Xosé Pardavila por su colaboración en todo el trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Álamo C (1989) Inventario de las poblaciones cinegéticas de Galicia. Memoria I y II. ETEGA, 462 pp.
- Balado R, Bas S, Galán P (1995) Atlas de Vertebrados de Galicia. Aproximación a distribución dos vertebrados terrestres de Galicia durante o quinquenio 1980-85. Tomo 1: Peixes, Anfíbios, Reptiles e Mamíferos.
- Ballesteros F, Benito, JL, Gonzáles P (1996) Situación de las poblaciones de liebres en el norte de la península Ibérica. *Quercus* 128: 12-17.
- Ballesteros F (1998) Las especies de caza en España: biología, ecología y conservación. Estudio y Gestión del Medio, Oviedo.
- Carro F (2005) Historia natural de la liebre ibérica (*Lepus granatensis* Rosenhauer, 1856) en el parque nacional Doñana. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela, A Coruña, España, 409 pp.
- Carro F, Soriguer C (2007) *Lepus granatensis*, pp.476-478. En: Palomo, J.L & Gisbert, J. Atlas y libro rojo de los mamíferos terrestres de España, 585 pp.
- Carro F, Soriguer RC (2010) La liebre ibérica. Naturaleza y Parques Nacionales. Serie técnica. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid, 364 pp.
- Castells A, Mayo M (1993) Guía de los Mamíferos en libertad de España y Portugal. Ediciones Pirámide. Madrid, 470 pp.
- Duarte J (2000) Liebre Ibérica, *Lepus granatensis*. *Galemys* 12: 3-14.
- Duarte J, Vargas M, Farfán MA (2002) Biología de la Liebre Ibérica (*Lepus granatensis*). Bases técnicas para la gestión cinegética, pp. 29-59. En: Lucio, A.J, Saenz de Burirruaga, M. (Eds.) Aportaciones de la gestión sostenible de la caza. Fedenca-EEC, Madrid.
- IUCN (2015) IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2015.3. <http://www.iucnredlist.org>. Consulta, 01/09/2015.
- Jones M (1999) The atlas of European Mammals. Poiser Natural History: London, A.D, pp. 169-291.
- Madoz P (1850) Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar. 16 V. Madrid.
- Manson J (2005) The hare. Merlin UnwinBooks. (Eds.), 184 pp.
- McLaren GW, Hutchings, M.R., Harris, S (1997) Why are brown hares (*Lepus europaeus*) rare in pastoral landscapes in Great Britain?. *Gibier Faune Sauvage* 14: 335-348.
- Munilla I, Romero R, Azcárate JG (1991) Diagnóstico de las poblaciones faunísticas de interés cinegético de la provincia de Pontevedra. Diputación Provincial, pp. 45-326.
- Palacios F (1979) Análisis cromosómico, carga de DNA y electroforesis de las liebres españolas. Doñana Acta Vertebrata 6: 203-215.
- Palacios, F., Meijide, M (1979) Distribución geográfica y hábitat de las liebres en la península Ibérica. *Naturalia Hispánica* 19. ICONA. Madrid.
- Rodríguez M, Palacios JA, Martín JA, Yanes TG, Martín PG, Sánchez C, Navesco MA, Muñoz R (1997) La liebre. (Eds.) Mundi-prensa: Madrid, 160 pp.
- Tapper SC, Barnes RF (1986) Influence of Farming Practice on the Ecology of the Brown Hare (*Lepus europaeus*). *J. Applied Ecol.* 23: 39-52.

Holografía en Teorías no Conformes^{† 1}

Yago Bea Besada[‡]

*Departamento de Física de Partículas, Facultade de Física,
Universidade de Santiago de Compostela, España.
Correspondencia: yago.bea@fpaxp1.usc.es*

Resumen

La correspondencia AdS/CFT es formulada originalmente en teorías conformes, de carácter máximamente supersimétrico y con un contenido únicamente de materia adjunta. Con objetivo de emplear esta dualidad en las teorías que rigen la naturaleza, como el modelo estándar de la física de partículas elementales, es deseable extenderla hacia teorías no conformes, con menos supersimetrías y que incluyan materia fundamental. El desarrollo central de este trabajo consiste en generalizar los resultados conocidos en espacios AdS [16] a un nuevo tipo de espacios que pueden entenderse como AdS en dimensiones fraccionarias. Este desarrollo permite calcular la dimensión de operadores en casos no conformes. En particular, se empleará en el cálculo de las dimensiones de los operadores duales a las fluctuaciones de branas de prueba en las configuraciones $Dp - D(p+k)$ con $k = 0, 2, 4$ y $p = \frac{k}{2}, \frac{k}{2} + 1, \dots, 4$, donde estas branas de prueba se introducen para añadir materia fundamental a la teoría, generalizando así los resultados obtenidos en [17] [18] [19].

Palabras clave: AdS/CFT, holografía, dualidad, brana, conforme, supersimetría, materia fundamental.

Abstract

The AdS/CFT correspondence is originally formulated in maximally supersymmetric conformal theories that only contain adjoint matter. In order to apply

[†]Financiado por FEDER y Ministerio de Economía y Competitividad, España, proyecto FPA2011-22594.

[‡]Financiado por una beca FPU, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, España.

¹ Premio de Investigación Jóvenes Investigadores 2014 de la Real Academia Galega de Ciencias.

this duality to the theories of Nature, as the Standard Model of Elementary Particle Physics, it is desirable to extend the correspondence to non-conformal theories, with less supersymmetry and including fundamental matter. The main goal of this work consists in the generalization of known results in AdS spaces [16] to a new kind of spaces that can be understood as AdS spaces in fractional dimensions. This work allows to compute the dimension of operators in the non-conformal case. In particular, it will be used to compute the dimensions of dual operators to probe brane fluctuations in the configurations $Dp - D(p+k)$ with $k = 0, 2, 4$ and $p = \frac{k}{2}, \frac{k}{2} + 1, \dots, 4$, where these probe branes are introduced to add fundamental matter to the theory, generalizing the results obtained in [17] [18] [19].

Key words: AdS/CFT, holography, duality, brane, conformal, supersymmetry, fundamental matter.

Introducción

Teoría de cuerdas y origen histórico de la correspondencia

La correspondencia AdS/CFT se enmarca dentro de la teoría de cuerdas. Analicemos en primer lugar algunas nociones básicas de la teoría de cuerdas, y a continuación una breve historia desde su origen a finales de los años sesenta hasta el descubrimiento de la correspondencia.

En el siglo XX se consolidan dos grandes ramas de la física orientadas a la explicación de los fenómenos más fundamentales y radicales de la naturaleza. Por una parte, a comienzos de siglo se arraiga la teoría de la relatividad general, explicando con gran precisión los fenómenos físicos a gran escala. Por otra parte, hacia la segunda mitad de siglo se sedimenta la teoría cuántica de campos, capaz de describir satisfactoriamente los fenómenos de lo más pequeño. De manera general, en la historia de la física la reunión de teorías distintas bajo un mismo marco conceptual ha resultado siempre fruto de ventajosas consecuencias. La conjunción de la gravitación con la teoría cuántica de campos ha sido un proyecto ambicioso y difícil, y los primeros intentos de construir una teoría cuántica de la gravedad fracasaron, debido a las dificultades en su renormalización.

La teoría de cuerdas se presenta como una teoría de gran unificación, que trata de aunar dentro de un mismo marco teórico el modelo estándar, basado en la teoría cuántica de campos, y la teoría de la relatividad general. Constituye, por tanto, una unificación de las cuatro fuerzas fundamentales, es decir, una teoría del todo. Esta unificación se produce a una escala mucho más pequeña que las distancias exploradas actualmente, la longitud de Planck (10^{-35} m), donde la fuerza gravitatoria se hace comparable a las otras fuerzas.

En la teoría de cuerdas, la gravitación se ve modificada por debajo de la escala de Planck, pero a grandes distancias se recuperan las ecuaciones de la relatividad general. Además, desde la teoría de cuerdas se pueden obtener de manera natural teorías del tipo de las del modelo estándar, aunque la manera concreta en la que se obtiene la teoría $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ no se conoce con precisión. Así, la teoría de cuerdas pretende contener a estas dos grandes teorías, en principio tan difíciles de unir.

A diferencia de la teoría cuántica de campos, que toma como elementos físicos fundamentales partículas puntuales, la teoría de cuerdas se basa en elementos unidimensionales, las cuerdas, que pueden ser abiertas o cerradas. El modelo estándar explica la Naturaleza a partir de un pequeño conjunto de

partículas fundamentales. La teoría de cuerdas trata de entender esta variedad de constituyentes a partir de un único elemento primigéneo, la cuerda. Ésta posee la capacidad de vibrar en diferentes modos, y cada uno de estos modos de vibración corresponde a una de las partículas fundamentales. Es decir, las diferentes partículas se entienden como distintos estados de vibración de un mismo objeto elemental, la cuerda. El tamaño de la cuerda es del orden de la longitud de Planck, y los experimentos actuales exploran distancias muchos órdenes de magnitud por encima, por eso las partículas se ven como puntuales.

Una propiedad característica de las teorías de cuerdas es que el número de dimensiones queda determinado por la propia consistencia de la teoría, y éste se verá ampliado por encima de 4. La teoría de cuerdas bosónica fija sus dimensiones en 26, mientras que las teorías de supercuerdas en 10 dimensiones. Para reconciliar esto con las 4 dimensiones que observamos en el mundo físico, 6 de las dimensiones en la teoría de supercuerdas se toman compactificadas con un radio muy pequeño, de tal manera que sólo se pueden percibir al explorar distancias mucho más pequeñas que las actualmente exploradas. Otra característica importante es que la teoría de supercuerdas predice la supersimetría, pues su consistencia matemática depende crucialmente de ella.

Existen 5 tipos de teorías de cuerdas: Tipo I, Tipo IIA, Tipo IIB, heterótica $SO(32)$ y heterótica $E8 \times E8$. Además, también existe la teoría de cuerdas bosónica, que fue la primera teoría de cuerdas formulada, pero no contiene fermiones y por tanto no puede describir el mundo físico. Los grupos gauge de cada una de las 5 teorías son: $SO(32)$ en las de tipo I, $U(1)$ en las de tipo IIA y IIB, $SO(32)$ en la heterótica $SO(32)$ y $E8 \times E8$ en la heterótica $E8 \times E8$.

La teoría de cuerdas tuvo su origen como una teoría orientada a explicar la física de los hadrones. En los años sesenta la fuerza fuerte requería de una teoría capaz de entenderla, y de explicar las propiedades de la multitud de hadrones encontrados. La búsqueda experimental de regularidades había encontrado una tendencia común: las resonancias hadrónicas se situaban en rectas paralelas en la gráfica espín frente a masa, las trayectorias de Regge. En 1968 Veneciano propuso, en el contexto del modelo dual de hadrones, una amplitud función de 4 puntos capaz de explicar estas trayectorias de Regge, y además la dualidad s-t. Por otra parte, su amplitud predecía una infinita cantidad de partículas de masa creciente, síntoma evidente de que la teoría que produce esta amplitud no es una teoría cuántica de campos habitual. En su origen, la amplitud de Veneciano fue una mera formulación fenomenológica, y necesitaba de una teoría fundamental que pudiese derivarla. Pronto se encontró que la teoría cuántica de una cuerda en vibración era capaz de reproducir la amplitud. Los diferentes estados de vibración de creciente energía correspondían a la infinita torre de partículas masivas. En 1970 Nambu y Go-

to proponen la acción para la cuerda bosónica, y en 1971 Ramond, Neveu y Schwarz introducen la cuerda fermiónica.

Sin embargo, a principios de los años 70 la teoría de cuerdas se encontró con una dificultad insuperable: los nuevos experimentos arrojaron datos que la teoría no era capaz de explicar. Además, otra nueva teoría orientada a la explicación de los fenómenos hadrónicos, basada en la teoría cuántica de campos, estaba demostrando una adecuada capacidad para entender los nuevos datos experimentales: la cromodinámica cuántica. Por tanto, la teoría de cuerdas quedó descartada como teoría de la fuerza fuerte.

Pero la teoría de cuerdas se resistió a perecer, y en 1974 fue rescatada por Scherk y Schwarz para darle un nuevo sentido. Como teoría de los hadrones no se había entendido el significado de la presencia en el espectro de una partícula sin masa de espín 2. Reinterpretando esta partícula como el mediador de la fuerza gravitatoria, el gravitón, se pensó la teoría ya no como una teoría de la fuerza fuerte, sino como una teoría a una escala mucho menor y mucho más fundamental, una teoría cuántica de la gravedad. Así, modificando los parámetros de la teoría desde la escala de la fuerza fuerte a la escala de Planck se estaba planteando una teoría de gran unificación de las 4 fuerzas fundamentales, una teoría del todo.

En 1976 Gliozzi, Scherck y Olive eliminaron las inconsistencias que sufría la teoría, como por ejemplo la presencia del taquión, un estado de masa imaginaria. Introdujeron lo que se denominó la proyección GSO.

A principios de los años 80 existían tres teorías de cuerdas consistentes y diferentes entre sí: la teoría I, la teoría IIA y la teoría IIB.

En 1985 tuvo lugar la primera revolución de la teoría de supercuerdas, tras el descubrimiento de 2 nuevas teorías de cuerdas por Gross, Harvey, Martinec y Rohm, conocidas como teorías heteróticas. Se trata de teorías de cuerdas cerradas que combinan la teoría de cuerdas bosónica con las supercuerdas. Las teorías heteróticas tuvieron un gran atractivo porque resultaron ser adecuadas para derivar las teorías del modelo estándar. Es decir, su grupo gauge contiene al grupo gauge de éste último, y por tanto, mediante una adecuada compactificación se buscó cómo derivar el modelo estándar. Desafortunadamente, no resultó posible lograr este propósito, pues las posibilidades de compactificación resultaron ser enormemente altas. Luego, el modo concreto en el que el modelo estándar se deriva de la teoría de cuerdas quedó sin esclarecer.

A principios de los años 90 la teoría de cuerdas se encuentra con cinco versiones distintas, todas ellas consistentes y posibles candidatas a explicar la naturaleza. Por tanto, permanece el problema de elegir cuál de las distintas teorías es la adecuada.

En torno al año 1995 tiene lugar la segunda revolución de la teoría de supercuerdas, principalmente debido a la contribución de Witten. Se encontró que

las diferentes teorías de cuerdas están relacionadas entre sí mediante dualidades, y además todas ellas están relacionadas con una sexta teoría, la supergravedad en 11 dimensiones. Estas dualidades relacionan una teoría en régimen de acoplo débil con otra teoría (o incluso la misma) en régimen de acoplo fuerte. Así, las diferentes teorías de cuerdas pasan a entenderse como una sola teoría, llamada teoría M, que además incluye la supergravedad en 11 dimensiones. Se desvanece, por tanto, el problema de elegir entre las distintas teorías de cuerdas.

En esta misma época comienza el estudio de las branas dentro de la teoría de cuerdas, que son objetos de carácter no perturbativo, recientemente descubiertos por Polchinski. En el contexto del estudio de las branas, en 1997 Maldacena descubre la correspondencia AdS/CFT, que relaciona una teoría gravitatoria en $d + 1$ dimensiones con una teoría cuántica de campos en ausencia de gravedad en d dimensiones. Desde su descubrimiento, la correspondencia AdS/CFT ha evolucionado ampliamente y, aunque enmarcada dentro de la teoría de cuerdas, ha crecido con vida propia, y ha encontrado fructíferas aplicaciones en diversos campos.

La correspondencia AdS/CFT

En los años noventa se descubren las branas dentro de la teoría de cuerdas, que son objetos de carácter no perturbativo que se extienden en varias dimensiones, y que están cargados bajo un campo gauge. Las branas pueden describirse desde dos puntos de vista, o bien como entidades en las que las cuerdas abiertas apoyan sus extremos, o bien como soluciones solitónicas de las ecuaciones del movimiento de cuerdas cerradas. En 1997 Maldacena advirtió que esta doble descripción permite relacionar la teoría gauge del interior de la brana con la solución de gravedad. Así, la conjetura de Maldacena afirma que se puede relacionar una teoría de gravedad con una teoría cuántica de campos en un espacio de una dimensión menor, en la que no existe gravedad. La teoría gauge se sitúa en la frontera de la teoría gravitatoria, por eso vive en un espacio de una dimensión menor.

En la formulación original de Maldacena, el sector gravitatorio de la dualidad lo constituye el espacio $AdS_5 \times S^5$, es decir, el producto de un espacio anti de Sitter en 5 dimensiones con una esfera en 5 dimensiones. El espacio AdS es un espacio máximamente simétrico que se puede obtener a partir de la acción de Einstein-Hilbert incluyendo una constante cosmológica. En el otro lado de la correspondencia tenemos una teoría de campos conforme (CFT) máximamente supersimétrica: N=4 Super Yang Mills.

La correspondencia AdS/CFT es una dualidad que invierte la constante de acoplamiento, es decir, cuando en una teoría el acoplamiento es débil en la teoría dual el acoplamiento es fuerte y viceversa. De este modo, la teoría en

régimen de acoplamiento débil admite una descripción perturbativa que podemos resolver, y a través de la correspondencia podremos tratar la teoría dual en régimen de acoplamiento fuerte, donde los métodos perturbativos habituales no son aplicables. En particular, las teorías gauge fuertemente acopladas son duales a sistemas gravitatorios con poca curvatura que están bien descritos por la gravedad clásica. En definitiva, la correspondencia AdS/CFT es de gran utilidad porque hace que problemas altamente difíciles en un lado de la dualidad se puedan describir desde su correspondiente descripción dual de manera muy sencilla.

Aunque la formulación original se establece entre un espacio AdS y una teoría cuántica de campos conforme y máximamente supersimétrica, se ha tratado de generalizar la correspondencia a casos que no son de este tipo, donde los espacios no son necesariamente AdS y las teorías gauge no son conformes y tienen menos supersimetrías. Así, esta generalización permite aproximarse a teorías de carácter fenomenológico. Estos análisis han logrado interpretar geoméricamente muchas características de las teorías gauge, como por ejemplo la renormalización, que adquiere una interpretación geométrica a través de la renormalización holográfica.

La correspondencia AdS/CFT establece que la teoría gravitatoria en el interior del espacio determina la física de una teoría no gravitatoria formulada en su frontera. Esta afirmación es lo que se denomina principio holográfico. La idea tuvo su origen en el estudio de la termodinámica de agujeros negros. Bekenstein y Hawking establecieron que los agujeros negros se pueden ver como sistemas termodinámicos con una temperatura y una entropía definida. En particular, la entropía está dada por $S = A/4G$ donde G es la constante de Newton y A es el área del horizonte del agujero negro. Dado que la entropía es la medida del número de grados de libertad, parecería lógico pensar que ésta fuese proporcional al volumen. El hecho de que sea proporcional a su superficie indica que los grados de libertad del sistema están inscritos en su superficie. Sucede lo mismo que en un holograma: la imagen en 3D está codificada en dos dimensiones.

La correspondencia ha encontrado múltiples aplicaciones destacables. Por ejemplo, utilizando una descripción con agujeros negros en el sector gravitatorio, a través de la correspondencia se pueden estudiar propiedades de transporte en teorías cuánticas de campos en régimen de acoplamiento fuerte. Mediante este tipo de técnicas se obtuvo un resultado interesante, que consiste en que la viscosidad de cizalladura η de un plasma fuertemente acoplado, en términos de la entropía, es:

$$\frac{\eta}{s} = \frac{1}{4\pi}$$

Este cálculo se realizó para diferentes casos, obteniendo en todos ellos el

mismo valor. Además, se trata de un valor realmente pequeño, que está incluso bastante por debajo de la viscosidad del helio líquido. Estas razones llevaron a P. Kotvun, D. Son y A. Starinets a elevar ese valor a la categoría de cota inferior universal de $\frac{\eta}{s}$, conocida como cota KSS. Existe un sistema cuyo valor $\frac{\eta}{s}$ se aproxima bastante a esta cota, que es el plasma de quarks y gluones que se genera en aceleradores de altas energías al hacer colisionar iones pesados. Además, en el campo de la materia condensada también existen determinados sistemas cuya viscosidad de cizalladura se aproxima bastante a la cota KSS, como por ejemplo el grafeno o sistemas de átomos de litio ultrafríos.

Una aplicación importante de la correspondencia AdS/CFT se ha encontrado en el estudio de la física del estado sólido a bajas temperaturas. En la física de la materia condensada aparecen sistemas fuertemente acoplados que resultan difíciles de resolver al no poder emplearse técnicas perturbativas. Sin embargo, a través de la correspondencia puede buscarse un dual gravitatorio, simplemente de carácter auxiliar, en el cual el acoplo es débil y el problema es fácil de resolver. Análisis de este tipo han sido efectuados, por ejemplo, en superconductividad de alta temperatura.

Contextualización del presente trabajo

La correspondencia AdS/CFT fue propuesta originalmente por Juan Maldacena en 1997 [15], y fue descrita con precisión por el Medalla Fields Edward Witten en 1998 [16]. En dicho trabajo se establecen con detalle las relaciones entre los dos lados de la dualidad, y, en particular, se presenta una prescripción para obtener la dimensión conforme de los operadores duales a los campos de materia en espacios AdS.

Posteriormente surgieron esfuerzos por extender estos desarrollos a espacios no conformes. Teorías no conformes pueden ser obtenidas a partir de las conformes rompiendo de alguna forma la invariancia conforme, por ejemplo introduciendo una escala. A altas energías la escala se hace irrelevante, y la teoría es asintóticamente conforme, y el análisis de las dimensiones conformes se puede extender de manera natural.

Sin embargo, también es interesante comprender las teorías que son no conformes per se, como las teorías duales a Dp-branas en supergravedad de tipo II para $p \neq 3$ ($p = 3$ es el único valor de p para el cual la teoría es conforme y es el primer ejemplo que aparece históricamente y el mejor comprendido en la actualidad). A pesar de que existen notables avances [20] [21], todavía hay muchas cuestiones abiertas. El presente trabajo pretende dar respuesta a algunas de estas preguntas.

En primer lugar, se presenta un procedimiento de renormalización holográfica que permite obtener la dimensión conforme de operadores duales a campos en el sector de gravedad. Para ello se llevará la métrica a una forma

AdS, en el llamado sistema de referencia dual. A pesar de ser AdS, no es conforme porque el dilatón no es constante, pero sin embargo se hace más patente cómo desarrollar un método de renormalización ya que podremos orientarnos por los espacios AdS en teorías conformes. Debe señalarse que al tratar con teorías no conformes la terminología “dimensión conforme” es un abuso del lenguaje, y debe entenderse que se trata de una dimensión conforme en una teoría conforme en más dimensiones que por reducción dimensional se reduce a la teoría no conforme.

En segundo lugar, se aplicará el resultado anterior a ciertas teorías no conformes, en particular a teorías gauge duales a Dp-branas. Desde los inicios de la correspondencia se conoce que las teorías duales a estas Dp-branas son teorías de Yang-Mills no conformes, pero todavía permanecen muchas cuestiones por esclarecer. En particular, es deseable conocer el comportamiento de la materia fundamental (sabor) en estas teorías. Por ello, consideraremos configuraciones donde añadimos materia fundamental a través de un nuevo tipo de Dp-branas. Concretamente tomaremos las intersecciones $Dp - D(p+k)$ con $k = 0, 2, 4$ y $p = \frac{k}{2}, \frac{k}{2} + 1, \dots, 4$. Las Dp-branas generan la teoría soporte con materia adjunta, mientras que las $D(p+k)$ branas se introducirán de tal forma que no modificarán la teoría base y se encargan de introducir la materia fundamental. Las fluctuaciones lineales de las funciones de encajamiento de estas últimas branas son duales a operadores asociados a estados ligados de materia fundamental (pueden entenderse como la generalización de los mesones en cromodinámica cuántica). En este trabajo se obtienen las dimensiones conformes de dichos operadores para las configuraciones $Dp - D(p+k)$.

Para $p = 3$ se recuperan los resultados obtenidos en los casos conformes [17] [18] [19].

Escalar masivo en un espacio AdS en dimensiones fraccionarias

En esta sección se generalizan los desarrollos conocidos para espacios AdS en dimensiones enteras a espacios que se pueden interpretar como AdS en dimensiones fraccionarias. En concreto, se estudia un escalar libre masivo y se obtiene la dimensión conforme del operador dual asociado a dicho campo. El resultado de este problema es ampliamente conocido para espacios AdS ordinarios, y los resultados obtenidos en este trabajo se reducen adecuadamente a esos casos cuando el número de dimensiones es entero. La importancia de este desarrollo reside en que permitirá obtener resultados en teorías no conformes, tal como se mostrará en los ejemplos concretos de las secciones 4, 5 y 6.

Sean $q, \sigma \in \mathbb{N}$, $q > 0$, $\sigma \geq 0$ y consideremos un espacio de $q + \sigma$ dimensiones con la siguiente métrica:

$$ds_{q+\sigma}^2 = \frac{-dx_0^2 + dx_1^2 + \dots + dx_{q-2}^2 + d\rho^2}{\rho^2} + \frac{1}{\rho^2} (dy_1^2 + \dots + dy_\sigma^2) \quad (1)$$

Es decir, se trata de una métrica AdS donde las primeras q dimensiones son no compactas y las σ dimensiones son compactas en un σ -toro de radio R_T .

La acción de un escalar libre masivo en este espacio, que sólo depende de las coordenadas no compactas, viene dada por:

$$S = -\frac{\tau}{(2\pi R_T)^\sigma} \int d^{q+\sigma} \xi \sqrt{-\det(g_{q+\sigma})} (g^{\bar{\mu}\bar{\nu}} \partial_{\bar{\mu}} \tilde{\chi} \partial_{\bar{\nu}} \tilde{\chi} + M^2 \tilde{\chi}^2) = 0 \quad (2)$$

Donde $\bar{\mu}, \bar{\nu} \in (0, 1, \dots, q-1)$ y la dependencia en σ entra a través del determinante: $\sqrt{-\det(g_{q+\sigma})} = \rho^{-q-\sigma}$. El valor concreto de la constante τ es no interviene en el cálculo de las dimensiones conformes. La integral sobre las σ coordenadas se calcula trivialmente, ya que nada depende de ellas, obteniendo una constante global que depende de σ . Separando en el determinante la parte de las q dimensiones no compactas de las σ dimensiones compactas, podemos ver que la acción es la misma que para un escalar libre masivo en un espacio AdS ordinario en q dimensiones, salvo por un factor extra $\rho^{-\sigma}$:

$$S = -\tau \int d^q \xi \rho^{-\sigma} \sqrt{-\det(g_{AdS_q})} (g^{\bar{\mu}\bar{\nu}} \partial_{\bar{\mu}} \tilde{\chi} \partial_{\bar{\nu}} \tilde{\chi} + M^2 \tilde{\chi}^2) = 0 \quad (3)$$

La ecuación del movimiento que se obtiene de la acción es la ecuación de un escalar libre masivo:

$$\Delta \tilde{\chi} - M^2 \tilde{\chi} = 0 \quad (4)$$

Escrita de manera más explícita:

$$\frac{1}{\rho^{-q-\sigma}} \partial_{\bar{\mu}} (\rho^{-q-\sigma} g^{\bar{\mu}\bar{\nu}} \partial_{\bar{\nu}} \tilde{\chi}) - M^2 \tilde{\chi} = 0 \quad (5)$$

Podemos observar que en la ecuación del movimiento obtenida a partir de esta acción σ aparece como un parámetro y la ecuación tiene sentido para cualquier valor real de σ (en los casos particulares que se estudian en las siguientes secciones σ es racional). Las dimensiones compactas entran en la ecuación únicamente a través del parámetro σ .

Inspirándonos en el caso de un escalar libre masivo en un espacio AdS de dimensiones enteras, podemos formular la siguiente hipótesis de separación de variables en ondas planas:

$$\tilde{\chi}(x_0, x_1, \dots, x_{q-2}, \rho) = e^{ik_\mu x^\mu} \rho^{\frac{q+\sigma-1}{2}} f(\rho) \quad (6)$$

Donde $\mu, \nu \in (0, 1, \dots, q-2)$, es decir, recorren la parte de Minkowski. Introduciendo esta hipótesis en (5) se obtiene:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\rho^{-q-\sigma}} \partial_\mu (\rho^{2-q-\sigma} \eta^{\mu\nu} \partial_\nu (e^{ikx})) \rho^{\frac{q+\sigma-1}{2}} f(\rho) + \\ & + \frac{1}{\rho^{-q-\sigma}} \partial_\rho (\rho^{2-q-\sigma} \partial_\rho (\rho^{\frac{q+\sigma-1}{2}} f(\rho))) e^{ikx} - M^2 e^{ikx} \rho^{\frac{q+\sigma-1}{2}} f(\rho) = 0 \quad (7) \end{aligned}$$

Donde $\eta^{\mu\nu}$ es la métrica de Minkowski. Definiendo $k^2 := \eta^{\mu\nu} k_\mu k_\nu$, la ecuación se reduce a:

$$\rho^2 \frac{\partial^2 f(\rho)}{\partial \rho^2} + \rho \frac{\partial f(\rho)}{\partial \rho} - \left(\left(\frac{1-q-\sigma}{2} \right)^2 + M^2 + k^2 \rho^2 \right) f(\rho) = 0 \quad (8)$$

Definiendo $\alpha := \sqrt{M^2 + \left(\frac{1-q-\sigma}{2}\right)^2}$, cambiando de variable $z := k\rho$ y renombrando $W(z) := f\left(\frac{z}{k}\right)$ la ecuación (8) adopta la forma:

$$z^2 \frac{\partial^2 W(z)}{\partial z^2} + z \frac{\partial W(z)}{\partial z} - (\alpha^2 + z^2) W(z) = 0 \quad (9)$$

Que podemos identificar con la ecuación de Bessel modificada. Dos soluciones linealmente independientes de esta ecuación para cualquier valor de $\alpha \in \mathbb{R}$ son las funciones de Bessel modificadas de primera y segunda especie:

$$I_\alpha(z) \qquad K_\alpha(z) \quad (10)$$

Es importante señalar que en la ecuación (9) no importa que el valor de α sea positivo o negativo. Además, la función de Bessel modificada de segunda especie, que será la única que intervenga en nuestro resultado final, verifica $K_\alpha(z) = K_{-\alpha}(z)$. Por tanto, el valor de α sólo es relevante en valor absoluto. De esta forma, si α toma valores positivos y negativos entonces dará lugar a la presencia de dos ramas en los modos que analizaremos en las secciones 4,5 y 6 (esto sucederá en los modos Λ^-, Z^- y W^-).

Para obtener un resultado con significado físico, tomaremos como condiciones que la solución sea real, regular y normalizable (se exige normalizabilidad para que sea dual a un campo en la teoría gauge). Comencemos

analizando el comportamiento en el régimen $\rho \rightarrow \infty$, es decir, en el infrarrojo de la teoría:

$$I_\alpha(k\rho) \sim \frac{e^{-k\rho}}{2\pi k\rho} \quad K_\alpha(k\rho) \sim \sqrt{\frac{\pi}{2k\rho}} e^{-k\rho} \quad (11)$$

Observamos que la primera solución es divergente, mientras que la segunda no lo es. De esta forma, al exigir regularidad debemos descartar la primera solución. Una vez obtenida una solución regular para la ecuación (9), podemos regresar a la separación de variables (6) y construir una solución general a la ecuación (5). Para ello, integramos sobre las k 's con una función peso $b(k_\mu)$, que es una función arbitraria de k_μ que puede tomar valores complejos:

$$\tilde{\chi} = \int dk^{q-1} b(k_\mu) e^{ik_\mu x^\mu} \rho^{\frac{q+\sigma-1}{2}} K_\alpha(k\rho) \quad (12)$$

Recordemos que $\tilde{\chi}$ representa una fluctuación de una coordenada o del campo gauge, luego toma valores en los números reales. Para exigir que la solución sea real, tomamos (12) más su complejo conjugado:

$$\tilde{\chi} = \int dk^{q-1} b(k_\mu) e^{ik_\mu x^\mu} \rho^{\frac{q+\sigma-1}{2}} K_\alpha(k\rho) + \int dk^{q-1} b^*(k_\mu) e^{-ik_\mu x^\mu} \rho^{\frac{q+\sigma-1}{2}} K_\alpha(k\rho) \quad (13)$$

Haciendo el cambio $k_\mu \rightarrow -k_\mu$ en la segunda integral:

$$\tilde{\chi} = \int dk^{q-1} (b(k_\mu) + b^*(-k_\mu)) e^{ik_\mu x^\mu} \rho^{\frac{q+\sigma-1}{2}} K_\alpha(k\rho) \quad (14)$$

Definamos $a(k_\mu) := b(k_\mu) + b^*(-k_\mu)$. A partir de la definición se sigue que debe verificar $a^*(k_\mu) = a(-k_\mu)$. Es decir, para que la solución sea real, la función peso debe verificar esta condición. Así, podemos expresar la solución general real como:

$$\tilde{\chi} = \int dk^{q-1} a(k_\mu) e^{ik_\mu x^\mu} \rho^{\frac{q+\sigma-1}{2}} K_\alpha(k\rho) \quad (15)$$

A continuación analicemos la solución en términos de la forma concreta de la función modificada de Bessel de segunda especie K_α . Ésta tiene expresiones distintas según si α es entero o no lo es. Si α no es entero, la función de Bessel modificada de segunda especie se expresa en términos de la función de Bessel modificada de primera especie:

$$K_\alpha(x) = \frac{\pi I_{-\alpha}(x) - I_\alpha(x)}{2 \sin \alpha \pi}, \quad I_\alpha(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{m! \Gamma(m + \alpha + 1)} \left(\frac{x}{2}\right)^{2m+\alpha}. \quad (16)$$

La solución de la ecuación diferencial para α no entero es entonces:

$$\begin{aligned} \tilde{\chi} = \int dk^{q-1} a(k_\mu) e^{ik_\mu x^\mu} \frac{\pi}{2 \sin \alpha \pi} & \left(\rho^{2\alpha_-} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{k^{-\alpha} (k\rho)^{2m}}{m! \Gamma(m - \alpha + 1) 2^{2m-\alpha}} - \right. \\ & \left. - \rho^{2\alpha_+} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{k^\alpha (k\rho)^{2m}}{m! \Gamma(m + \alpha + 1) 2^{2m+\alpha}} \right) \end{aligned} \quad (17)$$

donde:

$$\begin{aligned} \alpha_- & := \frac{1}{2} \left(\frac{q + \sigma - 1}{2} - \alpha \right), \\ \alpha_+ & := \frac{1}{2} \left(\frac{q + \sigma - 1}{2} + \alpha \right). \end{aligned} \quad (18)$$

Se verifican las igualdades $\alpha = \alpha_+ - \alpha_-$ y $1 - q - \sigma = -2\alpha_+ - 2\alpha_-$.

Podemos reexpresar (17) poniendo la dependencia en ρ de manera más explícita:

$$\tilde{\chi} = \rho^{2\alpha_-} \sum_{m=0}^{\infty} \tilde{\chi}_-^{2m} \rho^{2m} + \rho^{2\alpha_+} \sum_{m=0}^{\infty} \tilde{\chi}_+^{2m} \rho^{2m}, \quad (19)$$

donde

$$\tilde{\chi}_-^{2m} := \int dk^{q-1} a(k_\mu) e^{ik_\mu x^\mu} \frac{\pi}{2 \sin \alpha \pi} \frac{k^{2m-\alpha}}{m! \Gamma(m - \alpha + 1) 2^{2m-\alpha}}, \quad (20)$$

$$\tilde{\chi}_+^{2m} := - \int dk^{q-1} a(k_\mu) e^{ik_\mu x^\mu} \frac{\pi}{2 \sin \alpha \pi} \frac{k^{2m+\alpha}}{m! \Gamma(m + \alpha + 1) 2^{2m+\alpha}}. \quad (21)$$

Analicemos a continuación el caso de α entero. Si α es entero, $\sin(\alpha\pi)$ es cero y la expresión (16) carece de sentido. Por eso para α entero la función de Bessel de segunda especie modificada se expresa como el límite:

$$K_\alpha(x) = \lim_{\nu \rightarrow \alpha} \frac{\pi I_{-\nu}(x) - I_\nu(x)}{2 \sin \nu \pi}. \quad (22)$$

Calculando el límite se obtiene:

$$K_\alpha(x) = \frac{1}{2} \left(\frac{x}{2}\right)^{-\alpha} \sum_{m=0}^{\alpha-1} \frac{(\alpha - m - 1)!}{m!} \left(-\frac{x^2}{4}\right)^m + (-1)^{\alpha+1} \ln\left(\frac{x}{2}\right) I_\alpha(x) +$$

$$+ (-1)^\alpha \frac{1}{2} \left(\frac{x}{2}\right)^\alpha \sum_{m=0}^{\infty} (\psi(m+1) + \psi(\alpha + m + 1)) \frac{1}{m!(\alpha + m)!} \left(\frac{x}{2}\right)^{2m}, \quad (23)$$

donde $\psi(1) = -\gamma$, $\psi(n) = -\gamma + \sum_{k=1}^{n-1} k^{-1}$, $n \geq 2$, y γ es la constante de Euler-Mascheroni, $\gamma = 0,57722\dots$

Luego, la solución para α entero es:

$$\tilde{\chi} = \int dk^{q-1} a(k_\mu) e^{ik_\mu x^\mu} \left(\rho^{2\alpha_-} \sum_{m=0}^{\alpha-1} \frac{(-1)^m (\alpha - m - 1)! k^{-\alpha}}{m! 2^{2m-\alpha+1}} (k\rho)^{2m} + \right.$$

$$\left. + \rho^{2\alpha_+} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^\alpha (k\rho)^{2m} k^\alpha}{m!(\alpha + m)! 2^{2m+\alpha}} \left(\frac{1}{2} (\psi(m+1) + \psi(\alpha + m + 1)) - \ln\left(\frac{k\rho}{2}\right) \right) \right). \quad (24)$$

Podemos reescribir (24) expresando de forma explícita la dependencia en ρ :

$$\tilde{\chi} = \rho^{2\alpha_-} \sum_{m=0}^{\alpha-1} \tilde{\chi}'_{-2m} \rho^{2m} + \rho^{2\alpha_+} \sum_{m=0}^{\infty} \tilde{\chi}'_{+2m} \rho^{2m} + \rho^{2\alpha_+} \sum_{m=0}^{\infty} \vartheta'_+{}^{2m} \rho^{2m} \ln \rho, \quad (25)$$

donde

$$\tilde{\chi}'_{-2m} := \int dk^{q-1} a(k_\mu) e^{ik_\mu x^\mu} \frac{(-1)^m (\alpha - m - 1)!}{m! 2^{2m-\alpha+1}} k^{2m-\alpha}, \quad (26)$$

$$\tilde{\chi}'_{+2m} := \int dk^{q-1} a(k_\mu) e^{ik_\mu x^\mu} \frac{(-1)^\alpha}{m!(\alpha + m)! 2^{2m+\alpha}} k^{2m+\alpha} \left(\frac{1}{2} (\psi(m+1) + \right.$$

$$\left. + \psi(\alpha + m + 1)) - \ln\left(\frac{k}{2}\right) \right), \quad (27)$$

$$\vartheta'_+{}^{2m} := \int dk^{q-1} a(k_\mu) e^{ik_\mu x^\mu} \frac{(-1)^{\alpha+1}}{m!(\alpha + m)! 2^{2m+\alpha}} k^{2m+\alpha}. \quad (28)$$

Tanto para α entero como no entero aparecen los exponentes: α_- y α_+ . Estos exponentes se obtienen como solución de la ecuación $M^2 = 2\tilde{\alpha}(2\tilde{\alpha} - q - \sigma + 1)$ y de las nociones generales de espacios AdS podemos saber que los coeficientes que multiplican a las potencias $\rho^{2\alpha_-}$ y $\rho^{2\alpha_+}$ juegan un papel importante:

$$\tilde{\chi}(x_0, x_1, \dots, x_{q-1}, \rho) = \rho^{2\alpha_-} \tilde{\chi}_-^0 + \dots - \rho^{2\alpha_+} \tilde{\chi}_+^0 + \dots \quad (29)$$

El coeficiente $\tilde{\chi}_-^0$ es la fuente del operador $\hat{\mathcal{O}}_\chi$ dual a la fluctuación χ , mientras que $\tilde{\chi}_+^0$ juega el papel de valor esperado en el vacío (VEV). Para ser más precisos, en la correspondencia AdS/CFT el modo no normalizable es que se identifica con la fuente del operador dual, mientras que el modo normalizable es el que se identifica con el VEV.

Renormalización holográfica

Queremos renormalizar la acción para cancelar los infinitos que se producen en la frontera. Para ello debemos comenzar integrando en $\rho \geq \varepsilon$, donde ε es un valor próximo a 0, es decir, próximo a la frontera (posteriormente se tomará el límite $\rho \rightarrow 0$). Para ello calculemos la acción “on-shell”. Consideremos la acción (2). En primer lugar, como nada depende de las coordenadas σ , podemos calcular la integral a lo largo de ellas. En segundo lugar, integrando por partes el primer sumando, y usando la ecuación del movimiento (4) obtenemos:

$$S_{on-shell} = -\tau \int_{\rho \geq \varepsilon} d\xi^q \partial_\mu \left(\sqrt{-det(g_{q+\sigma})} g^{\mu\nu} (\partial_\nu \tilde{\chi}) \tilde{\chi} \right). \quad (30)$$

Usando el teorema de Gauss y el teorema de Stokes, reducimos la integral a la superficie $\rho = \varepsilon$:

$$S_{on-shell} = -\tau \int_{\rho=\varepsilon} d\xi^{q-1} \sqrt{h} n_\mu \bar{g}^{\mu\nu} (\partial_\nu \tilde{\chi}) \tilde{\chi}|_{\rho=\varepsilon}, \quad (31)$$

donde n_μ es un vector normal a la superficie $\rho = \varepsilon$, con orientación hacia la frontera. Normalizado a 1 es:

$$n^\mu = (0, \dots, 0, -\varepsilon), \quad (32)$$

donde $-\varepsilon$ está en la posición de la variable ρ . $h = -det(h_{\mu\nu})$ es la métrica inducida en la superficie $\rho = \varepsilon$, es decir:

$$h_{\mu\nu} = \frac{\partial x^{\bar{\mu}}}{\partial \xi^\mu} \frac{\partial x^{\bar{\nu}}}{\partial \xi^\nu} g^{\bar{\mu}\bar{\nu}} \quad (33)$$

Podemos simplificar la expresión (31):

$$S_{on-shell} = \tau \int_{\rho=\varepsilon} d\xi^{q-1} \sqrt{h} \rho (\partial_\rho \tilde{\chi}) \tilde{\chi}|_{\rho=\varepsilon} \quad (34)$$

El siguiente paso consiste en aislar los términos divergentes de la acción. Para ello debemos introducir la solución expandida en serie, y como ésta es diferente para el caso entero y el no entero, los analizaré por separado. Comenzaré por el caso no entero.

α no entero

Expandiendo los distintos factores de la acción:

$$\sqrt{h} = \varepsilon^{1-q-\sigma} = \varepsilon^{-2\alpha_+ - 2\alpha_-}, \quad (35)$$

$$\tilde{\chi}|_{\rho=\varepsilon} = \varepsilon^{2\alpha_-} \sum_{m=0}^{\infty} \tilde{\chi}_-^{2m} \varepsilon^{2m} + \varepsilon^{2\alpha_+} \sum_{m=0}^{\infty} \tilde{\chi}_+^{2m} \varepsilon^{2m}, \quad (36)$$

$$\varepsilon \partial_\varepsilon \tilde{\chi}|_{\rho=\varepsilon} = \varepsilon^{2\alpha_-} \sum_{m=0}^{\infty} 2(m + \alpha_-) \tilde{\chi}_-^{2m} \varepsilon^{2m} + \varepsilon^{2\alpha_+} \sum_{m=0}^{\infty} 2(m + \alpha_+) \tilde{\chi}_+^{2m} \varepsilon^{2m}, \quad (37)$$

Inspeccionando las potencias se observa que los términos divergentes están contenidos en el elemento:

$$\varepsilon^{2(\alpha_- - \alpha_+)} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} 2(l + \alpha_-) \tilde{\chi}_-^{2m} \tilde{\chi}_-^{2l} \varepsilon^{2m+2l}. \quad (38)$$

Haciendo el cambio de índices $j = m + l$:

$$\varepsilon^{-2\alpha} \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{m=0}^j 2(j - m + \alpha_-) \tilde{\chi}_-^{2m} \tilde{\chi}_-^{2j-2m} \varepsilon^{2j}. \quad (39)$$

Así expresado se ve con claridad que la potencia de ε será negativa, y por tanto el término divergente, si $-2\alpha + 2j < 0 \Rightarrow j < \alpha$. Definamos $\beta := [\alpha]$, es decir, el mayor entero menor que α . Recordemos que estamos analizando el caso α no entero, luego β así definido expresa el mayor j para el cual el término es divergente. Podemos entonces aislar los términos divergentes de la acción:

$$S_{div} = \tau \int_{\rho=\varepsilon} d\xi^{q-1} \varepsilon^{-2\alpha} \sum_{j=0}^{\beta} \sum_{m=0}^j 2(j - m + \alpha_-) \tilde{\chi}_-^{2m} \tilde{\chi}_-^{2j-2m} \varepsilon^{2j}. \quad (40)$$

Nótese que para determinar este término divergente se ha supuesto que α es positivo. Como estamos considerando α en valor absoluto, este siempre será el caso. Si hubiésemos permitido que α fuese negativo, simplemente se intercambiarían los papeles de α_- y α_+ de tal forma que el resultado sería el mismo.

Conocida de la parte divergente, la acción de contratérminos se construye[†]:

$$S_{ct}(\tilde{\chi}, \varepsilon) = -S_{div}(\tilde{\chi}^0, \varepsilon), \tag{41}$$

es decir, debemos reexpresar los términos de la acción en función del campo original $\tilde{\chi}$. Esto es porque el campo $\tilde{\chi}$ es el que es invariante bajo transformaciones covariantes. Formalmente, para hacer esto debemos invertir la serie (36), aunque en la práctica se puede hacer el cálculo en primer lugar para orden uno, luego a segundo orden, etc. de tal manera que uno advierte cuál es la estructura del resultado.

$$S_{ct} = -\tau \int_{\rho=\varepsilon} d\xi^{q-1} \sqrt{h} \left(-\alpha_- \tilde{\chi}^2 + \sum_{j=1}^{\beta} c_j \tilde{\chi} \square_h \tilde{\chi} \right), \tag{42}$$

donde las c_j son constantes cuyo valor concreto no es importante en el desarrollo. A continuación podemos definir la acción sustraída como[‡]:

$$S_{sus}(\tilde{\chi}, \varepsilon) = S_{on-shell}(\tilde{\chi}^0, \varepsilon) + S_{ct}(\tilde{\chi}, \varepsilon), \tag{43}$$

$$S_{sus} = \tau \int_{\rho=\varepsilon} d\xi^{q-1} \sqrt{h} \left(\varepsilon (\partial_\varepsilon \tilde{\chi}) \tilde{\chi} - 2\alpha_- \tilde{\chi}^2 - \sum_{j=1}^{\beta} c_j \tilde{\chi} \square_h^j \tilde{\chi} \right). \tag{44}$$

Una vez obtenida la acción sustraída podemos calcular la función de un punto mediante la expresión:

$$\langle \hat{\mathcal{O}}_\chi \rangle = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\varepsilon^{2\alpha_+} \sqrt{h}} \frac{\delta S_{sus}}{\delta \tilde{\chi}} \right). \tag{45}$$

Tomando la variación de la acción sustraída:

[†]Tal como se ha escrito la acción divergente se da a entender que sólo depende de $\tilde{\chi}^0$ y no de los demás $\tilde{\chi}^{2m}$. Esto es así porque los $\tilde{\chi}^{2m}$ se pueden escribir en función de $\tilde{\chi}^0$ de acuerdo con la expresión $\tilde{\chi}^{2m} = \frac{(-1)^m \Gamma(1-\alpha)}{m! \Gamma(m-\alpha+1) 2^{2m}} \square_0^m \tilde{\chi}^0$, donde $\square_0 = \delta_{ij} \partial_i \partial_j$.

[‡]La acción renormalizada se puede calcular como: $S_{ren}(\tilde{\chi}^{(0)}) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} S_{sus}(\tilde{\chi}, \varepsilon)$, pero tal como se expresa la función de un punto (45) no hace falta calcularla explícitamente.

$$\delta S_{sus} = \tau \int_{\rho=\epsilon} d\xi^{q-1} \sqrt{h} \left(2\varepsilon(\partial_\varepsilon \tilde{\chi}) - 4\alpha_- \tilde{\chi} - 2 \sum_{j=1}^{\beta} c_j \square_h^j \tilde{\chi} \right) \delta \tilde{\chi} . \quad (46)$$

El único término que sobrevive al límite es:

$$\delta S_{sus} = \tau \int_{\rho=\epsilon} d\xi^{q-1} \sqrt{h} (4(\alpha_+ - \alpha_-) \varepsilon^{2\alpha_+} \tilde{\chi}_+^0 + \dots) \delta \tilde{\chi} . \quad (47)$$

El resto de términos, indicados con puntos suspensivos, se anularán al hacer el límite. Los términos de menor exponente que $2\alpha_+$ han sido eliminados debido a la adición del contratérmino. La función de un punto es, por tanto:

$$\langle \hat{\mathcal{O}}_\chi \rangle = \tau 4\alpha \tilde{\chi}_+^0 . \quad (48)$$

Lo que nos interesa obtener es el correlador de dos puntos, que se calcula diferenciando la función de un punto respecto de la fuente, $\tilde{\chi}_-^0$. Sin embargo, no es sencillo expresar $\tilde{\chi}_+^0$ en función de $\tilde{\chi}_-^0$. Entonces elegiré otro camino, pasando al espacio de momentos. Tomemos la antitransformada de Fourier de $\tilde{\chi}_-^0$ y $\tilde{\chi}_+^0$ (20) (21), resultando:

$$\tilde{\chi}_-^0(k_\mu) = a(k_\mu) \frac{\pi}{2 \sin \alpha \pi} \frac{k^{-\alpha}}{\Gamma(1 - \alpha) 2^{-\alpha}} , \quad (49)$$

$$\tilde{\chi}_+^0(k_\mu) = -a(k_\mu) \frac{\pi}{2 \sin \alpha \pi} \frac{k^\alpha}{\Gamma(\alpha + 1) 2^\alpha} . \quad (50)$$

Ahora sí podemos expresar fácilmente $\tilde{\chi}_+^0(k_\mu)$ en función de $\tilde{\chi}_-^0(k_\mu)$:

$$\tilde{\chi}_+^0(k_\mu) = -\frac{k^{2\alpha} \Gamma(1 - \alpha)}{4^\alpha \Gamma(1 + \alpha)} \tilde{\chi}_-^0(k_\mu) . \quad (51)$$

En siguiente lugar tomemos la antitransformada de Fourier de la ecuación (48):

$$\langle \hat{\mathcal{O}}_\chi \rangle = \tau 4\alpha \tilde{\chi}_+^0(k_\mu) . \quad (52)$$

Sustituyendo (51) se tiene:

$$\langle \hat{\mathcal{O}}_\chi \rangle = -\tau 4\alpha \frac{k^{2\alpha} \Gamma(1 - \alpha)}{4^\alpha \Gamma(1 + \alpha)} \tilde{\chi}_-^0(k_\mu) . \quad (53)$$

Derivando respecto de $\tilde{\chi}_-^0(k_\mu)$ obtenemos el correlador de dos puntos:

$$\langle \hat{\mathcal{O}}_\chi \hat{\mathcal{O}}_\chi \rangle = -\tau 4\alpha \frac{\Gamma(1-\alpha)}{4^\alpha \Gamma(1+\alpha)} k^{2\alpha}. \quad (54)$$

Para leer la dimensión conforme de $\hat{\mathcal{O}}_\chi$ debemos expresar el correlador de dos puntos en el espacio de posiciones. Para realizar la transformación de Fourier usaré la integral[†]:

$$\int \frac{dk^{q-1}}{(2\pi)^{q-1}} e^{ikx} k^{2\alpha} = \frac{4^\alpha}{\pi^{\frac{q-1}{2}}} \frac{\Gamma(\alpha + \frac{q-1}{2})}{\Gamma(-\alpha)} \frac{1}{|\vec{x}|^{2\alpha+q-1}}. \quad (55)$$

En el espacio de posiciones el correlador de dos puntos es:

$$\langle \hat{\mathcal{O}}_\chi(x) \hat{\mathcal{O}}_\chi(y) \rangle = -\tau \alpha 2^q \pi^{\frac{q-1}{2}} \frac{\Gamma(1-\alpha) \Gamma(\frac{q-1}{2} + \alpha)}{\Gamma(1+\alpha) \Gamma(-\alpha)} \frac{1}{|x-y|^{2\alpha+q-1}}. \quad (56)$$

Dado que los casos que estudiamos contemplan una constante de acoplamiento g_{YM} con dimensiones, debemos extraer una constante de acoplamiento efectiva g_{eff} cuyo carácter sea adimensional. Ésta se define como:

$$g_{eff}^2(|x-y|) = g_{YM}^2 N |x-y|^{5-q}$$

Si la potencia de la constante de acoplo de YM es $(g_{YM}^2)^Q$ entonces debemos separar en la expresión un factor $(g_{eff}^2(|x-y|))^Q = (g_{YM}^2 N |x-y|^{5-q})^Q$

$$\langle \hat{\mathcal{O}}_\chi(x) \hat{\mathcal{O}}_\chi(y) \rangle = -\tilde{\tau} \alpha 2^q \pi^{\frac{q-1}{2}} \frac{\Gamma(1-\alpha) \Gamma(\frac{q-1}{2} + \alpha)}{\Gamma(1+\alpha) \Gamma(-\alpha)} \frac{(g_{eff}^2(|\vec{x}-\vec{y}|))^Q}{|x-y|^{2\alpha+q-1+(5-q)Q}}. \quad (57)$$

donde $\tilde{\tau} = \tau (g_{YM}^2 N)^{-Q}$. Podemos entonces leer la dimensión conforme del operador $\hat{\mathcal{O}}_\chi$, teniendo en cuenta que el exponente de $|\vec{x}-\vec{y}|$ es dos veces la dimensión:

$$\Delta_\chi = \alpha + \frac{q-1}{2} + \frac{5-q}{2} Q, \quad (58)$$

Para las intersecciones de branas que vamos a estudiar, se verifica $Q = \frac{k}{2(7-q)} - 1$. Usando las definiciones de α , A y Q podemos reexpresar (58) como:

[†]Esta integral la he calculado pasando a coordenadas esféricas en d dimensiones y el desarrollo involucra una integral con una función de Bessel que he obtenido de la expresión 14 de la página 684 del libro [31]. Esta última integral no está definida para los valores en los que la he empleado, por lo cual es necesario hacer una prolongación analítica. El resultado que he obtenido está en concordancia con la integral que aparece en la página 549 del libro [30].

$$\Delta_\chi = \sqrt{M^2 + \left(\frac{q + \sigma - 1}{2}\right)^2} + \frac{q - 1}{2} + \frac{5 - q}{2} \left(\frac{k}{2(7 - q)} - 1\right), \quad (59)$$

Observamos que para $\sigma = 0$ y $Q = 0$ recuperamos la expresión habitual para espacios AdS en dimensiones enteras.

α entero

Retornemos a la acción on shell (34), pero ahora realicemos el cálculo para el caso α entero. Debemos comenzar por aislar los términos divergentes de la acción. Para ello expresemos los diferentes elementos en serie de potencias:

$$\sqrt{h} = \varepsilon^{1-q-\sigma} = \varepsilon^{-2\alpha_+ - 2\alpha_-}, \quad (60)$$

$$\tilde{\chi}|_{\rho=\varepsilon} = \varepsilon^{2\alpha_-} \sum_{m=0}^{\alpha-1} \tilde{\chi}'_{-}{}^{2m} \varepsilon^{2m} + \varepsilon^{2\alpha_+} \sum_{m=0}^{\infty} \tilde{\chi}'_{+}{}^{2m} \varepsilon^{2m} + \varepsilon^{2\alpha_+} \sum_{m=0}^{\infty} \vartheta'_+{}^{2m} \varepsilon^{2m} \ln \varepsilon, \quad (61)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon \partial_\varepsilon \tilde{\chi}|_{\rho=\varepsilon} &= \varepsilon^{2\alpha_-} \sum_{m=0}^{\alpha-1} 2(m + \alpha_-) \tilde{\chi}'_{-}{}^{2m} \varepsilon^{2m} + \\ &+ \varepsilon^{2\alpha_+} \sum_{m=0}^{\infty} 2(m + \alpha_+) \tilde{\chi}'_{+}{}^{2m} \varepsilon^{2m} + \varepsilon^{2\alpha_+} \sum_{m=0}^{\infty} \vartheta'_+{}^{2m} \varepsilon^{2m} (2(\alpha_+ + m) \ln \varepsilon + 1), \quad (62) \end{aligned}$$

Los términos divergentes son, por una parte, potencias negativas de ε . Éstas aparecen en el producto del primer sumatorio de (61) con el primero de (62):

$$\varepsilon^{-2\alpha} \sum_{m=0}^{\alpha-1} \sum_{l=0}^{\alpha-1} 2(l + \alpha_-) \tilde{\chi}'_{-}{}^{2m} \tilde{\chi}'_{-}{}^{2l} \varepsilon^{2m+2l}. \quad (63)$$

Para separar los términos del sumatorio con potencias negativas renombramos los índices $j = m + l$, y así expresado se observa que los términos tienen potencia negativa, y por tanto son divergentes, si $j < \alpha$:

$$\varepsilon^{-2\alpha} \sum_{j=0}^{\alpha-1} \sum_{m=0}^j 2(j - m + \alpha_-) \tilde{\chi}'_{-}{}^{2m} \tilde{\chi}'_{-}{}^{2j-2m} \varepsilon^{2j}. \quad (64)$$

Por otra parte, en este caso de α entero también aparecen otro tipo de términos divergentes, aquéllos que tienen un logaritmo de ε no multiplicado por potencias de ε :

$$2(\alpha_+ + \alpha_-) \tilde{\chi}'_{-}{}^0 \vartheta'_+{}^0 \ln \varepsilon. \quad (65)$$

Por tanto, la parte divergente de la acción es:

$$S_{div} = \tau \int_{\rho=\varepsilon} d\xi^{q-1} \left(\varepsilon^{-2\alpha} \sum_{j=0}^{\alpha-1} \sum_{m=0}^j 2(j-m+\alpha_-) \tilde{\chi}'^{2m}_- \tilde{\chi}'^{2j-2m}_- \varepsilon^{2j} + \right. \\ \left. + 2(\alpha_+ + \alpha_-) \tilde{\chi}'^0_+ \vartheta'^0_+ \ln \varepsilon \right) \quad (66)$$

Una vez conocida la parte divergente podemos construir la acción de contraterminos de acuerdo con (41), que debe estar expresada en función del campo original $\tilde{\chi}$, ya que sólo éste es invariante bajo transformaciones covariantes:

$$S_{ct} = -\tau \int_{\rho=\varepsilon} d\xi^{q-1} \sqrt{h} \left(2\alpha_- \tilde{\chi}^2 + \sum_{j=1}^{\alpha-1} d_j \tilde{\chi} \square_h^j \tilde{\chi} + d_\alpha \tilde{\chi} \square_h^{2\alpha} \tilde{\chi} \ln(\varepsilon) \right) \quad (67)$$

donde d_j , $j = 1, 2, \dots, \alpha$ son constantes cuyo valor no es importante en el desarrollo.

Calculando la acción sustraída, de acuerdo con (43):

$$S_{sus} = \tau \int_{\rho=\varepsilon} d\xi^{q-1} \sqrt{h} \left(\varepsilon (\partial_\varepsilon \tilde{\chi}) \tilde{\chi} - 2\alpha_- \tilde{\chi}^2 - \sum_{j=1}^{\alpha-1} d_j \tilde{\chi} \square_h^j \tilde{\chi} - d_\alpha \tilde{\chi} \square_h^{2\alpha} \tilde{\chi} \ln(\varepsilon) \right) \quad (68)$$

Tomando variaciones:

$$\delta S_{sus} = \tau \int_{\rho=\varepsilon} d\xi^{q-1} \sqrt{h} \left(2\varepsilon (\partial_\varepsilon \tilde{\chi}) - 4\alpha_- \tilde{\chi} - 2 \sum_{j=1}^{\alpha-1} d_j \square_h^j \tilde{\chi} - 2d_\alpha \square_h^{2\alpha} \tilde{\chi} \ln(\varepsilon) \right) \delta \tilde{\chi} \quad (69)$$

El único término que sobrevive al límite (45) es:

$$\delta S_{sus} = \tau \int_{\rho=\varepsilon} d\xi^{q-1} \sqrt{h} \left((4\alpha \tilde{\chi}^0_+ + \vartheta'^0_+) \varepsilon^{2\alpha_+} + \dots \right) \delta \tilde{\chi} . \quad (70)$$

Así, podemos calcular la función de un punto 45, obteniendo:

$$\langle \hat{\mathcal{O}}_\chi \rangle = \tau (4\alpha \tilde{\chi}^0_+ + \vartheta'^0_+) . \quad (71)$$

El segundo término de la expresión puede ser eliminado añadiendo un contratermino finito [25].

Para leer la dimensión conforme del operador $\hat{\mathcal{O}}_\chi$ debemos calcular el correlador de dos puntos. Éste se obtiene derivando la función de un punto respecto de la fuente, $\tilde{\chi}'_0$. Sin embargo, resulta difícil expresar $\tilde{\chi}'_+$ en función de $\tilde{\chi}'_-$. Al igual que en el caso anterior, podemos pasar al espacio de momentos. Tomando la antitransformada de Fourier de $\tilde{\chi}'_-$ y $\tilde{\chi}'_+$ (26) (27):

$$\tilde{\chi}'_-(k_\mu) = a(k_\mu) \frac{(\alpha - 1)!}{2^{-\alpha+1}} k^{-\alpha}, \tag{72}$$

$$\tilde{\chi}'_+(k_\mu) = a(k_\mu) \frac{(-1)^\alpha}{\alpha! 2^\alpha} k^\alpha \left(\frac{1}{2} (\psi(1) + \psi(\alpha + 1)) - \ln \left(\frac{k}{2} \right) \right), \tag{73}$$

Expresando $\tilde{\chi}'_+(k_\mu)$ en función de $\tilde{\chi}'_-(k_\mu)$:

$$\tilde{\chi}'_+(k_\mu) = \frac{(-1)^\alpha k^{2\alpha}}{\alpha! (\alpha - 1)! 2^{2\alpha}} \left(\sum_{m=1}^{\alpha} \frac{1}{m} - 2\gamma - 2 \ln \left(\frac{k}{2} \right) \right) \tilde{\chi}'_-(k_\mu), \tag{74}$$

y sustituyendo en la función de un punto, y derivando respecto de $\tilde{\chi}'_-(k_\mu)$, se obtiene el correlador de dos puntos:

$$\langle \hat{\mathcal{O}}_\chi \hat{\mathcal{O}}_\chi \rangle = \tau 4 \alpha \frac{(-1)^\alpha k^{2\alpha}}{\alpha! (\alpha - 1)! 2^{2\alpha}} \ln \left(\frac{\epsilon^2}{\mu^2} \right), \tag{75}$$

donde se ha introducido un parámetro de renormalización μ , en el cual he absorbido la constante $\sum_{m=1}^{\alpha} \frac{1}{m} - 2\gamma$. Para poder leer la dimensión conforme debemos expresarlo en el espacio de momentos, para lo cual haré uso de la siguiente integral[†]:

$$\int \frac{dk^{q-1}}{(2\pi)^{q-1}} e^{ik_\mu x^\mu} k^{2\alpha} \ln \left(\frac{k^2}{\mu^2} \right) = \frac{4^\alpha \Gamma(\alpha + 1) \Gamma(\alpha + \frac{q-1}{2})}{(-1)^{\alpha+1} \pi^{q-1}} \mathcal{R} \left(\frac{1}{|\vec{x}|^{2\alpha+q-1}} \right). \tag{76}$$

Esta integral se obtiene por regularización dimensional. μ es la escala de renormalización y \mathcal{R} indica que se trata de una distribución renormalizada. El correlador de dos puntos en el espacio de posiciones es:

$$\langle \hat{\mathcal{O}}_\chi(x) \hat{\mathcal{O}}_\chi(y) \rangle = -\tau 2^q \alpha \frac{\Gamma(\alpha + \frac{q-1}{2})}{\Gamma(\alpha)} \mathcal{R} \left(\frac{1}{|x - y|^{2\alpha+q-1}} \right). \tag{77}$$

Extrayendo $(g_{eff}^2(|x - y|))^Q = (g_{YM}^2 N |x - y|^{5-q})^Q$:

[†] esta integral se puede consultar, por ejemplo, en [29]

$$\langle \hat{\mathcal{O}}_\chi(x) \hat{\mathcal{O}}_\chi(y) \rangle = -\tilde{\tau} 2^q \alpha \frac{\Gamma(\alpha + \frac{q-1}{2})}{\Gamma(\alpha)} \mathcal{R} \left(\frac{(g_{eff}^2 (|\vec{x} - \vec{y}|))^Q}{|x - y|^{2\alpha + q - 1 + (5-q)Q}} \right), \quad (78)$$

donde $\tilde{\tau} = \tau (g_{YM}^2 N)^{-Q}$. Ahora se puede leer la dimensión conforme del operador dual teniendo en cuenta que ésta es dos veces el exponente de $|x - y|$:

$$\Delta_\chi = \alpha + \frac{q}{2} + \frac{5-q}{2} Q, \quad (79)$$

Usando las definiciones de α , A y Q podemos reexpresar (79) como:

$$\Delta_\chi = \sqrt{M^2 + \left(\frac{q + \sigma - 1}{2}\right)^2} + \frac{q-1}{2} + \frac{5-q}{2} \left(\frac{k}{2(7-q)} - 1\right), \quad (80)$$

Observamos que la expresión es la misma que para el caso α no entero y análogamente para $\sigma = 0$ y $Q = 0$ recuperamos la expresión habitual para espacios AdS en dimensiones enteras.

Intersecciones Dp-D(p+k)

En esta sección se calculan las dimensiones conformes de los operadores duales a las fluctuaciones de las funciones de encajamiento de una brana de prueba de sabor, en las configuraciones Dp-D(p+4) con $p=0,1,2,3,4$, Dp-D(p+2) con $p=1,2,3,4$ y Dp-Dp con $p=2,3,4$. Es decir, consideraremos una solución de supergravedad de tipo II A o II B de una Dp-brana en el límite de horizonte cercano, y a continuación situaremos en ese background una brana de sabor de prueba (una Dp, D(p+2) o D(p+4) brana) de tal forma que la solución de supergravedad no se ve modificada. A continuación tomaremos perturbaciones lineales de las funciones de encajamiento en torno a esa posición de equilibrio, y extraeremos la acción de DBI+WZ que las rige. Luego desacoplaremos las diferentes fluctuaciones y observaremos que la acción correspondiente a cada una de ellas es equivalente a la acción (2). Por tanto, será suficiente identificar los parámetros M , σ , q y Q en cada caso para determinar la dimensión conforme de acuerdo con el desarrollo realizado en la sección 2.

Todos los campos de la teoría gauge dual a la solución de Dp brana se transforman en la representación adjunta del grupo gauge (haciendo una analogía con la cromodinámica cuántica, diríamos que sólo hay gluones, y no quarks). Buscando una aproximación a las teorías gauge del modelo estándar, deseamos introducir también campos que transformen en la representación

fundamental de grupo gauge (y así poder contemplar la posibilidad de incluir quarks). Con este objetivo introduciremos un nuevo tipo de branas en la configuración, que llamaremos branas de sabor, en una cantidad pequeña N_f comparada con la cantidad N de D_p branas originales, de tal forma que la solución de supergravedad no se ve modificada. Esta simplificación se conoce como aproximación de brana de prueba. Introducir una cantidad N_f de branas de sabor comparables a las N branas de partida supone un problema de alta complejidad, ya que la acción de supergravedad se acopla a la de las branas de prueba. Existen soluciones a este problema para la intersección de branas del tipo $D3 - D7$, pero no se conocen de manera general para intersecciones del tipo $Dp - D(p+k)$. Las fluctuaciones de estas branas de sabor en torno a su posición de equilibrio se corresponden en la teoría dual con estados ligados de materia fundamental (el análogo en cromodinámica cuántica serían los mesones, si bien estas teorías no son confinantes como la cromodinámica cuántica).

La diferencia entre las soluciones con diferentes p reside en que la teoría gauge dual tendrá $p+1$ dimensiones. Por ejemplo, para $p=3$ podremos describir una teoría cuántica de campos que podría ser la de nuestro mundo físico (3 dimensiones espaciales más una temporal), para $p=2$ podremos describir una teoría cuántica de campos que rige la física de cierto material situado sobre una lámina en el ámbito de materia condensada, o para $p=1$ otro material dispuesto en forma de hilo. Por otra parte, la diferencia entre considerar diferentes k reside en que para $k=4$ la materia fundamental se mueve en las mismas dimensiones espaciales que la materia adjunta, para $k=2$ la materia fundamental se mueve en una dimensión espacial menos que la materia adjunta, y para $k=0$ la materia fundamental se mueve en dos dimensiones menos que la materia adjunta (los dos últimos casos se conocen como teorías cuánticas de campos con defectos).

En los cálculos que se desarrollan a continuación, el primer caso $Dp - D(p+4)$ se tratará con el detalle necesario, mientras que en los restantes casos $Dp - D(p+2)$ y $Dp - Dp$ se omitirán los pasos redundantes.

Intersecciones $Dp - D(p+4)$

Las teorías de cuerdas de tipo IIA y IIB tienen como acciones efectivas a bajas energías acciones de supergravedad en 10 dimensiones. Consideremos las soluciones de estas acciones cargadas bajo RR-formas, conocidas como Dp -branas. Su métrica, expresada en el sistema de referencia de las cuerdas,

viene dada por †:

$$ds_{10}^2 = \left(1 + \frac{R'^{7-p}}{r'^{7-p}}\right)^{-\frac{1}{2}} (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_p^2) + \left(1 + \frac{R'^{7-p}}{r'^{7-p}}\right)^{\frac{1}{2}} (dy_1^2 + \dots + dy_{9-p}^2), \quad (81)$$

el dilatón es:

$$e^\varphi = \left(1 + \frac{R'^{7-p}}{r'^{7-p}}\right)^{\frac{3-p}{4}}, \quad (82)$$

y el potencial de la p+2 RR forma puede escribirse como:

$$C^{p+1} = \left(\frac{1}{1 + \frac{R'^{7-p}}{r'^{7-p}}} + 1\right) dx_0 \wedge dx_1 \wedge \dots \wedge dx_p, \quad (83)$$

donde $R'^{7-p} = 2^{5-p} \pi^{\frac{5-p}{2}} \Gamma\left(\frac{7-p}{2}\right) g_s N \alpha'^{\frac{7-p}{2}}$.

Queremos trabajar en la región de esta solución donde se desarrolla la correspondencia AdS/CFT, es decir, en el régimen ($r' \rightarrow 0$, $\alpha' \rightarrow 0$, $r = r'/\alpha' \rightarrow$ constante), conocido como el límite de horizonte cercano:

$$ds_{10}^2 = \left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{7-p}{2}} (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_p^2) + \left(\frac{R}{r}\right)^{\frac{7-p}{2}} (dy_1^2 + \dots + dy_{9-p}^2), \quad (84)$$

$$e^\varphi = \left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{(7-p)(p-3)}{4}}. \quad (85)$$

$$C^{p+1} = \left(\frac{r}{R}\right)^{7-p} dx_0 \wedge dx_1 \wedge \dots \wedge dx_p, \quad (86)$$

donde $R^{7-p} = R'^{7-p} \alpha'^{p-5}$.

Consideremos una pila de N Dp-branas, y otra pila de N_f D(p+4)-branas situadas a una distancia L de las primeras, y tomaremos N mucho más grande que N_f . Entonces nos encontramos en la aproximación de brana de prueba, y se puede considerar que las Dp-branas generan la solución (84), (85), (86) (llamada de 'background') y que la introducción de las D(p+4)branas no la modifica (no hay 'backreaction').

†Estas soluciones se pueden consultar, por ejemplo, en [9]

Consideremos como punto de partida la métrica de background creada por la pila de D_p branas en el límite de horizonte cercano (84). Ésta está expresada en las variables cartesianas $(t, x_1, \dots, x_p, y_1, \dots, y_{9-p})$ donde las x 's corresponden a las coordenadas paralelas (internas) a la brana y las y 's a las transversas. Además añadamos la pila de $D(p+4)$ -branas de prueba. Como la dimensión de la intersección es $D_p \cap D(p+4) = p$, entonces la $D(p+4)$ -brana comparte todas las coordenadas internas de la D_p -brana (t, x_1, \dots, x_p) . Las cuatro dimensiones restantes de la $D(p+4)$ -brana las tomamos extendidas sobre las coordenadas (y_1, y_2, y_3, y_4) . Ambos tipos de branas están separadas una distancia L , dotando así de masa a los quarks.

	1	2	...	p	p+1	p+2	p+3	p+4	p+5	p+6	...	10
Dp	x	x	x	x	x							
D(p+4)	x	x	x	x	x	x	x	x	x			

Resulta conveniente expresar las coordenadas de la $D(p+4)$ -brana transversas a la D_p brana, (y_1, y_2, y_3, y_4) , en coordenadas esféricas:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \rho \cos \theta_1 , \\
 y_2 &= \rho \sin \theta_1 \cos \theta_2 , \\
 y_3 &= \rho \sin \theta_1 \sin \theta_2 \cos \theta_3 , \\
 y_4 &= \rho \sin \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3 , \\
 y_5 &= z_1 , \\
 &\dots \\
 y_{9-p} &= z_{5-p} ,
 \end{aligned} \tag{87}$$

de tal manera que las coordenadas pasan a ser:

$$(t, x_1, \dots, x_p, y_1, \dots, y_{9-p}) \rightarrow (t, x_1, \dots, x_p, \rho, \theta_1, \theta_2, \theta_3, z_1, \dots, z_{5-p}) .$$

Definiendo $\vec{z} := (z_1, \dots, z_{5-p})$ y $d\Omega_3^2 := d\theta_1^2 + \sin^2 \theta_1 d\theta_2^2 + \sin^2 \theta_1 \sin^2 \theta_2 d\theta_3^2$ la métrica en las nuevas coordenadas es:

$$\begin{aligned}
 ds_{10}^2 &= \left(\frac{\rho^2 + \vec{z}^2}{R^2} \right)^{\frac{7-p}{4}} (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_p^2) + \\
 &+ \left(\frac{R^2}{\rho^2 + \vec{z}^2} \right)^{\frac{7-p}{4}} (d\rho^2 + \rho^2 d\Omega_3^2 + d\vec{z}^2) .
 \end{aligned} \tag{88}$$

Realizando una adecuada transformación de Weyl podemos llevar esta métrica a un sistema de referencia en el cual, cerca de la frontera ($\rho \rightarrow \infty$), la métrica inducida sobre la D(p+4)-brana sea AdS. Por tanto, podremos interpretar el problema como el de un espacio asintóticamente anti de Sitter (AAdS). Consideremos la siguiente transformación de Weyl en la métrica de background, que nos lleva al llamado sistema de referencia dual:

$$d\tilde{s}_{10}^2 = \left(\frac{v_p}{R}\right)^2 (e^\phi)^{\frac{-2}{7-p}} ds_{10}^2 = \left(\frac{v_p}{R}\right)^2 \left(\frac{R^2}{\rho^2 + \vec{z}^2}\right)^{\frac{p-3}{4}} ds_{10}^2, \quad (89)$$

donde $v_p := \frac{5-p}{2}$. La métrica en el nuevo sistema de referencia es:

$$d\tilde{s}_{10}^2 = \left(\frac{v_p}{R}\right)^2 \left(\frac{\rho^2 + \vec{z}^2}{R^2}\right)^{\frac{5-p}{2}} (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_p^2) + \frac{v_p^2}{\rho^2 + \vec{z}^2} (d\rho^2 + \rho^2 d\Omega_3^2 + d\vec{z}^2). \quad (90)$$

En este sistema de referencia la métrica inducida sobre la D(p+4)-brana es asintóticamente Anti de Sitter. Para ver de manera más sencilla que se trata de un espacio AAdS conviene realizar el cambio de variable:

$$v = \frac{v_p}{R^{\frac{7-p}{2}}} \rho^{\frac{5-p}{2}}. \quad (91)$$

Bajo esta nueva coordenada la métrica resulta:

$$d\tilde{s}_{10}^2 = \left(\frac{v_p}{R}\right)^2 \left(\frac{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} + \vec{z}^2}{R^2}\right)^{\frac{5-p}{2}} (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_p^2) + \frac{1}{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} + \vec{z}^2} \frac{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}}}{v_p^2} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{2(p-3)}{5-p}} dv^2 + \frac{v_p^2}{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} + \vec{z}^2} \left(R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} d\Omega_3^2 + d\vec{z}^2\right). \quad (92)$$

A continuación, veamos cuál es la métrica inducida sobre el 'worldvolume' de la D(p+4)-brana. La D(p+4)-brana está situada a una distancia L

de la Dp brana. Tomemos la posición de la brana en $z_i = L_i$, $L_i \in \mathbb{R}$, $i = 1, 2, \dots, 5 - p$ de tal manera que $\sum_{i=1}^{5-p} L_i^2 = L^2$. Si expresamos el 'worldvolume' en las coordenadas $(t, x_1, x_2, \dots, x_p, v, \theta_1, \theta_2, \theta_3)$ resulta inmediato obtener la métrica inducida:

$$\begin{aligned}
 d\tilde{s}_{p+5}^2 &= G_{MN} \frac{\partial x^M}{\partial \xi^m} \frac{\partial x^N}{\partial \xi^n} d\xi^m d\xi^n = \\
 &= \left(\frac{v_p}{R}\right)^2 \left(\frac{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} + L^2}{R^2} \right)^{\frac{5-p}{2}} (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_p^2) + \\
 &\quad + \frac{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}}}{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} + L^2} dv^2 + v_p^2 \frac{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}}}{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} + L^2} d\Omega_3^2, \quad (93)
 \end{aligned}$$

donde los índices M y N recorren las 10 coordenadas globales, mientras que m y n recorren las coordenadas internas de la brana.

En el límite ultravioleta ($v \gg L$), asintóticamente cerca de la frontera, esta métrica adquiere la forma $AdS_{p+2} \times S^3$:

$$d\tilde{s}_{p+5}^2 = v^2 (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_p^2) + \frac{dv^2}{v^2} + v_p^2 d\Omega_3^2. \quad (94)$$

Por tanto, vemos que efectivamente bajo el cambio de sistema de referencia la métrica inducida sobre la D(p+4)-brana es asintóticamente anti de Sitter.

En siguiente lugar, consideremos fluctuaciones sobre la brana de prueba. Deseamos considerar fluctuaciones sobre la brana de prueba, ya que a través del estudio de las mismas podremos analizar su correspondiente dual en la teoría gauge: los estados mesónicos. Tomemos pequeñas perturbaciones en torno a la posición de equilibrio $z_i = L_i$, $i = 1, 2, \dots, 5 - p$, expresadas en coordenadas cartesianas, y que dependan de todas las coordenadas de world-volume de la brana.

$$\begin{aligned}
 z_1 &= L_1 + \chi_1(t, x_1, \dots, x_p, v, \theta_1, \theta_2, \theta_3), \\
 &\quad \dots \\
 z_{5-p} &= L_{5-p} + \chi_{5-p}(t, x_1, \dots, x_p, v, \theta_1, \theta_2, \theta_3). \quad (95)
 \end{aligned}$$

La métrica inducida sobre la brana de prueba, teniendo en cuenta las fluctuaciones, es:

$$\begin{aligned}
 d\tilde{s}_{p+5}^2 = & \left(\frac{v_p}{R}\right)^2 \left(\frac{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} + L^2}{R^2} \right)^{\frac{5-p}{2}} (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_p^2) + \\
 & + \frac{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}}}{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} + L^2} \frac{dv^2}{v^2} + v_p^2 \frac{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}}}{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} + L^2} d\Omega_3^2 + \\
 & + \frac{v_p^2}{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} + L^2} \frac{\partial \chi^i}{\partial \xi^m} \frac{\partial \chi_i}{\partial \xi^n} d\xi^m d\xi^n, \tag{96}
 \end{aligned}$$

donde los índices m y n recorren las coordenadas internas de la brana y el índice $i = 1, 2, \dots, 5 - p$. Vemos que contiene nuevos términos debido la presencia de estas perturbaciones.

Consideremos la métrica (96) en el límite ultravioleta ($v \rightarrow \infty$):

$$\begin{aligned}
 d\tilde{s}_{p+5}^2 = & v^2 (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_p^2) + \frac{dv^2}{v^2} + v_p^2 d\Omega_3^2 + \\
 & + \left(\frac{v_p}{R}\right)^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \frac{v^{\frac{4}{5-p}}}{v^{\frac{4}{5-p}}} \frac{\partial \chi^i}{\partial \xi^m} \frac{\partial \chi_i}{\partial \xi^n} d\xi^m d\xi^n. \tag{97}
 \end{aligned}$$

Recordemos que estamos trabajando en el régimen ultravioleta porque queremos estudiar el operador dual en la frontera.

Resulta conveniente expresarla en las coordenadas de Fefferman-Graham, lo cual se puede hacer redefiniendo la coordenada radial:

$$\rho = \frac{1}{v}. \tag{98}$$

En términos de la nueva coordenada la métrica es:

$$\begin{aligned}
 d\tilde{s}_{p+5}^2 = & \frac{-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_p^2 + d\rho^2}{\rho^2} + \\
 & + v_p^2 d\Omega_3^2 + \left(\frac{v_p}{R}\right)^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \rho^{\frac{4}{5-p}} \frac{\partial \chi^i}{\partial \xi^m} \frac{\partial \chi_i}{\partial \xi^n} d\xi^m d\xi^n. \tag{99}
 \end{aligned}$$

El determinante de la métrica correspondiente a la configuración sin perturbar es:

$$\det \bar{g} = -\rho^{-2(p+2)} v_p^6 \sin^4 \theta_1 \sin^2 \theta_2 = v_p^6 \det(g_{AdS_{p+2}}) \det(g_{S^3}), \quad (100)$$

donde $g_{AdS_{p+2}}$ es la métrica de un espacio AdS en $p+2$ dimensiones y g_{S^3} la métrica de la esfera S^3 .

Por otra parte, podemos realizar un procedimiento análogo con el dilatón. Cambiando de variable de acuerdo con (91) y (98) la expresión (82) se reescribe:

$$e^{-\varphi} = \left(\frac{v_p}{R} \rho \right)^{\frac{(3-p)(7-p)}{2(5-p)}} \quad (101)$$

Acción de DBI y WZ

La dinámica de las Dp-branas está regida por la acción de DBI y WZ, que en el sistema de referencia de las cuerdas viene dada por:

$$S_{DBI+WZ} = -T_{Dp} \int d^{p+1} \xi e^{-\varphi} \sqrt{-\det(g+F)} + T_{Dp} \int d^{p+1} \xi \left(\sum_i C_i \right) \wedge e^F, \quad (102)$$

donde g es la métrica inducida expresada en el sistema de referencia de las cuerdas, T_{Dp} es la tensión de la Dp-brana, F es el campo gauge de la brana y las C_i son las formas de RR.

Consideremos esta acción para la D(p+4)-brana de prueba. Nuestro interés reside en tomar perturbaciones lineales de las funciones de embedding y obtener una acción cuadrática para esas perturbaciones. Si expandimos la acción de DBI y WZ en torno a la posición de equilibrio, las ecuaciones de orden cero y orden uno se satisfarán necesariamente, pues se trata de una posición de equilibrio estable, ya que es una solución supersimétrica. Por tanto, el primer orden no trivial en la expansión de la acción es el cuadrático, que es suficiente para analizar el correlador de dos puntos dual a la fluctuación y a sí poder extraer la dimensión conforme. Órdenes superiores permitirían calcular correladores de más puntos, pero en este desarrollo no son necesarios.

Procedamos a la expansión de la acción, comenzando con la parte de DBI. Separemos la métrica g en la métrica inducida en ausencia de perturbaciones, \bar{g} , y la métrica originada por las perturbaciones, \hat{g} , de tal manera que: $g = \bar{g} + \hat{g}$. El campo gauge F es sólo el debido a las perturbaciones, ya que el embedding de la brana viene dado por $F = 0$. Así, podemos reexpresar la raíz:

$$\sqrt{-\det(g+F)} = \sqrt{-\det(\bar{g} + \hat{g} + F)} = \sqrt{-\det\bar{g}} \sqrt{\det(\mathbb{I} + \bar{g}^{-1}(\hat{g} + F))}. \tag{103}$$

Usando el desarrollo en serie:

$$\sqrt{\det(1+X)} = 1 + \frac{1}{2}tr(X) - \frac{1}{4}tr(X^2) + \frac{1}{8}(tr(X))^2 + \frac{1}{8}(tr(X))^3 + \dots, \tag{104}$$

Obtenemos:

$$\sqrt{-\det(g+F)} = \sqrt{-\det\bar{g}} + \sqrt{-\det\bar{g}} \frac{1}{2}tr(\bar{g}^{-1}\hat{g}) + \sqrt{-\det\bar{g}} \frac{1}{4}tr(FF) + \dots \tag{105}$$

Quedándonos a segundo orden en las fluctuaciones, la acción de DBI es:

$$S_{DBI} = -T_{D(p+4)} \int d^{p+5}\xi e^{-\varphi} \sqrt{-\det\bar{g}} \left(\frac{1}{2}\bar{g}^{ab}\hat{g}_{ab} + \frac{1}{4}F^{ab}F_{ab} \right), \tag{106}$$

Reexpresando la métrica en el sistema de referencia dual 89:

$$S_{DBI} = -T_{D(p+4)} B_{\frac{p+5}{2}} \int d^{p+5}\xi e^{2\frac{p-1}{7-p}\varphi} \sqrt{-\det\tilde{g}} \left(\frac{1}{2}\tilde{g}^{ab}\tilde{g}_{ab} + \frac{B_{\frac{p+4}{2}}^{-2}}{4} e^{\frac{-4}{7-p}\varphi} F^{ab}F_{ab} \right), \tag{107}$$

Donde $B_{\frac{p+4}{2}} := T_{p+4} \frac{v_p^3(2\pi)^{p-2}}{2g_{YM}} \left(\frac{R}{v_q}\right)^{2\frac{7-p}{5-p}}$. Consideremos ahora la parte de WZ. Dado que sólo la RR forma C^{p+1} está encendida, el único termino que contribuye es:

$$S_{WZ} = T_{D(p+4)} \int d^{p+5}\xi \frac{1}{2}\hat{C}^{p+1} \wedge F \wedge F \tag{108}$$

Donde \hat{C}^{p+1} es la forma inducida sobre la brana, que en el ultravioleta ($\rho \rightarrow \infty$) adquiere la forma:

$$\hat{C}^{p+1} = \left(\frac{\rho}{R}\right)^{7-p} dx_0 \wedge dx_1 \wedge \dots \wedge dx_p, \tag{109}$$

Reexpresado en la variable ρ :

$$\hat{C}^{p+1} = \left(\frac{R}{v_p} \frac{1}{\rho}\right)^{2\frac{7-p}{5-p}} dx_0 \wedge dx_1 \wedge \dots \wedge dx_p, \tag{110}$$

Expandiendo

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}\hat{C}^{p+1} \wedge F \wedge F &= \left(\frac{R}{v_p} \frac{1}{\rho}\right)^{2\frac{7-p}{5-p}} (F_{\rho\theta_1}F_{\theta_2\theta_3} - F_{\rho\theta_2}F_{\theta_1\theta_3} + \\ &+ F_{\rho\theta_3}F_{\theta_1\theta_2}) dx_0 \wedge dx_1 \wedge \dots \wedge dx_p \wedge d\rho \wedge d\theta_1 \wedge d\theta_2 \wedge d\theta_3 \end{aligned} \quad (111)$$

En términos del potencial:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}\hat{C}^{p+1} \wedge F \wedge F &= \left(\frac{R}{v_p} \frac{1}{\rho}\right)^{2\frac{7-p}{5-p}} (\varepsilon_{ijk} \partial_\rho A_i \partial_j A_k - \\ &- \varepsilon_{ijk} \partial_i A_\rho \partial_j A_k) dx_0 \wedge dx_1 \wedge \dots \wedge dx_p \wedge d\rho \wedge d\theta_1 \wedge d\theta_2 \wedge d\theta_3 \end{aligned} \quad (112)$$

Donde $i, j, k \in \{\theta_1, \theta_2, \theta_3\}$

El segundo término dentro del paréntesis no contribuye a las ecuaciones del movimiento. Luego el término de WZ es:

$$S_{WZ} = T_{D(p+4)} \int d^{p+5} \xi \left(\frac{R}{v_p} \frac{1}{\rho}\right)^{2\frac{7-p}{5-p}} \varepsilon_{ijk} \partial_\rho A_i \partial_j A_k \quad (113)$$

La acción de DBI+WZ expandida a segundo orden en las fluctuaciones es:

$$\begin{aligned} S_{DBI+WZ} &= -T_{D(p+4)} B_{\frac{p+5}{2}} \int d^{p+5} \xi e^{2\frac{p-1}{7-p}\phi} \sqrt{-det \tilde{g}} \left(\frac{1}{2} \tilde{g}^{ab} \tilde{g}_{ab} + \right. \\ &+ \left. \frac{B_{\frac{p+4}{2}}^{-2}}{4} e^{\frac{-4}{7-p}\phi} F^{ab} F_{ab}\right) + T_{D(p+4)} \int d^{p+5} \xi \left(\frac{R}{v_p} \frac{1}{\rho}\right)^{2\frac{7-p}{5-p}} \varepsilon_{ijk} \partial_\rho A_i \partial_j A_k, \end{aligned} \quad (114)$$

Las fluctuaciones de los escalares transversos desacoplan de las fluctuaciones gauge, y podremos entonces analizarlos separadamente. En primer lugar, para los escalares propondremos una separación de variables en armónicos esféricos:

$$\chi_i = Y_i(S^3) \tilde{\chi}_i(t, x_1, \dots, x_p, \rho) \quad i = 1, 2, \dots, 5 - p \quad (115)$$

En segundo lugar, para las fluctuaciones gauge propondremos una separación en modos linealmente independientes siguiendo a [17]:

Tipo I

$$A_\mu = 0 \quad A_\rho = 0 \quad A_j = \Lambda^\pm(x_\mu, \rho) Y_{l,i}^\pm(S^3) \quad (116)$$

Tipo II

$$A_\mu = \zeta_\mu \chi_{II}(x_\mu, \rho) Y_l(S^3) \quad \eta^{\mu\nu} \partial_\mu A_\nu = 0 \quad A_\rho = 0 \quad A_j = 0 \quad (117)$$

Tipo III

$$A_\mu = 0 \quad A_\rho = \chi_{III}(x_\mu, \rho) Y_l(S^3) \quad A_j = \hat{\chi}_{III}(x_\mu, \rho) \hat{Y}_{l,j}(S^3) \quad (118)$$

Donde $\mu \in \{x_0, x_1, \dots, x_p\}$, $j \in \{\theta_1, \theta_2, \theta_3\}$. $Y_l(S^3)$ son los armónicos esféricos y $Y_{l,i}^\pm(S^3)$, $\hat{Y}_{l,j}(S^3) := \nabla_j Y_l(S^3)$ son los armónicos esféricos vectoriales. Los armónicos esféricos son autofunciones del laplaciano en S^3 :

$$\square_{S^3} Y_l = -l(l+2) Y_l. \quad (119)$$

Y los armónicos esféricos vectoriales verifican:

$$\begin{aligned} \nabla_i \nabla^j Y_{l,j}^\pm - 2Y_{l,i}^\pm &= -(l+1)^2 Y_{l,i}^\pm \\ \varepsilon_{ijk} \nabla_j Y_{l,k}^\pm &= \pm(l+1) Y_{l,i}^\pm \\ \nabla^i Y_{l,i}^\pm &= 0 \end{aligned} \quad (120)$$

Escalares transversos

La parte de la acción (114) que contribuye a la ecuación de los escalares transversos es:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+5} \xi e^{2\frac{p-1}{7-p}\phi} \sqrt{-\det \tilde{g}} \left(\frac{1}{2} \tilde{g}^{ab} \tilde{g}_{ab} \right), \quad (121)$$

La constante multiplicativa de la acción no interviene en el cálculo de las dimensiones conformes y será omitida. Introduciendo los valores de la perturbación de la métrica (99), el dilatón (101), y el determinante de la métrica sin perturbar (100), obtenemos:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+5} \xi \sqrt{-\det(g_{AdS_{p+2}})} \sqrt{\det(g_{S^3})} \rho^{\frac{1+4p-p^2}{5-p}} \tilde{g}^{ab} \frac{\partial \chi^i}{\partial \xi^a} \frac{\partial \chi_i}{\partial \xi^b}, \quad (122)$$

Donde los índices a y b $\in (t, x_1, \dots, x_p, \rho, \theta_1, \theta_2, \theta_3)$ e $i \in (1, 2, \dots, 5-p)$ (las fluctuaciones de las coordenadas transversas a la D(p+4)-brana).

Introduciendo en la acción (121) la hipótesis de separación de variables (115):

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+5} \xi \rho^{\frac{1+4p-p^2}{5-p}} \sqrt{-\det(g_{AdS_{p+2}})} \sqrt{\det(g_{S^3})} \sum_{i=1}^{5-p} (\bar{g}^{\mu\nu} \partial_\mu \tilde{\chi}_i \partial_\nu \tilde{\chi}_i Y_{li}^2 + \bar{g}^{jj'} \partial_j Y_{li} \partial_{j'} Y_{li} \tilde{\chi}_i^2) . \tag{123}$$

Los índices j, j' recorren las 3 variables angulares de S^3 , θ_1, θ_2 y θ_3 , y los índices μ, ν recorren las $p + 2$ variables. Integrando por partes el segundo sumando aparece una derivada total en S^3 que se anula. Teniendo en cuenta además que el laplaciano de los esféricos armónicos en S^3 es (119), la acción queda:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+2} \xi \rho^{\frac{1+4p-p^2}{5-p}} \sqrt{-g_{AdS_{p+2}}} \sum_{i=1}^{5-p} N_{li} \left(\bar{g}^{\mu\nu} \partial_\mu \tilde{\chi}_i \partial_\nu \tilde{\chi}_i + \frac{l(l+2)}{v_p^2} \tilde{\chi}_i^2 \right) , \tag{124}$$

donde $N_{li} := \int d^3 \xi \sqrt{\det(g_{S^3})} Y_{li}^2$. Observamos que los $5 - p$ escalares están desacoplados y regidos por una acción similar, y que cada una de dichas acciones se factoriza en una parte correspondiente a la esfera S^3 , que actúa como una constante respecto de las fluctuaciones, y otra parte que podemos identificar como la acción de un escalar libre masivo en un espacio AdS en $q + \sigma$ dimensiones (2) donde $M^2 = \frac{l(l+2)}{v_p^2}$, $q = p + 2$ y $\sigma = -\frac{1+4p-p^2}{5-p}$.

Una vez identificados los parámetros M^2, q y σ , el problema es un caso particular del análisis realizado en la sección 2. Luego el valor de α es $\alpha = \frac{2(l+1)}{5-p}$, y la dimensión conforme, tanto para α entero como no entero viene dado por las expresiones equivalentes (58) y (80):

$$\Delta = \frac{2l}{5-p} + p \tag{125}$$

Que para $p = 3$ se reduce al caso conforme estudiado en [17], es decir, $\Delta = l + 3$

Fluctuaciones gauge de tipo I

La parte de la acción que contribuye a las ecuaciones del movimiento del campo gauge es:

$$S_{DBI+WZ} \propto -B_{\frac{p+4}{2}} \int d^{p+5} \xi e^{2\frac{p-3}{7-p}\varphi} \sqrt{-\det \tilde{g}} \left(\frac{1}{4} F^{ab} F_{ab} \right) +$$

$$+ \int d^{p+5} \xi \left(\frac{R}{v_p} \frac{1}{\rho} \right)^{2\frac{7-p}{5-p}} \epsilon_{ijk} \partial_\rho A_i \partial_j A_k, \tag{126}$$

Introduciendo el ansatz de los modos de tipo I (116), la acción (126) se reduce a:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+2} \xi \rho^{\frac{1+4p-p^2}{5-p}} \sqrt{-g_{AdS_{p+2}}} N_l \left(\bar{g}^{\mu\nu} \partial_\mu \Lambda^\pm \partial_\nu \Lambda^\pm + \frac{(l+1)^2 \pm (7-p)(l+1)}{v_p^2} \Lambda^{\pm 2} \right), \tag{127}$$

Una vez identificados los parámetros $M_\pm^2 = \frac{(l+1)^2 \pm (7-p)(l+1)}{v_p^2}$, $q = p + 2$ y $\sigma = -\frac{1+4p-p^2}{5-p}$, el problema es un caso particular del análisis realizado en la sección 2. Luego tenemos dos valores de α dados por: $\alpha_{\Lambda^+} = \frac{2l+9-p}{5-p}$ y $\alpha_{\Lambda^-} = \frac{2l+p-5}{5-p}$. La dimensión conforme para el caso Λ^+ es:

$$\Delta = \frac{2(l+1)}{5-p} + p + 1 \tag{128}$$

La dimensión conforme para el caso Λ^- adquiere dos posibles expresiones según los valores de l y p , y esto es debido a que α toma valores positivos y negativos al variar p y l :

Rama 1

$$\Delta = \frac{2(l-1)}{5-p} + p - 1 \quad \text{si } l \geq \frac{5-p}{2} \tag{129}$$

Rama 2

$$\Delta = -\frac{2(l+1)}{5-p} + p + 1 \quad \text{si } 1 \leq l < \frac{5-p}{2} \tag{130}$$

Para $p = 3$, sólo sobrevive la rama 1, y la dimensión conforme se reduce al caso conforme estudiado en [17], es decir, $\Delta = l + 1$

Fluctuaciones gauge de tipo II

Introduciendo en (126) el ansatz de los modos de tipo II (117), la parte de WZ se anula y obtenemos:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+2} \xi \rho^{\frac{1+4p-p^2}{5-p}} \sqrt{-g_{AdS_{p+2}}} N_l \left(\bar{g}^{\mu\nu} \partial_\mu \chi_{II} \partial_\nu \chi_{II} + \frac{l(l+2)}{v_p^2} \chi_{II}^2 \right), \tag{131}$$

Una vez identificados los parámetros $M^2 = \frac{l(l+2)}{v_p^2}$, $q = p + 2$ y $\sigma = -\frac{1+4p-p^2}{5-p}$, el problema es un caso particular del análisis realizado en la sección 2, y además igual al caso de los escalares. Luego el valor de α es $\alpha = \frac{2(l+1)}{5-p}$, y la dimensión conforme, tanto para α entero como no entero viene dado por las expresiones equivalentes (58) y (80):

$$\Delta = \frac{2l}{5-p} + p \quad (132)$$

Que para $p = 3$ se reduce al caso conforme estudiado en [17], es decir, $\Delta = l + 3$.

Fluctuaciones gauge de tipo III

Introduciendo en (126) el ansatz de los modos de tipo III (118) obtenemos:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+2} \xi \rho^{\frac{1+4p-p^2}{5-p}} \sqrt{-g_{AdS_{p+2}}} N_l \left(\bar{g}^{\mu\nu} \partial_\mu \chi_{III} \partial_\nu \chi_{III} + \frac{l(l+2)-3}{v_p^2} \chi_{III}^2 \right) \quad (133)$$

Una vez identificados los parámetros $M^2 = \frac{l(l+2)-3}{v_p^2}$, $q = p + 2$ y $\sigma = -\frac{1+4p-p^2}{5-p}$, el problema es un caso particular del análisis realizado en la sección 2, y además igual al caso de los escalares. Luego el valor de α es $\alpha = \frac{2(l+1)}{5-p}$, y la dimensión conforme, tanto para α entero como no entero viene dado por las expresiones equivalentes (58) y (80), que vuelve a ser el mismo valor que para los escalares transversos:

$$\Delta = \frac{2l}{5-p} + p \quad l \geq 1 \quad (134)$$

Que para $p = 3$ se reduce al caso conforme estudiado en [17], es decir, $\Delta = l + 3$.

Intersecciones Dp-D(p+2)

En esta sección realizaremos un procedimiento similar a la sección anterior, donde tomaremos como solución de background la solución (84), (85), (86) pero en lugar de añadir D(p+4)-branas de prueba, añadiremos D(p+2)-branas de prueba. La métrica de background creada por la pila de N Dp branas está expresada en las variables cartesianas $(t, x_1, \dots, x_p, y_1, \dots, y_{9-p})$ donde las x 's corresponden a las coordenadas paralelas (internas) a la brana y las y 's a las transversas. A continuación añadamos la pila de N_f D(p+2)-branas de prueba.

Como la dimensión de la intersección es $Dp \cap D(p+2) = p - 1$, entonces la $D(p+2)$ -brana comparte p dimensiones con la Dp brana:

	1	2	...	p	p+1	p+2	p+3	p+4	p+5	...	10
Dp	x	x	x	x	x						
D(p+2)	x	x	x	x		x	x	x			

Las tres dimensiones restantes de la $D(p+2)$ -brana las tomamos extendidas sobre las coordenadas (y_1, y_2, y_3) . Ambos tipos de branas están separadas una distancia L , dotando así de masa a los quarks. Resulta conveniente expresar las coordenadas de la $D(p+2)$ -brana transversas a la Dp brana, (y_1, y_2, y_3) , en coordenadas esféricas:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \rho \sin \theta \varphi , \\
 y_2 &= \rho \sin \theta \sin \varphi , \\
 y_3 &= \rho \cos \theta , \\
 y_4 &= z_1 , \\
 &\dots
 \end{aligned}$$

$$y_{9-p} = z_{6-p} , \tag{135}$$

de tal manera que las coordenadas pasan a ser:

$$(t, x_1, \dots, x_p, y_1, \dots, y_{9-p}) \rightarrow (t, x_1, \dots, x_p, \rho, \theta, \varphi, z_1, \dots, z_{6-p}) .$$

Definiendo $\vec{z} := (z_1, \dots, z_{6-p})$ y $d\Omega_2^2 := d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2$ la métrica en las nuevas coordenadas es:

$$\begin{aligned}
 ds_{10}^2 &= \left(\frac{\rho^2 + \vec{z}^2}{R^2} \right)^{\frac{7-p}{4}} (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_p^2) + \\
 &+ \left(\frac{R^2}{\rho^2 + \vec{z}^2} \right)^{\frac{7-p}{4}} (d\rho^2 + \rho^2 d\Omega_2^2 + d\vec{z}^2) . \tag{136}
 \end{aligned}$$

La transformación de Weyl que lleva la métrica inducida sobre la $D(p+2)$ -brana a una forma asintóticamente AdS es la misma que en el caso $D(p+4)$, (89), obteniendo:

$$d\tilde{s}_{10}^2 = \left(\frac{v_p}{R} \right)^2 \left(\frac{\rho^2 + \vec{z}^2}{R^2} \right)^{\frac{5-p}{2}} (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_p^2) +$$

$$+ \frac{v_p^2}{\rho^2 + \bar{z}^2} (d\rho^2 + \rho^2 d\Omega_2^2 + d\bar{z}^2) . \quad (137)$$

Nuevamente, el cambio de variable que nos lleva a una forma estándar de la métrica AdS viene dado por (91), obteniendo:

$$\begin{aligned} d\tilde{s}_{10}^2 = & \left(\frac{v_p}{R}\right)^2 \left(\frac{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} + \bar{z}^2}{R^2} \right)^{\frac{5-p}{2}} (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_p^2) + \\ & + \frac{1}{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} + \bar{z}^2} \frac{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}}}{v_p^2} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{2(p-3)}{5-p}} dv^2 + \\ & + \frac{v_p^2}{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} + \bar{z}^2} \left(R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} d\Omega_2^2 + d\bar{z}^2 \right) . \quad (138) \end{aligned}$$

En siguiente lugar, consideremos fluctuaciones lineales de las funciones de embedding en torno a la posición de equilibrio de la brana de prueba. A diferencia del caso D(p+4), aquí hay una coordenada transversa a la brana de prueba D(p+2) y paralela a la Dp brana (x_p), cuya fluctuación denotaremos por X :

$$\begin{aligned} z_1 &= L_1 + \chi_1(t, x_1, \dots, x_{p-1}, v, \theta, \varphi) , \\ &\dots \\ z_{6-p} &= L_{6-p} + \chi_{6-p}(t, x_1, \dots, x_{p-1}, v, \theta, \varphi) , \\ x_p &= X(x_0, x_1, \dots, x_{p-1}, \rho, \theta, \varphi) . \quad (139) \end{aligned}$$

Donde $\sum_{i=1}^{6-p} L_i^2 = L^2$, es decir, la brana de prueba se sitúa a una distancia L . La métrica inducida sobre la brana de prueba, en el límite ultravioleta ($v \rightarrow \infty$), es:

$$\begin{aligned} d\tilde{s}_{p+3}^2 = & v^2 (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_{p-1}^2) + \frac{dv^2}{v^2} + v_p^2 d\Omega_2^2 + \\ & + \left(\frac{v_p}{R}\right)^{\frac{2(7-p)}{5-p}} v^{\frac{-4}{5-p}} \frac{\partial \chi^i}{\partial \xi^m} \frac{\partial \chi_i}{\partial \xi^n} d\xi^m d\xi^n + v^2 \frac{\partial X}{\partial \xi^m} \frac{\partial X}{\partial \xi^n} d\xi^m d\xi^n , \quad (140) \end{aligned}$$

donde los índices m y n recorren las coordenadas internas de la brana y el índice $i = 1, 2, \dots, 6 - p$. Pasando a las coordenadas de Fefferman-Graham (98):

$$d\tilde{s}_{p+3}^2 = \frac{-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_{p-1}^2 + d\rho^2}{\rho^2} + v_p^2 d\Omega_2^2 + \left(\frac{v_p}{R}\right)^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \rho^{\frac{4}{5-p}} \frac{\partial \chi^i}{\partial \xi^m} \frac{\partial \chi_i}{\partial \xi^n} d\xi^m d\xi^n + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial X}{\partial \xi^m} \frac{\partial X}{\partial \xi^n} d\xi^m d\xi^n. \quad (141)$$

El determinante de la métrica correspondiente a la configuración sin perturbar, que denotaremos \bar{g} , es:

$$\det \bar{g} = -\rho^{-2(p+1)} v_p^4 \sin^2 \theta = v_p^4 \det(g_{AdS_{p+1}}) \det(g_{S^2}), \quad (142)$$

donde $g_{AdS_{p+1}}$ es la métrica de un espacio AdS en $p+1$ dimensiones y g_{S^2} la métrica de la esfera S^2 .

El dilatón viene dado por la misma expresión (101).

Acción de DBI y WZ

Consideremos la acción (102) para la D($p+2$)-brana de prueba, y procedamos a expandirla a segundo orden en las fluctuaciones. La acción de DBI podemos expandirla de manera análoga a (108), obteniendo:

$$S_{DBI} = -T_{D(p+2)} \int d^{p+3} \xi e^{-\varphi} \sqrt{-\det \bar{g}} \left(\frac{1}{2} \bar{g}^{ab} \hat{g}_{ab} + \frac{1}{4} F^{ab} F_{ab} \right), \quad (143)$$

Reexpresando la métrica en el sistema de referencia dual (89):

$$S_{DBI} = -T_{D(p+2)} B_{p+2}^{\frac{p+3}{2}} \int d^{p+3} \xi e^{2\frac{p-2}{7-p}\varphi} \sqrt{-\det \tilde{g}} \left(\frac{1}{2} \tilde{g}^{ab} \tilde{g}_{ab} + \frac{B_{p+2}^{-2}}{4} e^{\frac{-4}{7-p}\varphi} F^{ab} F_{ab} \right), \quad (144)$$

Consideremos ahora la parte de WZ. Dado que sólo la RR forma C^{p+1} está encendida, el único termino que contribuye es:

$$S_{WZ} = T_{D(p+2)} \int d^{p+2} \xi \hat{C}^{p+1} \wedge F \quad (145)$$

Donde \hat{C}^{p+1} es la forma inducida sobre la brana. Tomando la forma inducida, en el límite ultravioleta y en la variable de Fefferman-Graham (98):

$$\hat{C}^{p+1} = \left(\frac{R}{v_p} \frac{1}{\rho} \right)^{2\frac{7-p}{5-p}} dx_0 \wedge \dots \wedge dx_{p-1} \wedge \left(\frac{\partial X}{\partial \rho} d\rho + \frac{\partial X}{\partial \theta} d\theta + \frac{\partial X}{\partial \varphi} d\varphi \right), \quad (146)$$

Expandiendo el integrando en (145):

$$\begin{aligned} & \hat{C}^{p+1} \wedge F = \\ & = \left(\frac{R}{v_p} \frac{1}{\rho} \right)^{2\frac{7-p}{5-p}} \left(\frac{\partial X}{\partial \rho} F_{\theta\varphi} - \frac{\partial X}{\partial \theta} F_{\rho\varphi} + \frac{\partial X}{\partial \varphi} F_{\rho\theta} \right) dx_0 \wedge \dots \wedge dx_{p-1} \wedge d\rho \wedge d\theta \wedge d\varphi \end{aligned} \quad (147)$$

Finalmente, la acción de DBI+WZ expandida a segundo orden en las fluctuaciones es:

$$\begin{aligned} S_{DBI+WZ} = & -T_{D(p+2)} B_{p+2}^{\frac{p+3}{2}} \int d^{p+3} \xi e^{2\frac{p-2}{7-p}\varphi} \sqrt{-det \tilde{g}} \left(\frac{\tilde{g}^{ab} \tilde{g}_{ab}}{2} + \frac{B_{p+2}^{-2}}{4} e^{\frac{-4}{7-p}\varphi} F^{ab} F_{ab} \right) \\ & + T_{D(p+2)} \int d^{p+3} \xi \left(\frac{R}{v_p} \frac{1}{\rho} \right)^{2\frac{7-p}{5-p}} \left(\frac{\partial X}{\partial \rho} F_{\theta\varphi} - \frac{\partial X}{\partial \theta} F_{\rho\varphi} + \frac{\partial X}{\partial \varphi} F_{\rho\theta} \right), \end{aligned} \quad (148)$$

Las fluctuaciones de los escalares transversos a ambas branas ($\chi_i, i = 1, \dots, 6 - p$) desacoplan de las fluctuaciones gauge, y podremos entonces analizarlos separadamente. Tomando una separación de variables en armónicos esféricos:

$$\chi_i = Y_i(S^2) \tilde{\chi}_i(t, x_1, \dots, x_{p-1}, \rho) \quad i = 1, 2, \dots, 6 - p \quad (149)$$

En segundo lugar, las fluctuaciones gauge se acoplan a la fluctuación escalar X . Por ello propondremos una separación en modos inspirándonos en (116), (116), (118) donde además se incluirá esta fluctuación escalar:

Tipo I

$$A_\mu = 0 \quad A_\rho = 0 \quad A_j = \chi_I(x_\mu, \rho) \hat{Y}_{I,j}(S^2) \quad X = \Lambda(x_\mu, \rho) Y_I(S^2) \quad (150)$$

Tipo II

$$A_\mu = \zeta_\mu \chi_{II}(x_\mu, \rho) Y_I(S^2) \quad \eta^{\mu\nu} \partial_\mu A_\nu = 0 \quad A_\rho = 0 \quad A_j = 0 \quad X = 0 \quad (151)$$

Tipo III

$$A_\mu = 0 \quad A_\rho = \chi_{III}(x_\mu, \rho) Y_I(S^2) \quad A_j = \hat{\chi}_{III}(x_\mu, \rho) \hat{Y}_{I,j}(S^2) \quad X = 0 \quad (152)$$

Donde $\mu \in \{x_0, x_1, \dots, x_{p-1}\}, j \in \{\theta, \varphi\}$. $Y_l(S^2)$ son los armónicos esféricos, que son autofunciones del laplaciano en S^2 :

$$\square_{S^2} Y_l = -l(l+1)Y_l. \tag{153}$$

y $\hat{Y}_{l,j}(S^3)$ son los armónicos esféricos vectoriales en S^2 , que verifican:

$$\begin{aligned} \nabla^i \hat{Y}_{l,i} &= 0 \\ \varepsilon^{i,j} \partial_i \hat{Y}_{l,j} &= l(l+1) \sqrt{g_{S^2}} \hat{Y}_{l,i}. \end{aligned} \tag{154}$$

Escalares transversos a ambas branas

La parte de la acción (148) que contribuye a la ecuación de los escalares transversos a ambas branas es:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+3} \xi e^{2\frac{p-2}{7-p}\varphi} \sqrt{-\det \tilde{g}} \left(\frac{1}{2} \tilde{g}^{ab} \tilde{g}_{ab} \right), \tag{155}$$

Introduciendo los valores de la perturbación de la métrica (141), el dilatón (101), y el determinante de la metrica sin perturbar (142), obtenemos:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+3} \xi \sqrt{-\det(g_{AdS_{p+1}})} \sqrt{\det(g_{S^2})} \rho^{\frac{5p-2-p^2}{5-p}} \tilde{g}^{ab} \frac{\partial \chi^i}{\partial \xi^a} \frac{\partial \chi_i}{\partial \xi^b}, \tag{156}$$

Donde los índices a y $b \in (t, x_1, \dots, x_{p-1}, \rho, \theta, \varphi)$ e $i \in (1, 2, \dots, 6-p)$ (las fluctuaciones de las coordenadas transversas a ambas branas).

Introduciendo en la acción (155) la hipótesis de separación de variables (149):

$$\begin{aligned} S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+3} \xi \rho^{\frac{5p-2-p^2}{5-p}} \sqrt{-\det(g_{AdS_{p+1}})} \sqrt{\det(g_{S^2})} \sum_{i=1}^{6-p} & (\tilde{g}^{\mu\nu} \partial_\mu \tilde{\chi}_i \partial_\nu \tilde{\chi}_i Y_{li}^2 + \\ & + \tilde{g}^{jj'} \partial_j Y_{li} \partial_{j'} Y_{li} \tilde{\chi}_i^2). \end{aligned} \tag{157}$$

Los índices j, j' recorren las 2 variables angulares de S^2 (θ y φ), y los índices μ, ν recorren las $p+1$ variables. Integrando por partes el segundo sumando aparece una derivada total en S^2 que se anula. Teniendo en cuenta además que el laplaciano de los esféricos armónicos en la esfera S^2 es (153), la acción queda:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+1} \xi \rho^{\frac{5p-2-p^2}{5-p}} \sqrt{-g_{AdS_{p+1}}} \sum_{i=1}^{6-p} N_{li} \left(\bar{g}^{\mu\nu} \partial_\mu \tilde{\chi}_i \partial_\nu \tilde{\chi}_i + \frac{l(l+1)}{v_p^2} \tilde{\chi}_i^2 \right), \tag{158}$$

donde $N_{li} := \int d^2 \xi \sqrt{\det(g_{S^2})} Y_{li}^2$. Observamos que los $6-p$ escalares están desacoplados y regidos por una acción similar, y que cada una de dichas acciones se factoriza en una parte correspondiente a la esfera S^2 , que actúa como una constante respecto de las fluctuaciones, y otra parte que podemos identificar como la acción de un escalar libre masivo en un espacio AdS en $q + \sigma$ dimensiones (2) donde $M^2 = \frac{l(l+1)}{v_p^2}$, $q = p + 1$ y $\sigma = -\frac{5p-2-p^2}{5-p}$.

Una vez identificados los parámetros M^2 , q y σ , el problema es un caso particular del análisis realizado en la sección 2. Luego el valor de α es $\alpha = \frac{2l+1}{5-p}$, y la dimensión conforme, tanto para α entero como no entero viene dado por las expresiones equivalentes (58) y (80):

$$\Delta = \frac{2l}{5-p} + p - 1 \tag{159}$$

Que para $p = 3$ se reduce al caso conforme estudiado en [18], es decir, $\Delta = l + 2$

Fluctuaciones gauge de tipo I

Introduciendo el ansatz de los modos de tipo I (150) en la acción (148), observamos que las fluctuaciones están acopladas debido al término de WZ. Para desacoplarlas, realizaremos el siguiente cambio de variable:

$$\begin{aligned} Z^+ &= \rho \Lambda + l \phi \\ Z^- &= \rho \Lambda - (l+1) \phi \end{aligned} \tag{160}$$

La acción (127) en estas nuevas variables es:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+1} \xi \rho^{\frac{5p-2-p^2}{5-p}} \sqrt{-g_{AdS_{p+1}}} \left(\bar{g}^{\mu\nu} \partial_\mu Z^\pm \partial_\nu Z^\pm + M_\pm^2 Z^{\pm 2} \right), \tag{161}$$

Podemos entonces ver que en estas nuevas variables las fluctuaciones están desacopladas y podemos identificar separadamente cada fluctuación con un problema equivalente al de la sección 2, donde los parámetros asociados a las fluctuaciones son $q = p + 1$, $\sigma = -\frac{5p-2-p^2}{5-p}$ y para Z^+ , $M_+^2 = \frac{(l+1)(l+7-p)}{v_p^2}$, y para Z^- , $M_-^2 = \frac{l(l+p-6)}{v_p^2}$.

La dimensión conforme para el caso Z^+ es:

$$\Delta = \frac{2(l+1)}{5-p} + p \tag{162}$$

Para $p=3$ se reduce al caso conforme estudiado en [18], es decir, $\Delta = l + 4$.

La dimensión conforme para el caso Z^- adquiere dos posibles expresiones según los valores de l y p , y esto es debido a que α toma valores positivos y negativos al variar p y l :

Rama 1

$$\Delta = \frac{2(l-1)}{5-p} + p - 2 \quad \text{si } l \geq \frac{6-p}{2} \tag{163}$$

Rama 2

$$\Delta = -\frac{2l}{5-p} + p \quad \text{si } 1 \leq l < \frac{6-p}{2} \tag{164}$$

Para $p = 3$, sólo sobrevive la rama 1, y la dimensión conforme se reduce al caso conforme estudiado en [18], es decir, $\Delta = l$

Fluctuaciones gauge de tipo II

Introduciendo en (148) el ansatz de los modos de tipo II (151), la parte de WZ se anula y obtenemos:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+1} \xi \rho^{\frac{5p-2-p^2}{5-p}} \sqrt{-g_{AdS_{p+1}}} N_l \left(\bar{g}^{\mu\nu} \partial_\mu \chi_{II} \partial_\nu \chi_{II} + \frac{l(l+1)}{v_p^2} \chi_{II}^2 \right), \tag{165}$$

Una vez identificados los parámetros $M^2 = \frac{l(l+1)}{v_p^2}$, $q = p + 1$ y $\sigma = -\frac{5p-2-p^2}{5-p}$, el problema es un caso particular del análisis realizado en la sección 2, y además igual al caso de los escalares. Luego el valor de α es $\alpha = \frac{2l+1}{5-p}$, y la dimensión conforme, tanto para α entero como no entero viene dado por las expresiones equivalentes (58) y (80):

$$\Delta = \frac{2l}{5-p} + p - 1 \tag{166}$$

Que para $p = 3$ se reduce al caso conforme estudiado en [18], es decir, $\Delta = l + 2$.

Fluctuaciones gauge de tipo III

Introduciendo en 148 el ansatz de los modos de tipo III 152 obtenemos:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+1} \xi \rho^{\frac{5p-2-p^2}{5-p}} \sqrt{-g_{AdS_{p+1}}} N_l \left(\bar{g}^{\mu\nu} \partial_\mu \chi_{III} \partial_\nu \chi_{III} + \frac{l(l+1)-2}{v_p^2} \chi_{III}^2 \right), \tag{167}$$

Una vez identificados los parámetros $M^2 = \frac{l(l+1)-2}{v_p^2}$, $q = p + 1$ y $\sigma = -\frac{5p-2-p^2}{5-p}$, el problema es un caso particular del análisis realizado en la sección 2, y además igual al caso de los escalares. Luego el valor de α es $\alpha = \frac{2l+1}{5-p}$, y la dimensión conforme, tanto para α entero como no entero viene dado por las expresiones equivalentes (58) y (80), que vuelve a ser el mismo valor que para los escalares transversos:

$$\Delta = \frac{2l}{5-p} + p - 1 \quad l \geq 1 \tag{168}$$

Que para $p = 3$ se reduce al caso conforme estudiado en [18], es decir, $\Delta = l + 2$.

Intersecciones Dp-Dp

En esta sección realizaremos un procedimiento similar al realizado en las dos secciones anteriores, donde tomaremos como solución de background la solución (84), (85), (86) y añadiremos Dp-branas de prueba. La métrica de background creada por la pila de N Dp branas está expresada en las variables cartesianas $(t, x_1, \dots, x_p, y_1, \dots, y_{9-p})$ donde las x 's corresponden a las coordenadas paralelas (internas) a la brana y las y 's a las transversas. A continuación añadamos la pila de N_f Dp-branas de prueba. Como la dimensión de la intersección es $Dp \cap Dp = p - 2$, entonces la Dp-brana de prueba comparte $p-1$ dimensiones con la Dp brana de background:

	1	2	...	p	p+1	p+2	p+3	p+4	p+5	...	10
Dp (background)	x	x	x	x	x						
Dp (prueba)	x	x	x			x	x				

Las dos dimensiones restantes de la Dp-brana de prueba las tomamos extendidas sobre las coordenadas (y_1, y_2) . Ambos tipos de branas están separadas una distancia L , dotando así de masa a los quarks. Resulta conveniente expresar las coordenadas de la Dp-brana de prueba transversas a la Dp brana de background, (y_1, y_2) , en coordenadas polares:

$$y_1 = \rho \sin \theta ,$$

$$\begin{aligned}
 y_2 &= \rho \cos \theta , \\
 y_3 &= z_1 , \\
 &\dots \\
 y_{9-p} &= z_{7-p} ,
 \end{aligned}
 \tag{169}$$

de tal manera que las coordenadas pasan a ser:

$$(t, x_1, \dots, x_p, y_1, \dots, y_{9-p}) \rightarrow (t, x_1, \dots, x_p, \rho, \theta, z_1, \dots, z_{7-p}) .$$

Definiendo $\vec{z} := (z_1, \dots, z_{7-p})$, la métrica en las nuevas coordenadas es:

$$\begin{aligned}
 ds_{10}^2 &= \left(\frac{\rho^2 + \vec{z}^2}{R^2} \right)^{\frac{7-p}{4}} (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_p^2) + \\
 &+ \left(\frac{R^2}{\rho^2 + \vec{z}^2} \right)^{\frac{7-p}{4}} (d\rho^2 + \rho^2 d\theta^2 + d\vec{z}^2) .
 \end{aligned}
 \tag{170}$$

La transformación de Weyl que lleva la métrica inducida sobre la Dp-brana de prueba a una forma asintóticamente AdS es la misma que en el caso D(p+4), (89), obteniendo:

$$\begin{aligned}
 d\tilde{s}_{10}^2 &= \left(\frac{v_p}{R} \right)^2 \left(\frac{\rho^2 + \vec{z}^2}{R^2} \right)^{\frac{5-p}{2}} (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_p^2) + \\
 &+ \frac{v_p^2}{\rho^2 + \vec{z}^2} (d\rho^2 + \rho^2 d\theta^2 + d\vec{z}^2) .
 \end{aligned}
 \tag{171}$$

Nuevamente, el cambio de variable que nos lleva a una forma estándar de la métrica AdS viene dado por (91), obteniendo:

$$\begin{aligned}
 d\tilde{s}_{10}^2 &= \left(\frac{v_p}{R} \right)^2 \left(\frac{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p} \right)^{\frac{4}{5-p}} + \vec{z}^2}{R^2} \right)^{\frac{5-p}{2}} (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_p^2) + \\
 &+ \frac{1}{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p} \right)^{\frac{4}{5-p}} + \vec{z}^2} \frac{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}}}{v_p^2} \left(\frac{v}{v_p} \right)^{\frac{2(p-3)}{5-p}} dv^2 +
 \end{aligned}$$

$$+ \frac{v_p^2}{R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} + \vec{z}^2} \left(R^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^{\frac{4}{5-p}} d\theta^2 + d\vec{z}^2 \right). \quad (172)$$

En siguiente lugar, consideremos fluctuaciones lineales de las funciones de embedding en torno a la posición de equilibrio de la brana de prueba. En este caso hay dos coordenadas transversas a la brana de prueba y paralelas a la brana de background (x_{p-1}, x_p) , y sus correspondientes fluctuaciones serán denotadas por λ_1, λ_2 .

$$\begin{aligned} z_1 &= L_1 + \chi_1(x_0, x_1, \dots, x_{p-2}, v, \theta), \\ &\dots \\ z_{7-p} &= L_{7-p} + \chi_{7-p}(x_0, x_1, \dots, x_{p-2}, v, \theta), \\ x_{p-1} &= \lambda_1(x_0, x_1, \dots, x_{p-2}, v, \theta). \\ x_p &= \lambda_2(x_0, x_1, \dots, x_{p-2}, v, \theta). \end{aligned} \quad (173)$$

Donde $\sum_{i=1}^{7-p} L_i^2 = L^2$, es decir, la brana de prueba se situa a una distancia L . La métrica inducida sobre la brana de prueba, en el límite ultravioleta ($v \rightarrow \infty$), es:

$$\begin{aligned} d\tilde{s}_{p+1}^2 &= v^2 (-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_{p-2}^2) + \frac{dv^2}{v^2} + v_p^2 d\theta^2 + \\ &+ \left(\frac{v_p}{R}\right)^{\frac{2(7-p)}{5-p}} v^{\frac{-4}{5-p}} \frac{\partial \chi^i}{\partial \xi^m} \frac{\partial \chi_i}{\partial \xi^n} d\xi^m d\xi^n + v^2 \frac{\partial \lambda^j}{\partial \xi^m} \frac{\partial \lambda_j}{\partial \xi^n} d\xi^m d\xi^n, \end{aligned} \quad (174)$$

donde los índices m y n recorren las coordenadas internas de la brana, el índice $i = 1, 2, \dots, 7 - p$ y el índice $j = 1, 2$. Pasando a las coordenadas de Fefferman-Graham (98):

$$\begin{aligned} d\tilde{s}_{p+1}^2 &= \frac{-dt^2 + dx_1^2 + \dots + dx_{p-2}^2 + d\rho^2}{\rho^2} + v_p^2 d\theta^2 + \\ &+ \left(\frac{v_p}{R}\right)^{\frac{2(7-p)}{5-p}} \rho^{\frac{-4}{5-p}} \frac{\partial \chi^i}{\partial \xi^m} \frac{\partial \chi_i}{\partial \xi^n} d\xi^m d\xi^n + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial \lambda^j}{\partial \xi^m} \frac{\partial \lambda_j}{\partial \xi^n} d\xi^m d\xi^n. \end{aligned} \quad (175)$$

El determinante de la métrica correspondiente a la configuración sin perturbar, que denotaremos \bar{g} , es:

$$\det \bar{g} = -\rho^{-2p} v_p^2 = v_p^2 \det(g_{AdS_p}), \quad (176)$$

donde g_{AdS_p} es la métrica de un espacio AdS en p dimensiones. El dilatón viene dado por las misma expresión (101).

Acción de DBI y WZ

Consideremos la acción (102) para la Dp-brana de prueba, y procedamos a expandirla a segundo orden en las fluctuaciones. La acción de DBI podemos expandirla de manera análoga a (108), obteniendo:

$$S_{DBI} = -T_{Dp} \int d^{p+1} \xi e^{-\Phi} \sqrt{-det \hat{g}} \left(\frac{1}{2} \hat{g}^{ab} \hat{g}_{ab} + \frac{1}{4} F^{ab} F_{ab} \right), \tag{177}$$

Reexpresando la métrica en el sistema de referencia dual (89):

$$S_{DBI} = -T_{Dp} B_p^{\frac{p+1}{2}} \int d^{p+1} \xi e^{2\frac{p-3}{7-p}\Phi} \sqrt{-det \tilde{g}} \left(\frac{1}{2} \tilde{g}^{ab} \tilde{g}_{ab} + \frac{B_p^{-2}}{4} e^{\frac{-4}{7-p}\Phi} F^{ab} F_{ab} \right), \tag{178}$$

Consideremos ahora la parte de WZ. Dado que sólo la RR forma C^{p+1} está encendida, el único termino que contribuye es:

$$S_{WZ} = T_{Dp} \int d^{p+1} \xi \hat{C}^{p+1} \tag{179}$$

Donde \hat{C}^{p+1} es la forma inducida sobre la brana, que en el límite ultravioleta y en la variable de Fefferman-Graham (98) es:

$$\hat{C}^{p+1} = \left(\frac{R}{v_p} \frac{1}{\rho} \right)^{2\frac{7-p}{5-p}} \varepsilon^{ij} \partial_\rho \lambda_i \partial_\theta \lambda_j dx_0 \wedge \dots \wedge dx_{p-2} \wedge d\rho \wedge \theta, \tag{180}$$

Donde $i, j \in \{1, 2\}$

Finalmente, la acción de DBI+WZ expandida a segundo orden en las fluctuaciones es:

$$S_{DBI+WZ} = -T_{Dp} B_p^{\frac{p+1}{2}} \int d^{p+1} \xi e^{2\frac{p-3}{7-p}\Phi} \sqrt{-det \tilde{g}} \left(\frac{1}{2} \tilde{g}^{ab} \tilde{g}_{ab} + \frac{B_p^{-2}}{4} e^{\frac{-4}{7-p}\Phi} F^{ab} F_{ab} \right) + T_{Dp} \int d^{p+1} \xi \left(\frac{R}{v_p} \frac{1}{\rho} \right)^{2\frac{7-p}{5-p}} \varepsilon^{ij} \partial_\rho \lambda_i \partial_\theta \lambda_j, \tag{181}$$

Las fluctuaciones de los escalares transversos a ambas branas (χ_i , $i = 1, \dots, 7 - p$) desacoplan de las fluctuaciones gauge, y podremos entonces analizarlos separadamente. Tomando una separación de variables en armónicos esféricos:

$$\chi_i = Y_i(S^1) \tilde{\chi}_i(t, x_1, \dots, x_{p-2}, \rho) \quad i = 1, 2, \dots, 7 - p \quad (182)$$

En segundo lugar, las fluctuaciones de las coordenadas transversas a la brana de prueba y paralelas a la de background, λ_1 y λ_2 , están acopladas a través del término de WZ. En tercer lugar, podemos inspirarnos en la separación en modos de los casos anteriores, si bien en este caso los modos de tipo I no tienen sentido ya que no hay armónicos esféricos vectoriales en S^1 .

Tipo II

$$A_\mu = \zeta_\mu \chi_{II}(x_\mu, \rho) Y_l(S^1) \quad \eta^{\mu\nu} \partial_\mu A_\nu = 0 \quad A_\rho = 0 \quad A_\theta = 0 \quad (183)$$

Tipo III

$$A_\mu = 0 \quad A_\rho = \chi_{III}(x_\mu, \rho) Y_l(S^1) \quad A_\theta = \hat{\chi}_{III}(x_\mu, \rho) Y_l(S^1) \quad (184)$$

Donde $\mu \in \{x_0, x_1, \dots, x_{p-2}\}$. $Y_l(S^1)$ son los armónicos esféricos, que son autofunciones del laplaciano en S^1 :

$$\square_{S^1} Y_l = -l^2 Y_l . \quad (185)$$

Escalares transversos a ambas branas

La parte de la acción (181) que contribuye a la ecuación de los escalares transversos a ambas branas es:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+1} \xi e^{2\frac{p-3}{7-p}\phi} \sqrt{-det \tilde{g}} \left(\frac{1}{2} \tilde{g}^{ab} \tilde{g}_{ab} \right) , \quad (186)$$

Introduciendo los valores de la perturbación de la métrica (175), el dilatón (101), y el determinante de la métrica sin perturbar (176), obtenemos:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+1} \xi \sqrt{-det(g_{AdS_p})} \rho^{\frac{6p-5-p^2}{5-p}} \tilde{g}^{ab} \frac{\partial \chi^i}{\partial \xi^a} \frac{\partial \chi_i}{\partial \xi^b} , \quad (187)$$

Donde los índices a y b recorren $(t, x_1, \dots, x_{p-2}, \rho, \theta)$ e i recorre $(1, 2, \dots, 7 - p)$ (las fluctuaciones de las coordenadas transversas a ambas branas).

Introduciendo en la acción (186) la hipótesis de separación de variables (182):

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^p \xi \rho^{p-1} \sqrt{-g_{AdS_p}} \sum_{i=1}^{7-p} N_{li} \left(\bar{g}^{\mu\nu} \partial_\mu \tilde{\chi}_i \partial_\nu \tilde{\chi}_i + \frac{l^2}{v_p^2} \tilde{\chi}_i^2 \right), \quad (188)$$

donde $N_{li} := \int d\theta Y_{li}^2$. Observamos que los $7 - p$ escalares están desacoplados y regidos por una acci3n similar, y que cada una de dichas acciones se factoriza en una parte correspondiente a la esfera S^2 , que actúa como una constante respecto de las fluctuaciones, y otra parte que podemos identificar como la acci3n de un escalar libre masivo en un espacio AdS en $q + \sigma$ dimensiones (2) donde $q = p$, $M^2 = \frac{l^2}{v_p^2}$ y $\sigma = 1 - p$. Luego el valor de α es $\alpha = \frac{2l}{5-p}$, y la dimensi3n conforme, tanto para α entero como no entero viene dado por las expresiones equivalentes (58) y (80):

$$\Delta = \frac{2l}{5-p} + p - 2 \quad (189)$$

Que para $p = 3$ se reduce al caso conforme estudiado en [19], es decir, $\Delta = l + 1$

Fluctuaciones λ_1 y λ_2

Las fluctuaciones escalares λ_1 y λ_2 están desacopladas del resto de las fluctuaciones pero acopladas entre sí. Tomemos la parte de la acci3n que contribuye a su dinámica:

$$S_{DBI+WZ} \propto -B_p^{\frac{p+1}{2}} \int d^{p+1} \xi \rho^{-2} \sqrt{-g_{AdS_{p+1}}} N_l \left(\bar{g}^{\mu\nu} \partial_\mu \lambda^j \partial_\nu \lambda_j + \frac{l^2}{v_p^2} \lambda_j^2 \right) + \int d^{p+1} \xi \left(\frac{R}{v_p} \frac{1}{\rho} \right)^{2\frac{7-p}{5-p}} \epsilon^{ij} \partial_\rho \lambda_i \partial_\theta \lambda_j, \quad (190)$$

Observamos que las fluctuaciones están acopladas debido al término de WZ. Para desacoplarlas, tomaremos la siguiente combinaci3n compleja:

$$W = \lambda_1 + i\lambda_2 \quad (191)$$

La acci3n (190) en esta nueva variable es:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^{p+1} \xi \rho^{-\frac{19-8p+p^2}{5-p}} \sqrt{-g_{AdS_{p+1}}} N_l \left(\bar{g}^{\mu\nu} \partial_\mu W \partial_\nu W + \frac{l(l+p-7)}{v_p^2} W^2 \right), \quad (192)$$

Podemos identificar esta acción como la acción (2) para la función W , y los correspondientes parámetros son $M^2 = \frac{l(l+p-7)}{v_p^2}$, $q = p$ y $\sigma = \frac{19-8p+p^2}{5-p}$. En este caso α puede tomar valores positivos y negativos, dando lugar a dos ramas que denotaremos por W^+ y W^- respectivamente:

$$\Delta = \frac{2(l-1)}{5-p} + p - 3 \quad \text{si } l \geq \frac{7-p}{2} \quad (193)$$

$$\Delta = \frac{2(1-l)}{5-p} + p - 1 \quad \text{si } 1 \leq l < \frac{7-p}{2} \quad (194)$$

Para $p = 3$ la dimensión conforme se reduce al caso conforme estudiado en [19], es decir, $\Delta = l - 1$ y $\Delta = 3 - l$ respectivamente.

Fluctuaciones gauge de tipo II

Introduciendo en (181) el ansatz de los modos de tipo II (183), la parte de WZ se anula y obtenemos:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^p \xi \rho^{p-1} \sqrt{-g_{AdS_p}} N_l \left(\bar{g}^{\mu\nu} \partial_\mu \chi_{II} \partial_\nu \chi_{II} + \frac{l^2}{v_p^2} \chi_{II}^2 \right), \quad (195)$$

Los parámetros en este caso son $M^2 = \frac{l^2}{v_p^2}$, $q = p$ y $\sigma = 1 - p$, obteniendo $\alpha = \frac{2l}{5-p}$, y la dimensión conforme:

$$\Delta = \frac{2l}{5-p} + p - 2 \quad (196)$$

Para $p = 3$ se reduce al caso conforme estudiado en [19], es decir, $\Delta = l + 1$.

Fluctuaciones gauge de tipo III

Introduciendo en (181) el ansatz de los modos de tipo III (184) obtenemos:

$$S_{DBI+WZ} \propto \int d^p \xi \rho^{p-1} \sqrt{-g_{AdS_p}} N_l \left(\bar{g}^{\mu\nu} \partial_\mu \chi_{III} \partial_\nu \chi_{III} + \frac{l^2}{v_p^2} \chi_{III}^2 \right), \quad (197)$$

Los parámetros son $M^2 = \frac{l^2}{v_p^2}$, $q = p$ y $\sigma = 1 - p$, obteniendo $\alpha = \frac{2l}{5-p}$, y la dimensión conforme:

$$\Delta = \frac{2l}{5-p} + p - 2 \quad l \geq 1 \quad (198)$$

Para $p = 3$ se reduce al caso conforme estudiado en [19], es decir, $\Delta = l + 1$.

Conclusiones

La correspondencia AdS/CFT es considerada como el desarrollo más destacable de la física teórica de los últimos 15 años. Ha permitido obtener un gran abanico de resultados notables que van desde la comprensión de teorías máximamente supersimétricas a aplicaciones en la física del estado sólido.

La dualidad se formuló inicialmente para teorías conformes, donde actualmente está entendida con gran precisión, y resulta deseable comprender cómo actúa en casos no conformes. Este trabajo pretende ofrecer una aportación en esa dirección.

La correspondencia se expresa con precisión en [16] donde se realiza un análisis de campos de materia en espacios AdS y su conexión con la teoría gauge dual, estableciendo con detalle el diccionario entre ambas teorías duales. En la sección 2 del presente trabajo se realiza una extensión de estas ideas a espacios AdS donde se consideran σ coordenadas compactas adicionales, y se estudia un escalar libre masivo en ese espacio, que depende únicamente de las dimensiones no compactas. En la ecuación del movimiento las dimensiones compactas se manifiestan sólo a través del parámetro σ , y la ecuación tiene sentido para cualquier valor real de σ . Dado que se trata de un espacio AdS podemos extender de manera natural las técnicas habituales para espacios AdS, encontrando una solución general a la ecuación diferencial y realizando un procedimiento de renormalización holográfica. Finalmente se extrae la dimensión conforme del operador dual al campo escalar masivo, haciendo precisa la dualidad entre la masa del escalar y la dimensión conforme. Es notable advertir que ciertas teorías no conformes pueden reducirse a un problema de este tipo, y así podremos aplicar los resultados obtenidos. En particular, en este trabajo lo empleamos en calcular dimensiones de operadores duales a fluctuaciones lineales de las funciones de encajamiento de branas de sabor en configuraciones Dp-D(p+k). El análisis detallado de todos los casos posibles se resume en la tabla que se muestra más abajo. Puede observarse que el carácter fraccionario de las dimensiones está ligado al número cuántico l correspondiente a los modos sobre la esfera. Nótese que los resultados obtenidos se reducen para $p = 3$ a los casos conformes estudiados en [17] [18] [19]

Configuración	Fluctuación	Contenido físico	Rango l	$ \alpha $	Dimensión conforme
Dp-Dp	Escalares transversos	7-p escalares	$l \geq 0$	$\frac{2l}{5-p}$	$\frac{2l}{5-p} + p - 2$
	W^+	1 escalar	$l \geq \frac{7-p}{2}$	$\frac{2l+p-7}{5-p}$	$\frac{2(l-1)}{5-p} + p - 3$
	W^-	1 escalar	$1 \leq l < \frac{7-p}{2}$	$\frac{2l+p-7}{5-p}$	$\frac{2(1-l)}{5-p} + p - 1$
	Tipo II	1 vector	$l \geq 0$	$\frac{2l}{5-p}$	$\frac{2l}{5-p} + p - 2$
	Tipo III	1 escalar	$l \geq 1$	$\frac{2l}{5-p}$	$\frac{2l}{5-p} + p - 2$
Dp-D(p+2)	Escalares transversos	6-p escalares	$l \geq 0$	$\frac{2l+1}{5-p}$	$\frac{2l}{5-p} + p - 1$
	Tipo I Z^+	1 escalar	$l \geq 1$	$\frac{2l+8-p}{5-p}$	$\frac{2(l+1)}{5-p} + p$
	Tipo I Z^- Rama 1	1 escalar	$l \geq \frac{6-p}{2}$	$\frac{2l+p-6}{5-p}$	$\frac{2(l-1)}{5-p} + p - 2$
	Tipo I Z^- Rama 2		$1 \leq l < \frac{6-p}{2}$	$\frac{-2l-p+6}{5-p}$	$\frac{-2l}{5-p} + p$
	Tipo II	1 vector	$l \geq 0$	$\frac{2l+1}{5-p}$	$\frac{2l}{5-p} + p - 1$
	Tipo III	1 escalar	$l \geq 1$	$\frac{2l+1}{5-p}$	$\frac{2l}{5-p} + p - 1$
Dp-D(p+4)	Escalares transversos	5-p escalares	$l \geq 0$	$\frac{2l+1}{5-p}$	$\frac{2l}{5-p} + p - 1$
	Tipo I Λ^+	1 escalar	$l \geq 1$	$\frac{2l+p-7}{5-p}$	$\frac{2(l-1)}{5-p} + p - 3$
	Tipo I Λ^- Rama 1	1 escalar	$l \geq \frac{5-p}{2}$	$\frac{2l+p-7}{5-p}$	$\frac{2(l-1)}{5-p} + p - 1$
	Tipo I Λ^- Rama 2		$1 \leq l < \frac{5-p}{2}$	$\frac{2l+p-7}{5-p}$	$\frac{2(1-l)}{5-p} + p - 1$
	Tipo II	1 vector	$l \geq 0$	$\frac{2l}{5-p}$	$\frac{2l}{5-p} + p - 2$
	Tipo III	1 escalar	$l \geq 1$	$\frac{2l}{5-p}$	$\frac{2l}{5-p} + p - 2$

Bibliografía

- [1] Szabo RJ (2002) An Introduction to String Theory and D-Brane Dynamics. arXiv:hep-th/0207142v1
- [2] Griffiths D (2008) Introduction to elementary particles. ISBN-10: 3527406018
- [3] Schwarz JH (2000) String Theory: The Early Years. arXiv:hep-th/0007118v3
- [4] Vecchia PD, Schwimmer A (2007) The beginning of string theory: a historical sketch. arXiv:0708.3940v1
- [5] Ramallo AV (2011) La correspondencia gravedad/teoría gauge. REF Vol. 25-2, abril-junio 2011 página 13.
- [6] Maldacena J (2005) The illusion of gravity. Scientific American. 10.1038/scientificamerican1105-56
- [7] Klebanov IR, Maldacena J (2009) Solving quantum field theories via curved spacetimes. <http://dx.doi.org/10.1063/1.3074260>
- [8] Boer JD (2002) Introduction to the AdS/CFT correspondence. http://www-library.desy.de/preparch/desy/proc/proc02-02/Proceedings/pl.6/deboer_pr.pdf
- [9] Argurio R (1998) Brane Physics in M-theory. Ph.D. Thesis hep-th/9807171v2
- [10] Areán D, Ramallo AV (2006) Open string modes at brane intersections. hep-th/0602174v2
- [11] Ramallo AV (2006) Adding open string modes to the gauge/gravity correspondence. arXiv:hep-th/0605261v2
- [12] Erdmenger J, Evans N, Kirsch I, Threlfall E (2007) Mesons in Gauge/Gravity Duals - A Review. hep-th/0711.4467v2
- [13] Benincasa P, Ramallo AV (2012) Holographic Kondo Model in Various Dimensions. arXiv:1204.6290v1

- [14] Kruczenski M, Mateos D, Myers RC, Winters J (2003) Meson Spectroscopy in AdS/CFT with Flavour. arXiv:hep-th/0304032v2.
- [15] Maldacena J (1997) The Large N Limit of Superconformal Field Theories and Supergravity. arXiv:hep-th/9711200
- [16] Witten E (1998) Anti de Sitter Space and Holography. arXiv:hep-th/9802150
- [17] Kruczenski M, Mateos D, Myers RC, Winters DJ (2003) Meson Spectroscopy in AdS/CFT with Flavour. arXiv:hep-th/0304032v2.
- [18] DeWolfe O, Freedman DZ, Ooguri H (2002) Holography and defect conformal field theories. Phys. Rev. D66 (2002) 025009, hep-th/0111135
- [19] Areán D, Ramallo AV (2006) Open string modes at brane intersections. hep-th/0602174v2
- [20] Kanitscheider I, Skenderis K, Taylor M (2008) Precision holography for non-conformal branes. arXiv:0807.3324v2 [hep-th]
- [21] Kanitscheider I, Skenderis K (2009) Universal hydrodynamics of non-conformal branes. arXiv:0901.1487v2 [hep-th].
- [22] Benincasa P (2009) A note on holographic renormalization of probe D-branes. arXiv:0903.4356v1 [hep-th].
- [23] Rees BC (2011) Holographic renormalization for irrelevant operators and multi-trace counterterms. arXiv:1102.2239v1 [hep-th]
- [24] Petkou A, Skenderis K (1999) A nonrenormalization theorem for conformal anomalies. Nucl.Phys. B561 (1999) 100-116, hep-th/9906030
- [25] Skenderis K (2002) Lecture notes on holographic renormalization. Class. Quant. Grav. 19 (2002) 5849-5876, hep-th/0209067
- [26] Haro S, Solodukhin SN, Skenderis K (2001) Holographic reconstruction of spacetime and renormalization in the AdS/CFT correspondence. Commun. Math. Phys. 217 (2001) 595 [arXiv:hep-th/0002230].
- [27] Bianchi M, Freedman DZ, Skenderis K (2002) Holographic renormalization. Nucl. Phys. B 631 (2002) 159 [arXiv:hep-th/0112119].
- [28] Abramowitz, Stegun (1972) Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. Dover Publications, ISBN 978-0-486-61272-0
- [29] Rees BC (2010) Dynamics and the gauge/gravity duality. Ph.D. Thesis. <http://dare.uva.nl/document/185101>
- [30] Freedman DZ, Proeyen A (2012) Supergravity. ISBN 0521194016
- [31] Gradshteyn, Ryzhik (2007) Tables of integrals, series and products. Academic Press, ISBN 978-0-12-373637-6

VIDA DA

REAL ACADEMIA GALEGA DE CIENCIAS

RESUMO DA MEMORIA DAS ACTIVIDADES DA ACADEMIA DURANTE O ANO 2015

APERTURA DO CURSO ACADÉMICO E ENTREGA DOS PREMIOS DE INVESTIGACIÓN ERNESTO VIÉITEZ CORTIZO 2014

Ambos os dous acontecementos celebráronse conxuntamente nunha única sesión, o 21 de Xaneiro.

No acto de Apertura de Curso, o Secretario da Academia, Prof. Dr. D. Antonio Ballester Álvarez-Pardiñas deu lectura á memoria de actividades correspondente ao ano 2014.

A lección maxistral correu a cargo do Prof. Dr. D. Fernando Pérez González, baixo o título “O que o ollo non ve. O Photoshop e a nova ciencia forense multimedia”.



Apertura do Curso Académico 2015

PUBLICACIONES

No ano 2015 a Real Academia Galega de Ciencias editou o volume XXXIV da súa Revista, con axuda do financiamento achegado pola Fundación Barrié.

Tamén ao longo do ano 2015 renovouse en profundidade e modernizouse a páxina web da Academia, cuxa actualización permanente permite facer un seguimento das actividades desenvolvidas pola entidade.

A páxina dispón, entre outras novidades, dunha plataforma para a difusión da ciencia, en xeral, dando a oportunidade aos investigadores de Galicia de dar a coñecer os últimos avances da súa investigación. Dispón tamén de acceso ás redes Facebook e Twitter para facilitar a comunicación social e o intercambio de opinións no ámbito científico.

Desde este ano, a Academia incorporouse ao dominio .gal, de tal maneira que pode accederse a web usando o enderezo: www.ragc.cesga.gal

CURSOS DE CONFERENCIAS

XVIII AVANCES EN CIENCIA E TECNOLOXÍA AVANCES EN ACUICULTURA

A acuicultura é unha actividade que abrangue moi variadas prácticas e unha ampla gama de especies, sistemas e técnicas de produción. A FAO estima que antes de 2030 máis do 65% dos alimentos consumidos en todo o mundo procederán da acuicultura.

Nos últimos 50 anos converteuse nunha actividade socioeconómica relevante, dando emprego a máis de 12 millóns de persoas no mundo. Podemos dicir que o éxito da acuicultura moderna se basea nos grandes logros xa alcanzados por este sector na xestión da bioloxía das especies cultivadas, na introdución de innovacións científico-técnicas, no desenvolvemento de alimentos específicos e no control da sanidade das especies cultivadas.

Estes avances alcanzados na actualidade revelan non só a vitalidade da acuicultura como técnica produtiva, senón tamén a capacidade de innovación, emprendemento e aproveitamento sostible dos recursos dispoñibles.

Con este motivo a RAGC, en colaboración coa CEG e baixo o patrocinio da Deputación de A Coruña, puxo en marcha este ciclo de conferencias e mesas de debate que serviu como punto de encontro entre a investigación e a empresa e que contribuíu a poñer en valor e dar a coñecer os logros nesta actividade.

O ciclo desenvolveuse entre o 4 e o 19 de novembro no Salón de Actos que a Confederación de Empresarios ten en Santiago de Compostela.

Distribuíuse en dúas partes: unha primeira consistente en conferencias e unha segunda de mesas de debate.



Presentación “Avances en Acuicultura”

Conferencias

Dra. Dna. Luisa M.P. Valente

Profesora do Instituto de Ciencias Biomédicas Abel Salazar (ICBAS) e Interdisciplinary Centre of Marine and Environmental Research (CIIMAR), Universidade de Porto (Portugal)

Nutrición en peixes e sostibilidade

Dr. D. Sergio Devesa Regueiro

Director Xerente da Empresa Aquacría Arousa, SL (Cambados, Pontevedra)

Tecnoloxía de recirculación en Acuicultura

Dra. Dña. Olvido Chereguini Fernández-Maqueira

Investigadora do Instituto Español de Oceanografía (IEO). Centro Oceanográfico de Santander

Criopreservación de gametos en peixes planos

Dr. D. Paulino Martínez Portela

Catedrático do Dpto. de Xenética da Universidade de Santiago de Compostela (USC)

Xenómica aplicada para a mellora da produción en acuicultura

Dr. D. Antonio Villalba García

Investigador do Centro de Investigacións Mariñas (CIMA), Xunta de Galicia. Vilanova de Arousa (Pontevedra)

O cultivo de moluscos na encrucillada

Mesas de debate***Retos para a intensificación da Acuicultura*****Moderador: D. Carlos Pereira Dopazo**

Director do Instituto de Acuicultura

Participantes na mesa:**D. José Benito Peleteiro Alonso**

Investigador do Instituto Español de Oceanografía (IEO). Centro Oceanográfico de Vigo

Dna. Manuela Buján Saco

Bióloga responsable de I+D da empresa Algafrés (Porto-Muiños)

D. Juan Fernández Otero

Xefe de Servizo de Innovación Tecnolóxica da Acuicultura, Consellería do Mar, Xunta de Galicia

Impacto da Acuicultura: Ecoloxía e Sociedade

Moderador: D. Santiago Cabaleiro Martínez

Director do Centro Tecnolóxico Galego de Acuicultura

Participantes na mesa:

D. Uxío Labarta Fernández

Profesor de Investigación do Instituto de Investigacións Mariñas. (Vigo) (IIM), CSIC. Vigo

D. Alejo Carballeira Ocaña

Catedrático do Dpto. de Bioloxía Celular e Ecoloxía da Universidade de Santiago de Compostela (USC)

Dña. Angeles Longa Portabales

Directora do Dpto. I+D+i do Consello Regulador do Mexillón de Galicia. Vilagarcía de Arousa (Pontevedra)



Mesa de debate “Impacto da Acuicultura: Ecoloxía e Sociedade”

O ciclo clausurouse o 19 de Novembro, coa intervención da Coordinadora do ciclo, a Profa. Dra. Dna. Alicia Estévez Toranzo.

CICLO DE CONFERENCIAS
DR. D. LUÍS ASOREY GARCÍA
BIOMASA FORESTAL E BIOENERXÍA EN GALICIA

Este ciclo de conferencias celebrouse en novembro, no Salón de Actos da Excm. Deputación Provincial de Lugo, (entidade patrocinadora do ciclo) cunha programación total de 7 conferencias. Os ponentes e conferencias foron as seguintes:

Dr. D. Antonio Rigueiro Rodríguez

Membro de Número da Real Academia Galega de Ciencias

Dr. Enxeñeiro de Montes. Catedrático do Departamento de Produción Vexetal da Universidade de Santiago de Compostela.

Biomasa forestal residual en Galicia

D. Emérito Freire Sambade

Enxeñeiro Técnico Industrial, Licenciado en Máquinas Navais e Máster en Enxeñaría Mecánica. Director de Enerxía e Planificación Enerxética do Instituto Enerxético de Galicia (INEGA)

O sector da Biomasa como oportunidade económica e mediambiental: A estratexia de impulso 2014-2010

Dr. D. Francisco Dans del Valle

Enxeñeiro de Montes. Director da Asociación Forestal de Galicia (AFG)

Profesor Titular de Universidade do Departamento de Botánica da Universidade de Santiago de Compostela.

Uso enerxético da biomasa: exemplos en Galicia

Dr. D. Luis Ortiz Torres

Dr. Enxeñeiro de Montes. Catedrático da área de Enxeñaría Agroforestal do Departamento de Enxeñaría dos Recursos Naturais e Medio Ambiente da Universidade de Vigo

Biocombustibles sólidos

D. José Otero Gavieiro

Enxeñeiro Técnico Industrial. Presidente de ISEMPA e BIOPALAS.

Instalacións de uso térmico doméstico e en edificios públicos

D. Antonio Rigueiro Mesejo

Enxeñeiro Químico, Universidade de Santiago de Compostela.

Biocombustibles líquidos e gaseosos a partir de biomasa

O peche do ciclo correu a cargo do Coordinador das xornadas, Prof. Antonio Rigueiro Rodríguez, a representante da Deputación de Lugo Dona Sonsoles López e o Secretario da RAGC.



Presentación do ciclo. Sonsoles López, deputada de Medio Ambiente (Dep. Prov.de Lugo) e Antonio Rigueiro, catedrático da USC e Membro da RAGC

DÍA DA CIENCIA EN GALICIA 2015

ÁNGELES ALVARIÑO GONZÁLEZ

A Real Academia Galega de Ciencias, na súa sesión plenaria do 18 de Decembro de 2014, acordou nomear á Profa. Dra. Dna. Ángeles Alvariño González como Científica Galega do ano 2015 sobre a base do seu labor como oceanógrafa.

O 1 de Xuño de 2015 celebrouse, no Pazo de San Roque, a oitava edición do Día da Ciencia en Galicia, ata agora chamado Día do Científico Galego, e que axustouse ao seguinte programa:

- Benvida e apertura do acto polo Presidente da RAGC, Prof. Dr. D. Miguel Á. Ríos Fernández.
- Semblanza da familia por parte da sobriña, Dona María José Leira Ambrós, “Ángeles Alvariño”
- Conferencia: “Ángeles Alvariño González (1916-2005): La primera Oceanógrafa Gallega” polo Dr. D. Juan Pérez de Rubín y Feigl, Investigador Titular do Instituto Español de Oceanografía (IEO).
- Peche do acto por parte do Presidente da Real Academia Galega de Ciencias, Prof. Dr. D. Miguel Á. Ríos Fernández.

En colaboración coa Fundación Pedro Barrié de la Maza, a través da súa su Área de Investigación e Educación, editouse unha Unidade Didáctica relacionada coa vida e obra de Ángeles Alvariño que se difundiu a todos os centros escolares de Galicia.

O mesmo 1 de Xuño, por parte do Concello de Santiago de Compostela e en colaboración coa Real Academia Galega de Ciencias, no Parque das Ciencias Isidro Parga Pondal, tivo lugar o acto de colocación dunha placa en homenaxe a Ángeles Alvariño con motivo da celebración do Día da Ciencia en Galicia.



Intervención do Dr. D. Juan Pérez de Rubín y Feigl

PREMIOS DE INVESTIGACIÓN ERNESTO VIÉITEZ CORTIZO 2015

O xurado calificador reunise o 19 de Outubro de 2015 para propoñer os traballos gañadores e o Pleno da Academia do 16 de Decembro aprobou por unanimidade a proposta do xurado. Os traballos premiados foron:

• **Premio na modalidade de Traballo de Investigación, para o traballo:**

“Efectos celulares y moleculares de nanopartículas de magnetita en células neuronales humanas”

Autores: Dra. Blanca Laffon Lage, Dra. Gözde Kiliç, Dra. Eduardo Pásaro Méndez, Dra. Vanessa Valdiglesias García, da Universidade Da Coruña

• **Premio Promoción de Novos Investigadores menores de 28 anos ao traballo:**

“Reacciones de Sustitución Galvánica en Nanopartículas de Óxidos de Metales de Transición”

Autor: D. Miguel Alexandre Ramos Docampo, do Dpto. de Química Física da Universidade de Vigo.



Premiados coa Presidencia do acto; Ramón Villares (Presidente CCG), Miguel Á. Ríos (Presidente RAGC), Juan Viaño (Reitor USC), Julio Abalde(Reitor UDC), Salustiano Mato (Reitor Uvigo) e Manuel Varela (Director Gain)

PREMIOS Á TRANSFERENCIA DE TECNOLOXÍA



Premiados e Presidencia

Durante o ano 2015 a Real Academia Galega de Ciencias (RAGC), coa colaboración da Axencia Galega de Innovación (GAIN), convocaron a primeira edición dos **Premios á Transferencia de Tecnoloxía en Galicia** con premios en dúas modalidades: a) **Premio a un traballo de investigación aplicada**, dotado con **6.000 €** netos e una axuda para a formación dun membro do equipo dotado con **4.000 €** e b) **Premio empresarial a un caso de éxito en transferencia de tecnoloxía**, dotado con **12.000 €** netos.

O Xurado, composto por membros da RAGC, GAIN, IGAPE e CEG, decidiu, por unanimidade, conceder o premio de investigación aplicada a o titulado “17 anos de estudo da excitotoxicidade no ictus cerebral. Unha nova terapia baseada na redución do glutamato plasmático” do que son autores os doutores José Antonio Castillo, Francisco Campos e Tomás Sobrino. O premio empresarial foi concedido a empresa Qubiotech, Health Intelligence, S.L, con sede na Coruña, sendo D. Pedro Arenas o seu Director executivo.



Intervención do Conselleiro de Economía, Emprego e Industria, Sr. D. Francisco Conde

INCORPORACIÓN DE NOVOS ACADÉMICOS

Durante o ano 2015 tivo lugar a incorporación de novos Académicos Numerarios, segundo resolución do Pleno Extraordinario da Academia do 18 de Decembro de 2014, de acordo coa seguinte secuencia:

Prof. Dr. D. Juan Ramón Vidal Romani, Catedrático da Universidade Da Coruña e Director do Instituto Universitario de Xeoloxía Isidro Parga Pondal, adscrito á Sección de Química e Xeoloxía dentro da Academia. Tomou posesión o 23 de Marzo de 2015. Pronunciou o discurso de entrada baixo o título: “Xeoloxía de Galicia: Como armar un quebracabezas”.

A contestación ao seu discurso de entrada correu a cargo do Prof. Antonio Rigueiro Rodríguez.

Prof. Dr. D. Pedro Merino Gómez, Doutor Enxeñeiro Industrial, Catedrático da Universidade de Vigo, adscrito á Sección de Ciencias Técnicas dentro da Academia. Tomou posesión o 6 de Maio de 2015. Pronunciou o discurso de entrada sobre “Bases científicas da Revolución dos Metais no século XX. Unha prospección tecnolóxica”.

A contestación ao seu discurso de entrada correu a cargo do Prof. Manuel Bao Iglesias.

Prof. Dr. D. Luis Caramés Viéitez, Catedrático da Universidade de Santiago de Compostela, adscrito á Sección de Ciencias Sociais e Económicas da Academia. Tomou posesión o 27 de Maio de 2015. Pronunciou o discurso de entrada sobre: “Entre a miopía e a avaricia: un percorrido pola crisis financeira”.

A contestación ao seu discurso de entrada correu a cargo do Prof. Manuel Freire Rama.

Prof.^a Dr.^a D.^a Aida Fernández Ríos, Profesora de Investigación do CSIC, no Instituto de Investigacións Mariñas de Vigo, adscrita á Sección de Farmacia e Bioloxía da Academia. Tomou posesión o 18 de Xuño de 2015.

Pronunciou o discurso de entrada sobre: “Acidificación do Mar: Unha consecuencia das emisións de CO₂”.

A contestación ao seu discurso de entrada correu a cargo do Prof. Dr. Antonio Ballester Alvarez-Pardiñas.

Prof. Dr. D. Ramón Doallo Biempica, Catedrático da Universidade Da Coruña, adscrito á Sección de Ciencias Técnicas da Academia. Tomou posesión o 23 de Setembro de 2015. Pronunciou o discurso de entrada sobre: “No camiño da Computación exaescala”.

A contestación ao seu discurso de entrada correu a cargo do Prof. Fernando Pérez González.

Prof. Dr. D. Senén Barro Ameneiro, Catedrático da Universidade de Santiago de Compostela, adscrita á Sección de Matemáticas, Física e Física do Cosmos da Academia. Tomou posesión o 14 de Outubro de 2015. Pronunciou o discurso de entrada sobre: “Poden pensar as máquinas?”.

A contestación ao seu discurso de entrada correu a cargo do Prof. Félix Vidal Costa.

CONVENIOS

Este ano a Academia asinou os seguintes convenios de colaboración:

- Coa Excma. Deputación Provincial Da Coruña, para o desenvolvemento dos XVIII Avances en Ciencia e Tecnoloxía.
- Coa Excma. Deputación de Lugo para a celebración do Ciclo de Conferencias Dr. D. Luis Asorey García.

Así mesmo, a Academia mantén coa Confederación de Empresarios de Galicia o Convenio Marco para a difusión social da ciencia en Galicia e sua aproximación ao sector empresarial galego; e coa Fundación Pedro Barrié de la Maza o convenio de colaboración destinado a publicacións e outras actividades.

NOVA SEDE

Durante o ano 2015 produciuse o traslado da sede da Real Academia Galega de Ciencias á Facultade de Química da Universidade de Santiago de Compostela. A Academia agradece o acollemento da USC.

NECROLOXÍA

Durante o ano 2015 a Academia sufriu a perda de dous dos seus Académicos de Número. O Prof. Dr. D. Manuel Bao Iglesias faleceu en Santiago o 16 de Novembro de 2015 e a Prof. Dra. Dona Aida Fernández Ríos faleceu en Vigo o 23 de Decembro de este mesmo ano.

IN MEMORIAM



Manuel Bao Iglesias

El Profesor Manuel Bao Iglesias nació en Santiago de Compostela en julio de 1936. Licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad de Santiago (USC) se doctoró en 1966 bajo la dirección del Prof. Ocón siendo su tesis doctoral un trabajo pionero en computación analógica. Durante un breve tiempo fue profesor en centros de enseñanza secundaria y profesor numerario de Formación Profesional de cuyo Instituto de Santiago sería el subdirector. Fue Profesor Ayudante y Profesor Adjunto por oposición de Química Técnica de la USC y en 1973 es nombrado Profesor Adjunto Numerario. En 1975 supera las oposiciones a cátedra siendo destinado como Profesor Agregado a la Universidad Autónoma de Barcelona. Posteriormente fue Catedrático de Química Técnica en la Universidad de La Laguna (Tenerife) y finalmente trasladó su cátedra a la Universidad de Santiago de Compostela donde ejercería su actividad docente e investigadora hasta su jubilación en 2006. Su primer cargo de direc-

ción en la USC fue en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Vigo de la que sería su impulsor y primer director, aunque la mayor parte de su magisterio universitario se desarrollaría en Santiago de Compostela como Catedrático de Ingeniería Química de esta Universidad. Fue uno de los impulsores del Centro de Cálculo de la USC por su pericia en computación analógica y digital y posteriormente de la imprenta universitaria. En Santiago sería asimismo Director de la Escuela Universitaria de Trabajo Social.

Su investigación científica se dirigió hacia temas de orientación práctica, como sería el empleo de productos naturales para su utilización en campos como la alimentación animal, campo en el que dirigió diversas tesis doctorales. Así su discurso de ingreso como Académico Numerario en la Real Academia Galega de Ciencias versó sobre la aplicación del tojo (*ulex europaeus*), un excelente estudio técnico de valorización de un producto abundante en Galicia.

Fue, sin duda, el profesor de Ingeniería Química de la USC que mejor supo conectar con la Sociedad en temas de emisiones y de contaminación ambiental. Su valioso criterio técnico le permitió asesorar a diversas empresas e instituciones públicas en temas de implementación de plantas industriales, siendo su aportación más relevante en este aspecto la planta de tratamiento de residuos de Sogama. Fue un valioso referente para el desarrollo de plantas de proceso químico en nuestra Comunidad y en otras regiones españolas.

En el año 2006 la Universidad de Santiago de Compostela le concedió la insignia de oro, máximo galardón a título individual, por su trayectoria académica. El Colegio Oficial de Químicos de Galicia le nombró recientemente Colegiado Distinguido, que sería el último reconocimiento público del Profesor Bao Iglesias.

Manuel Bao era un profesor afable, excelente comunicador y gran maestro. Muy próximo a sus alumnos y en los que dejaría siempre un magnífico recuerdo. Fue profesor de la mayor parte de los químicos industriales de Galicia y con frecuencia era consultado por profesionales del sector en temas técnicos. Esta actividad la mantuvo hasta su fallecimiento el pasado 17 de noviembre toda vez que como Profesor *Ad Honorem* de la USC continuó acudiendo a su despacho en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de forma continuada y solo interrumpida por sus desplazamientos a otros lugares de nuestra geografía para resolver en temas de asesoramiento técnico.

Practicó algunos deportes como la caza, el tenis y especialmente la pesca submarina y extendió sus aficiones al trabajo en su invernadero cuidando sus castaños y sus vides. Era un amante de la naturaleza, lo que justificaba sus aficiones, y de ahí que alguno de sus trabajos se dirigiesen a la regeneración de suelos contaminados.

Dado su carácter amable y su excelente humor resultaba muy fácil conectar con él y conservar su amistad y trato, humor que conservaría hasta los últimos días como comentaba su familia, una familia maravillosa que le proporcionó estabilidad, tranquilidad e innumerables satisfacciones a lo largo de su vida.

A su esposa Mary, a sus hijos María Dolores, Manuel, María Jesús y Carmen les expresamos nuestro más entrañable afecto en el recuerdo al gran profesor y amigo que fue Manuel Bao Iglesias. En su funeral la Iglesia de Sar resultó muy pequeña para la gran cantidad de amigos que se reunieron, muchos de ellos llegados de diversos lugares de Galicia. En el Departamento de Ingeniería Química de la USC recibimos procedentes de otras Universidades españolas muchas pruebas del cariño y respeto hacia el Profesor Bao que resumen su destacada personalidad científica y humana. Durante años explicó termodinámica aplicada consciente de que la vida era el mejor paradigma de los procesos irreversibles, cumpliéndose en este proceso en su caso una serie de importantes hitos que han proyectado su personalidad al mejor de los recuerdos.

A los que tuvimos la suerte de compartir con Manuel Bao docencia y trato se nos hace difícil su ausencia pero el recuerdo que ha dejado es una guía de buena actuación y de ejemplo a seguir. Gran catedrático en sus vertientes docente e investigadora, compañero generoso, pero sobre todo una excelente persona.

Alberto Arce Arce

Profesor Emérito de la USC

IN MEMORIAM



Académico Prof. Dr. D. Manuel Bao Iglesias

O 18 de Novembro de 2015 recibíase na Academia a triste noticia do falecemento do Prof. Dr. D. Manuel Bao Iglesias. Unha desgraciada enfermidade sobrevinda nos últimos meses cortara definitivamente a súa vida, de modo inesperado.

Académico Numerario desta Real Academia Galega de Ciencias desde 1990, compañeiro e amigo entrañable, foi un dos seus membros máis activos, aporador de ideas e sempre disposto a colaborar. Últimamente formaba parte do equipo de goberno da Academia, en calidade de Tesoureiro. A súa desaparición produciu un profundo pesar en todos nós, á vez que deixou un gran oco. Desde estas páxinas a Real Academia Galega de Ciencias quere render tributo a tan insigne Académico e amigo, agradecéndolle a súa dedicación, a súa entrega e a convivencia agradable con que nos obsequiou pola a súa gran calidade humana.

Gracias Manolo. Descansa en paz!

Miguel Á. Fernández Ríos

Presidente

Real Academia Galega de Ciencias

IN MEMORIAM



Aida Fernández Ríos

Atristécenos o espírito anunciar a perda da nosa benquerida amiga e colega Aida Fernández Ríos. Na noite do martes 22 de Decembro de 2015, a nosa estimada Aida foi atropelada por un vehículo. A súa morte conmocionou non só a familiares, amigos/as e compañeiros/as, senón tamén á comunidade científica mariña, causando gran tristura e estupor dende Vigo a Tasmania, dende Compostela ao RRS Discovery, no 24.5°N 67°W. De singular calidade humana e brillante capacidade para a investigación, Aida foi ao longo da súa vida un exemplo límpido de traballo duro, de iniciativa, de leda forza vital, de carraxe e de vontade de mellora. É difícil explicar cómo nos sentimos e dar conta do magoante baleiro que o seu pasamento deixa en nós.

Aida foi unha científica recoñecida e respectada na comunidade internacional de oceanógrafos. Non foi só unha brillante investigadora, líder e

mentora, senón que ademais posuía calidades sociais excepcionais. Os e as afortunados e afortunadas que tivemos a oportunidade de traballar á súa beira sabemos que, alén da súa participación incansable en numerosos proxectos e actividades, os seus 100 artigos referenciados e as súas numerosas responsabilidades, Aida foi unha das máis grandes compañeiras e colegas da comunidade científica. Con modestia e honestidade, e sempre sorrindo e abrazando, Aida fixo que as nosas interaccións fosen sempre especialmente agradables e inesquecibles. Agora gostaríamos honrar a súa memoria compartindo con vostedes un resumo da súa traxectoria intelectual.

A súa carreira científica é un exemplo de superación, iniciativa e carraxe. Desempeñou todas e cada unha das escalas científicas, dende Técnica a Profesora de Investigación, a posición máis alta no CSIC. Comezou en 1972, cando se incorporou ao Instituto de Investigacións Mariñas (IIM-CSIC) como auxiliar de laboratorio, nun momento en que as mulleres eran unha minoría no mundo científico. Dende os seus primeiros pasos compaxinou o seu traballo científico coa súa formación académica, algo extraordinario, especialmente naqueles tempos. Con gran tesón, Aida foi progresando nos distintos postos da escala técnica, ao tempo que lograba completar a súa Licenciatura en Bioloxía e, máis tarde (1992), o Doutoramento, baixo a dirección do Profesor Fernando Fraga.

Durante o seu doutoramento Aida estudou a variabilidade da composición química elemental do fitoplacton na Ría de Vigo en relación coa composición específica e os réximes de circulación estuárica. Paralelamente, dirixiu a súa primeira campaña internacional en 1988 a bordo do buque polaco *Professor Siedlecki* que deu lugar a unha publicación científica sobre a variabilidade das masas de auga no Atlántico Norte, que é na actualidade un dos artigos máis citados de toda a produción do IIM. Incorporouse ao programa mundial *World Ocean Circulation Experiment 1992-2000*, realizando tres campañas internacionais transoceánicas para estudar a variabilidade do CO₂ no océano, contribuíndo á primeira avaliación global dos niveis de CO₂ antropoxénico no océano, publicada na revista *Science* en 2004. Entre 1995 e 1996, amplía os estudos sobre a variabilidade do CO₂ no Océano Antártico.

Co novo século, e como membro do *Steering committee* do proxecto CARINA (*CARbon IN the Atlantic*), Aida enlazou tres proxectos europeos ate 2014, incorporando as medidas de CO₂ de maneira autónoma en buques comerciais. A liña de buques Ro-Ro Vigo-Saint Nazaire, ligada á fabricación

de vehículos en Vigo, foi estratexicamente utilizada para estudar os fluxos aire-auga do CO₂ nas augas galegas e do Golfo de Biscaia. Esta investigación, pioneira en España, foi o marco dunha das primeiras teses doutorais que Aida dirixiu. Seguindo esta mesma idea, desenrolou o programa FICARAM, aproveitando as viaxes anuais do BIO Hespérides entre a Antártida e Cartaxena para deseñar e instalar un equipo capaz de medir o contido de CO₂ na auga superficial, bautizado por ela como GASPAN. Ela mesma dirixiu persoalmente a última campaña FICARAM XV no 2013, que deu lugar á publicación dun artigo na revista PNAS, no que se avalía a acidificación oceánica nas diferentes masas de auga do Atlántico durante as dúas últimas décadas.

A relevancia e proxección internacional do traballo científico de Aida fíxoa merecente de participar en importantes comités internacionais, como o *Surface Ocean-Lower Atmosphere Study*, o *Global Ocean Ship-based Hydrographic Investigations Program* e a *Global Ocean Acidification Observing Network*, así como de presidir o comité IGBP-España (*Internacional Biosphere-Geosphere Programme*). A súa participación foi tamén requirida por distintas universidades francesas para a avaliación de numerosas teses doutorais e diversos comités científicos.

Ademais dunha rigorosa e frutífera investigadora, Aida foi tamén a primeira muller en ocupar o cargo de Directora do IIM, entre 2006 e 2011. Antes, na edición de 2001, foi galardoada co premio *Galega destacada* pola súa traxectoria científica. O seu máis recente recoñecemento foi a súa incorporación en Xuño de 2015 á Real Academia Galega das Ciencias, sendo a terceira muller en conseguir este prestixioso nomeamento.

Quen a tratamos recoñecemos sempre nela unha científica aguda e rigorosa, mais tamén unha persoa aberta e amábel, que disfrutaba compartindo sabedoría e enérxica lelicia vital cos seus colegas. A súa desaparición, é sen dúbida unha perda importante para o mundo científico. Foise unha persoa sabia e leda, gozadora do seu traballo e de todos os momentos e dimensións da vida. Fóisenos unha boa amiga.

Fiz Fernández Pérez

Profesor de Investigación del CSIC

Instituto Investigaciones Mariñas

IN MEMORIAM



Aida Fernández Ríos

El 23 de Diciembre de 2015 recibíamos la triste y dramática noticia del fallecimiento de nuestra compañera Aida Fernández Ríos, dramática sobre todo por las circunstancias que concurrieron en el óbito. Era una Académica de Número de las más recientes pues ingresó en la Institución el 15 de Junio de 2015. Sin embargo ese período de seis meses fue suficiente para conocer a una persona alegre, vital, optimista y dispuesta siempre a colaborar en las actividades de la Academia. Siempre que teníamos ocasión de reunirnos me mostraba su disposición para abordar cualquier trabajo que se le encomendase. Su repentino fallecimiento nos ha impedido contar con una ayuda que, nunca dudé, nos prestaría.

Cuando preparé la contestación a su discurso de entrada en la RAGC y estudié su curriculum vitae comprobé que el esfuerzo, sacrificio, dedicación, empeño e inteligencia han sido los parámetros por los que se ha movido Aída Fernández Ríos a lo largo de su experiencia vital. Doctora en Biología y Profesora de Investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas con destino en el Instituto de Investigaciones Mariñas de Vigo (fue Directora de este Centro durante 5 años), se especializó en Oceanografía física y química bajo la dirección del también Académico de Número Prof. Dr. Fernando Fraga. Participó embarcada en numerosas campañas oceanográficas, atravesando el Atlántico de Norte a Sur y de Este a Oeste, o bien muestreando el litoral gallego y la costa portuguesa. Sus últimos trabajos fueron dirigidos a conocer el efecto del dióxido de carbono antropogénico sobre la acidificación de los océanos y sus consecuencias en los seres vivos, tema en que centró su discurso de entrada como Académica de Número.

Pero, por encima de su excelencia científica, destacaba su optimismo vital, su cercanía, sus ganas por ser útil, su esfuerzo por ayudar. A pesar del poco tiempo que hemos disfrutado de su presencia en la Academia, estamos agradecidos por todo lo que nos ha dado.

Descanse en paz

Antonio Ballester

Académico de Número

Real Academia Galega de Ciencias

COMPOSICIÓN DA REAL ACADEMIA

XUNTA DE GOBERNO

Miguel Ángel Ríos Fernández, Presidente

Franco Fernández González, Vicepresidente

Antonio Ballester Álvarez-Pardiñas, Secretario

Manuel Bao Iglesias (ata o 16 de novembro de 2015)

Manuel Freire Rama, Tesorero (dende o 16 de decembro de 2015)

Antonio Rigueiro Rodríguez, Bibliotecario

Presidentes das Seccións

SECCIÓNS

MATEMÁTICAS, FÍSICA E FÍSICA DO COSMOS

Luis A. Cordero Rego (Presidente da Sección), Gerardo Rodríguez López, Félix Vidal Costa, Vicente Pérez Villar, Senén Barro Ameneiro.

QUÍMICA E XEOLOXÍA

Fernando Fraga Rodríguez (Presidente da Sección), Manuel Bao Iglesias (ata o 16 de novembro de 2015), Franco Fernández González, Manuel Freire Rama, Miguel Ángel Ríos Fernández, Antonio Ballester Álvarez-Pardiñas, Juan Ramón Vidal Romani.

FARMACIA E BIOLOXÍA

Manuel Pereiro Miguens (Presidente da Sección), Jesús Méndez Sánchez, Rafael Tojo Sierra, Alicia Estévez Toranzo, María José Alonso Fernández, Ángel Carracedo Álvarez, Aida Fernández Ríos (ata o 22 de decembro de 2015)

CIENCIAS TÉCNICAS

Antonio Rigueiro Rodríguez (Presidente da Sección), Odón Abad Flores, Ramón de Vicente Vázquez, Fernando Pérez González, Pedro Merino Gómez, Ramón Doallo Biempica.

CIENCIAS SOCIAIS E ECONÓMICAS

Juan Quintáns Seoane, Xosé Manuel Beiras Torrado, Luis Suárez-Llanos Gómez, Tito A. Varela López, Luis Caramés Viéitez.

CONSELLO DE PUBLICACIÓNS

Miguel Ángel Ríos Fernández, Presidente

Antonio Ballester Álvarez-Pardiñas, Secretario

Luis Cordero Rego, Vocal

ACADÉMICOS NUMERARIOS

Dr. Ing. D. Odón Abad Flores

Prof.^a Dra. D.^a María José Alonso Fernández

Prof. Dr. D. Manuel Bao Iglesias (ata o 16 de novembro de 2015)

Prof. Dr. D. Senén Barro Ameneiro

Prof. Dr. D. José Manuel Beiras Torrado

Prof. Dr. D. Luis Caramés Viéitez

Prof. Dr. D. Ángel Carracedo Álvarez

Prof. Dr. D. Luis A. Cordero Rego

Excmo. Prof. Dr. D. Ramón de Vicente Vázquez

Prof. Dr. D. Ramón Doallo Biempica

Prof.^a Dra. Dn.^a Alicia Estévez Toranzo

Prof. Dr. D. Franco Fernández González

Profa. Dra. Dna. Aida Fernández Ríos (ata o 22 de decembro de 2015)

Prof. Inv. Dr. D. Fernando Fraga Rodríguez

Prof. Dr. D. Manuel Freire Rama

Prof. Inv. Dr. D. Jesús Méndez Sánchez

Prof. Dr. D. Pedro Merino Gómez

Dr. D. Manuel Pereiro Miguens

Prof. Dr. D. Fernando Pérez González

Prof. Dr. D. Vicente Pérez Villar

Prof. Dr. D. Juan Quintás Seoane

Prof. Dr. D. Antonio Rigueiro Rodríguez

Prof. Dr. D. Gerardo Rodríguez López

Prof. Dr. D. Luis Suárez-Llanos Gómez

Prof. Dr. D. Rafael Tojo Sierra

Prof. Dr. D. Tito A. Varela López

Prof. Dr. D. Félix Vidal Costa

Prof. Dr. D. José Ramón Vidal Romaní

Prof. Dr. D. Miguel Angel Ríos Fernández

Prof. Invest. Dr. D. Antonio Ballester Álvarez-Pardiñas

ACADÉMICOS DE HONRA

Excmo. Prof. Dr. Federico Mayor Zaragoza

ACADÉMICOS CORRESPONDENTES

Prof. Dr. Luis Castedo Expósito

Prof. Dra. M^a Pilar Fernández Otero

Prof. Dr. José L. Blanco González

Prof. Dr. Jaime García Lombardero

Prof. Dr. Lieven Vanhecke

Prof. Dr. Jochen Kleinschmit

Prof. Dr. Roberto Salema

Excmo. Prof. Dr. Santiago Grisolia

Prof. Dr. Fernando Noronha

Prof. Dr. Gary J. Griffin

PUBLICACIÓNS DA REAL ACADEMIA

DISCURSOS DE RECEPCIÓN DE NOVOS ACADÉMICOS

A determinación da arquitectura. **Rafael Baltar Tojo**, 1980.

As ciencias matemáticas, esas descoñecidas. **Luis A. Cordero Rego**, 1982.

Concepto de metodoloxía da antropoloxía biolóxica. Primeiras aplicacións na poboación galega. **Tito A. Varela**, 1982.

- Home e técnica.* **Odón Abad Flores**, 1982.
- Ideas sobre la investigación agraria.* **Valeriano Yepes Hernández de Madrid**, 1984.
- Evolución del crecimiento, maduración y desarrollo humano en Galicia, 1900-1980.* **Rafael Tojo Sierra**, 1984.
- Ecuacións diferenciais e ciencia.* **Gerardo Rodríguez López**, 1985.
- O home dentro do sabio: Pedro Joseph de Bermés (1770-1824).* **Valentín Paz Andrade**, 1985.
- La historia de la micología médica.* **Manuel Pereiro Miguens**, 1986.
- La industrialización de la sardina hace 200 años. La pesca en Galicia en la época de Cornide Saavedra.* **Francisco López Capont**, 1986.
- Oceanografía de la plataforma gallega.* **Fernando Fraga Rodríguez**, 1987.
- Cartografía Xurisdiccional de Galicia no século XVIII. Provincia de Santiago.* **Francisco Río Barja**, 1988.
- El matorral como recurso renovable.* **Manuel Bao Iglesias**, 1989.
- Polímeros de alta estabilidad térmica.* **Santiago González-Babé Ozores**, 1991.
- Sobre algúns aspectos experimentais das fluctuacións do parámetro de orde nos óxidos de cobre super conductores.* **Félix Vidal Costa**, 1992.
- Historia y objetivos del diseño cuantitativo de fármacos.* **Franco Fernández González**, 1993.
- Acto de ingreso del Excmo. Prof. Dr. D. Camilo José Cela en la Real Academia Galega de Ciencias bajo la presidencia de S.A.R. el Príncipe de Asturias D. Felipe de Borbón y Grecia*, 1996.
- Estructuras Dinámicas.* **Vicente Pérez Villar**, 1998.
- Las timosinas α en la Biología de las células de mamíferos.* **Manuel Freire Rama**, 1998.
- Génesis de la Ciencia Nuclear. La Radioactividad y el descubrimiento del Radio.* **Ramón de Vicente Vázquez**, 2000.
- Antropología y transformismo. El pensamiento biológico y la posición crítica del P. Agustino Zacarías Martínez Núñez (†). Arzobispo que fue de Santiago de Compostela.* **Luis Asorey García**, 2002.
- Bosques e paisaxe en Galicia.* **Antonio Rigueiro Rodríguez**, 2002.
- Reflexiones sobre la Ciencia y la Técnica.* **Miguel Angel Ríos Fernández**, 2004.
- La biotecnología vegetal aplicada a la producción forestal.* **Antonio Ballester Álvarez-Pardiñas**, 2004.

OUTRAS PUBLICACIÓNS

Boletín da Academia Galega de Ciencias, volume I, 1982.

Boletín da Academia Galega de Ciencias, volume II, 1983.

Boletín da Academia Galega de Ciencias, volume III, 1984.

- Boletín da Academia Galega de Ciencias, volume IV, 1985.
- Boletín da Academia Galega de Ciencias, volume V, 1986.
- Boletín da Academia Galega de Ciencias, volume VI, 1987.
- Boletín da Academia Galega de Ciencias, volume VII, 1988.
- Boletín da Academia Galega de Ciencias, volume VIII, 1989.
- Boletín da Academia Galega de Ciencias, volume IX, 1990.
- Revista Academia Galega de Ciencias, volume X, 1991.
- Revista Academia Galega de Ciencias, volume XI, 1992.
- Revista Academia Galega de Ciencias, volume XII, 1993.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XIII, 1994.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XIV, 1995.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XV, 1996.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XVI, 1997.
- Reglamento de la Real Academia Galega de Ciencias (modificado R.D. 70/1998) (B.O.E. 18-2-1998).
- Guía de las babosas ibéricas. José Castillejo Murillo, 1998, 156 pp.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XVII, 1998.
- El desarrollo industrial pesquero en el siglo XVIII. Los salazoneros catalanes llegan a Galicia. Francisco López Capont, 1999.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XVIII, 1999.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XIX, 2000.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XX, 2001.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XXI, 2002.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XXII, 2003.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XXIII, 2004.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XXIV, 2005.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XXV, 2006.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XXVI, 2007.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XXVIa, 2007. Volume especial adicado ao XXV Aniversario da Facultade de Física da Universidade de Santiago de Compostela
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XXVII, 2008.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XXVIII, 2009.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XXIX, 2010.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XXX, 2011.
- Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XXXI, 2012.

Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XXXII, 2013.

Revista Real Academia Galega de Ciencias, volume XXXIII, 2014.

CURSOS DE CONFERENCIAS PUBLICADOS

- “Homenaje a Cruz Gallástegui”, 1985, 191 pp.
- “La lluvia ácida”, 1987, 60 pp.
- “España y el Mercado Común”, 1988, 98 pp.
- “Especies frondosas en la repoblación de Galicia”, 1989, 67 pp.
- “Conferencias sobre el Río Miño”, 1989, 112 pp.
- “Homenaje a Valentín Paz Andrade”, 1991, 95 pp.
- “Drogodependencias”, 1991, 132 ps.
- “El hombre y su entorno”, 1992, 120 pp.
- “Las especies frondosas en la repoblación de Galicia”, 1992, 125 pp.
- “La conservación del bosque”, 1992, 131 pp.
- “El cáncer, prevención y futuro”, 1993, 206 pp.
- “Xornadas Luso-Galaicas de Ciencias, 1990-1992”, 1993, 249 pp.
- “Biotecnologías”, 1994, 155 pp.
- “Las Rías Bajas y el Arco Atlántico”, 1995, 253 pp.
- “La pesca en Galicia: Presente y futuro”, 1996, 129 pp.
- “Biodiversidad forestal”, 1997, 148 pp.
- “La conservación del medio ambiente”, 1998, 221 pp.
- “La conservación del entorno humano”, 1999, 87 pp.
- “Biotecnologías: Biotecnología alimentaria”, 1999, 262 pp.
- “Recursos agroalimentarios de Galicia”, 1999, 182 pp.
- “Las aguas de la provincia de Ourense”, 1999, 126 pp.
- “Recursos naturales de Galicia”, 1999, 105 pp.
- “Energía y Futuro”, 2000, 246 pp.
- “Aspectos actuales del cáncer”, 2001, 143 pp.
- “IV y V Avances de Ciencia y Tecnología”, 2003, 403 pp.
- “XI Jornadas Luso-Galaicas de Ciencia y Desarrollo”, 2004, 125 pp.

INSTRUCCIÓN PARA OS AUTORES

1. A *Revista da Real Academia Galega de Ciencias* é unha publicación que publica artigos científicos orixinais, de revisión, ou notas relacionadas coa Química, Física, Xeoloxía, Bioloxía, Farmacia, Matemáticas, Ciencias Técnicas, Ciencias Sociais e Económicas.

2. *Presentación dos artigos.* O manuscrito orixinal (escrito en español, galego ou inglés) en papel e unha copia electrónica en CD deberán enviarse ao **Sr. Secretario, Real Academia Galega de Ciencias, San Roque 2, 15704 Santiago de Compostela, España**. O CD (o formato PDF non é aceptable) deberá identificarse co título do traballo e o nome do autor responsable.

3. *Preparación do manuscrito.* O traballo presentarse a dobre espazo en papel DIN-A4, cunha marxe de 2.5 cm e as páxinas irán numeradas consecutivamente. A primeira páxina conterá o título do traballo e nome do autor ou autores, dirección do lugar de traballo e correo electrónico do autor responsable do traballo. Incluirase un resumo de non máis de 150 palabras no mesmo idioma no que está escrito o texto así como unha versión en inglés se o texto non está escrito neste idioma. Engadiranse 4-5 palabras clave que expresen o contido preciso do manuscrito e que utilizaranse nos índices apropiados. A continuación, incluíranse Introducción, Material e Métodos, Resultados, Discusión (estes dous últimos ben separados ou en forma combinada), Agradecementos, Bibliografía, Táboas (preparadas coa opción “Táboa” do procesador de textos, numeradas consecutivamente e co texto na parte superior da mesma), Lendas das figuras e Figuras (numeradas consecutivamente).

4. *Fotografías e figuras.* A Revista só publicará, na súa versión impresa, as fotografías e figuras dos traballos en branco e negro. Se o autor ou autores desexan a súa publicación en cor, deberán abonar o seu importe (consultar prezos) despois de remitir as probas de imprenta. As fotografías en cor poderán usarse, sen cargo algún, na edición electrónica da revista (www.ragc.cesga.es), sempre que os arquivos estean en cor. As fotografías deberán gravarse en formatos PhotoShop, .TIF ou .JPG (neste caso, coa menor compresión posible) e os gráficos poden almacenarse en formato CorelDraw (.CDR) ou en formato .EPS.

5. *Bibliografía.* As referencias bibliográficas ordenaranse alfabeticamente e dispostas como nos exemplos seguintes:

Revista Murashige T, Skoog F (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.*, 15:473-497.

Capítulo de libro Faquar GD, Caemmerer S (1982) Modelling of photosynthetic response to environmental conditions. In Lange OL, Noble PL, Osmon CB, Ziegler H (eds.) *Encyclopedia of Plant Physiology. Physiological plant ecology II*, vol 12 B. Springer, Berlín, pp 550-587.

Libro. Scharze FW, Engels J, Mattheck C (2000) *Fungal Strategies of Wood Decay in Trees*. Springer, Berlín.

As citas no texto escribíranse: Gil (2006), Smith y Robinson (1984), Kumar et al. (2005).

6. *Probas de imprenta.* As probas de imprenta, debidamente corrixidas, deberán devolverse ao editor dentro dos dez días seguintes ao da súa recepción. Modificacións substanciais do manuscrito orixinal serán cargadas aos autores.

7. *Separatas.* Non se enviarán separatas en papel. Os autores recibirán un arquivo PDF co contido do seu traballo

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

1. La *Revista de la Real Academia Galega de Ciencias* es una publicación que publica artículos científicos originales, de revisión, o notas relacionadas con la Química, Física, Geología, Biología, Farmacia, Matemáticas, Ciencias Técnicas, Ciencias Sociales y Económicas.

2. *Presentación de los artículos.* El manuscrito original (escrito en español, gallego o inglés) en papel y una copia electrónica en CD deberán enviarse al **Sr. Secretario, Real Academia Galega de Ciencias, San Roque 2, 15704 Santiago de Compostela, España.** El CD (el formato PDF no es aceptable) deberá identificarse con el título del trabajo y el nombre del autor responsable.

3. *Preparación del manuscrito.* El trabajo se presentará a doble espacio en papel DIN-A4, con un margen de 2.5 cm y las páginas irán numeradas consecutivamente. La primera página contendrá el título del trabajo y nombre del autor o autores, dirección del lugar de trabajo y correo electrónico del autor responsable del trabajo. Se incluirá un resumen de no más de 150 palabras en el mismo idioma en que está escrito el texto así como una versión del mismo en inglés si el texto no está escrito en este idioma. Se añadirán 4-5 palabras clave que expresen el contenido preciso del manuscrito y que se utilizarán en los índices apropiados. A continuación se incluirán Introducción, Material y Métodos, Resultados, Discusión (estos dos últimos bien separados o en forma combinada), Agradecimientos, Bibliografía, Tablas (preparadas con la opción "Tabla" del procesador de textos, numeradas consecutivamente y con el texto en la parte superior de la misma), Leyendas de las figuras y Figuras (numeradas consecutivamente).

4. *Fotografías y figuras.* La Revista sólo publicará, en su versión impresa, las fotografías y figuras de los trabajos en blanco y negro. Si el autor o autores desean su publicación en color, deberán abonar su importe (consultar precios) después de remitir las pruebas de imprenta. Las fotografías en color pueden usarse, sin cargo alguno, en la edición electrónica de la revista (www.ragc.cesga.es), siempre que los archivos estén en color. Las fotografías deberán grabarse en formatos PhotoShop, .TIF o .JPG (en este caso, con la menor compresión posible) y los gráficos pueden almacenarse en formato CorelDraw (.CDR) o en formato .EPS.

5. *Bibliografía.* Las referencias bibliográficas se ordenarán alfabéticamente y dispuestas como en los ejemplos siguientes:

Revista Murashige T, Skoog F (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.*, 15:473-497.

Capítulo de libro Faquar GD, Caemmerer S (1982) Modelling of photosynthetic response to environmental conditions. In Lange OL, Noble PL, Osmon CB, Ziegler H (eds.) *Encyclopedia of Plant Physiology. Physiological plant ecology II*, vol 12 B. Springer, Berlín, pp 550-587.

Libro. Scharze FWMR, Engels J, Mattheck C (2000) *Fungal Strategies of Wood Decay in Trees.* Springer, Berlín.

Las citas en el texto se escribirán: Gil (2006), Smith y Robinson (1984), Kumar et al. (2005).

6. *Pruebas de imprenta.* Las pruebas de imprenta, debidamente corregidas, deberán devolverse al editor dentro de los diez días siguientes al de su recepción. Modificaciones substanciales del manuscrito original serán cargadas a los autores.

7. *Separatas.* No se enviarán separatas en papel. Los autores recibirán un archivo PDF con el contenido de su trabajo.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

1. The *Revista de la Real Academia Galega de Ciencias* publishes original research papers, revisions and notes concerned with the latest developments of Chemistry, Physics, Geology, Biology, Pharmacy, Mathematics, Technology, and Social and Economical Sciences.

2. *Manuscript submission.* The original typescript (written in Spanish, Galician or English) and an electronic version in CD should be submitted to **Sr. Secretario, Real Academia Galega de Ciencias, San Roque 2, 15704 Santiago de Compostela, España.** The CD (PDF is not an acceptable format) should be identified with the title of the work and the name of the corresponding author.

3. *Manuscript preparation.* Papers should be written in double spacing throughout in DIN-A4 paper with a margin of 2.5 cm all round. Use the automatic page numbering function to number the pages. The first page should include the title, name(s) and address(es) of the author(s) as well as the e-mail of the corresponding author. An abstract no longer than 150 words is to be provided, including a copy written in Spanish or Galician. A list of 4-5 keywords is to be provided directly below the abstract and should express the precise content of the manuscript, as they are used for indexing purposes. The following sections should be included: Introduction, Material and Methods, Results, Discussion (the Results and Discussion sections may be combined or separate), Acknowledgments, References, Tables (use the table function, not spreadsheets, to make tables), Legends of figures and Figures.

4. *Figures.* The journal only publishes figures in black and white, but they could appear in color in the printed version at the author's expense (consult prices). Color may be used without charge for the electronic edition (www.ragc.cesga.es) of the journal if files are supplied. The photographs should be saved in PhotoShop, .TIF or .JPG formats (in this last case, with the less compression possible). For simple line art CorelDraw (.CDR) or .EPS formats are acceptable.

5. *References.* The references should be listed in alphabetical order in the reference list and written according the following examples:

Journal article Murashige T, Skoog F (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.*, 15:473-497.

Book chapter Faquar GD, Caemmerer S (1982) Modelling of photosynthetic response to environmental conditions. In Lange OL, Noble PL, Osmon CB, Ziegler H (eds.) *Encyclopedia of Plant Physiology. Physiological plant ecology II*, vol 12 B. Springer, Berlin, pp 550-587.

Book Scharze FW, Engels J, Mattheck C (2000) *Fungal Strategies of Wood Decay in Trees.* Springer, Berlin.

In the text, references should be cited by author and year: Gil (2006), Smith and Robinson (1984), Kumar et al. (2005).

6. *Proofs.* The publisher provides proofs for checking. Corrections must be restricted to typographical errors; substantial alterations will be charged to the author. Corrections should be returned to the editor within at most ten days.

7. *Reprints.* Paper reprints will be not delivered. The authors will receive a PDF file with the content of their work

