

Universida de Vigo



Documentos Humboldt 17

**LA CIENCIA Y EL MAR:
SOSTENIBILIDAD Y DESARROLLO**
**Contribución de la universidad al
análisis del medio marino**

Abril 2020

Unterstützt von / Supported by



Alexander von Humboldt
Stiftung / Foundation

© De la edición, Asociación Alexander von Humboldt de España
© De los textos y gráfico, sus autores

Dirección del I.D.O.E. : Plaza de la Victoria, 3
28802 - Alcalá de Henares.
Teléfono : 91. 885.46.55
Fax : 91. 885.51.57

Reservados todos los derechos.

No está permitida la reproducción total o parcial de esta obra ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del copyright.

ISBN 978-84-8187-273-6

Índice

	<u>Pág.</u>
Presentación	
<i>Juan Luis Gómez Colomer</i>	1
Palabras de Apertura del Presidente del Consejo Social de la Universidad de Vigo	
<i>Ernesto Pedrosa</i>	11
Palabras de Bienvenida del Director de Cultura de la Embajada Alemana en Madrid	
<i>Christoph Dorschfeldt</i>	17
El Consejo Superior de Investigaciones Científicas y su Contribución a las Ciencias del Mar	
<i>Rosa María Menéndez López</i>	33
The Baltic Sea as example of an anthropogenically impacted marginal sea: Can fundamental research help rescuing it?	
<i>Hans Burchard</i>	67
El Metal Duro: Historia, Propiedades y Aplicaciones	
<i>Nuria Cinca i Luis</i>	89

	<u>Pág.</u>
Política Científica: De Ramón y Cajal a Nuestros Días <i>Luis A. Oro</i>	107
Presentación A Martin Zimmer <i>Aurelio Serrano Delgado</i>	159
Wie unser Verständnis der Küsten zu ihrer nachhaltigen Nutzung beitragen kann – ein Denkanstoß <i>Martin Zimmer</i>	163
Hacia un océano más cálido, más ácido, menos oxigenado y más desigual <i>Emilio Fernández</i>	179

PRESENTACIÓN

Juan Luis Gómez Colomer, Presidente de la Asociación Alexander von Humboldt en España

Es para la **Asociación Alexander von Humboldt de España**, que me honro en presidir, un motivo de especial satisfacción podernos encontrar hoy aquí para inaugurar un debate científico sobre esa masa de agua salada que les es de sobra conocida, el mar.

Permítanme ante todo agradecer su presencia, especialmente a los representantes gallegos, a quienes, como diría el trovador medieval **Martín Codax** (s. XIII) en su famosa cantiga, pueden demandar al mar ante la incertidumbre un buen consejo:

*“Ondas do mar de Vigo,
se vistes meu amigo?
E ai Deus!, se verra cedo?*

*Ondas do mar levado,
se vistes meu amado?
E ai Deus!, se verra cedo?*

*Se vistes meu amigo,
o por que eu suspiro?
E ai Deus!, se verra cedo?*

*Se vistes meu amado,
por que ei gran coidado?
E ai Deus!, se verra cedo?"*

*("Olas del mar de Vigo,
¿Visteis a mi amigo?
¡Ay Dios! ¿vendrá pronto?*

*Olas del mar agitado,
¿Visteis a mi amado?
¡Ay Dios! ¿Vendrá pronto?*

*¿Visteis a mi amigo,
aquel por quien yo suspiro?
¡Ay Dios! ¿Vendrá pronto?*

*¿Visteis a mi amado,
quien me tiene tan preocupada?
¡Ay Dios! ¿Vendrá pronto?"*)

Quiero también expresar un agradecimiento muy especial al Presidente del Consejo Social de esta querida Universidad de Vigo, D. **Ernesto Pedrosa**, por su predisposición a acogernos y apoyo sin fisuras para que estos Encuentros fueran hoy una realidad, así como a mi colega y amiga, la Profra. **Esther Pillado**, Catedrática de Derecho Procesal de la Universidad de Vigo, sin cuya intervención las cosas habrían sido de difíciles a

imposibles. Muchas gracias a ambos. La Asociación y mi persona os llevaremos siempre en nuestro corazón.

Finalmente, mi más profundo agradecimiento a la **Fundación Alexander von Humboldt** de Bonn, quien con su importante ayuda ha hecho posible también este Humboldt-Kolleg.

Para nosotros es un motivo de gran satisfacción, como decía, estar presentes en esta pujante, vibrante y acogedora ciudad industrial de Vigo, la antigua aldea romana *Vicus*, que tiene desde yacimientos arqueológicos romanos (El Castro), hasta islas protegidas (Islas Cíes), además de una ría espectacular, en donde las aves, los animales marinos y los seres humanos que viven en ella pueden desarrollar su vida tranquilamente.

Vigo no es sólo una ciudad marina, sino también una potente ciudad industrial y turística. Representa cabalmente el carácter gallego que ha llevado a esta noble tierra a superar definitivamente los temores de su pasado y a liderar hoy un desarrollo espectacular en todos los sectores de la economía. Vigo, con más de 300.000 habitantes, la capital industrial de Galicia, en un entorno ecológicamente muy sostenible, ofrece inmejorables posibilidades, lo que aconsejaba celebrar en ella este encuentro científico.

Es sede de la Agencia Comunitaria de Control de la Pesca (ACCP), la Cooperativa de Armadores de Vigo (ARVI) es la cooperativa pesquera más grande de

Europa, y es sede de la mayor base naval española y de la OTAN al Suroeste de Europa, con una Escuela Naval Militar de fama mundial.

En suma, Vigo opera como centro y común denominador de varios temas científicamente muy relevantes, que tienen su eje en el Mar. Es por ello que nos reunimos para tratar uno de los aspectos de ese desarrollo más constatable. Vamos a debatir en efecto durante dos días, alemanes y españoles, sobre **“LA CIENCIA Y EL MAR: SOSTENIBILIDAD Y DESARROLLO** (*Contribución de la universidad al análisis del medio marino*).

El mar, yo veo todos los días el mar, un mar muy distinto, el Mediterráneo, pero es el mar. Me llena de quietud, me seda, me envuelve. Pero nunca olvido quién es. La gran **Rosalía De Castro** nos dejó escrito (La hija del Mar, pág. 46):

"Los rugidos del mar, la cólera de las olas es la única que puede estar en consonancia con los tormentos de un alma fuerte, con los sentimientos de un corazón generoso que se desespera de las mezquindades de la tierra; la brillantez del sol, la única que puede bastar a esas almas soberbias que todo lo encuentran pequeño y débil para deslumbrarlas; el cielo..., el más grande de los espacios, la carrera sin término, la eternidad del pensamiento humano, ése es el puerto de

salvación con que sueñan los que padecen, la barrera que trata en vano de traspasar el incrédulo, la atmósfera, en fin, en donde moran todos los ídolos, todas las ilusiones del poeta."

Estas tan precisas como duras bellas palabras escritas en 1859 por la más grande poetisa gallega, nos confirman el poder del Mar, su inmensidad, y también, si se me permite decirlo así, la necesidad de su estudio global, no tanto para dominarlo, más bien para comprenderlo y poder sacar de él todos sus beneficios, advertidos los peligros.

Por ello hemos querido articular un foro de discusión de alto nivel científico, dirigido a los miembros de la Asociación Alexander von Humboldt de España, y a los profesores, a los estudiantes, sobre todo a ellos, y al personal de administración y servicios de la Universidad de Vigo, así como a todo aquél ciudadano que esté interesado, en el que se pueda ilustrar sobre **LA CIENCIA Y EL MAR** desde un punto de vista interdisciplinar, estudiando cómo el Mar contribuye a la sostenibilidad y al desarrollo científico.

Es importante este estudio, porque la sociedad exige cada vez con mayor fuerza soluciones interdisciplinares a los problemas que rara vez se presentan como unidisciplinares, especialmente aquellos que son más cercanos a la sociedad en la que se desarrolla el estudio.

La **Asociación Alexander von Humboldt de España** considera, en consecuencia, que es el momento de abordar integral e interdisciplinariamente el tema del mar como eje vehicular del desarrollo a todos los niveles de Vigo y de Galicia, así como también de España, en el marco de los XXVII Años de su nacimiento, celebrando unos Encuentros científicos en una de las regiones europeas más complejas y atractivas. El Mar es así el eje de la sostenibilidad y del desarrollo que estamos viendo en la Galicia actual, con Vigo a la cabeza, y por ello, de él debe partir nuestro análisis.

En este apasionante tema las perspectivas de enfoque resultan altamente enriquecedoras. Me limitaré a exponer sólo tres de ellas, las que consideramos más importantes, en las que nos preguntamos cómo pueden desarrollar el Mar, sus productos y derivados, y la universidad una mejor y más fructífera colaboración para lograr los avances que hoy se exigen:

1. ¿De qué manera puede influir la universidad en el desarrollo científico del mar?

La universidad debe, ante todo, investigar y enseñar integralmente el medio marino. Si la universidad está en el mar, como es el caso de la Universidad de Vigo, la formación en este ámbito es imprescindible. Por eso, yendo más allá de la divulgación, un foro de profesionales en el que se profundice en los temas más importantes relacionados con dicho medio marino es hoy de suma utilidad.

Dos perspectivas destacan y a ellas dedicaremos la necesaria atención: **a)** La universidad como motor de la gestión del Mar de cara a su sostenibilidad y desarrollo; y **b)** La universidad como ente garantizador de la biodiversidad y controlador del cambio climático en el ámbito marino.

2. ¿Qué papel se reserva a los estudiantes en el conocimiento del Mar?

El primer destinatario del conocimiento del mar desde esta amplia perspectiva son los estudiantes. Por eso los países con mar dedican una parte de su atención educacional a la articulación de un grado universitario sobre “Ciencias del Mar”, y varios postgrados y doctorados, incluyendo másters.

Ello, porque sólo desde la perspectiva de adquisición del conocimiento que proporciona una universidad, pueden lograrse los objetivos que se persiguen en las actividades pesqueras, acuicultura, oceanografía, medio ambiente y su protección, gestión y ordenación del litoral, turismo sostenible, nuevos recursos alimentarios y minerales de interés industrial, así como capacidades para la enseñanza, el carácter emprendedor, y la iniciación en la investigación básica. Si el mar debe ser entendido globalmente como sostenible, sólo la universidad puede afrontar el enorme reto de lograrlo.

La clave reside en articular unos planes de estudios correctos, que permitan acceder a un conocimiento

integral, racional y motivador, sin concesiones gratuitas a temas no científicos o que nada tienen que ver con la materia.

Temas como la influencia del clima marino en la tierra, la formación del proceso climático, la ecología en el sistema marino, las dinámicas oceánicas, la plataforma marina, forman parte hoy de avanzadas investigaciones para la mejora de la calidad de vida del ser humano y un mejor entendimiento de nuestro planeta. Y sólo me refiero a los aspectos puramente oceanográficos. ¡Imaginemos su interrelación con los demás que acabo de mencionar! Y

3. ¿Cómo conecta la Universidad con la Sociedad para la mejora de ese bien público que es el mar?

La sensibilización en estas materias es una cuestión fundamental, por tanto, el análisis científico del Mar debe servir para que la sociedad tome conciencia de su gran valor y aprecie adecuadamente su enorme potencial, pero también para que esté perfectamente informada sobre los peligros que se ciernen si no adoptamos una actitud de protección correcta de todo lo que el Mar significa.

El primer aprendizaje es saber conservar la naturaleza, y, por tanto, defender el océano. El segundo es informar constantemente de las ventajas, oportunidades, valores y beneficios que el Mar ofrece. El tercero, finalmente, es enseñar a detectar

eficientemente y aprender a solucionar los conflictos que el Mar puede plantear a la Sociedad.

Estos importantes temas deben ser abordados ineludiblemente en forma interdisciplinar, global y conjunta. Nuestro amado **Alexander von Humboldt** (según atestigua Andrea Wulf, *La invención de la naturaleza*, 2015, pág. 123), así nos lo enseñó:

El mar es como su Naturgemälde, el conjunto pictórico natural que desarrolló para la flora pero aplicado aquí, una imagen de la naturaleza marina en la que todo lo que implica el mar está relacionado, todo lleno de una misma vida, perfectamente conectados todos los seres entre sí.

Bienvenidos, muchas gracias por su atención.

PALABRAS DE APERTURA DEL PRESIDENTE DEL CONSEJO SOCIAL DE LA UNIVERSIDAD DE VIGO

*Ernesto Pedrosa, Presidente del Consejo Social
de la Universidad de Vigo*

Buenas tardes. Agradezco la oportunidad de compartir esta mesa, -a cuyos destacados miembros traslado mi reconocimiento-, y agradezco también la posibilidad de dirigirme a ustedes, que son quienes confieren el mayor valor y sentido a este acto. Y les agradezco a los organizadores la oportunidad que me da para compartir unas breves reflexiones con este prestigioso foro.

A la vista de lo que observamos cada día, tengo casi por seguro que las universidades no hayan vivido en sus casi diez siglos de historia una situación tan escrutada, revisionista y sospechosa como la que deben soportar hoy en día. Pero sí tengo claro que nosotros, la sociedad actual, las necesitamos como siempre....y tengo claro que ellas nos necesitan como nunca....¡más que nunca!. Y no podemos esperar al futuro, porque el presente nos hace necesarios, nos convoca y nos urge para conseguir una

universidad próxima, eficiente, formativa y educadora, en sentido amplio.

Y esto es así, aun a sabiendas de que ninguna otra institución nos abrirá caminos para reducir las desigualdades, resolver problemas reales, crear espacios para la reflexión y la creatividad y cerrar las simas morales que tanto vértigo nos producen. En esta época de planicies vitales, la universidad se convierte en un sentimiento vertical dentro de la sociedad, y en una inyección de valores especialmente saludables para la convivencia, para el conocimiento ético y para la igualdad.

Por eso la universidad hace bien cuando participa en procesos educativos abiertos y fuera de las aulas. Y especialmente hace bien cuando encuentra y aprovecha las alianzas prestigiosas y activas como la que reporta la Asociación Alexander von Humboldt que preside Juan Luis Gómez Colomer en España. Porque con ustedes la universidad fortalece su identidad colectiva, crece en positivo y forja dinámicas sociales que asientan la confianza y la credibilidad de la institución académica.

Cierto es -y debemos admitir- que los nuevos tiempos requieren una nueva universidad, que la educación no puede contemplarse como un derecho sin límites, pero debemos velar porque las universidades no queden debilitadas en ese camino del proceso de transformación. La velocidad y la profundidad con que se quieren desarrollar los cambios en las universidades deben ponernos en alerta. Nos exigen que las protejamos de

sufrir daños irreversibles. Porque sin las universidades, o con universidades desvirtuadas y desprovistas de sus esencias, seremos menos competentes, menos capaces y menos ciudadanos. Porque ninguna otra institución nos puede adentrar en lo que no sabemos y darnos certezas para gestionar el presente, encarar el futuro con garantías, y comprender un mundo tan complejo y mudable como el actual, además de conducirnos por el camino del desarrollo, la educación, el progreso y la justicia.

De este período quiero valorar, primero, que los estudiantes hayan tenido más oportunidades y facilidades para el acceso social e inclusivo a la universidad, sin que se haya resentido la excelencia académica, hasta el punto de existir una opinión mayoritaria de que el actual sistema universitario es el mejor de la historia de nuestro país. Nos ha provisto de calidad democrática y de capacidad crítica.

También quiero valorar que, en el marco universitario, y sobre todo en su entorno, se ha avanzado hacia la idea de que la universidad es una tarea de Estado, no solo de los actores sociales o de los profesores; y también se ha visibilizado que la universidad es una tarea histórica, no una coyuntura cortoplacista.

Paralelamente, los Consejos Sociales han dejado de ser observados por las universidades desde la mirilla de la sospecha, y se les han franqueado puertas que ya hoy se abren sin llamar. Con el poder de los hechos y de la

sociedad, y superadas muchas reticencias, los Consejos sociales han dejado de ser los amigos incómodos y entrometidos y han entrado hasta la mesa principal del debate sobre el proceso de educación superior y las propuestas reformistas. Un proceso que a menudo podría compararse a una carretera lleva de curvas interminables, puertos infinitos, cambios de rasante inesperados, señales contradictorias, intersecciones incomprensibles o baches inabarcables.

Hemos superado los tiempos en los que daba la constante impresión de que las universidades eran el vehículo que circulaba por esas carreteras, y que los que iban dentro veían a los Consejos Sociales como la guardia civil o los radares. Elementos ajenos a los que había que detectar y evitar en lo posible. Pero en estos años, los Consejos sociales han conseguido entrar en el interior del vehículo y viajar en él. Ya forman parte de la expedición. Porque las universidades se han dado cuenta en este tiempo de que los Consejos sociales pueden ser unos magníficos amortiguadores o unos útiles indicadores, que quizá no sean imprescindibles para circular, pero hacen mucho más confortable y seguro el viaje por la intrincada red viaria de la educación.

En esta dirección, hace apenas un mes que la CRUE y la Conferencia de Consejos Sociales firmaban un convenio para trabajar en el compromiso de las universidades con el bienestar social. Juntos. Sin sospechas. En palabras del presidente de los rectores españoles: “este convenio asegura una alianza estratégica imprescindible entre

rectorados y consejos sociales para la tarea fundamental de hacer de las universidades un elemento central en el progreso de España”.

Y hace apenas unos días, la misma Conferencia impulsó una declaración pública y conjunta, al más alto nivel, con las principales organizaciones empresariales y sindicales españolas, que se presentará en el Congreso, para pedir que la reforma universitaria se sitúe entre las prioridades legislativas de los representantes políticos. Porque la educación no es solo un ministerio o una profesión, es lo que da sentido a una sociedad. Y la educación superior es la que la hace robusta.

Ustedes, orgullosos humboldtianos reunidos aquí en Vigo, nos traen los valores, el prestigio y el espíritu de su empuje, con un foro de elevado nivel científico. Llegan a la que ustedes definen como “vibrante, industrial y poderosa ciudad de Vigo” para agitar las olas del Campus del Mar, para hacernos partícipes su apasionante y enriquecedora misión, y para ayudarnos a mejorar. Les recibimos con afecto, con orgullo y con la convicción de que, realmente, después de este encuentro, tendremos suficientes motivos para recordar su valiosa presencia.

Confío en que esta ciudad y esta universidad les acogerán a ustedes, que llegan, con la misma cordialidad que dispensa a los que no se han ido nunca. Ojalá en esta universidad y en esta ciudad sientan ustedes en algún momento que han llegado “a la región más

transparente", parafraseando a Alexander von Humboldt cuando, a su llegada al valle de Anáhuac, en México, exclamó: "Viajero, has llegado a la región más transparente del aire". Ese, por ejemplo, sería un bonito recuerdo.

Y quiero terminar con una efeméride. Tal día como mañana, el 14 de septiembre, pero del año 1769, nacía Alexander von Humboldt. Por lo que representa el valioso legado y el perdurable mensaje que la Asociación custodia y divulga, quiero decirles que su presencia hoy aquí de es un honor y una invencible motivación para que nuestros buenos propósitos se conviertan en excelentes resultados.

Felicidades por anticipado.

PALABRAS DE BIENVENIDA DEL DIRECTOR DE CULTURA DE LA EMBAJADA ALEMANA EN MADRID

Christoph Dorschfeldt, Director de Cultura de la Embajada Alemana en Madrid

Agradezco sinceramente a los organizadores de este evento poder dirigir unas palabras a los aquí presentes, en su mayoría antiguos becarios y premiados humboldtianos. Es una muy buena tradición que la Asociación Alexander von Humboldt de España se reúna cada mes de septiembre para celebrar un encuentro que se dedique a un tema científico y de particular relevancia. Si el año pasado, los humboldtianos se reunieron en Málaga para discutir el vínculo entre “la Ciencia, la Innovación y la Cultura”, este año centrarán su atención en un tema muy relacionado con el alma mater de Vigo que cuenta con una Facultad de Ciencias del Mar. La Fundación Alexander von Humboldt de Bonn apoya la realización de este acto con una subvención.

“La Ciencia y el mar: sostenibilidad y desarrollo” - en última instancia, no es ni más ni menos que un tema de supervivencia para la humanidad: Y la pregunta clave es: ¿Cómo lograr un aprovechamiento sostenible de los mares?

Esta pregunta es de suma importancia para la política medioambiental y científica alemana. Pero antes de entrar en algunos detalles al respecto, me gustaría transmitirles a todos los presentes los saludos efusivos de nuestro nuevo Embajador en España, Wolfgang Dold, que ha asumido su cargo en Madrid hace tan solo unos días. El Embajador espera con gran interés conocer a muchos de ustedes en los próximos semanas y meses, ya sea en los eventos de la Residencia de la Embajada en Madrid o en sus próximos viajes, durante los cuales estará encantado de mantener conversaciones siempre que sea posible con los humboldtianos en sus respectivas universidades.

Promover la excelencia: este es el impulso principal de los diversos programas de la Fundación Alexander von Humboldt. Y no es de extrañar que su programa de becas de investigación tenga más demanda que nunca. Sólo en 2017, la fundación recibió 2000 solicitudes. Y sus programas e iniciativas se han ampliado a lo largo de la última década:

- La Cátedra Alexander von Humboldt (AvH-Professur) se creó en 2008 y el Premio de Investigación Anneliese Maier en 2011.

- Y para apoyar a investigadores al inicio de su carrera, se creó el Premio Sofja Kovalevskaja

¡El financiamiento del Gobierno federal también ha experimentado un incremento que está a la vista! En los últimos diez años, el presupuesto asignado a la Fundación Humboldt ha aumentado en un total de alrededor del 85 por ciento. Mientras en el año 2008, se asignaron unos 66 millones de euros, en este año 2018, la Fundación dispone de unos 123 millones de euros. Este extraordinario incremento refleja que la Diplomacia Científica se ha convertido en un foco de interés cada vez más importante para la política exterior alemana.

El enfoque de la Fundación Humboldt en España evidencia el muy alto nivel en la cooperación entre nuestros dos países. Solo en el año pasado (2017), la fundación Alexander von Humboldt otorgó veintiocho (28) becas a investigadores procedentes de España y una beca de investigación a un científico alemán que presentó un proyecto de investigación en España (“Feodor-Lynen-Forschungsstipendium”).

Anualmente, la Fundación Humboldt concede sus reconocidos premios de investigación. Al comienzo de este año, la renombrada catedrática de la Universidad Pompeu Fabra (UPF) Louise McNally recibió el Humboldt Forschungspreis (Premio Humboldt de investigación) por su destacada labor en el estudio de la semántica del lenguaje natural. En abril, el Prof. Dimas García de Oteyza, investigador del DIPC (Donostía

International Physics Center), recibió el Premio Friedrich Wilhelm Bessel y por ello fue invitado a pasar un período de hasta un año en una institución de investigación en Alemania cooperando en un proyecto de investigación con colegas especializados, institución que en el caso del Prof. García de Oteyza es el Instituto Max-Planck de Investigación del Estado Sólido (MPI für Festkörperforschung) de Stuttgart.

Si los dos premiados se encuentran aquí: ¡Mi más sincera enhorabuena!

Partiendo de la física, el camino a las ciencias del mar no es muy largo.

Dentro de un enfoque multidisciplinario, la física es clave para entender mejor la interacción del océano con la atmósfera. Ambos sistemas se impulsan entre sí, y para comprender mejor como funciona esta dinámica es de gran importancia el conocimiento sobre la variabilidad del clima.

No soy especialista en este importante campo de investigación, pero me gustaría comentar brevemente algunos puntos que relacionan las ciencias del mar con la política exterior alemana.

Hoy en día la investigación marina y las ciencias del mar son omnipresentes, incluso en la política internacional, y desde la Cumbre del G7 de 2015 Alemania ha contribuido intensamente a darle el enfoque político a nivel internacional.

Vivimos en un planeta azul. El 70 % de nuestro planeta está cubierto por mares y océanos, gran parte de los cuales aún están por explorar. Los océanos también desempeñan un papel central en el clima, transportan el 95% de las mercancías y son una fuente importante de alimentos y materias primas.

Los programas de investigación para las ciencias del mar, el programa "Los plásticos en el medio ambiente", el plan de acción del G7 para la "Protección del medio ambiente marino" y un fuerte compromiso también a nivel europeo, en particular con la contaminación microplástica de los océanos, forman parte de la contribución de Alemania a una mayor investigación sobre el papel, así como la carga que soportan los mares.

Los hallazgos científicos son la base para tomar las decisiones correctas, tanto para la persona como para la política.

Permítanme darles algunos ejemplos:

- Los desechos plásticos, el cambio climático, la sobrepesca y otras amenazas para nuestros mares y océanos son el centro de atención de un programa de investigación del Gobierno federal adoptado en 2016 llamado MARE:N. Fue publicado hace dos años como el primer programa conjunto de investigación marina de varios ministerios del Gobierno federal.

- Una moderna flota de investigación lleva a cabo una importante contribución para las ciencias del mar que es reconocida en el mundo entero.
- Y una cifra: Sumando sus aportaciones a programas como MARE:N, a los buques de investigación y a otras acciones, el Ministerio Federal de Educación e Investigación, asignará fondos a la investigación marina, costera y polar de un total de 4000 millones de euros durante diez años, lo que se inició ya en el 2016.
- Cabe mencionar también que bajo la Presidencia alemana en el 2017, los países del grupo G 20 acordaron un plan de acción contra la basura marina.

En el marco del Año Alemán de la Ciencia 2016 y 2017 que fue dedicado exclusivamente a las ciencias del mar, se desarrolló la campaña "Piratas plásticos". En sus clases escolares o asociaciones juveniles jóvenes estudiantes pudieron examinar y evaluar científicamente el plástico encontrado en los ríos alemanes. Por un lado, los jóvenes aprendieron a formar parte de un equipo de investigadores y, por otro, se sensibilizaron sobre las conexiones entre los ríos y los mares, entre sus acciones y las consecuencias correspondientes.

Me parece una acción muy valiosa.

La clave del futuro de nuestras sociedades y de la humanidad en su conjunto es la educación. Todos

aquellos que se vean a sí mismos en la tradición de Alexander von Humboldt no pueden sino estar de acuerdo.

Miremos entonces hacia el año 2019, el año en el que celebraremos el 250º aniversario del nacimiento de Alexander von Humboldt. Humboldt fue pionero en la cooperación global y la investigación transdisciplinaria.

Para conmemorar el aniversario de Humboldt queremos hablar de la diplomacia científica, que será un tema central de la política cultural y educativa exterior en los próximos años.

En este contexto, la Fundación Humboldt tiene previsto celebrar un Coloquio Humboldt en Madrid para Europa Occidental. Las jornadas se celebrarán los días 11 a 13 de abril de 2019.

El Embajador Dold me ha rogado que les transmita su deseo de reunirse con los participantes de este evento científico en Madrid. Este coloquio no debe ser una pura celebración familiar, sino que se debe extender hacia el mundo de la ciencia española.

Con esta expectativa concluyo mis palabras con motivo de la apertura del Encuentro Humboldt de este año, dedicado al mar.

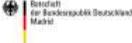
Como el año pasado se reunieron en Andalucía, me gustaría citar hoy al poeta García Lorca.

¿Y qué nos decía García Lorca sobre el mar?

NECESITO del mar porque me enseña.

Espero con ilusión el día de mañana y tengo curiosidad por saber qué nos enseñará el mar.

Muchas gracias.



**Diplomacia científica alemana –
Deutsche Außenwissenschaftspolitik**



**Un espíritu libre no conoce fronteras, ...
... las supera**

▶ **Febrero 2017:** La estrategia del Gobierno Federal para la internacionalización de la educación, la ciencia y la investigación se centra en el pensamiento transfronterizo.

Objetivos:

- ▶ fortalecer la excelencia a través de la cooperación mundial
- ▶ fortalecer la innovación a nivel internacional
- ▶ ampliar la educación y formación (profesional)
- ▶ sociedad de conocimiento

Objetivos



Investigación alemana muy interconectada:

- más de la mitad de sus publicaciones son escritos por científicos alemanes **en el marco de cooperaciones**
- amplia oferta en infraestructura, p.ej.: DESY (Asociación Helmholtz)
- "Pactos" políticos entre Federación y los 16 Estados federados
- DFG, Helmholtz-Gemeinschaft, Leibniz-Gemeinschaft, Fraunhofer ...



**Papel del Mº RREE de Alemania (AA):
DIPLOMACIA científica**

Presupuesto MºRREE 2018

- Paz / estabilidad: ~ 2,8 mil Mio. EUR
- Acción cultural y educación en exterior: ~ 957 Mio. EUR
- GI: 237 Mio. EUR, DAAD: 184 Mio. EUR, AvH: 84 Mio. EUR
- Schulfonds (subsídios para colegios alemanes en el exterior): 265 Mio. EUR

Presupuesto BMBF 2018 (Mº Educación e Investigación):
17, 6 mil Mio. EUR
Fomento de la investigación: 6,2 mil Mio. EUR

 Auswärtiges Amt

DAAD

Presupuesto 2015: 502 Mio. EUR

- del Min RREE (AA): 185 Mio. EUR
- del BMBF: 110 Mio. EUR

 Botschaft
der Bundesrepublik Deutschland
Madrid

Papel del M^o RREE (AA): DIPLOMACIA científica
5 ámbitos temáticos estratégicos y 4 cometidos transversales



comunicación

transferencia de conocimiento

movilidad

contacto con exbecarios

cooperación y networking

libertad de cátedra

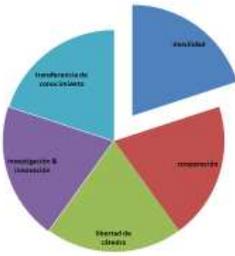
cooperación europea

digitalización

 Botschaft
der Bundesrepublik Deutschland
Madrid

Movilidad

Alemania, líder en movilidad académica

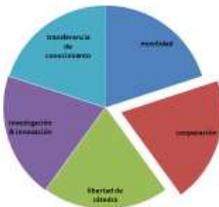


- 2017: 358.000 universitarios extranjeros en Alemania.
- Alemania, entre los cinco destinos predilectos entre los universitarios extranjeros.
- DAAD: mayor organización del mundo de fomento del intercambio (2017: 140.000 becarios)
- Fundación Alexander von Humboldt (AvH) con apoyo a la excelencia (55 premios Nobel + 28.000 exbecarios)
- Fundaciones políticas (2017: unos 900 becarios)

 Botschaft
der Bundesrepublik Deutschland
Madrid

Cooperación / networking

Alemania, experiencia consolidada en cooperación académica y networking



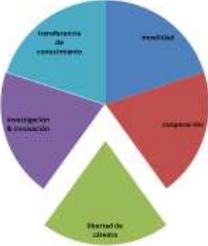
- 31.000 cooperaciones universitarias con unas 5000 universidades asociadas en 150 Estados.
- Entidades Alemanas de Ciencia e Innovación (DWIH) (Nueva York, Sao Paulo, Moscú, Nueva Delhi, Tokio): escaparates innovadores de la ciencia alemana y plataforma de contactos y cooperación con la empresa.
- Asesores científicos en todo el mundo en los centros de ciencia e investigación
- Mesa redonda supradepartamental sobre la internacionalización de la educación, ciencia e investigación.

 Institut für Bundespolitik Deutschland Madrid



Libertad de cátedra

Creación de espacios y expectativas para académicos perseguidos y amenazados



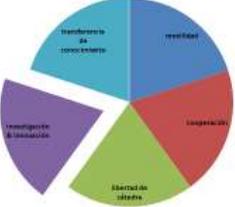
- Iniciativa Philipp Schwartz (PSI) de la AvH para 124 científicos amenazados.
- La Iniciativa Académica Alemana Albert Einstein para Refugiados, Deutsche Akademische Flüchtlingsinitiative Albert Einstein (DAFI), apoya a más de 6000 refugiados en 50 países.
- Programa de becas "Leadership for Syria" (LFS): desde 2015 más de 200 sirios en más de 60 universidades alemanas. Además, 220 becas sobre el terreno para refugiados sirios en proyectos educativos transnacionales alemanes.

 Institut für Bundespolitik Deutschland Madrid



Investigación e innovación

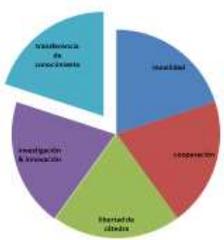
La investigación y la diplomacia están relacionadas de forma diversa y estrecha



- La cooperación internacional en el ámbito de la investigación facilita el acceso a fuentes de conocimiento e innovaciones internacionales.
- El M^o Fed. de Rel. Exteriores impulsa el diálogo y las sinergias con organizaciones científicas y de investigación alemanas y fomenta la cooperación internacional.
- DWIH, centros para instituciones de investigación y empresas investigadoras.

Stiefart
an Bundesrepublik Deutschland
Maastricht

Transferencia de conocimiento



La política necesita el asesoramiento de la ciencia

La política exterior necesita un asesoramiento político basado en pruebas. Se quiere fomentar la experiencia, la transferencia de conocimiento y la competencia: por una parte, desde la comunidad científica hacia el sector público y la sociedad y, por otra, el diálogo científico entre ellos.

Stiefart
an Bundesrepublik Deutschland
Maastricht

Cifras y datos

- Total de universitarios extranjeros en 2016/2017: 357.835 (incremento de más de 100.000 en los pasados 10 años)
- Principales países de procedencia (2016/2017):

Turquía	38.309
China	37.603
India	15.529
Rusia	14.939
Italia	14.038
- Total de becados por el DAAD- (2017): 139.758 (61.528 para estancias en Alemania, 78.230 en el extranjero)
- Total de cooperaciones universitarias con participación alemana en todo el mundo y por países de procedencia: 33.000.

Francia	2822
España	2522
EE. UU.	2306
Italia	1897
Gran Bretaña	1648
- Colegios alemanes ("DAS") en todo el mundo: 140
- 2212 colegios PASCH (iniciativa de colegios socios con especial atención al alemán como lengua extranjera)

 Botschaft
für Bonn/Berlin/DAAD/Deutschland
Madrid

La Consejería de Cultura y Educación de la Embajada

Funciones básicas:

- fortalecer las relaciones institucionales en los ámbitos de cultura, educación e investigación a nivel bilateral
- coordinar y fomentar las actividades de promoción cultural a través de las entidades colaboradoras alemanas
- promocionar la lengua y cultura alemana en el sistema educativo español
- asesoramiento sobre movilidad académica a estudiantes y docentes

 Botschaft
für Bonn/Berlin/DAAD/Deutschland
Madrid

Entidades alemanas colaboradoras:

- Goethe Institut en Madrid y Barcelona
- Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD)
- Instituto Arqueológico Alemán de Madrid (DAI)
- Asociación de Alumnos Alexander von Humboldt
- 9 Colegios Alemanes en España

... y muchos más.

EL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y SU CONTRIBUCIÓN A LAS CIENCIAS DEL MAR

*Rosa María Menéndez López , Presidenta del
CSIC*

La investigación marina a finales del XIX
El nacimiento de las primeras ESTACIONES COSTERAS



Anton Dohrn
(Slettin, 1840-Münchh. 1909)



Stazione Zoologica di Napoli (1872)

Anton Dohrn y la estación Zoológica de Nápoles

La investigación marina a finales del XIX
El nacimiento de las primeras ESTACIONES COSTERAS

Henri de Lacaze-Duthiers funda dos laboratorios volcados a la biología marina: el laboratorio de Roscoff en 1872 y el laboratorio Arago en 1882 en Banyuls-sur-Mer.

(Montpetat 1821 - Les Forcs, 1901)



El laboratorio de Roscoff y el laboratorio de Arago

La investigación marina a finales del XIX
El nacimiento de las primeras ESTACIONES COSTERAS



Alberto I de Mónaco
(París, 1848 - París, 1922)



Alberto I de Mónaco y l'Hirondelle: campañas en Galicia 1886-1911

La investigación marina a finales del XIX El nacimiento de las primeras ESTACIONES COSTERAS

Augusto González de Lineros
(Valle de Cabuérniga, 1848-Santander, 1904)



Playa de El Sardinero (1886-1907)



Estación de Biología (1907-1928)

Estación Marítima de Zoología y Botánica Experimental de Santander (1886-)

Casademero, Revista del IEO, 2008

La investigación marina a principios del XX El desarrollo de las Ciencias Marinas en España

Odón de Buen y del Cos
(Zuma, 1863-México, 1945)



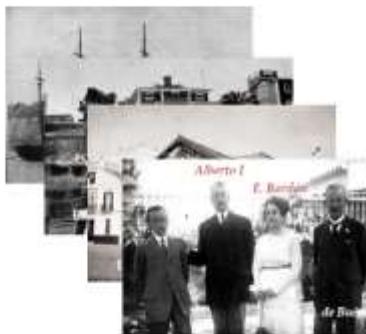
Una figura clave en el desarrollo de las Ciencias
Marinas en la España de principios del siglo XX:
el catedrático Odón de Buen y del Cos

"Adquirí en aquel viaje la orientación definitiva para mi vida personal futura. Me encontré con el mar y lo contemplé: magnífico, imponente y despreciando la insignificancia de nuestro barco de madera. Encontré hombres expertos, conscientes de la superioridad de la inteligencia humana. Sentí un ansia insaciable para conocer los secretos ocultos bajo las olas y las causas del origen de la vida en los océanos. Tomé la decisión de dedicarme a la oceanografía, que entonces estaba en sus inicios"

Odón de Buen, Boletín de Pesca, 1916

la investigación marina a finales del XIX
el nacimiento de las primeras estaciones costeras

Odón de Buen y del Cas
(Zaira, 1863-México, 1945)



el nacimiento del Instituto Español de Oceanografía, I.E.O. (1914-)

Olivero, VIII Trobada d'Història de la Ciència y de la Tècnica, 2004

Camiñas, Revista del IEO, 2006

La investigación marina a principios del XX
El Instituto Español de Oceanografía I.E.O. (1914-)

El Real Decreto del Ministerio de Obras Públicas y Bellas Artes, de 1914 establece la creación del I.E.O. y la ampliación de la red de laboratorios costeros de Santander, Puerto Pi y Málaga con dos más, situados en VIGO y Canarias



Odón de Buen, Boletín de Pesca, 1916

La investigación marina a principios del XX

¿Por qué un laboratorio costero en Vigo?

Galicia: Coloración roja
Enrique Castro Falcón (1852-1910).



EL FENOMENO DE LA COLORACION ROJA DE LAS RIAS

*"Los misterios de la naturaleza. Investigaciones sobre
el micro-plankton de la Ría de Ares"*



¿por qué en Vigo?: las "mareas rojas"

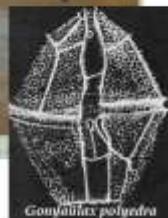
La investigación marina a principios del XX

¿Por qué un laboratorio costero en Vigo?

Ramón Saborido Bahigas
(Pontevedra, 1868-Valladolid, 1946)



¿por qué Vigo?: las "mareas rojas"



Saborido, Mem. de la R. Soc. Esp. de Hist. Nat., 1918

La investigación marina a principios del XX
¿Por qué un laboratorio costero en Vigo?



¿por qué en Vigo?: las "mareas rojas"

Odón de Buen, *Boletín de Pesca*, 1916

La investigación marina a principios del XX
¿Por qué un laboratorio costero en Vigo?



¿por qué en Vigo?: las "crisis" de la sardina"

Castellón, *Nus*, 1919

González-García & Lous, *Revista del IEO*, 2006

El Consejo Superior de Investigaciones Científicas y su Contribución a las Ciencias del Mar

La investigación marina a principios del XX El Laboratorio de Oceanografía de Vigo del I.E.O. (1917-)



González-Garcés & Lens, *Revista del IEO*, 2006

Díaz-Fierros, *A Cuestión Ambiental en Galicia*, 2006

La investigación marina durante la II República El laboratorio de oceanografía de Vigo del I.E.O. (1917-)



oceanógrafos del I.E.O.
destinados en Vigo (1949)



De laboratorio de oceanografía (1917) a laboratorio costero del I.E.O. (1932)

González-Garcés & Lens, *Revista del IEO*, 2006

La investigación marina durante la II República
la Estación de Biología Marina de Marín (1932-1936)



El Museo de Ciencias Naturales (J.A.E.) busca una salida al mar

Redes de Conocimiento: a JAE e a Ciencia en Galicia, 2007

La investigación marina en la segunda mitad del XX
El Instituto de Investigaciones Pesqueras del CSIC (1951-)

Francisco García del Cid
(Málaga, 1907-Barcelona, 1966)



Instituto de Investigaciones Pesqueras, IIP, cuya creación se aprueba en Junta de Gobierno del CSIC el 3 de octubre de 1951 con sede en Barcelona



El C.S.I.C. apuesta por la investigación marina

La investigación marina en la segunda mitad del XX
El IIP del CSIC y SUS LAB. COSTEROS (1951-)



La investigación marina en la segunda mitad del XX
La revista Investigación Pesquera del CSIC (1955-)



La investigación marina en la segunda mitad del XX
El laboratorio costero de Vigo del CSIC (1951-)



El C.S.I.C. apuesta por la investigación marina

La investigación marina en la segunda mitad del XX
El laboratorio costero de Vigo del CSIC (1951-)



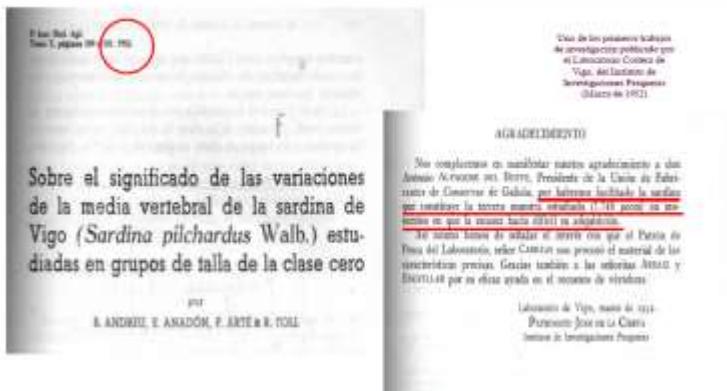
El C.S.I.C. apuesta por la investigación marina

La investigación marina en la segunda mitad del XX
El laboratorio costero de Vigo del CSIC (1951-)



El C.S.I.C. apuesta por la investigación marina

la investigación marina en la segunda mitad del XX
El laboratorio costero de Vigo del CSIC (1951-)



la investigación marina en la segunda mitad del XX
El laboratorio costero de Vigo del CSIC (1951-)

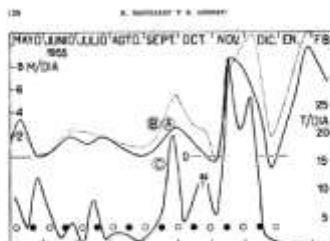
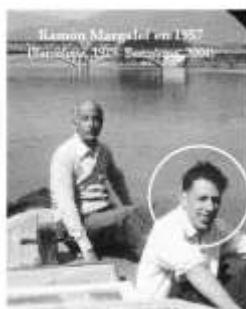
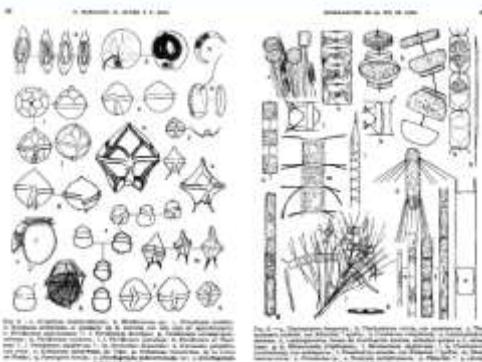


FIG. 1. — Variabilidad de nivelación del agua de la Ría en relación con día. A, medio de todas las mareas calculadas para distintos puntos de la Ría en una única marea (M/DIA); B, valor observado para el momento de máxima amplitud de marea en un día determinado. A y B, descomposición de mareas en Vigo, en 2m por día, según valores obtenidos inicialmente por los Mares del Puerto de Vigo. La serie de círculos representa el agua dulce del Durolim, Sabal, Sabal, y los cuadrados, agua salada, observada en el momento de paso de la gama de marea y después de las precipitaciones. (Margalef, 1958: 66)

Ramón Margalef y las "crisis de la sardina"

Margalef & Andros, *Investigación Pesquera*, 1958

la investigación marina en la segunda mitad del XX
El laboratorio costero de Vigo del CSIC (1951-)



Ramón Margalef y las "mareas rojas"

Margalef et al., *Investigación Pesquera*, 1955

La investigación marina en la segunda mitad del XX
El laboratorio costero de Vigo del CSIC (1951-)



Distribution of particulate and dissolved nitrogen in the
Western Indian Ocean*

F. FRAGA†

(Received 11 November 1965)

Abstract—Determinations were made of particulate and dissolved organic nitrogen in the waters of the western Indian Ocean from 20°N to 27°S. The vertical distribution of particulate nitrogen had a maximum at 500 meters and a very clear observed variation extending down to 100 m. During the night particulate nitrogen decreased from 0.2 to 0.05 mg and increased from 0.05 to 1.00 mg. It is assumed that this is due to respiration organisms.

The vertical distribution of the dissolved organic nitrogen had a peak at 20 m and another very large one between 100–170 m.

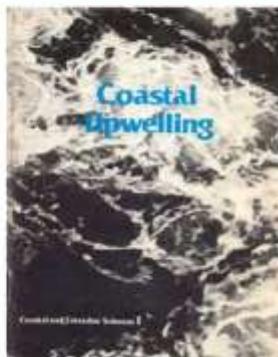
The relationships were studied between dissolved nitrogen, dissolved organic carbon, particulate nitrogen, and the particulate carbon and phosphorus, chlorophyll and the fraction of carbon-14.

The distribution of organic nitrogen is shown for a north-south section past the Indian peninsula to the Arabian coast.

Fernando Fraga y la materia orgánica disuelta

Fraga, Deep-Sea Res., 1966

La investigación marina en la segunda mitad del XX
El laboratorio costero de Vigo del CSIC (1951-)



Fernando Fraga y el afloramiento costero

Fraga, 1981

La investigación marina en la segunda mitad del XX
El Laboratorio de Vigo del CSIC y la Acuicultura (1951-)



El Prof. Antonio Figueras; las Rías Baixas, un mar de bateas

La investigación marina en la segunda mitad del XX
El laboratorio costero de Vigo del CSIC (1951-)



El C.S.I.C. apuesta por la investigación marina

La investigación marina en la segunda mitad del XX
El laboratorio costero de Vigo del CSIC (1951-)



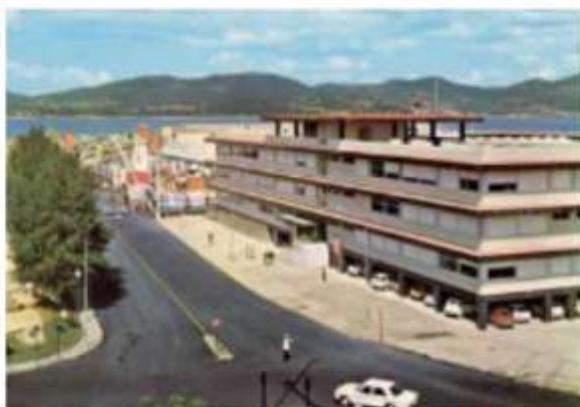
Manuel G. Larrañeta en 1951
(Tólos, 1931-)



Después Factoría Gallega (Pescanova) en el que M.G. Larrañeta participó en 1966 en una campaña experimental de pesca de merluza en el África Austral.

En 1967 M.G. Larrañeta se traslada al laboratorio costero de Vigo del IIP como director después de haber dirigido con éxito el Plan Experimental de Pesca de Arrastre de Castellón (PEPAC) entre 1961 y 1966.

La investigación marina en la segunda mitad del XX
El laboratorio costero de Vigo del CSIC (1951-)



En 1973 se inaugura la sede actual del centro en Bouzas

La investigación marina en la segunda mitad del XX

El laboratorio costero de Vigo del CSIC (1951-)

Los productos procesados (salazón, refrigerado y conserva) alcanzaban una gran penetración en el mercado nacional e internacional. En la nueva sede y con una planta piloto de elaboración de conservas y otros procesos, el grupo de M. López Benito comenzó sus estudios sobre tecnología de los productos pesqueros



Planta piloto del IIM en Bouzas

1979 Los laboratorios costeros se independizan : centros propios
Actualmente, 7 de los 120 institutos del CSIC se dedican a las ciencias marinas



Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona. ICM (1951-)



La Unidad de Tecnología Marina. UTM. (1994-)



Centro Mediterráneo de Investigaciones Marinas y Ambientales. CMIMA. (2001-)



El Centro de Estudios Avanzados de Blanes. CEAB. (1985-)



CENTRE D'ESTUDIS AVANÇATS DE BLANES



El Consejo Superior de Investigaciones Científicas y su
Contribución a las Ciencias del Mar

Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (ICMAN)
CADIZ (1955-)



Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados
IMEDEA (1986-)



Instituto de Investigaciones Marinas IIM (1951-)



**INSTITUTO DE ACUICULTURA TORRE DE LA SAL
IATS (1951-)**



La investigación marina del CSIC en el siglo XXI

La base Antártica



Situada en la costa SE de Bahía Sur, en la Península Hurd de Isla Livingston (archipiélago de las Shetland del Sur), a unas 20 millas de navegación de la base española Gabriel de Castilla, situada en Isla Decepción.

La base está ocupada durante el verano austral, desde mediados de noviembre hasta principios de marzo, aunque se mantienen registros automatizados durante todo el año.

La investigación marina del CSIC en el siglo XXI

El B/O Hespérides



El Hespérides pertenece a la Armada española y tiene su base en Cartagena (Murcia), donde fue construido y botado el 12 de marzo de 1990. La Unidad de Tecnología Marina (UTM) del CSIC es la responsable del mantenimiento del equipamiento científico del buque y aporta el personal técnico de apoyo para la realización de las campañas oceanográficas.

La investigación marina del CSIC en el siglo XXI
B/O Sarmiento de Gamboa



El B/O Sarmiento de Gamboa pertenece al CSIC y tiene su base en Vigo donde fue botado en 2006. La [Unidad de Tecnología Marina](#) (UTM) del CSIC es la responsable de la gestión del buque así como del mantenimiento del equipamiento científico y aporta el personal técnico para la realización de las campañas oceanográficas.

La investigación marina del CSIC en el siglo XXI
B/O Mytilus



El B/O Mytilus, con sede en Vigo, motor fundamental para el desarrollo del conocimiento oceanográfico del ecosistema de rías.

La investigación marina del CSIC en el siglo XXI Sistema de Observación Costero de las Illes Balears



ICTS dirigida al desarrollo de una Plataforma Tecnológica de Investigación e Innovación en Oceanografía Operacional. La ICTS SOCRIS está formada por tres subsistemas principales: (1) un subsistema de monitorización, (2) un subsistema de modelización y de predicción y (3) un subsistema de gestión de datos.

La investigación marina del CSIC en el siglo XXI El Faro de Cap Ses Salines



En mayo de 2003, el CSIC suscribió con la Autoridad Portuaria de Baleares un convenio para la gestión del Faro de Cap de Salines

La investigación marina del CSIC en el siglo XXI Museo Nacional de Ciencias Naturales



El actual Museo Nacional de Ciencias Naturales Y LAS COLECCIONES MARINAS: fondos de colecciones

La investigación marina en la segunda mitad del XX La actividad investigadora del CSIC

- Oceanografía (física, química, biológica, geología marina, cambio global, contaminación).
- Biología de especies explotadas y poblaciones naturales,
- Pesquerías, Ecología marina,
- Acuicultura (genética, reproducción, patología, nutrición, técnicas de cultivo),
- Biotecnología marina
- Tecnología de productos de la pesca y acuicultura



La investigación marina en el siglo XXI La producción del CSIC en Ciencias del Mar

Se presentarán indicadores de **actividad**,
impacto
y **colaboración**.

¿cómo se distribuye nuestra producción por áreas temáticas?

Instituto de Estudios Documentales sobre Ciencia y Tecnología (IEDCYT)

La investigación marina en el siglo XXI Productividad de la investigación marina del CSIC

Financiación - Proyectos

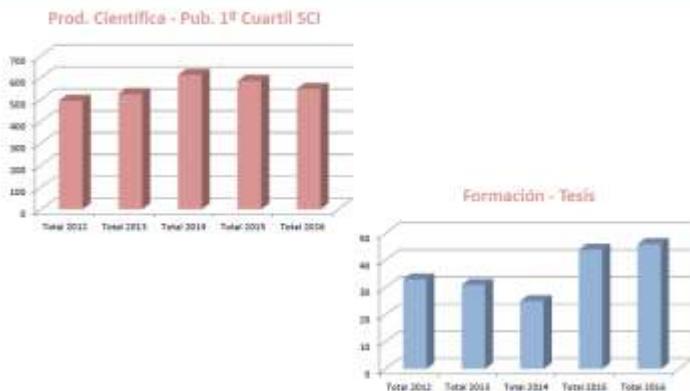


Transf. - Contratos I+D



Base de datos de COCUCENCIA y sistema analítico SCAP (Pentaho)

La investigación marina en el siglo XXI Productividad de la investigación marina del CSIC



Base de datos de coCIENCIA y sistema analítico SCAP (Pentaho)

La investigación marina en el siglo XXI Estudio bibliométrico de la investigación marina en el CSIC

La producción del CSIC en Ciencias del Mar es claramente **multidisciplinar**

Temas
Biología Marina
Pesca
Oceanografía
Ecología
Medio Ambiente
Zoología
Veterinaria
Química Analítica
Bioquímica y Biología Molecular
Genómica
Biotecnología y Microbiología Aplicada
Microbiología
Toxicología
Neurociencias
Genética y Herencia
Metereología y Ciencias atmosféricas
Biométodos
Ciencia y Tecnología de los alimentos
Botánica

¿cómo se distribuye nuestra producción por áreas temáticas?

Instituto de Estudios Documentales sobre Ciencia y Tecnología (IEDCYT)

La investigación marina en el siglo XXI Estudio bibliométrico de la investigación marina en el CSIC

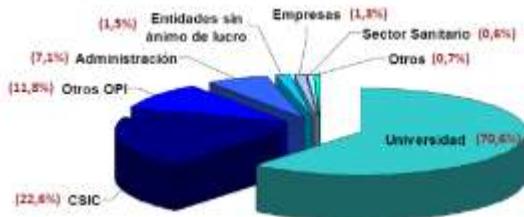
La producción del CSIC en Ciencias del Mar se ha difundido en:

Revistas
Marine Ecology Progress Series
Aquaculture
Disease of Aquatic Organisms
Scientia Marina
Estuarine, Coastal, and Shelf Science
Journal of the Marine Biological Association of the UK
J Comp Neurol
Marine Biology
Journal of Shellfish Research
Journal of the Experimental Marine Biology and Ecology
Journal of Fish Diseases
ICES Journal of Marine Sciences
Journal of Plankton Research
Ciencias Marinas

¿en qué revistas indexadas en la WoS publicamos?

Instituto de Estudios Documentales sobre Ciencia y Tecnología (IEDCYT)

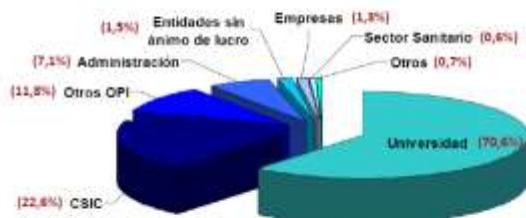
La investigación marina en el siglo XXI Estudio bibliométrico de la investigación marina en Galicia



Distribución de la actividad por instituciones

Instituto de Estudios Documentales sobre Ciencia y Tecnología (IEDCYT)

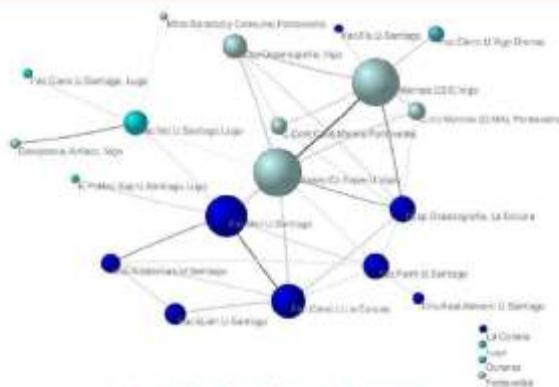
La investigación marina en el siglo XXI Estudio bibliométrico de la investigación marina en Galicia



Distribución de la actividad por instituciones

Instituto de Estudios Documentales sobre Ciencia y Tecnología (IEDCYT)

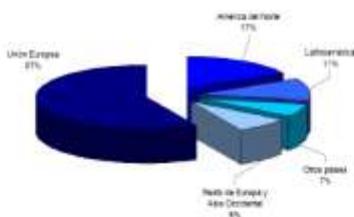
La investigación marina en el siglo XXI Estudio bibliométrico de la investigación marina en Galicia



indicadores de colaboración autonómica

Instituto de Estudios Documentales sobre Ciencia y Tecnología (IEDCYT)

la investigación marina en el siglo XXI
Estudio bibliométrico de la investigación marina en Galicia



Institución	n° documentos	País
PMI	26	Estados Unidos
GOC	21	Estados Unidos
IFREMER	20	Francia
Marine Area Sci	20	Francia
U Alameda	20	Estados Unidos
U Plymouth	20	Estados Unidos
U Bangor	17	Irlanda
U Porto	17	Portugal
ISP	14	Portugal
IPRE	14	Japón
INRA	11	Francia
U Orléans	10	Francia
CEIAS	10	Portugal

Indicadores de colaboración internacional

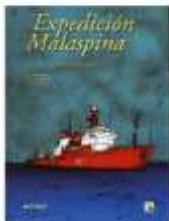
Instituto de Estudios Documentales sobre Ciencia y Tecnología (IEDCYT), 2006

La investigación marina en el siglo XXI
CSIC Y CAMBIO CLIMÁTICO Y CONSERVACION DE MEDIO AMBIENTE

- 1.- Impacto del cambio climático en los procesos que afectan al biosistema terrestre y marino: Alien species
- 2.- Desarrollo de modelos integrados para predecir cambios hidrológicos y variaciones en los recursos relacionados con el agua
- 3.- Evaluación del futuro de los recursos naturales en áreas de población con alta densidad de desarrollo industrial, minero y agrícola.



la investigación marina en el siglo XXI
EL CSIC Y LA EXPEDICIÓN MALASPINA



Entre los meses de diciembre de 2010 y julio de 2011 los buques de investigación oceanográfica Hespérides y Sarmiento de Gamboa protagonizaron, con un total de 250 investigadores embarcados en distintas etapas, la Expedición Malaspina 2010

la investigación marina en el siglo XXI
EL CSIC Y LA EXPEDICIÓN MALASPINA

El plan general de la Expedición Malaspina en el mundo



La investigación marina en el siglo XXI

EL CSIC Y EL MUNDO DE LOS SINAPTICOS

El CSIC a través del IIM VIGO aborda desde hace años una investigación centrada en la biología, ecología, evolución y conservación de estas especies y de sus hábitats, especialmente las praderas marinas, junto con el desarrollo de técnicas de cría en cautividad de los **signátidos**, una familia de peces muy vulnerables a la que pertenecen los caballitos de mar, los peces pipa y los dragones de mar. El documental *SynqDoc: El desconocido mundo de los Signátidos*, galardonado en el Ciclo Internacional de Cine Submarino de Donostia - San Sebastián 2017 con el segundo premio en la categoría de documentales de larga duración, es un ejemplo de este significativo trabajo.

<https://www.youtube.com/watch?v=ltr39FW22Og&feature=youtu.be>



"SynqDoc: El desconocido mundo de los Signátidos"

La investigación marina en el siglo XXI

EL CSIC Y LA DIVERSIFICACIÓN DE ESPECIES CULTIVADAS



En el campo de la diversificación, destacan las investigaciones sobre la reproducción del lenguado, contribuyendo significativamente al desarrollo de la acuicultura de esta especie. La transferencia tecnológica a la industria ha permitido su consolidación y la implantación de empresas dedicadas al cultivo de lenguado en varios países europeos.

La investigación marina en el siglo XXI
EL CSIC Y EL VALOR NUTRICIONAL DE LOS PRODUCTOS DE LA PESCA



Alimentos saludables, seguros y de calidad, basados en estudios básicos que combinan mecanismos químicos, técnicas ómicas con experimentación animal en estrecha colaboración con nutricionistas y hospitales, e industria alimentaria.

La investigación marina en el siglo XXI
Vigo: vocación por la I + D + i + d marina



Una de las mayores concentraciones de centros de I + D + i + d marina en el mundo

CSIC APUESTA POR la investigación marina en el siglo XXI

IIM CSIC Vigo: TRASLADO A LA ETEA



The Baltic Sea as example of an anthropogenically impacted marginal sea:

Can fundamental research help rescuing it?

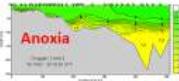
Many people have asked me:

„Why doing fundamental research instead of solving environmental problems?“

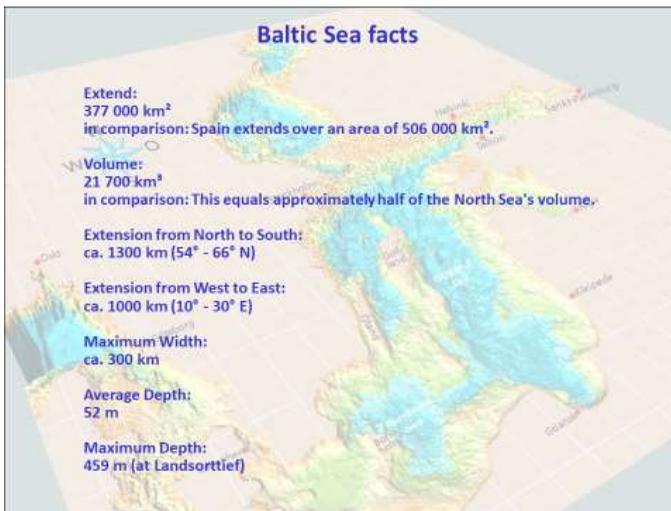
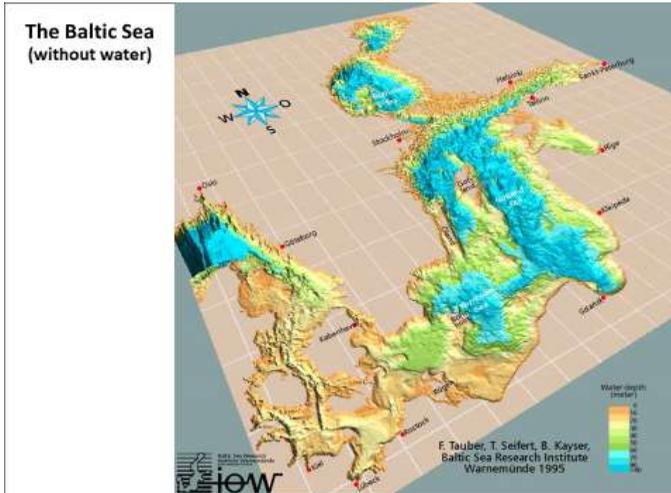
My favorite answer is:

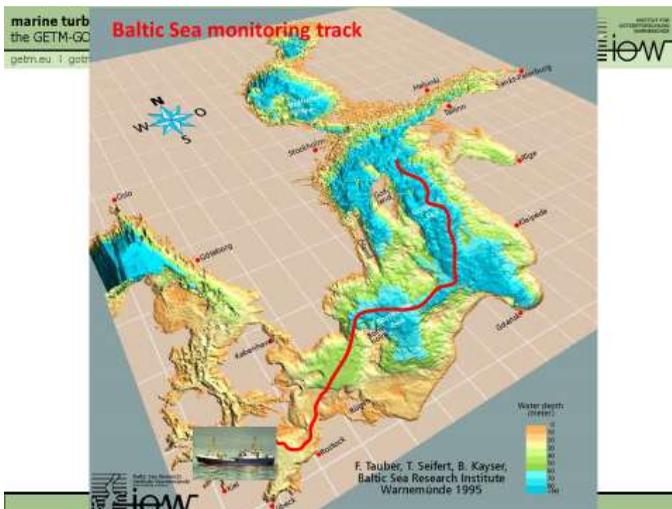
„Because you first need to understand the system before you change it.“

Baltic Sea as example :

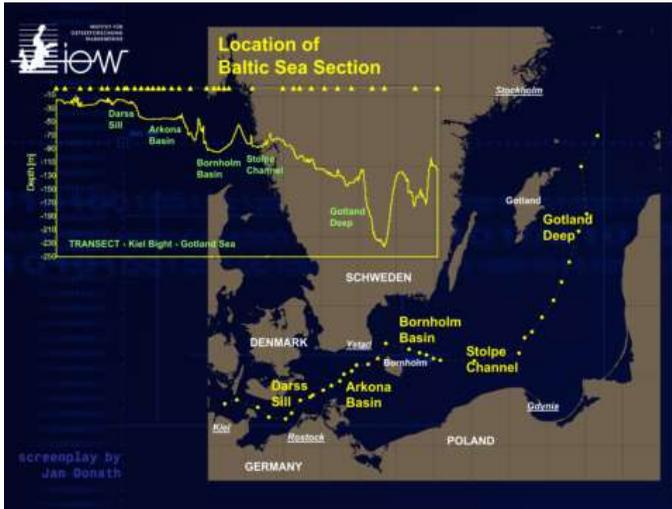


The Baltic Sea as example of an anthropo-genically impacted marginal sea: Can fundamental research help rescuing it?

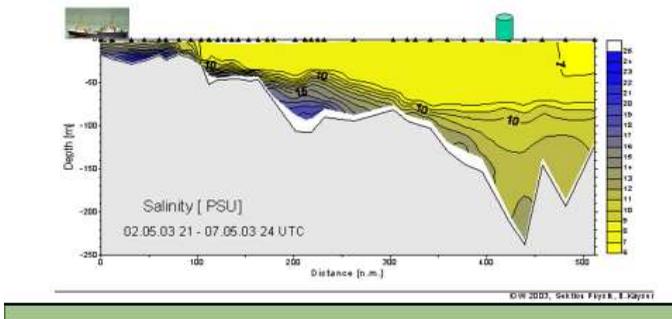




The Baltic Sea as example of an anthropo-genically impacted marginal sea: Can fundamental research help rescuing it?



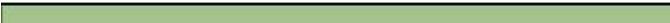
Typical salinity distribution along Baltic Sea track



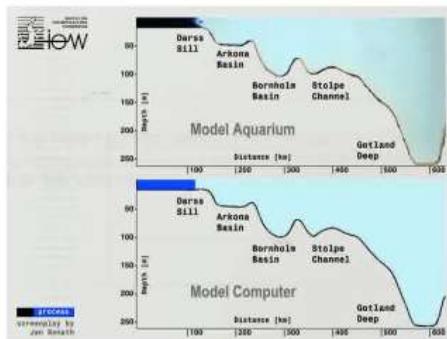
How does the salt get into the Baltic Sea?

Let us make a test with a „fresh water Baltic Sea“
and salt water being entering through the Kattegat.

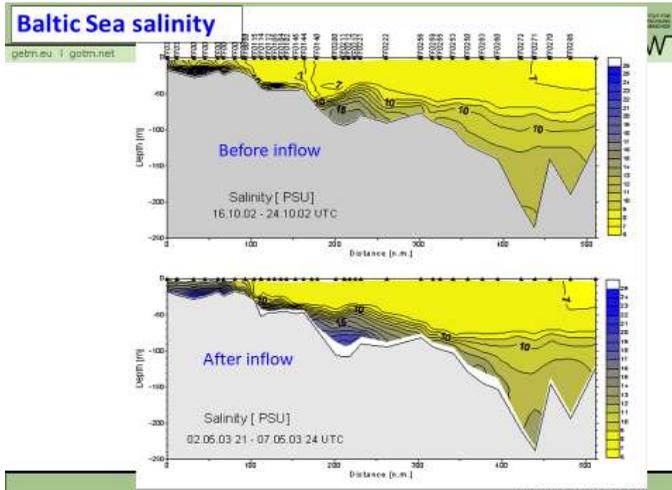
This can nicely be carried out with a numerical model
and as a laboratory experiment.



Computer simulation and laboratory experiment



The Baltic Sea as example of an anthropo-genically impacted marginal sea: Can fundamental research help rescuing it?

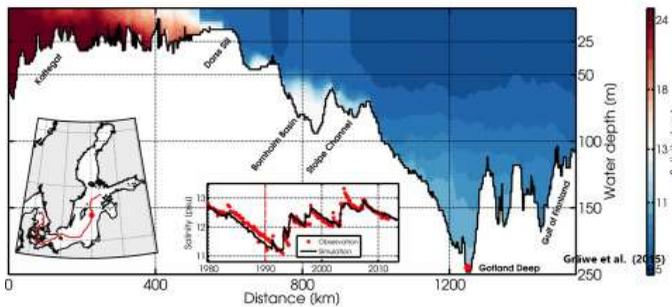


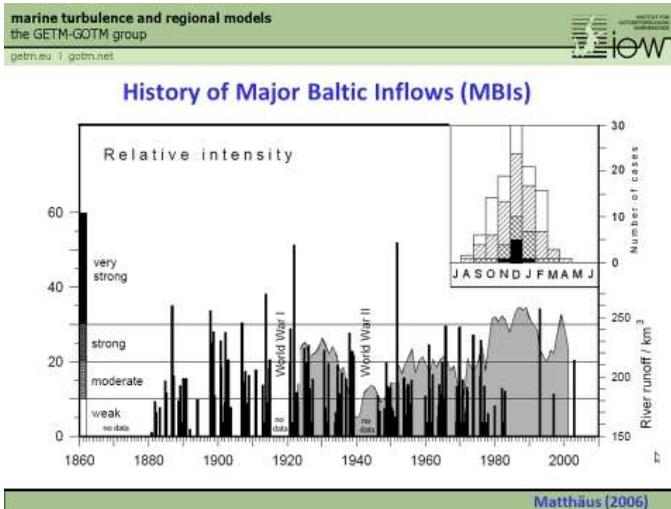
marine turbulence and regional models
the GETM-GOTM group

getm.eu | gotm.net

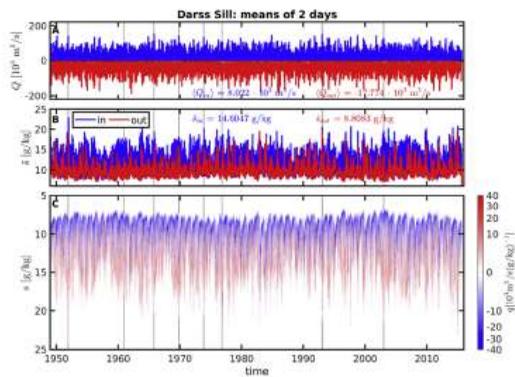
LOW

Baltic Sea inflows (computer simulation)



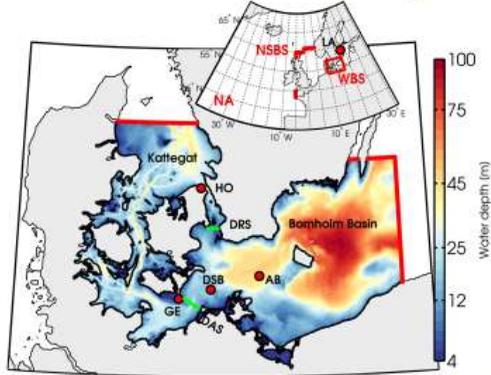


Baltic Sea inflows 1948 – 2013 (simulations)



The Baltic Sea as example of an anthropo-genically impacted marginal sea: Can fundamental research help rescuing it?

Western Baltic Sea bathymetry

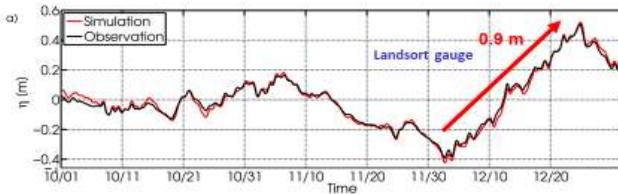


Gräwe et al. (2015)

Filling of the Baltic Sea

Discharge of $200 \text{ km}^3 / 20 \text{ days} = 116.000 \text{ m}^3/\text{s}$ out of the ocean

The Amazon River has a discharge of $200.000 \text{ m}^3/\text{s}$ into the ocean.

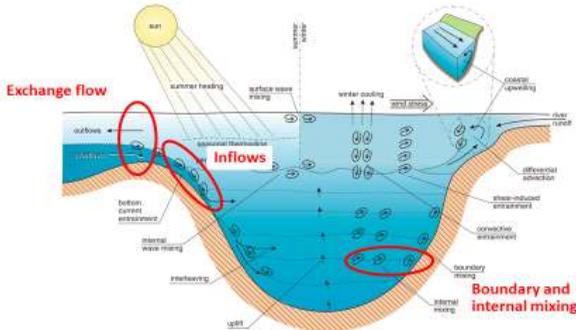


Gräwe et al. (2015)

The Baltic Sea as example of an anthropo-genically impacted marginal sea: Can fundamental research help rescuing it?

marine turbulence and regional models
the GETM-GOTM group
getm.eu | gotm.net

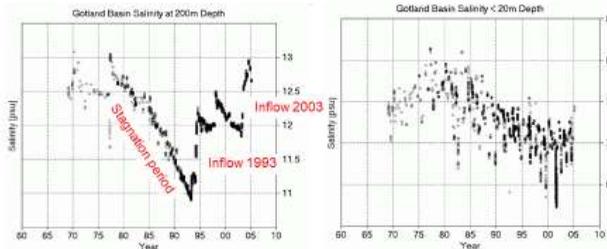
How is the Baltic Sea overturning circulation closed?



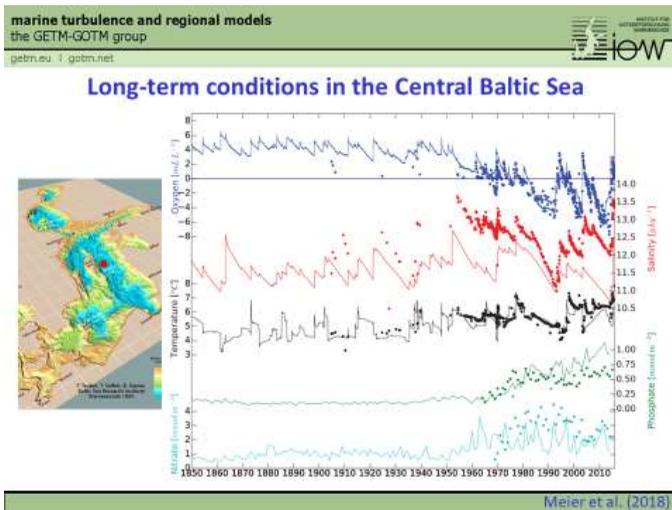
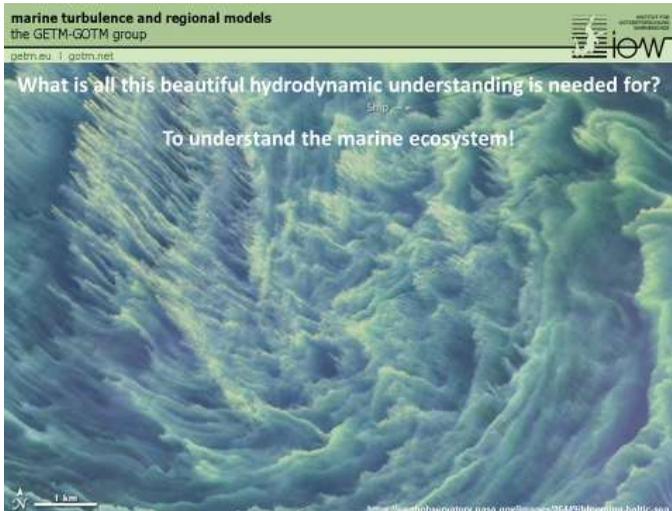
Reissmann et al. (2009)

marine turbulence and regional models
the GETM-GOTM group
getm.eu | gotm.net

Surface salinity lags more than 10 years behind bottom salinity



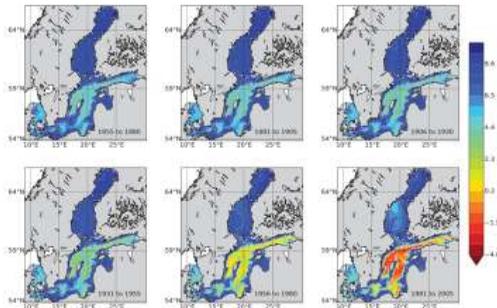
Feistel (2005)



The Baltic Sea as example of an anthropo-genically impacted marginal sea: Can fundamental research help rescuing it?

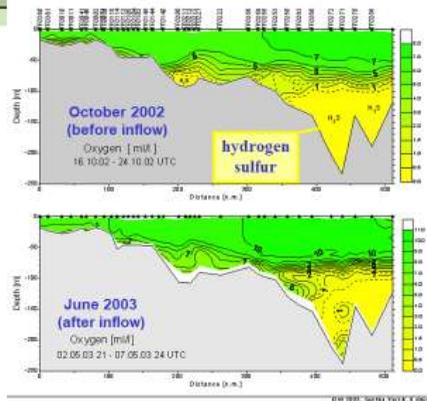
Long-term conditions in the Central Baltic Sea:

Bottom oxygen concentrations

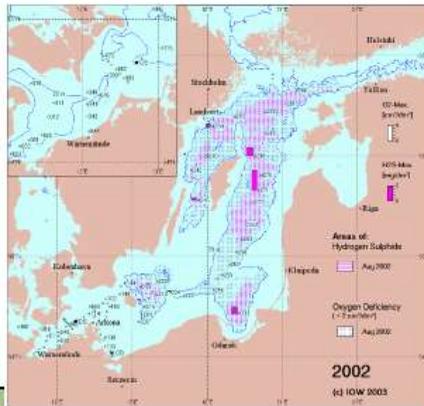


Meier et al. (2018)

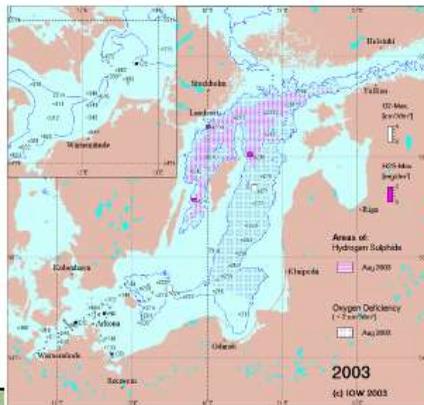
Baltic Sea
 oxygen
 concentration



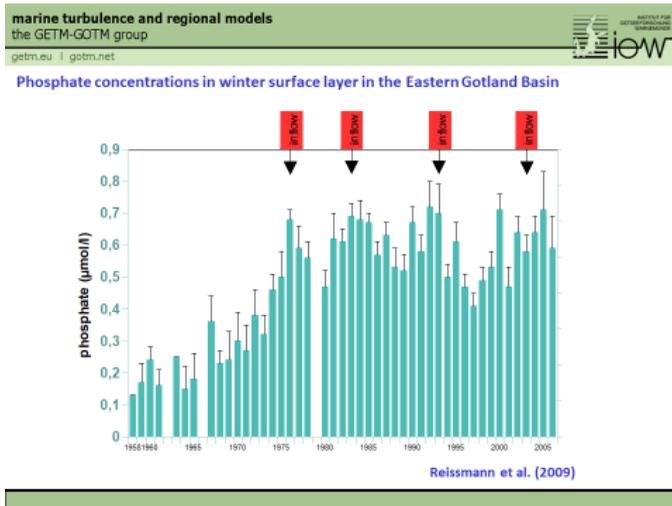
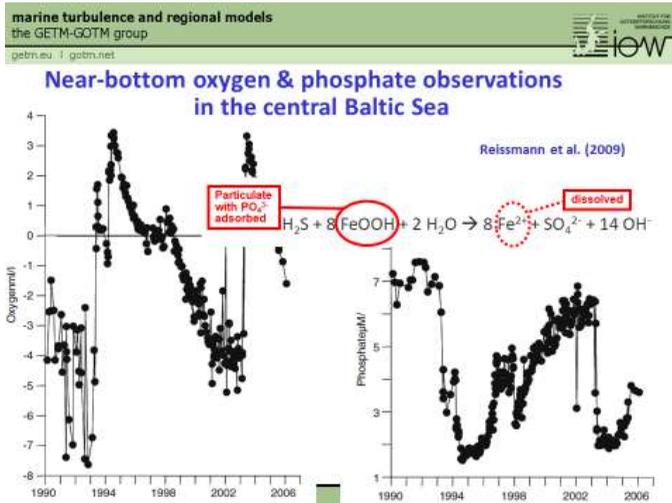
**Baltic Sea
suboxic and
anoxic areas
before major inflow**

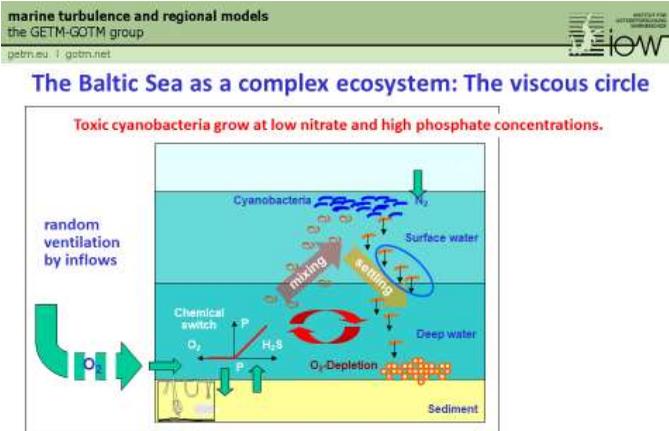


**Baltic Sea
suboxic and
anoxic areas
after major inflow**



The Baltic Sea as example of an anthropo-genically impacted marginal sea: Can fundamental research help rescuing it?





The Baltic Sea as example of an anthropo-genically impacted marginal sea: Can fundamental research help rescuing it?



marine turbulence and regional models
the GETM-GOTM group
getm.eu | gotm.net



What can be done?

Waiting for decades until nutrient discharge reductions have an effect?

marine turbulence and regional models
the GETM-GOTM group

getm.eu | gotm.net



The BOX-project in the By Fjord, Sweden



Pump arrangement used in the By Fjord



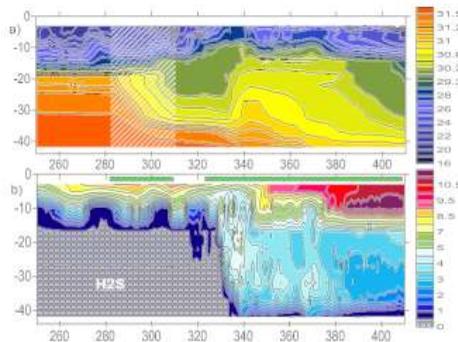
Stigebrandt et al. (2014)

marine turbulence and regional models
the GETM-GOTM group

getm.eu | gotm.net

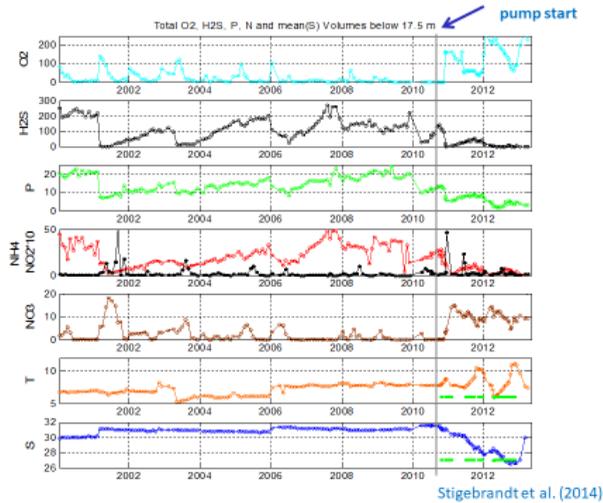


Impact of pumping starting on day 282 (in 2010)



Stigebrandt et al. (2014)

The Baltic Sea as example of an anthropo-genically impacted marginal sea: Can fundamental research help rescuing it?



marine turbulence and regional models
the GETM-GOTM group
getm.eu | gotm.net



Conclusion for the local scale experiment

Bottom oxygen concentrations are reduced.

Phosphate release is decreased.

But

High phosphate loads remain in sediment.

Stratification is weakened.

marine turbulence and regional models
the GETM-GOTM group
getm.eu | gotm.net

Application of the pumping method to the Baltic Sea

Revitalizing Circulation

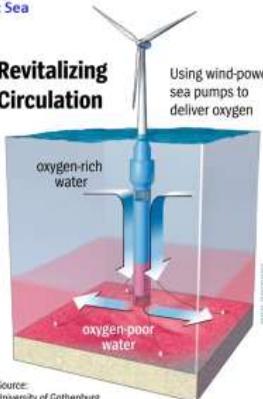
Using wind-powered sea pumps to deliver oxygen

Prof. Anders Stigebrandt
(University of Gothenburg):

“The total cost to oxygenate the whole Baltic Proper during 10 years should be less than 40 000 MSEK (about 4 Billion Euro).”

So, it would be doable.

But what would the ecological side effects be?



Source:
University of Gothenburg

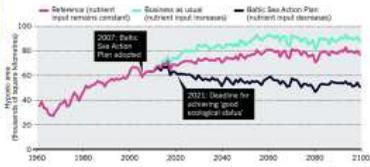


Save the Baltic Sea

Geoengineering efforts to bring oxygen into the deep Baltic should be abandoned, says Daniel J. Conley.

Prof. Dan Conley
(University of Lund):

A better, more cost-effective solution is to attack the root of the problem: excess nutrients.



Conley (2012)

The Baltic Sea as example of an anthropo-genically impacted marginal sea: Can fundamental research help rescuing it?

marine turbulence and regional models
the GETM-GOTM group
getm.eu | gotm.net



Conclusions

Industrialisation of nature causes environmental problems.

Geoengineering might reduce the symptoms but not heal the environment.

Really solving the problems might require a lot of persistence and patience.



EL METAL DURO: HISTORIA, PROPIEDADES Y APLICACIONES

Nuria Cinca I Luis, Hyperion Materials and Technologies

HYPERION MATERIALS & TECHNOLOGIES A PROUD HERITAGE, A BRIGHT FUTURE



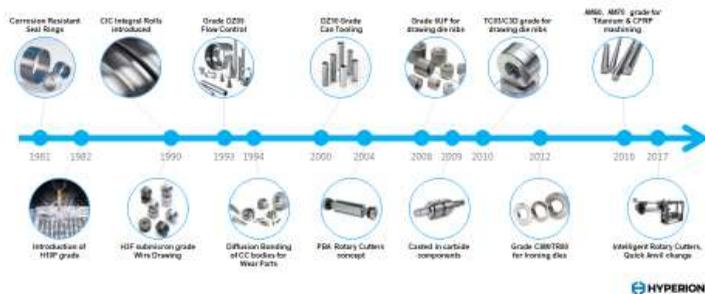
HYPERION MATERIALS & TECHNOLOGIES

DIAMOND INNOVATION HISTORY (1950 - PRESENT)



HYPERION MATERIALS & TECHNOLOGIES

CARBIDE INNOVATION HISTORY (1950 - PRESENT)



GLOBAL PRESENCE



>400
MUSD IN REVENUES

1,600+
EMPLOYEES

50,000+
PRODUCTS IN OUR
VERTICALLY INTEGRATED
SUPPLY CHAIN



RESEARCH & DEVELOPMENT



- Leading the development of carbide, diamond and CBN materials
- Responsive to market changes, customer needs and trends
- Rapid development of products & solutions
- Material testing and analytic capabilities to support customers
- Application engineers and deep know-how to support customer / end-users globally

65

ENGINEERS-TECHNICIANS

3%

R&D SPEND

1050

ACTIVE PATENTS



HYPERION MATERIALS & TECHNOLOGIES

TOOL MAKER COMPONENTS				ENGINEERED PRODUCTS	PROCESS TOOLS & SOLUTIONS		
							
ROTARY TOOL BLANKS: For PCD and PCBN General Mach	PCD / PCBN: Endmills and cutters for metals, non-metals tools	HOBBY BLANKS: Low-ISO grades blanks for grinding, dressing, & polishing	GEAR & HOB BLANKS: For gear manufacturing	GEAR PARTS: For industrial use	SLURRIES: For tapping and polishing	CAN TOOLING: For blanking and form stamping	
							
FDC CUTTERS: For air & gas metalworking applications	BUTTOMS: For turning, air & gas metalworking tools	SAB TIPS: For turning, hole-drill andreaming	WIRE DIES: Cutting and drawing wire for wire drawing	ADHESIVES: General & CBN adhesives for grinding wheels, cutting tools	SUB-ASSEMBLIES: For turning, air & gas metalworking	HOT ROLLS: For steel production	
BASE MATERIALS			DIAMOND & CBN FEEDSTOCK: Fine diamonds & CBN powder for making TCTD & PCD products			READY-TO-PRESS POWDER: For tools & components	
							

LA IMPORTANCIA DEL METAL DURO

- Uno de los materiales compuestos de más éxito jamás descubiertos
- Válido para una gran cantidad de aplicaciones



La tenacidad y resistencia de los aceros rápidos

La dureza del diamante

La resistencia térmica de los cerámicos



FACILIDAD EN LA MANUFACTURA



HISTORIA DEL METAL DURO (WC-CO)

1781 Karl Wilhelm Scheel aislara el óxido de tungsteno (VI), de un mineral sueco que era llamado "tungsteno" (piedra pesada) debido a su peso.

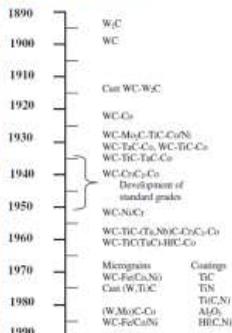
1783 Juan José y Fausto De Elhuyar lo aislaron a partir de la wolframita y lo denominaron wolframio.



Wolf Rahm

Kobalido: duende de la mitología germana. En la Edad Media fue el término utilizado por los mineros de Sajonia para describir a un mineral de cobalto.





Prof. Dr. Franz Skappay



Wida = "wie diamant" (como diamante)



HYPERION

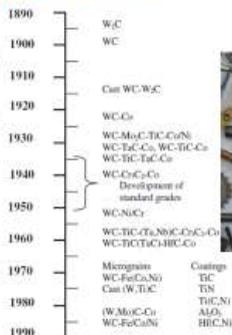
HISTORIA DEL METAL DURO (WC-CO)

Términos:

cemented carbide (USA) / hardmetal (Europe): WC-based hard material

cermet:

- ✓ particulate composite consisting of ceramic particles bonded with a metal matrix. (R.M. German, 2005)
- ✓ sintered hardmetals based on TiC, Ti(C,N) but with the exclusion of WC-Co hardmetals. (Kolaska and Etmayer, 2013)
- ✓ TiCbased hardmetals, to specify the ceramic character (lower electrical conductivity) of TiC in comparison with WC.



Wida = "wie diamant" (como diamante)

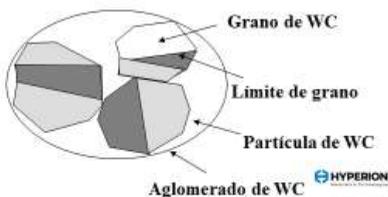


HYPERION

¿QUÉ ES EL METAL DURO?

Hardmetal = Ceramic + Metal

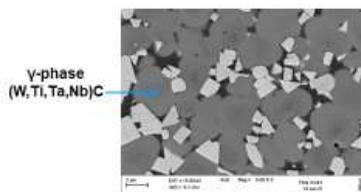
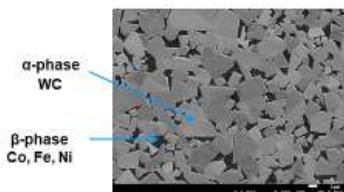
WC + (TiC, TaC, NbC, VC, Cr₃C₂...) + **Co, Ni, Fe...**
>50wt% 0-35% 3-30%



¿QUÉ ES EL METAL DURO?

Hardmetal = Ceramic + Metal

WC + (TiC, TaC, NbC, VC, Cr₃C₂...) + **Co, Ni, Fe...**
>50wt% 0-35% 3-30%



INDÚSTRIA DEL METAL DURO

RETOS

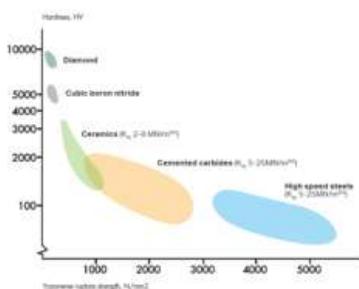
- La materia prima es limitada y finita
- Hacemos herramientas de material reciclado:
 - Consumo de energía 70% inferior
 - Emisiones de CO₂ 40% inferiores
 - Fuente segura de un material escaso



13

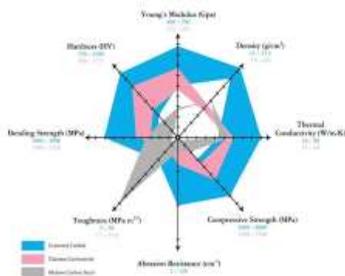


COMPRENDIENDO EL METAL DURO



14

<http://www.allaboutcementedcarbide.com/>



COMPRENDIENDO EL METAL DURO

El metal duro se agrupa en diferentes grados:

- WC-Co
- Grados mixtos (gamma-phase)
- Resistentes a la corrosión
- Grados cermet: Ti(C,N) y Ti,Mo(C,N)-based

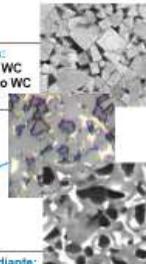
Los grados en cada grupo se clasifican según:

- Dureza
- Tamaño de grano
- Contenido ligante
- Composición ligante



Su rendimiento se optimiza a través:

- Morfología de tamaño de grano WC
- Distribución de tamaño de grano WC
- Aleación ligante



Su calidad se optimiza mediante:

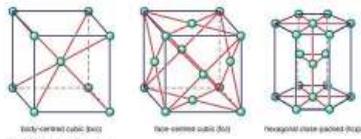
- Estabilidad del proceso
- Control de defectos
- Homogeneidad estructural

11

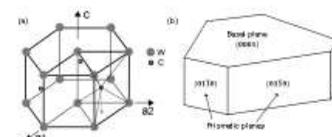
HYPERION

COMPRENDIENDO EL METAL DURO

ESTRUCTURA CRISTALINA



- WC (fase α) tiene una estructura cristalina hexagonal (HCP)
- El Co tiene estructura HCP hasta 427°C y FCC a temperaturas superiores
- El ligante normalmente tiene también estructura FCC a temperatura ambiente

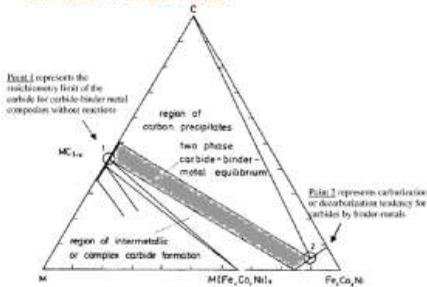


(a) Celda HCP (WC) y (b) grano de WC con crecimiento preferente a lo largo de los planos prismáticos

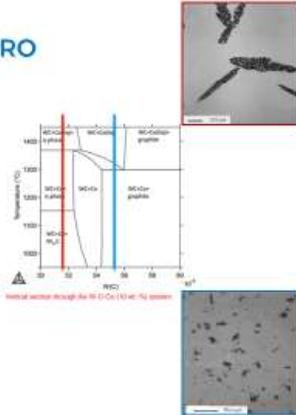
HYPERION

COMPRENDIENDO EL METAL DURO

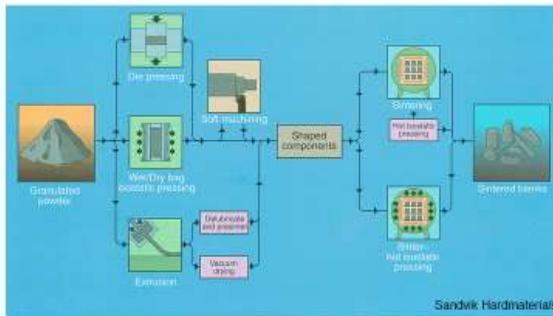
DIAGRAMAS DE FASE



C.M. Fernandes, A.M.R. Senos, etc. *Journal of Abrasive Micro and Hard Materials* 29 (2015) 405–419



PROCESADO DEL METAL DURO

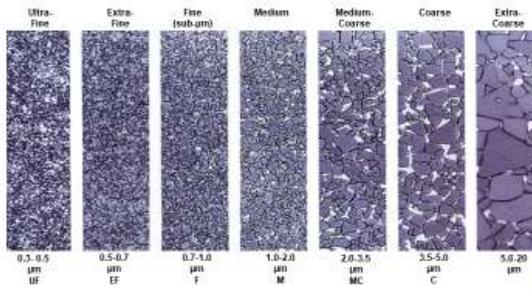


Sandvik HardMaterials

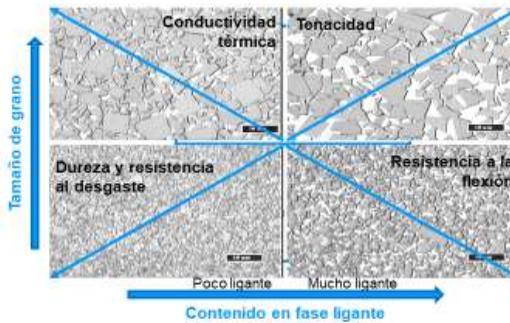


MICROESTRUCTURA DEL METAL DURO

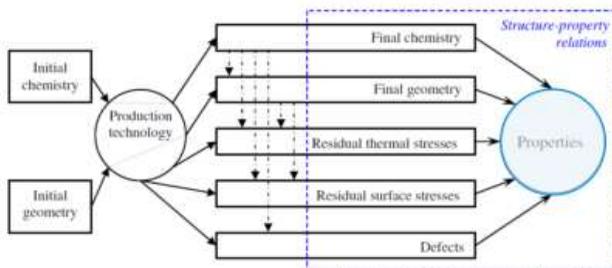
CLASIFICACIÓN SEGÚN TAMAÑO DE GRANO (WC)



RELACIÓN ESTRUCTURA-PROPIEDADES



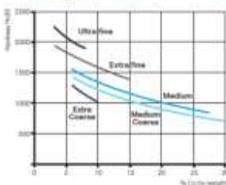
RELACIÓN ESTRUCTURA-PROPIEDADES



DUREZA Y TENACIDAD

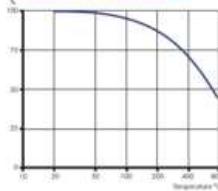
HARDNESS

Hardness as a function of the Equivalent for various WC grain sizes



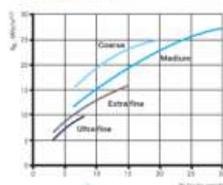
RELATIVE HARDNESS

Relative hardness at different temperatures

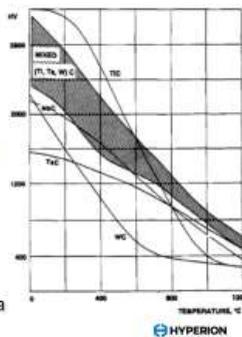
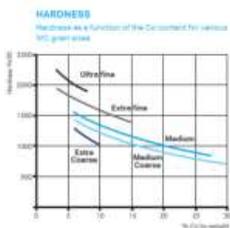


FRACTURE TOUGHNESS

Fracture toughness as a function of the Co content for different WC grain sizes



DUREZA A ALTA TEMPERATURA



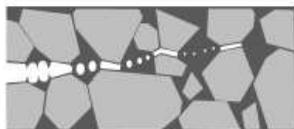
- Los carburos cúbicos:
- Disminuyen la conductividad térmica
 - Disminuyen la resistencia a flexión

22

HYPERION

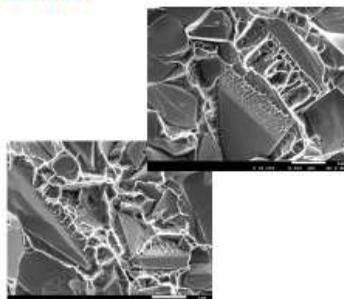
TRANSVERSE RUPTURE STRENGTH

Toughening mechanisms



(L. S. Sigland & H. F. Fischmeister, 1988)

23



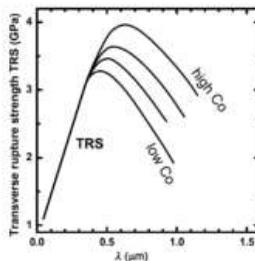
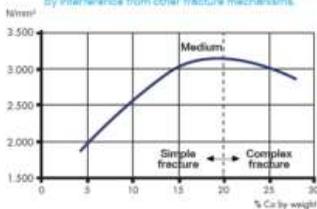
(M. J. Taniguchi, Damage tolerance of cemented carbides under service-like conditions, PhD thesis, 2016)

HYPERION

TRANSVERSE RUPTURE STRENGTH

TRANSVERSE RUPTURE STRENGTH

Transverse rupture strength as a function of Co content. Above 20% Co, the relationship is disturbed by interference from other fracture mechanisms.



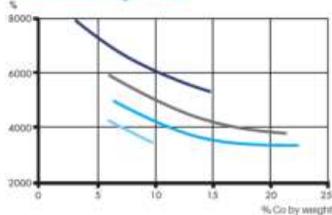
35



RESISTENCIA A COMPRESIÓN

COMPRESSIVE STRENGTH

Compressive strength as a function of the Co content for different WC grain sizes.

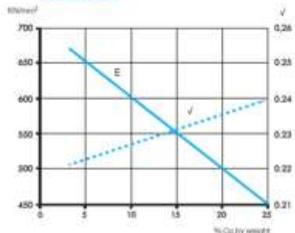


36

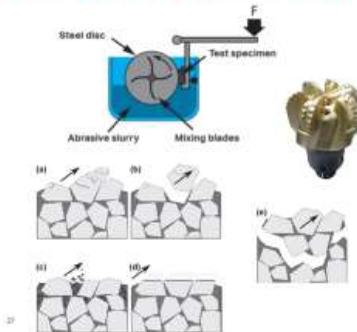
PROPIEDADES ELÁSTICAS

YOUNG'S MODULUS AND POISSON'S RATIO

Young's modulus and Poisson's ratio as a function of the Co content.



RESISTENCIA AL DESGASTE



WEAR RESISTANCE

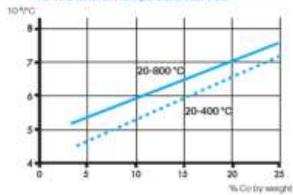
Wear resistance as a function of hardness (ASTM B611-B6)



PROPIEDADES TÉRMICAS

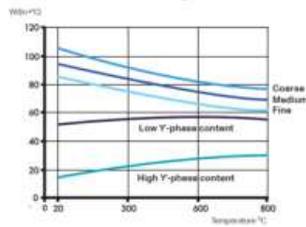
LINEAR EXPANSION COEFFICIENT

Thermal expansion as a function of the Co content for two different temperature intervals.

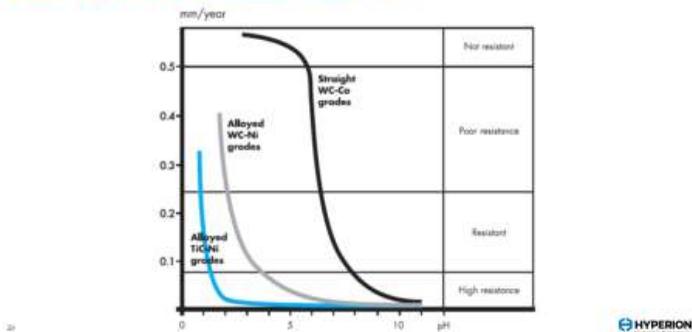


THERMAL CONDUCTIVITY

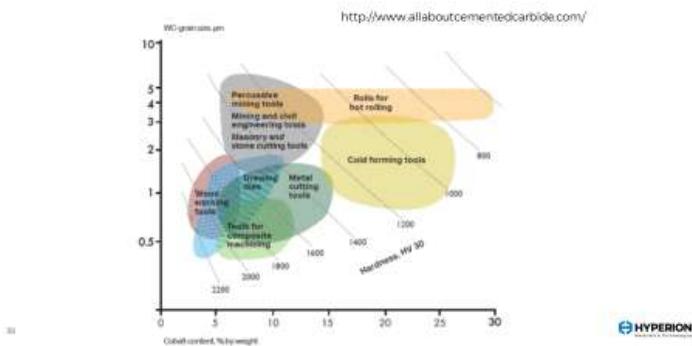
Thermal conductivity as a function of temperature, different microstructures and WC grain sizes



RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

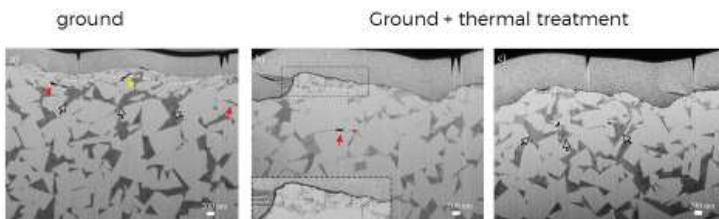


RELACIÓN ESTRUCTURA-PROPIEDADES-APLICACIONES



INFLUENCIA DEL ESTADO SUPERFICIAL

TENSIONES RESIDUALES



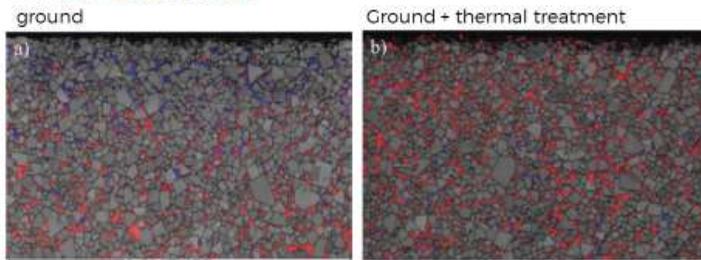
Yang J., *Procedia CIRP* 45, 2016

32



INFLUENCIA DEL ESTADO SUPERFICIAL

TENSIONES RESIDUALES

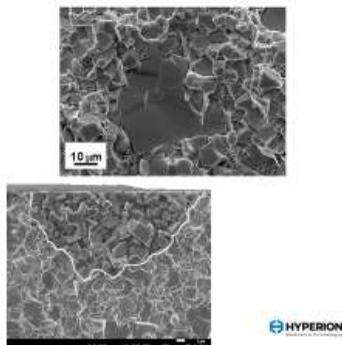


Yang J., *Procedia CIRP* 45, 2016

32



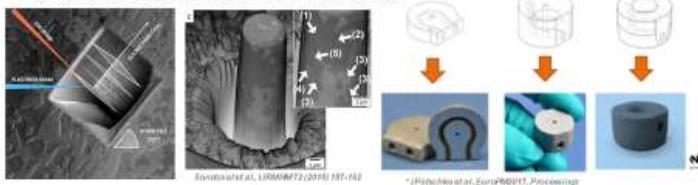
IDENTIFICANDO AL "ENEMIGO"



INNOVANDO EN METAL DURO

Algunas de las áreas de interés en I+D pasan por:

- Técnicas de caracterización avanzadas (ED) a fin de estudiar y analizar cuestiones como la corrosión.
- Tolerancia al daño (fiabilidad): planteando cómo responde el material, su fiabilidad, tras un tiempo T determinado.
- Efecto 'tamaño' en herramientas y componentes, en relación a hasta qué punto los resultados del test de material se mantienen a otros tamaños. El objetivo es saber si estos resultados son extrapolables a herramientas mayores o componentes más pequeños.
- Integridad superficial-mecanizado/EDM/rectificado: se plantean cómo afectan determinados trabajos a la superficie del material.
- Nuevas técnicas de procesado como la manufactura aditiva



POLÍTICA CIENTÍFICA: DE RAMÓN Y CAJAL A NUESTROS DÍAS

Luis A. Oro, Universidad de Zaragoza

Deseo expresar mi agradecimiento a la Asociación Alexander von Humboldt de España por su invitación a presentar una ponencia en este XXVII Encuentro. He seleccionado el tema POLÍTICA CIENTÍFICA que, aunque alejado de mi actividad principal como investigador en el área de química, siempre me ha interesado y al que he dedicado una parte de mis actividades profesionales. Por otra parte, se trata de un tema que tiene connotaciones de interés general y que fue introducido en nuestra cultura por Santiago Ramón y Cajal, el científico más universal que ha dado la ciencia española. Muchas de sus ideas continúan siendo vigentes y, por esta razón, me he permitido dedicar una especial atención, en la primera parte de esta presentación, a la importancia de su contribución.

EL DEBER INEXCUSABLE DE UNA POLÍTICA CIENTÍFICA

La expresión «política científica» aparece escrita por primera vez en nuestro idioma en la tercera edición de la obra de reflexiones titulada Reglas y consejos sobre investigación biológica, consecuencia del discurso de Santiago Ramón y Cajal que con el título original de Fundamentos racionales y condiciones técnicas de la investigación biológica fue leído con ocasión de su recepción en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España el 5 de diciembre de 1897. Según Marañón, Cajal fue elegido miembro de la Real Academia de Ciencias sin el voto de los académicos médicos. Su discurso suscitó un enorme interés. Escrito para brindar a los jóvenes reglas y consejos en su orientación profesional hacia su trabajo de investigación en el laboratorio, también contiene reflexiones sobre el papel del científico en la sociedad, el del Estado en el fomento de su formación y trabajo, la situación en España de las investigaciones científicas, las raíces del atraso científico y sus posibles soluciones. Su segunda edición, que incorpora ya como subtítulo Los tónicos de la voluntad, que se mantendrá en futuras ediciones, fue publicada en 1899. La costeó generosamente el médico cubano Enrique Lluria con la intención de regalarlo a los estudiantes y a los aficionados a las tareas de laboratorio. No es de extrañar que se agotara rápidamente. En 1913 se publicó la tercera edición, manteniendo el título, pero incluyendo algunos capítulos nuevos, entre ellos uno final donde se señala “la obra que las instituciones docentes españolas, y singularmente la Junta de

Pensiones y Ampliación de Estudios en el Extranjero, están llamadas a realizar para que en el más breve plazo posible nuestra Patria colabore, en la medida de sus fuerzas mentales y de sus recursos financieros, en la empresa de la cultura y civilización universales” (1). Es en esta tercera edición donde, en su capítulo X, se hace referencia a los deberes del Estado en relación con la producción científica introduciendo, por primera vez el concepto de política científica: “La posteridad duradera de las naciones es obra de la ciencia y de sus múltiples aplicaciones al fomento de la vida y de los intereses materiales. De esta indiscutible verdad síguese la obligación inexcusable del Estado de estimular y promover la cultura, desarrollando una *política científica*, encaminada a generalizar la instrucción y a beneficiar en provecho común todos los talentos útiles y fecundos brotados en el seno de la raza” (2).

A partir de la sexta edición en 1920, el título pasa a ser Reglas y consejos sobre investigación Científica. Los Tónicos de la Voluntad, pero en las ediciones posteriores a 1941, con frecuencia, se viene publicando invirtiendo el orden del título pasando a ser Los Tónicos de la Voluntad. Reglas y consejos sobre investigación Científica, o simplemente Los Tónicos de la Voluntad. Dicha obra ha sido traducida a varios idiomas. En particular, la traducción al inglés realizada por la prestigiosa editorial del MIT en 1999, se tituló Advice for a young investigator.

Cajal no fue únicamente un excelente investigador sino también nuestro primer político científico. Él fue pionero

en señalar la importancia social de los científicos en España y en la mencionada segunda edición alude a sus “conversaciones con sabios ilustres” señalando con cierto optimismo que “hoy, el investigador en España no es el solitario de antaño.”

LA EXCEPCIÓN DE SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL

En un clima poco favorable para la ciencia como el que existía a finales del siglo XIX surge la figura excepcional de Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), que recibió el premio Nobel en 1906 por sus aportaciones fundamentales al desarrollo de la teoría neuronal. Estudió Medicina en Zaragoza. Una vez acabados sus estudios en 1873, se incorpora como médico de Sanidad Militar lo que le llevaría a formar parte del ejército expedicionario de Cuba. A su regreso a Zaragoza, en 1875, su tenacísimo padre, médico rural en el pre-Pirineo oscense, había conseguido ya imbuir en él el propósito de seguir una carrera académica, que inicia como ayudante de Anatomía, y poco más tarde, en 1877, como profesor auxiliar interino. Ese mismo año se examina en Madrid de las asignaturas del doctorado en Medicina, una de ellas la Histología, y seducido por la contemplación de las preparaciones micrográficas que le muestra el catedrático de la asignatura, Maestre de San Juan, decide consagrarse a la investigación histológica. Tras dos intentos fallidos, en 1883, logra por unanimidad la cátedra de Anatomía de la Universidad de Valencia. Desde entonces hasta su muerte, en 1934, la vida de Cajal será la de un dedicado profesor universitario que

mediante su excepcional obra de investigador alcanza las más altas cimas del prestigio científico, incluyendo la concesión del premio Nobel en 1906 que compartió con su rival en la constitución del sistema nervioso el italiano Camilo Golgi. En Valencia pasará tres años, desde 1884 hasta 1887, año en que se traslada a Barcelona como catedrático de Histología normal y patológica. En 1892, tras brillante y larga oposición, ocupó en Madrid la vacante de esa misma asignatura causada por la muerte de Maestre de San Juan. Sus investigaciones sobre el sistema neurológico quedaron sistematizadas en su monumental obra *Textura del Sistema Nervioso del Hombre y los Vertebrados* publicada entre 1897 y 1904. La vida de Cajal en Madrid tendrá hasta su muerte una dedicación a la investigación histológica, creando una excepcional escuela de investigadores entre los que se encontraron Achúcarro, Tello, Del Río Hortega, Domingo Sánchez, Rodríguez-Lafora, Lorente de No, Federico de Castro y su hermano Pedro Ramón y Cajal.

La situación de la investigación científica española, cuando Ramón y Cajal se doctora, se caracterizaba por una gran precariedad en la mayoría de las áreas, aunque la medicina mantenía un digno nivel. Sánchez Ron, con buen criterio, achaca dicha excepción a que ningún país puede prescindir de esta por ser necesaria la atención a la salud pública (3). Así, Cajal pudo tener acceso en Madrid a dos buenos mentores en el campo de la histología, Maestre de San Juan, que había completado su formación en varios centros europeos y que le introdujo en las técnicas de análisis microscópico, y Luis Simarro que había trabajado en París en neurología y en

técnicas de micrografía y que le introdujo en las técnicas de tinción que serían fundamentales en sus estudios de la estructura neuronal del sistema nervioso.

Cajal además de un científico excepcional era también un gran patriota. Por ello, la derrota española en la guerra de Cuba le afectó profundamente y, en ese clima pesimista, escribió un desgarrador post scriptum a su obra Reglas y consejos sobre investigación biológica, inserto únicamente en la edición de 1899, publicada por la imprenta Fortanet, en el que manifestaba:

“Bien ajenos estábamos al publicar las páginas precedentes, donde nos lamentamos de nuestro desdén por la ciencia, que habíamos de recoger muy pronto el fruto de nuestra incultura. Una nación rica y poderosa, gracias a su ciencia y laboriosidad, nos ha rendido casi sin combatir. En tan desigual batalla, librada entre el sentimiento y la realidad, entre un pueblo dormido sobre las rutinas del pasado, y otro enérgico, despierto y conocedor de todos los recursos del presente, el resultado estaba previsto; pero es preciso confesar que nuestra ignorancia, aún más que nuestra pobreza, ha causado el desastre, en el cual no hemos logrado ni el triste consuelo de vender caras nuestras vidas. Una vez más la ciencia creadora de riqueza y de fuerza se ha vengado de los que la desconocen y menosprecian” (4). Estaba, pues, naciendo el Cajal político científico, actividad que fue capaz de simultanear con sus excepcionales contribuciones científicas. Por estas últimas recibió numerosas distinciones, entre ellas, la Cronian Lecture de la Royal Society de Londres, que

llevaba asociada el nombramiento de doctor honoris causa por la Universidad de Cambridge (1884), el Premio Internacional de Moscú (1900), la Medalla Helmholtz (1905), y el Premio Nobel de Medicina y Fisiología (1906). Fue precisamente, en 1906, al regresar Cajal de Estocolmo, cuando recibió la oferta de Segismundo Moret de la cartera del Ministerio de Instrucción Pública, que finalmente no aceptó. Cajal refleja este episodio en sus Recuerdos de mi vida y cuenta cómo a Moret le sugirió: “reformas encaminadas a desperezar la Universidad española de su secular letargo: la contrata, por varios años, de eminentes investigadores extranjeros; el pensionado, en los grandes focos científicos de Europa, de lo más lucido de nuestra juventud intelectual, al objeto de formar el vivero del futuro magisterio; la creación de grandes Colegios, adscritos a Institutos y Universidades, con decoroso internado, juegos higiénicos, celosos instructores y demás excelencias de los similares establecimientos ingleses; la fundación, en pequeño y por vía de ensayo, de una especie de *Colegio de Francia*, o centro de alta investigación, donde trabajara holgadamente lo más eminente de nuestro profesorado y lo más aventajado de los pensionados regresados del extranjero; la creación de premios pecuniarios en favor de los catedráticos celosos de la enseñanza o autores de importantes descubrimientos científicos, a fin de contrarrestar los efectos sedantes y desalentadores del escalafón, etcétera” (5).

Algunos años más tarde, en el mencionado capítulo X de la tercera edición de Reglas y consejos sobre

investigación biológica, en el que introduce por primera vez el concepto de política científica escribe: "La política científica implica el empleo simultáneo de estos cuatro modos de acción:

1.º Elevar el nivel intelectual de la masa para formar ambiente moral susceptible de comprender, estimular y galardonar al sabio.

2.º Proporcionar a las clases sociales más humildes ocasión de recibir en liceos, institutos o centros de enseñanza popular, instrucción general suficiente a fin de que el joven reconozca su vocación y sean aprovechadas, en bien de la nación, todas las elevadas aptitudes intelectuales.

3.º Transformar la Universidad, hasta hoy casi exclusivamente consagrada a la colación de títulos y a la enseñanza profesional, en un Centro de impulsión intelectual, al modo de Alemania, donde la Universidad representa el órgano principal de la producción filosófica, científica e industrial.

4.º En fin, formar y cultivar, mediante el pensionado en el extranjero o por otros métodos de selección y contagio natural, un plantel de profesores eméritos, capacitados para descubrir nuevas verdades y para transmitir a la juventud el gusto y la pasión por la investigación original" (2).

Muchas de las reformas propuestas se verían realizadas en la Junta para Ampliación de Estudios e

Investigaciones Científicas, institución que promovió y de la que fue presidente desde su creación.

LA JUNTA PARA AMPLIACIÓN DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS: LA EDAD DE PLATA DE LA CIENCIA ESPAÑOLA

La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas se creó por Real Decreto de Amalio Gimeno, ministro de Instrucción pública, el 11 de enero de 1907. El ministro Gimeno era médico y catedrático de Patología en Madrid, y también buen amigo de Cajal con quien coincidió en la facultad de Medicina de Valencia. El Real Decreto firmado por Alfonso XIII se publica en la Gaceta el 15 de enero de 1907, junto a los nombres de los vocales que parecen ordenados según una jerarquía intelectual establecida por el ministro (6). Los dos primeros nombres son los dos premios Nobel, Santiago Ramón y Cajal y José Echegaray, seguidos de Marcelino Menéndez Pelayo, Joaquín Sorolla, Joaquín Costa, hasta un total de veintiuno, relación en la que eran mayoritarios los catedráticos de Universidad.

La Junta para Ampliación de Estudios estuvo muy influenciada por la Institución Libre de Enseñanza pero, en general, la historiografía sobredimensiona dicha asociación. Parece razonable la tesis de nuestro colega de la Universidad de Zaragoza, Serrano Sanz (6), que sostiene la convivencia de dos programas complementarios con el objetivo común de mejorar la sociedad española mediante la educación y la creación

científica. El programa institucionista de Giner de los Ríos ponía su énfasis en la formación de educadores y en una mejora secuencial de la educación desde la enseñanza primaria a la enseñanza universitaria, mejora que sin duda llevaría su tiempo. Cajal consideraba a Giner de los Ríos un gran pedagogo, pero su programa se centraba más en la rápida generación de ciencia original con alto nivel de excelencia. Precisamente estas dos aproximaciones se fusionaron con gran éxito en la Junta para Ampliación de Estudios.

En la exposición del preámbulo de creación de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, el ministro Gimeno señala algunas de las claves del espíritu de la Junta y escribe textualmente: “El problema de la formación del personal docente, íntimamente enlazado con el del fomento de los estudios científicos, lo han resuelto otros países acudiendo a un remedio que, aun sin estar, como está ya, probado y reconocido, parecería siempre eficaz.

Francia e Italia han enviado la juventud y el profesorado de sus universidades a los seminarios de las alemanas, y de ellos ha salido también lo más distinguido del profesorado ruso; el Japón ha educado en Europa y en América una serie de generaciones, y no permite que sus profesores ocupen las cátedras sin haber estado antes algunos años en el extranjero; Alemania, los Estados Unidos e Inglaterra mantienen entre sí una comunicación cada día más viva y realizan en gran escala el cambio mutuo de estudiantes y maestros, y

Chile ha conseguido por el mismo procedimiento su actual supremacía en la cultura de la América latina.

El pueblo que se aísla, se estaciona y se descompone. Por eso, todos los países civilizados toman parte en ese movimiento de relación científica internacional, incluyendo en el número de los que en ella han entrado, no solo los pequeños Estados europeos, sino las naciones que parecen apartadas de la vida moderna, como China, y aun la misma Turquía, cuya colonia de estudiantes en Alemania es cuatro veces mayor que la española, antepenúltima entre todas las europeas, ya que son solo inferiores a ella en número las de Portugal y Montenegro". (7)

La preocupación por la formación del personal docente que se refleja en esta exposición está sin duda influenciada por la filosofía institucionalista, relacionada con el liberalismo político krausista. Es necesario ir al articulado del Decreto para que se ponga de manifiesto el ambicioso programa científico del que Cajal era el máximo impulsor y que se tradujo en un notable fomento de las estancias en el extranjero de científicos españoles, así como en la creación de instituciones científicas que permitieron dar continuidad a los conocimientos adquiridos en el extranjero por los pensionados. Cajal fue el primer presidente de la Junta, hasta su muerte, en 1934, y José Castillejo, persona muy vinculada a Giner de los Ríos, fue secretario. Castillejo, catedrático de Derecho Romano, fue un eficaz secretario y un personaje clave en las realizaciones de la Junta. Fue también el artífice de la creación de la Residencia de

Estudiantes, y en 1932, fue nombrado director administrativo de la Fundación Nacional para Investigaciones Científicas y Ensayos de Reforma, que tenía como objetivo conectar la investigación con la empresa.

Serrano Sanz describe la positiva simbiosis de programas del modo siguiente: “El programa institucionista aportó el valor de un organismo técnico a salvo de las veleidades de la política, el interés por la renovación pedagógica y la enseñanza en los primeros niveles, así como a José Castillejo. El programa científico puso énfasis en la investigación de relevancia internacional, que abrió una fecunda era a la ciencia española, y a Santiago Ramón y Cajal, quien representó una garantía inmejorable para la estabilidad del organismo. Los políticos tradujeron su compromiso en el mantenimiento de la Junta y unas dotaciones presupuestarias claramente por encima de la financiación del resto de la enseñanza y la investigación. La junta para la Ampliación de Estudios e Investigaciones fue el feliz resultado de ese encuentro ejemplar” (6).

El Real Decreto fundacional otorgaba a la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas una estructura dotada de notable flexibilidad y autonomía; desempeñaría funciones técnicas que constituían una novedad organizativa dentro del Ministerio de Instrucción Pública y, por otra parte, debía tener una prudente autonomía en la aplicación de los fondos presupuestarios. Se trataba de crear un

organismo encargado a la vez de realizar una misión apolítica, técnica y permanente, armonizando la independencia y sustantividad de sus funciones técnicas con las facultades y la responsabilidad ministerial en lo referente a la aplicación de dichos fondos (8). La Junta tenía a su cargo el servicio de ampliación de estudios dentro y fuera de España, las delegaciones en congresos científicos, el servicio de información extranjera y relaciones internacionales en materia de enseñanza, el fomento de los trabajos de investigación científica y la protección de las instituciones educativas.

El prestigio y personalidad de Cajal y la diligencia y eficacia de Castillejo hicieron posible la continuidad de la Junta con una elevada autonomía, que le permitió sobrevivir a las cambiantes coyunturas políticas. Junto a ello, la preeminencia intelectual y la heterogeneidad de sus vocales, entre los que se encontraban “profesores y científicos eminentes, representando las diferentes ramas del conocimiento y todos los matices de la opinión pública, desde absolutistas (carlistas) y católicos hasta republicanos extremos y ateos” (9), permitieron su continuidad no exenta de sobresaltos. Castillejo cuenta en su obra *Guerra de Ideas en España*, publicada originalmente en inglés: “La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas era una idea no fácilmente digerible por los políticos españoles. Los ministros sostienen que es de su exclusiva autoridad y responsabilidad la administración de los fondos públicos y la contratación de las personas que deben ser pagadas. Es difícil convencerles de la diferencia que existe entre

otorgar una beca para investigación científica y el nombramiento de un jefe de policía" (9).

Los gobiernos liberales presididos por José Canalejas entre 1910-1912 fueron especialmente favorables, y en ese período se crearon las principales instituciones asociadas a la Junta, vertebradas en torno al Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales y el Centro de Estudios Históricos, creados en 1910 y presididos, respectivamente, por Santiago Ramón y Cajal y Ramón Menéndez Pidal, actuando como secretarios Blas Cabrera y Tomás Navarro. En particular, el Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales, estaba constituido por los siguientes centros: el Museo Nacional de Ciencias Naturales, dirigido por Ignacio Bolívar, quien fue presidente de la Junta a la muerte de Cajal, el Museo de Antropología, con Manuel Antón como director, el Jardín Botánico, dirigido por Apolinar Gredilla, el Laboratorio de Investigaciones Biológicas, dirigido por Cajal, que en 1920 se convertiría en el Instituto Cajal, el Laboratorio de Investigaciones Físicas, dirigido por Blas Cabrera y la Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas, dirigida por el marqués de Cerralbo. Además, existían laboratorios de investigación en la Residencia de Estudiantes: Química Fisiológica (Madinaveitia, Sacristán), Anatomía Microscópica (Calandre); Fisiología General (Negrín), Histopatología del Sistema Nervioso (del Río Hortega) y Serología y Bacteriología (Suárez).

En el primer tercio del siglo XX, gracias a la labor de la Junta, se alcanzó un elevado nivel de investigación en el

área de biomedicina. Comparativamente, las investigaciones en el campo de las ciencias físico-químicas eran inicialmente más modestas. Sin embargo, la creación del Instituto de Física y Química, gracias a una donación de la Fundación Rockefeller e impulsado por los físicos Blas Cabrera, Miguel Catalán y Julio Palacios, iba a dar lugar a un gran empuje y reconocimiento internacional a las investigaciones en áreas como el magnetismo, la espectroscopía, la química física y la química orgánica. Resulta significativo señalar que hasta el año 1936, el 75% de las publicaciones en las áreas de Física y Química que se publicaron en España fueron obra de los investigadores de estos centros. La mayoría de los investigadores de la Junta eran profesores universitarios, pero en palabras de Castillejo “los centros de investigación necesitan una libertad que es incompatible con las restricciones académicas y administrativas. La Junta ha seguido la misma estrategia que el Colegio de Francia en el Renacimiento, las Academias en el siglo XVIII, y las Escuelas de Altos Estudios en el XIX: es decir realizar los estudios fuera de la Universidad como el mejor medio de realizar su reforma” (9).

Tal como proponía Cajal, la Junta fue especialmente activa en la concesión de pensiones para ampliar estudios en otros países. Se hacía una convocatoria pública anual en la que se indicaban los requisitos exigidos a los candidatos, que debían razonar los estudios que querían realizar, los lugares que deseaban visitar y hasta la cuantía que consideraban necesaria. La Junta decidía luego las concesiones, valorando el interés

de las solicitudes mediante la petición de informes a prestigiosos especialistas. Los beneficiarios, a su regreso, debían presentar un trabajo sobre lo realizado y colaborar en diversas actividades para que la ampliación de estudios fuera de España revertiera directamente en la investigación y la enseñanza. A lo largo de los más de treinta años de su existencia, se recibieron en torno a 9.000 solicitudes de pensiones, aunque el número de las concedidas fue naturalmente menor: unas 2.000 personas, siendo Francia y Alemania, los países más demandados. La relación de quienes disfrutaron las pensiones muestra la apertura de criterios de la Junta, ya que los hay de todos los talentos e ideologías. A modo de ejemplo, en las áreas de Medicina y Ciencias fueron pensionados Albareda, Cabrera, Calandre, Hernández Pacheco, Jiménez Díaz, Laín Entralgo, Lora Tamayo, Moles, Julio Palacios, Rey Pastor, Rof Carballo, o jóvenes científicos como Grande Covián, Lorente de No, Severo Ochoa o Santaló, que fueron destacados exponentes científicos de aquellos años y que habrían de serlo con posterioridad (10).

Como consecuencia de la labor de la Junta, en los años treinta se había creado un entramado de instituciones, laboratorios con científicos bien formados, que parecen demostrar que la tesis sobre la incapacidad del español en la ciencia que mantenían algunos para justificar el atraso de la ciencia española, era totalmente injustificada. Un buen ejemplo fue el Instituto de Física y Química que, dirigido por Blas Cabrera, realizó importantes aportaciones que tuvieron gran repercusión, y que llamaron la atención de la Fundación Rockefeller,

de modo que Charles Mendelhall, en 1926, escribía: “encontré [allí] un pequeño grupo de entusiastas [...]. No conozco institución alguna en Estados Unidos en la que se estén realizando tareas comparables en locales tan primitivos”. La Fundación Rockefeller costó la construcción de un nuevo edificio para el Instituto de Física y Química, que fue inaugurado en 1932, y fue conocido popularmente como el Rockefeller. Hoy día, es la sede del Instituto de Química Física Rocasolano. En 1932, el Instituto había publicado más de 230 trabajos, y puede decirse que todos los centros y laboratorios creados por la Junta tuvieron una probada fecundidad científica de calidad (11).

Sin duda, la Junta para Ampliación de Estudios produjo una profunda revitalización del horizonte intelectual y científico español y nuevamente todo parecía indicar que España estaba preparada para su incorporación definitiva a la ciencia de vanguardia. Lamentablemente la Guerra Civil abortó la llamada “edad de plata” de la ciencia española a la que tanto había contribuido la Junta para Ampliación de Estudios.

En plena guerra civil española, el 19 de mayo de 1938, el gobierno de Franco decretó el cese de las actividades de la Junta para Ampliación de Estudios, pero la Junta mantuvo una delegación en Valencia, apoyada por el gobierno de la República, que posteriormente se trasladó a Barcelona. A lo largo de la guerra, cierto número de los científicos de la Junta se vieron obligados a abandonar el país, y algunos de los que se quedaron fueron depurados. El proyecto del primer ministro de

Educación Nacional del franquismo, Pedro Sainz Rodríguez, catedrático de la Universidad de Oviedo, que había sido nombrado el 31 de enero de 1938, consistió en la creación del Instituto de España, un órgano de nueva creación formado por todos los miembros de las seis grandes academias de ámbito estatal, que heredaba la titularidad y la autoridad sobre todas las instalaciones e instituciones que antes de la Guerra Civil dependían de la Junta y de la Fundación Nacional para Investigaciones Científicas. El Instituto de España, inicialmente presidido por una figura tan respetada como Manuel de Falla, se perfilaba como un organismo supra-académico, formado por todos los académicos de las grandes Academias, capaz por ello de quedar relativamente a salvo de interferencias políticas, de modo que los institutos y centros de investigación en funcionamiento no iban a sufrir más alteraciones que la inevitable depuración de su personal y su integración dentro del organigrama del Instituto. La situación cambió con el nombramiento, al término de la Guerra Civil, de José Ibáñez Martín como ministro de Educación Nacional, quien llevó a cabo un cambio drástico de la política científica con la creación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) como órgano rector. La ley fundacional del CSIC, de 24 de noviembre de 1939, no disolvió el Instituto de España, pero lo vació de contenido reduciéndolo a enlace entre las Reales Academias y el ministerio de Educación Nacional, lo que convirtió al Consejo en el organismo clave de la política científica en las siguientes décadas. Una lectura de la documentación de la época pone de manifiesto que en sus inicios el CSIC surgió de la ruptura consciente y

explícita con todo lo que significó la Junta. En palabras del ministro Ibáñez Martín, pronunciadas en 1940 en el acto de inauguración del curso en la Universidad de Valladolid: “Habíamos de desmontar todo el tinglado de una falsa cultura que deformó el espíritu nacional con la división y la discordia y desraizarlo de la vida espiritual del país, cortando sus tentáculos y anulando sus posibilidades de retoño. Sepultada la Institución Libre de Enseñanza y aniquilado su supremo reducto, la Junta para ampliación de Estudios, el Nuevo Estado acometió, bajo el impulso del Caudillo la gran empresa de dotar a España de un sólido instrumento que [...] fuera la base de una reestructuración tradicional de los valores universales de la cultura” (12). Por ello, no resulta fácil aceptar la tesis de que el CSIC supuso en 1939 la continuidad de la Junta. Otra cosa ha sido la razonable evolución con los años y su adaptación progresiva a los nuevos tiempos por quienes de buena fe han tratado de conectar las aspiraciones crecientes de modernización científica con la denominada «edad de plata». En esta línea, con ocasión del centenario de la Junta para Ampliación de Estudios el académico e historiador de la ciencia, Sánchez Ron, escribía: “La fuerza –que no la razón– de las armas fue la responsable de semejante entronque histórico entre JAE y CSIC, que hoy, un siglo después, podemos aceptar; eso sí, sin olvidar nunca de dónde surgió” (13).

CREACIÓN DEL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Los personajes clave en la creación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, fueron dos experimentados catedráticos de instituto, José Ibáñez Martín y José María Albareda. Ambos formaban parte de la Comisión de Cultura y Enseñanza creada en octubre de 1936, y de sus conversaciones sobre el futuro de la ciencia española surgió el proyecto del CSIC. Albareda, que había sido pensionado de la Junta, tenía un profundo conocimiento de instituciones internacionales de investigación ya que había realizado varias largas estancias en Alemania, Suiza y Reino Unido, mientras que Ibáñez Martín, como abogado que era, tenía un buen conocimiento de las leyes, y un amplio bagaje político. Pocos meses después de su nombramiento como ministro de Educación el 9 de agosto de 1939, creó el Consejo Superior de Investigaciones Científicas a través de una ley de 24 de noviembre de 1939, cristalizando así su proyecto de política científica. La parte expositiva de dicha ley suena hoy a extraña literatura pero era el estilo de aquellos momentos de fervores patrióticos y religiosos como exaltada reacción a la difícil situación creada durante la Guerra Civil:

“En las coyunturas más decisivas de su historia concentró la hispanidad sus energías espirituales para crear una cultura universal. Esta ha de ser, también, la ambición más noble de la España del actual momento que, frente a la pobreza y paralización pasadas, siente la voluntad de renovar su gloriosa tradición científica.

Tal empeño ha de cimentarse, ante todo, en la restauración de la clásica y cristiana unidad de las ciencias, destruida en el siglo XVIII. Para ello hay que subsanar el divorcio y discordia entre las ciencias especulativas y experimentales y promover en el árbol total de la ciencia su armonioso incremento y su evolución homogénea, evitando el monstruoso desarrollo de algunas de sus ramas, con anquilosamiento de otras. Hay que crear un contrapeso frente al especialismo exagerado y solitario de nuestra época, devolviendo a las ciencias su régimen de sociabilidad, el cual supone un franco y seguro retorno a los imperativos de coordinación y jerarquía.

Hay que imponer, en suma, al orden de la cultura, las ideas esenciales que han inspirado nuestro Glorioso Movimiento, en las que se conjugan las lecciones más puras de la tradición universal y católica con las exigencias de la modernidad. Al amparo de estos principios urge instaurar una etapa de investigación científica, en la que ésta cumpla, de manera inexorable, sus funciones esenciales: elaborar una aportación a la cultura universal; formar un profesorado rector de pensamiento hispánico; insertar a las ciencias en la marcha normal y progresiva de nuestra historia y en la elevación de nuestra técnica, y vincular la producción científica al servicio de los intereses espirituales y materiales de la Patria" (14).

Unos meses más tarde, por Orden de 18 de abril de 1940, se disponía que el Instituto de España traspasara al Consejo Superior de Investigaciones Científicas todos los

servicios de las disueltas Junta para Ampliación de Estudios y Fundación Nacional de Investigaciones Científicas. El primer equipo del CSIC tenía como presidente al ministro de Educación Nacional, José Ibáñez Martín, cargo que mantuvo hasta 1967; José María Albareda, que fue la figura clave del CSIC durante varias décadas, fue secretario general hasta su muerte en 1966; mientras que las dos vicepresidencias estuvieron a cargo del químico Antonio de Gregorio Rocasolano y el arabista Miguel Asín Palacios. El CSIC fue construido alrededor de la figura de su primer secretario general, José María Albareda, que era un buen conocedor de las tendencias internacionales de la ciencia, y que configuró el CSIC combinando las características de una institución como el Max Planck alemán con las características mixtas de planificación y ejecución de las Academias de Ciencias de los países del Este Europeo. Albareda, que llegó a ser catedrático de Edafología en la Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense de Madrid, era miembro del Opus Dei, profesó como sacerdote en 1959 y fue nombrado primer rector magnífico de la Universidad de Navarra, cargo que desempeñó hasta su muerte, simultaneándolo con la secretaría general del CSIC. En su fase inicial el CSIC era responsable del diseño y ejecución de la política científica y tecnológica, función que conservó este doble papel hasta que la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (CAICYT) comenzó a administrar el Fondo Nacional para la Investigación Científica. La creación de este fondo en 1964, en el marco del I Plan de Desarrollo, permitiría a los grupos de investigación universitarios tener una fuente de financiación alternativa al CSIC.

El reglamento de 1940 modificaba y ampliaba algunas de las disposiciones de la Ley de Creación y establecía los órganos de gobierno, así como los órganos especializados, los Patronatos. En 1977, el CSIC quedó definido, desde un punto de vista jurídico, como un “organismo autónomo del Estado” suprimiéndose los patronatos existentes. Durante los primeros años el CSIC mantuvo una relación complicada con la universidad, que se sentía distanciada, ya que el CSIC era el responsable de la política científica, pero por otra parte dependía en gran medida de las cátedras universitarias, hasta que lentamente se fue creando un cuerpo de personal investigador propio. En 1972 el CSIC contaba con cerca de un millar de investigadores funcionarios a tiempo completo más unos doscientos investigadores contratados, cifras que se incrementaron notablemente con el considerable crecimiento económico de nuestro país, de modo que actualmente trabajan en el CSIC alrededor de cuatro mil investigadores funcionarios.

Las importantes transformaciones sociales acaecidas en las últimas décadas del siglo pasado, y especialmente la modificación del marco jurídico de la investigación española a través de la Ley de la Ciencia de 1986, hicieron necesaria una adecuación de las estructuras y normativas del CSIC a la realidad impuesta de ser el mayor organismo ejecutor de la investigación. La identificación de objetivos y la determinación de prioridades, muy relacionadas con las prioridades del I Plan Nacional de Investigación, permitieron la modernización de los ámbitos científicos y el desarrollo de nuevas áreas de actividad, que se complementó con

una acertada estrategia de vinculación con las comunidades autónomas, las universidades y los sectores empresariales. En 2007 la situación jurídica del CSIC sufrió una importante transformación al convertirse formalmente en una Agencia con el objetivo de posibilitar un funcionamiento “con una mayor agilidad y autonomía”, contando con una Presidencia “con carácter ejecutivo”, y un contrato de gestión basado en los principios de calidad, transparencia y evaluación. En la actualidad, la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) es la mayor institución pública dedicada a la investigación en España y la tercera de Europa. Está adscrita al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, a través de la Secretaría de Estado de Universidades, Investigación, Desarrollo e Innovación y su objetivo fundamental es desarrollar y promover investigaciones en beneficio del progreso científico y tecnológico. Sus centros e institutos están distribuidos por todas las comunidades autónomas, y cuenta con más de 15.000 trabajadores, de los cuales más de 3.000 son investigadores en plantilla y otros tantos doctores y científicos en formación, lo que representa el seis por ciento del personal dedicado a la Investigación y el Desarrollo en España, generando aproximadamente el veinte por ciento de la producción científica nacional.

ACTUALIZACIÓN DE LA POLÍTICA CIENTÍFICA: LA COMISIÓN ASESORA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA. CREACION DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA

Una primera actualización de política científica fue la creación de la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (CAICYT) en 1958, vinculada a la Presidencia de Gobierno, que en cierto modo retiraba al CSIC las competencias de coordinación mientras que le reconocía su labor en el fomento y ejecución de la investigación. El decreto de creación expresaba una preocupación por los problemas de coordinación y de falta de jerarquía y orden en el sistema de toma de decisiones, que por otro lado eran característicos de toda la administración pública española. En uno de sus artículos delimitaba claramente su carácter planificador afirmando específicamente que la CAICYT "no podrá tener centros propios de investigación, sino que las investigaciones programadas de acuerdo con sus propuestas se desarrollarán precisamente en los organismos de investigación científica ya constituidos". Su misión era asesorar en la programación y desarrollo de los planes de investigación científica y técnica de interés nacional, una responsabilidad que hasta entonces estaba asignada exclusivamente al CSIC. Su primer presidente fue un prestigioso catedrático de Química Orgánica, Manuel Lora-Tamayo, que había trabajado en química biológica en la universidad de Estrasburgo, pensionado por la Junta para Ampliación de Estudios. Conocía bien el CSIC, ya que había desempeñado puestos de responsabilidad en el patronato Juan de la

Cierva, y tenía relación de amistad con Albareda. En una primera etapa, la relación entre el CSIC y la CAICYT fue muy estrecha, hasta el punto de que esta última tuvo su sede inicial en las instalaciones del propio Consejo, y se encargó de la secretaría general al secretario del CSIC, Albareda. En 1962, Lora-Tamayo fue nombrado ministro de Educación Nacional y siguió en ese cargo hasta su dimisión en 1968, solo que cuando dimitió el ministerio había adoptado una nueva denominación: desde mayo de 1966 se denominaría Ministerio de Educación y Ciencia. Por primera vez en la historia de España aparecía el término «Ciencia» junto a «Educación» en el apelativo del Ministerio. Dicho cambio fue consecuencia de diversas iniciativas europeas destinadas a desarrollar instituciones dedicadas a la gestionar la política científica.

Los inicios de la CAICYT fueron modestos, pero el nombramiento de Lora-Tamayo como ministro y muy especialmente la aceptación de las directrices de la OCDE sobre investigación científica y desarrollo tecnológico (I+D) emanadas de la Conferencia Ministerial de la Ciencia celebrada en París en 1963, en la que Lora-Tamayo encabezó la delegación española, tuvo consecuencias positivas. La mencionada reunión de la OCDE tuvo una gran importancia en la aplicación de lo que Cajal calificaba como “deber inexcusable” de los Estados de desarrollar políticas científicas, que cada uno acometió de acuerdo con su propia cultura administrativa. En España ese mismo año se creó la Comisión Delegada del Gobierno de Política Científica, que tenía carácter interministerial y dependía

directamente de la Presidencia del Gobierno, coincidiendo con los preparativos para la puesta en marcha del I Plan de Desarrollo Económico (1964-1967). En aquellas fechas la inversión en I+D era del orden 0,13% del PIB, con una notoria penuria de medios económicos y humanos. En 1964 se estableció el Fondo Nacional para la Investigación Científica y Técnica, con un crédito inicial del Banco Mundial de 100 millones de pesetas que se fue incrementando progresivamente en años posteriores. La CAICYT, desde 1965, implantó en nuestro país un sistema de convocatoria de proyectos de investigación. En 1967 la inversión en I+D representaba el 0,19%, participando las universidades con un exiguo 3%. En 1968, coincidiendo con la puesta en marcha del II Plan de Desarrollo Económico (1968-1971) se implantaron los planes concertados de investigación, consistentes en proyectos de investigación presentados y desarrollados por empresas con el posible concurso de un centro público de investigación, bajo un régimen de ayuda financiera y supervisión administrativa que se plasmaba en un contrato entre la administración y la empresa. En 1971, a instancias del ministro de Educación y Ciencia, Villar Palasí, nombrado tras la dimisión de Lora-Tamayo, la OCDE realizó un informe sobre la situación de sistema científico español en el que proponía establecer objetivos a largo plazo, comprometiendo un fuerte incremento de fondos con el objetivo de llegar al 1% del PIB en el nuevo Plan de Desarrollo, y creando estructuras de gestión y de coordinación de la política científica al más alto nivel. Algunas de estas recomendaciones fueron parcialmente incorporadas en el III Plan de Desarrollo Económico

(1972-1975), lo que supuso un notable incremento de las inversiones en I+D, de modo que el Fondo Nacional para la Investigación Científica en 1975 llegó a superar los 1.200 millones de pesetas, frente a los 100 millones iniciales de 1964. La inversión española en I+D había pasado del 0,13% del PIB en 1964 al 0,34% de 1976. En dicho año quedó en suspenso el IV Plan de Desarrollo y la financiación de la investigación española se limitaba prácticamente a las ayudas de la CAICYT.

Tras la muerte de Franco, en 1975, siendo ministro de Educación y Ciencia Carlos Robles Piquer en el Gobierno de Arias Navarro, se creó en 1976, con escaso presupuesto, la dirección general de Política Científica. En el periodo de la Transición y como consecuencia del cambio de régimen, la preocupación de los sucesivos gobiernos se centraba en temas políticos, quedando los aspectos relacionados con la investigación científica en un segundo plano. Los Pactos de la Moncloa que representaron acuerdos de carácter económico-social esenciales para la consolidación de la democracia no hicieron mención alguna a la investigación científica. Sin embargo, durante la Transición se dieron algunos pasos importantes, entre ellos, la creación en 1977, con Aberto Oliart como ministro de Industria, del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI). Se le dotó con un presupuesto inicial de 40 millones de dólares para un período de cinco años de los que 18 millones procedían de un préstamo otorgado por el Banco Mundial. El CDTI ha sido un organismo importante de la política científica y tecnológica española especializado

en la promoción del desarrollo empresarial, función que sigue desempeñando en la actualidad.

Un avance importante fue la presencia de la política científica en la Constitución española aprobada en 1978. En su artículo 44.2 se establece que “los poderes públicos promoverán la ciencia y la investigación científica y técnica en beneficio del interés general”. La Constitución prevé que las comunidades autónomas puedan tener competencias en el ámbito de ciencia y tecnología, pero consagra la competencia del Estado para “el fomento y la coordinación científica y técnica” (15).

Una vez aprobada la Constitución española por las Cortes y refrendada en referéndum en diciembre de 1978, se celebraron elecciones y el nuevo gobierno de UCD crea por primera vez en 1979 el Ministerio de Universidades e Investigación, nombrándose titular del mismo a Luis González Seara. Este hecho fue bien recibido por la comunidad científica pues suponía un reconocimiento de la importancia de la investigación científica, iniciándose un cierto impulso reformista. La CAICYT pasó a depender del ministerio de Universidades e Investigación, se retomaron nuevas convocatorias para la financiación de proyectos de investigación, planes concertados y asociaciones de investigación. El Fondo Nacional de Investigación Científica se incrementó entre 1979 y 1980 un 235%, dedicándose prioritariamente a la financiación de proyectos de investigación, cuya asignación se cuadruplicó, y paliando así la precaria situación de muchos grupos de investigación.

Unos meses más tarde, en el gobierno de Calvo Sotelo, surgido tras el fracaso del golpe de estado de febrero de 1981, Federico Mayor Zaragoza es nombrado ministro, recuperando la denominación de ministerio de Educación y Ciencia. Mayor Zaragoza, firme creyente de la importancia de la investigación, profundizó en la mencionada necesidad de una política científica moderna. Cuando parecía que se acercaba el final de los gobiernos de UCD, a finales de agosto de 1982, Mayor Zaragoza llegó a remitir para discusión en el Parlamento un proyecto de Ley de Fomento y Coordinación de la Investigación Científica y Técnica que, aunque fue publicado en el Boletín de la Cortes Generales, no llegó a discutirse por la convocatoria de las elecciones generales de octubre de 1982. En dicho año, el Fondo Nacional de Investigación Científica llegó a superar los 9.500 millones de pesetas, frente a los 1.111 de 1976. La Inversión española en I+D había pasado del 0,34% del PIB en 1976 al 0,49% en 1982, en cualquier caso, un valor muy modesto y no concordante con su situación en la escala económica mundial, que se aproximaba a la décima posición.

A título personal, y a instancias del que fue director del gabinete de estudios de la CAICYT entre 1975 y 1983, Juan Francisco García de la Banda, tuve ocasión de colaborar en actividades de la CAICYT relacionadas con la evaluación y seguimiento de planes concertados de investigación, así como en el grupo de trabajo que se creó para realizar los primeros estudios para el diseño del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), que formalmente se

aprobaría en 1984. A partir de mayo de 1983, y hasta su extinción en marzo de 1987, el presidente de la CAICYT fue el ministro de Educación y Ciencia del primer gobierno socialista, José María Maravall, que propició importantes y positivos cambios legislativos en educación y política científica. A García de la Banda, en 1983, le sucedería como director del gabinete de estudios de la CAICYT Juan Rojo Alaminos, catedrático de física de estado sólido en la Universidad Complutense de Madrid. Rojo acometería una progresiva internacionalización del proceso de evaluación de los proyectos de investigación competitivos, y procedió al nombramiento de coordinadores temáticos, incorporándome como coordinador del área de Química. En 1985 Rojo fue nombrado Secretario de Estado de Universidades e Investigación y fue una persona clave en el desarrollo del Plan Nacional de Investigación.

LA MODERNIZACIÓN DE LA POLÍTICA CIENTÍFICA: LAS LEYES DE LA CIENCIA Y LOS PLANES NACIONALES DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA

El creciente interés de la sociedad española por los aspectos científicos conllevó una progresiva incorporación de la ciencia y la tecnología en la agenda política de modo que en las elecciones de 1982 las políticas de investigación científica y desarrollo tecnológico (I+D) se incorporaron en los programas electorales de los partidos. En particular, la Secretaría de Estudios del Partido Socialista (PSOE), que dirigía el

catedrático de física de estado sólido, Javier Solana, había hecho un particular énfasis en estos aspectos. Con la victoria electoral del PSOE y el nombramiento de José María Maravall, como ministro de Educación y Ciencia, se inició la puesta en marcha de un proceso de modernización de la política científica española. Se trataba de evolucionar desde el modelo sectorializado que había primado en España, en el que cada departamento integraba en su seno todas las funciones ejecutoras de la I+D y en el que solo los dos organismos ya citados, la CAICYT y el CDTI, desarrollaban acciones de fomento de carácter horizontal. En ese período inicial estos organismos fueron especialmente favorecidos en las dotaciones presupuestarias para llevar a cabo sus tareas de promoción horizontal.

En 1983 se aprobó la Ley Orgánica de Reforma Universitaria (LRU), que en su artículo primero establecía la investigación como una de las funciones de la universidad. En artículos posteriores, se mencionaban los departamentos como “órganos básicos encargados de organizar y desarrollar la investigación”, la creación de institutos universitarios como “centros fundamentalmente dedicados a la investigación científica y técnica” y, de acuerdo con el artículo 11, se permitía al profesorado “contratar con entidades públicas y privadas (...) la realización de trabajos científicos” y obtener los correspondientes ingresos. Por otra parte los Presupuestos Generales del Estado de 1985 introdujeron la clasificación en «funciones» de los Presupuestos, asignando a las inversiones en I+D la «función 54», que permitió el seguimiento del gasto

global en investigación y facilitar comparaciones internacionales en esta materia. Otras leyes modernizadoras fueron la Ley de Patentes de 1986 y la Ley de Propiedad Intelectual de 1987.

A diferencia de países con una larga y brillante experiencia científica, que no han sentido la necesidad de legislar sobre la actividad investigadora, nuestra cultura administrativa parece no concebir el desarrollo de un determinado sector socioeconómico si no se legisla específicamente al efecto. Y ese fue el camino seguido para la modernización de la política científica española para dar luz, tras numerosos estudios y encuentros con científicos y tecnólogos del sector público y privado, a la Ley de la Ciencia en 1986. Desde mi posición de asesor científico del Secretario de Estado de Universidades e Investigación, Juan Rojo, tuve ocasión de constatar el positivo ambiente regeneracionista existente, ajeno a intereses partidistas, que perseguía una rápida homologación de nuestro sistema científico con los países de nuestro entorno europeo. La mencionada ley se denominaba oficialmente Ley 13/1986 de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica, que era precisamente la denominación que reproducía literalmente lo que la Constitución española atribuye al Estado como competencia exclusiva en la materia, y fue aprobada con el consenso de todas las fuerzas políticas. Esta ley, que coincide en el tiempo con la entrada de España en la Unión Europea, vino a poner orden en el llamado modelo “espontáneo” de organización del sistema nacional de investigación y desarrollo, que era el adjetivo entonces utilizado para no

tener que reconocer la carencia de cualquier modelo explícito; puso en marcha mecanismos de programación de la actividad científica y tecnológica; creó una cierta coordinación entre los ministerios con responsabilidades en Investigación científica y Desarrollo tecnológico (I+D) y creó el Plan Nacional de I+D, que se convirtió en el principal instrumento de fomento de la actividad investigadora en el sector público. En la exposición de motivos de la Ley se señala:

“La investigación científica y el desarrollo tecnológico se han desenvuelto tradicionalmente en España en un clima de atonía y falta de estímulos sociales, de ausencia de instrumentos que garantizasen la eficaz intervención de los poderes públicos en orden a la programación y coordinación de los escasos medios con que se contaba, falta de conexión entre los objetivos de la investigación y las políticas de los sectores relacionados con ella, así como, en general, entre los centros de investigadores y los sectores productivos. No es de extrañar, por ello, que la contribución española al progreso científico y tecnológico haya sido, por lo general, escasa e impropia del lugar que en otros órdenes nos ha correspondido, y que, cuando ello no ha sido así, como en algunos periodos del siglo actual, las más valiosas aportaciones hayan procedido del esfuerzo aislado de relevantes personalidades”.

“La Ley encomienda a una Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología la programación de las actividades de investigación de los organismos dependientes de la Administración del Estado mediante el Plan Nacional de

Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico. Se establece así un nuevo e integrador mecanismo, de programación ágil y eficaz, y conjuntamente, una metodología adecuada y moderna para hacer frente al complejo proceso de planificación, coordinación y gestión”.

La Ley en su artículo primero establecía el Plan Nacional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico, y en el cuarto indicaba que “el Plan Nacional fomentará la investigación básica en los distintos campos del conocimiento a través de una financiación regular de la misma que haga posible el mantenimiento y la promoción de equipos de investigación de calidad, tanto en las universidades como en los demás centros públicos de investigación”. Establecía también una Comisión Permanente entre los miembros de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología que se haría cargo de los medios materiales y personales de la CAICYT, tras su extinción por Real Decreto en 1987. El mencionado decreto creaba la Secretaría General del Plan Nacional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico y la Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva, mientras que la Comisión Permanente estaba formada por los directores generales de tres ministerios: el de Investigación Científica y Técnica (perteneciente al Ministerio de Educación y Ciencia), el director de Política Tecnológica (del ministerio de Industria y Energía) y el director de planificación (del ministerio de Economía y Hacienda). Ejercía como presidente el Secretario de Estado de Universidades e Investigación.

La mencionada Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología consiguió introducir en la agenda política, quizá por primera vez en la historia de España, la importancia de la investigación científica y técnica. De resultas de ello, la investigación adquirió una notable resonancia social y alumbró, en general, una atmósfera de euforia entre los científicos. A título personal fue para mí una etapa grata en la que tuve la fortuna de colaborar, inicialmente como director general de Investigación Científica y Técnica y miembro de la Comisión Permanente de la CICYT en el período 1987-1988, y más tarde como secretario general de Plan Nacional de Investigación y secretario de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología entre 1988 y 1994.

Los años 1987 y 1988 fueron particularmente intensos en una dirección general de nueva creación con competencias en formación de personal investigador y establecimiento de un programa sectorial de promoción del conocimiento, que contemplaba, junto a proyectos de investigación, la dotación de infraestructuras e intercambios científicos, así como la transferencia desde la Comisión Permanente de los medios materiales y personales de la extinta CAICYT. Aconsejé a mis colaboradores más próximos la lectura de las Reglas y consejos sobre investigación Científica de Cajal y su reflexión todavía vigente en aquellos años “de que no hay nada tan urgente como crear cerebros”, de la necesidad de promover investigación básica de calidad y de disponer de adecuadas infraestructuras científicas (16). En la dirección general, establecimos un detallado

programa plurianual de promoción general del conocimiento, que respondía al mandato del mencionado artículo cuarto sobre investigación básica y que supuso una inversión en el cuatrienio 1988-1991 de unos 33.000 millones de pesetas, así como un ambicioso programa de formación y perfeccionamiento de personal investigador, que permitió en años posteriores la formación posdoctoral de varios miles de jóvenes en prestigiosos centros extranjeros. En octubre de 1988, Javier Solana, ministro de Educación y Ciencia y presidente de la CICYT, propuso mi nombramiento como secretario general del Plan Nacional de I+D, donde me correspondió la gestión de los programas nacionales orientados correspondientes al I Plan Nacional de I+D 1988-1991. Dicho Plan Nacional, junto con los programas sectoriales integrados, supusieron una inversión total, en el cuatrienio, de 115.780 millones de pesetas, de los que un 60% se dedicaron a proyectos de investigación e infraestructuras científicas, un 20% a proyectos concertados con empresas y un 18 % a formación de personal investigador. Otra aportación de este periodo fueron la creación de las oficinas de transferencia de resultados de investigación, la red OTRI. Se produjo también un progreso importante de la investigación universitaria que fue favorecido por la puesta en marcha de los sexenios de investigación, complementos salariales basados en la productividad científica, y la incorporación especial de profesorado universitario mediante el denominado programa PROPIO. En unas décadas la investigación científica dejó de ser una actividad minoritaria para pasar a constituir parte esencial del quehacer cotidiano de la mayoría del

profesorado universitario, contribuyendo de modo sustancial al incremento de la producción científica, tanto en cantidad como en calidad.

En 1986 España ingresó en la Comunidad Europea, correspondiéndole la presidencia en el primer semestre de 1989. Fue una época de frenética actividad de la que tengo un recuerdo muy positivo y en la que nos correspondió la revisión del Programa Marco de I+D. Nuestra pertenencia a la entonces denominada Comunidad Europea influyó notablemente en la internacionalización de la investigación española que se ha venido beneficiando desde entonces a través de los Fondos Estructurales y su participación en los Programas Marco de I+D.

Desde 1988 y cada cuatro años se han venido sucediendo las sucesivas fases del Plan Nacional de I+D. La llegada al Gobierno del Partido Popular propició varios cambios en la gestión de los sucesivos Planes Nacionales. En 1997, la CICYT pasa a ser presidida por el Presidente del Gobierno, encargándose la gestión del Plan Nacional de I+D a la Dirección General de Enseñanza Superior e Investigación, del Ministerio de Educación y Cultura, del que fueron titulares Esperanza Aguirre y Mariano Rajoy. En 1998 se creó una efímera Oficina de Ciencia y Tecnología adscrita a la Presidencia del Gobierno, que elaboró el IV Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (2000-2003), que acuñó la expresión I+D+i para dar cobertura a las actividades de innovación. En la segunda legislatura del partido Popular, en el año 2000, se crea el Ministerio de

Ciencia y Tecnología, que nuevamente alumbró cierta esperanza, pero los resultados no acompañaron a las expectativas, aunque un aspecto positivo fue el establecimiento del programa Ramón y Cajal para la incorporación de científicos, que ha supuesto una cierta renovación de nuestro sistema científico. En ese período se produjo un estancamiento en las inversiones en I+D, se incrementó notablemente el capítulo de créditos, y se produjo una alta rotación de altos cargos, entre ellos tres ministros en cuatro años. Las inversiones en I+D en relación al PIB fueron en 2001 del 0,91%, la misma cifra vigente en 1992.

El resultado más destacable de las acciones iniciadas en los años ochenta fue un incremento, que casi podríamos calificar de espectacular, ya que la contribución de España a la producción científica internacional se multiplicó por siete entre 1981 y 2003. En dicho periodo, la aportación española al total mundial pasó del 0,8% al 3%. En poco más de veinte años, los documentos científicos de autoría española en las bases de datos internacionales se incrementaron en un 600%, un incremento muy superior al que experimentó el conjunto de la Unión Europea (118%) o el total mundial (84%) en el mismo período, aunque deben tenerse en cuenta también los diferentes puntos de partida, muy bajos para el caso de España (17). Por otra parte, según datos del INE, en el período mencionado, 1981-2003, el número de investigadores a jornada completa se incrementó en un 480%.

En 2004, con la llegada al Gobierno del PSOE, las competencias de I+D regresan al Ministerio de Educación y Ciencia, produciéndose un crecimiento insólito del presupuesto dedicado a I+D, que pasó desde los 8.9 millones de euros de 2004, que suponían un 1.06% del PIB, a 14.7 millones, en 2008, 1.35% del PIB, en parte asociado al lanzamiento adicional, en 2005, de la iniciativa INGENIO 2010. Esta iniciativa que complementaba el Plan Nacional era la respuesta al compromiso español con la denominada “Estrategia de Lisboa” de la Unión Europea y promovió el programa de excelencia CONSOLIDER, el programa CENIT (consorcios estratégicos nacionales de investigación tecnológica), y los proyectos CIBER y RETICS para impulsar la investigación de excelencia en biomedicina y ciencias de la salud. Una mirada retrospectiva a este corto y alegre período permite constatar la creación de programas e instituciones, que como otras inversiones en algunas áreas e infraestructuras, son difíciles de mantener tras el estallido de la inflada burbuja inmobiliaria española y la crisis económica internacional. Algunas de las infraestructuras construidas suponen una carga que es difícil de sostener en la actualidad, habida cuenta del acusado descenso presupuestario en materia de I+D de a partir de 2010.

La necesidad de reforzar los niveles de coordinación entre la Administración General del Estado y las comunidades autónomas dio lugar en 2007 al establecimiento de una Estrategia Nacional de Ciencia y Tecnología. Esta Estrategia, junto con la iniciativa INGENIO 2010, sentó las bases del VI Plan Nacional de

Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011 (I+D+i). Este plan acabaría siendo prorrogado, y se ejecutaría más allá de la IX legislatura, en la que se creó el ministerio de Ciencia e Innovación, siendo nombrada ministra Cristina Garmendia, en 2008. Este ministerio aglutinó a todos los Organismos Públicos de Investigación, el Instituto de Salud Carlos III y el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial, CDTI y nació con el mandato de convertir en potencial económico la capacidad científica del país. En sus inicios, mantuvo la senda de crecimiento de años anteriores, pero a partir de 2010, en el que las inversiones en I+D alcanzaron el máximo conocido, del 1,40% del PIB, se inició una senda de reducción presupuestaria. Durante su mandato, en mayo de 2011 se aprobó, con amplio consenso político, la Ley de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, que sustituía a la ley anterior de 1986. Esta ley ha sido gestionada por los Gobiernos del PP en las dos legislaturas anteriores.

En diciembre de 2011, la I+D+i pasó a depender del nuevo Ministerio de Economía y Competitividad, cuyo titular era Luis de Guindos, aunque en la práctica fue Carmen Vela, la secretaria de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación, quien estuvo al frente de la gestión de la política científica hasta junio de 2018. La ley integra y coordina las políticas generales del Estado con las de las Comunidades Autónomas, articulando las actuaciones en el ámbito público y privado a través del Consejo de Política Científica, Tecnológica y de Innovación. La política científica queda establecida en torno a la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y

de Innovación, y el Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación que desarrolla los objetivos y contempla la programación de las actuaciones específicas. En la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación quedaron establecidos los objetivos generales a alcanzar durante el período 2013-2020, ligados al fomento y desarrollo de las actividades de I+D+i en España. Asimismo, estos objetivos deberían alinearse con los que marca la Unión Europea dentro del nuevo Programa Marco para la financiación de las actividades de I+D+i “Horizonte 2020” en el período 2014-2020. En este contexto, se creó en 2012 el Consejo de Política Científica, Tecnológica y de Innovación para la coordinación nacional, y el Consejo Asesor de Ciencia, Tecnología e Innovación del que fui miembro en el período 2012-2017. La Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación 2010-2020, propone un notable incremento de las inversiones en I+D en relación al PIB, que desde el 1,39 % de 2010, debería alcanzar en 2020 el 2,00% (18).

En febrero de 2013 se aprobó el Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016 que, partiendo de las premisas establecidas en el Plan de Estabilidad de la economía española, y con un optimismo poco sostenible, estimaba que las inversiones en I+D en relación al PIB, alcanzaría en 2015 el 1,41%, y el 1,48% en 2016. Los datos oficiales del INE correspondientes a 2016 ponen de manifiesto unas inversiones del 1,19%, por lo que la brecha con la media de la Unión Europea ha vuelto ampliarse, ya que mientras España ha caído alrededor de un 10%, desde el

inicio de la crisis, Reino Unido ha crecido un 25%, Alemania un 31%, Francia un 18%, e incluso Italia un 15%. En lo relativo a recursos humanos, según datos del INE, entre 2010 y 2016 se ha producido una reducción superior a ocho mil investigadores a jornada completa. En un informe sobre el sistema de ciencia y tecnología español realizado en 2014, por el *European Research Area Committee (ERAC)* de la Unión Europea, se señala como un problema acuciante el envejecimiento de la actual plantilla de investigadores, que está por encima de los cincuenta años, así como la necesidad de un incremento de los recursos disponibles que debería ir asociado a reformas estructurales (19). El actual Plan Estatal 2017-2020 es continuista, en línea con el correspondiente al período 2013-2016, manteniendo los objetivos generales establecidos en la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación 2013-2020. El Plan mantiene el reto de alcanzar en 2020 una inversión en I+D del 2% en relación al PIB, un objetivo prácticamente imposible, si tenemos en cuenta que los últimos datos del INE para 2017, ponen de manifiesto unas inversiones del 1,20%. Por otra parte, es especialmente preocupante que la tasa de ejecución del presupuesto de I+D+i de la Administración General del Estado se viene desplomando desde 2008, llegando a ser en el año 2017 tan solo del 30%, de modo que el presupuesto ejecutado en 2017 fue de 1.376 millones de euros, cifra inferior al año 2000, cuyo importe fue de 2.005 millones de euros (20).

La Ley de la Ciencia de 2011 contemplaba la creación de una Agencia Estatal de Investigación que, con

considerable retraso, fue creada a finales de 2015 con la misión de contribuir al fomento de la investigación científica mediante la asignación competitiva y eficiente de los recursos públicos, el seguimiento de las acciones financiadas y el asesoramiento de las políticas de I+D de la Administración General del Estado. La Agencia es una entidad de derecho público que tiene la misión de ser un instrumento para la modernización de la gestión pública de las políticas estatales de I+D en España, incorporando las mejores prácticas internacionales de evaluación y simplificación de los procedimientos administrativos. Sin embargo, mientras el Consejo Europeo de Investigación (ERC) actúa con total independencia de la Comisión Europea que lo financia y los veintidós prestigiosos investigadores del consejo científico toman las decisiones acerca de su funcionamiento, contando con un presupuesto plurianual, el máximo órgano rector de nuestra Agencia, su Consejo Rector, constituido en junio de 2016, está formado por diez altos cargos de la administración, incluyendo la presidenta, la actual Secretaria de Estado, un representante de los trabajadores y cuatro científicos, entre los que me encuentro. En marzo de 2017, el Consejo Rector de la Agencia Estatal de Investigación aprobó el nombramiento de los doce miembros del Comité Científico y Técnico, principal órgano consultivo de la Agencia, que esperamos que puedan actuar como catalizador para la incorporación a nuestro sistema de las mejores prácticas internacionales que operan en países con gran tradición científica como Alemania, Reino Unido o el mencionado Consejo Europeo de Investigación. También recientemente se ha aprobado el

Contrato de Gestión de la Agencia que estará condicionado a las reglas que pueda establecer el Ministerio de Hacienda, de modo que no hay garantía de una financiación estable y definida.

En junio de 2018, la I+D+i ha pasado a depender del nuevo Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, cuyo titular es Pedro Duque, y Ángeles Heras es la Secretaria de Estado de Universidades, Investigación e Innovación, y presidenta de la Agencia Estatal de Investigación. Esperemos que el nuevo equipo pueda incrementar las inversiones en I+D+i, y pueda proceder a la necesaria revisión de la política científica española. En su primera comparecencia en el Congreso de Diputados, celebrada en julio de 2018, el ministro, Pedro Duque afirmaba que “El objetivo de este Gobierno es que la inversión crezca de forma sostenida en el tiempo con el fin de volver al nivel de gasto en I+D+i de antes de la crisis y sin vaivenes presupuestarios, que tan difíciles son de asumir para el sistema” (21). Así sea.

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA: PRESENTE Y FUTURO

¿Cuál es la situación actual de la investigación científica y técnica en nuestro país? Esta pregunta tiene una doble lectura, una primera de moderado optimismo por los logros alcanzados en nuestra competitividad científica, y una segunda de intensa preocupación por su futuro, precisamente ahora que es más necesaria para una mejora de nuestra competitividad. Así, se alude con

cierta frecuencia al discreto lugar ocupado por nuestras universidades en los rankings internacionales, a la ausencia de premios Nobel científicos españoles recientes o al escaso número de patentes solicitadas desde organismos y empresas. Por otra parte, es cierto también que, como fruto del considerable esfuerzo realizado por las Administraciones públicas –y, en menor medida, por la empresa– en los últimos cuatro decenios, se ha alcanzado una presencia sin precedentes en el concierto científico internacional, si se tiene en cuenta el considerable volumen de producción e impacto en revistas internacionales indexadas o la visibilidad internacional de algunos científicos españoles o de ciertos centros de investigación. La respuesta a esta aparente contradicción entre ambas visiones es que la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) es un fenómeno complejo y con múltiples facetas. Esta realidad poliédrica hace que sean compatibles áreas relativamente saludables con otras que, por decirlo suavemente, presentan un amplio margen de mejora. Numerosos estudios comparativos ponen de manifiesto que existe una correlación entre la riqueza de un país, medida por su renta per cápita, y sus inversiones en Investigación y Desarrollo hasta el punto de que se ha llegado a afirmar que los países más desarrollados no invierten en investigación porque son ricos, sino que son ricos porque invierten o han invertido en investigación científica. Nuestro esfuerzo en investigación se encuentra todavía demasiado alejado de los países más desarrollados, y no se debe olvidar que el conocimiento ha sido el gran protagonista del crecimiento del producto interior bruto y de la productividad en la

práctica totalidad de las economías desarrolladas a lo largo de las últimas décadas, y que además el PIB basado en el conocimiento resiste mejor los periodos de crisis (22). Por el momento, la recuperación económica española está dejando de lado la investigación y, aunque las inversiones en términos absolutos han iniciado un leve aumento, en términos de PIB, hemos pasado del 1,40% de 2010, al 1,20% de 2017, lejos del objetivo del 2% exigido por Europa para 2020. España convergió con la Unión Europea en el período 2000-2010, y divergió desde entonces, debido a una reducción notable de la intensidad inversora, que ha sido especialmente acusada en el sector público, mientras que la Unión Europea ha mantenido una trayectoria de crecimiento (20).

¿En qué resultados se ha traducido el esfuerzo en I+D+i español de los últimos decenios? En el caso de la investigación, existen indicadores bien establecidos de producción e impacto de publicaciones científicas españolas indexadas en las bases de datos internacionales. Estos indicadores ponen de manifiesto que nuestro país ocupa el puesto noveno en cuanto a producción, cifra que desciende al puesto undécimo cuando se considera el impacto medido por el número de citas. En particular las ciencias más influyentes, aquellas que alcanzan mayor número de citas recibidas son, por este orden, medicina clínica, química, física, biología molecular y bioquímica, siendo también relevantes, por su impacto, las ingenierías. Afortunadamente, en nuestro sistema científico es posible encontrar islas de excelencia en prácticamente todas las áreas científicas, y hoy día 136 científicos

españoles se encuentran en las listas de highly-cited scientists elaborada por Clarivate-Web of Science. Por otra parte, en relación con el aparente discreto lugar ocupado por nuestras universidades en los rankings internacionales, el ex-rector de la Universidad Rovira i Virgili, Xavier Grau, utilizando los datos del popular ranking Shanghai, realizó un estudio acerca de las doscientas universidades del mundo más prestigiosas en diversas áreas. Dicho análisis ponía de manifiesto que mientras en el mundo hay quinientas cinco universidades que figuran entre las doscientas mejores en algún ámbito o disciplina, veintiuna son españolas, lo que sitúa a nuestro país en el sexto lugar concluyendo que en un mundo que contabiliza “diecisiete mil universidades, situarse entre las doscientas mejores en un ámbito determinado es realmente situarse entre las mejores, prácticamente dentro del 1% superior” (23). Además, si tenemos en cuenta los limitados recursos económicos que nutren a la investigación universitaria, podemos concluir que, a pesar de sus defectos y desequilibrios, la investigación universitaria es eficiente y debiera recibir una mayor consideración por parte de los poderes públicos y la sociedad. Estos datos muestran una situación razonable de la ciencia española, en general, destacando especialmente en varias áreas científicas y tecnológicas, lo que constituye una fortaleza de nuestro sistema que debiéramos valorizar adecuadamente favoreciendo una transferencia eficiente de resultados de investigación al sector productivo. Pudiéramos concluir que nuestro país ha alcanzado un desarrollo notorio en lo que se refiere a investigación científica académica, si bien algunos indicadores

relacionados con la I+D+i, en su sentido más finalista, arrojan resultados sensiblemente inferiores, por lo que serían necesarias reformas.

El escenario económico y político actual tal vez no sea el más adecuado para acometer las reformas necesarias, pero el deseable cambio de modelo de desarrollo y la creciente competencia internacional en materia de talento, conocimiento científico, tecnología y liderazgo empresarial exige priorizar discriminadamente la financiación dedicada a actividades de investigación. Los Presupuestos Generales del Estado de los últimos años relacionados con la I+D+i civil están poniendo en peligro la continuidad de algunos proyectos, grupos y centros de investigación. Por ello se debería tomar conciencia de que se está poniendo en riesgo una parte de nuestro frágil sistema de investigación y desarrollo y, en cierto modo, la posibilidad de que la economía y la sociedad española construyan unas bases más sólidas y sostenibles para mejorar el bienestar de sus ciudadanos en el próximo futuro. En definitiva, un modelo económico basado en la generación de conocimiento sólo tendrá éxito si se garantiza la estabilidad del sistema de investigación en términos de recursos económicos y humanos y si hay un sector privado que, más allá de las declaraciones de intenciones, apueste de verdad por la investigación y la innovación. La investigación en nuestro país es, actualmente, una prioridad a prueba.

Es necesario dotar a nuestro sistema de I+D de un marco institucional estable y previsible, que sea objeto de un gran pacto que permita a los agentes del sistema diseñar

estrategias a medio y largo plazo (24). Por otra parte, las universidades y organismos públicos de investigación deberían asumir su responsabilidad en la mejor gestión de sus instituciones, y para ello debería concedérseles la máxima autonomía normativa y de gestión vinculando ésta a una más exigente rendición de cuentas, favoreciendo modelos de relación contractual que permitan la captación de talento, así como evitar la pérdida de valiosos recursos humanos que se está produciendo en los últimos años. En resumen, la deseable transformación estructural hacia un modelo productivo basado en el conocimiento requiere un esfuerzo prioritario y sostenido del sistema de I+D+i en términos de recursos económicos y humanos, una mejora de la gobernanza institucional, así como un sector privado que apueste verdaderamente por la investigación y la innovación. El esfuerzo hecho a lo largo de los últimos decenios no puede desaprovecharse. Por el contrario, deberíamos volver a hacer un esfuerzo en I+D anticíclico aplicando una política científica adecuada, que permita sacar a flote las fortalezas, que las hay, en nuestro sistema de ciencia y tecnología.

REFERENCIAS

1. S. Ramón y Cajal, Reglas y consejos sobre investigación científica. Los tónicos de la voluntad, Edición, CSIC, Madrid, pág. 18 (2005).
2. Ibid., pág. 149 (2005).
- 3 J. M. Sánchez Ron, Pasado, presente y futuro de la ciencia española, Cuenta y Razón, 138, 107-120 (2005).
- 4 S. Ramón y Cajal, S., Reglas y consejos sobre

investigación científica. Los tónicos de la voluntad, Edición, CSIC, Madrid, pág. 193 (2005).

5 S. Ramón y Cajal, Recuerdos de mi vida: Historia de mi labor científica. Madrid, 1923, cuarta reedición, Alianza Universidad, Madrid, págs 286-287 (1984).

6 J. M. Serrano Sanz, Dos programas de reforma en la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, en La modernización científica de España, Instituto de España, Madrid, pág. 45-78 (2009).

7 “Exposición” firmada por el Ministro de Instrucción Pública y Bellas Artes, Amalio Gimeno, que precede al Real Decreto de 11 de enero de 1907, constitutivo de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Gaceta de Madrid 15 enero 1907.

8 J. Subirá, La Junta para Ampliación de Estudios. Revista Nuestro Tiempo, enero-mayo, 1-71 (1924).

9 J. Castillejo, War of ideas in Spain: Philosophy, Politics and Education, Londres, 1937. Edición en castellano, Guerra de ideas en España. 1937, Filosofía, política y educación. Prologo de J. Caro Baroja. Introducción de M. E. Sadler. Traducción de M. de Ferdinandy, Madrid, Revista de Occidente, págs.101-102, (1976).

10 I. Pérez-Villanueva Tovar, El significado y la labor de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Revista de Educación, 299, 231-246 (1992).

11 A. Santamaría García, El edificio Rockefeller La arquitectura con vocación en ciencia (2010).
<http://hdl.handle.net/10261/20416>
digital.csic.es/bitstream/10261/20416/1/EI%20edificio%20Rockefeller-2.doc

12 J. Ibáñez Martín, “Hacia un nuevo orden universitario”, Valladolid, 4 de noviembre de 1940, págs. 9-10.

13 J. M. Sánchez Ron, La Junta para Ampliación de Estudios, un Siglo Después, Circunstancia, Fundación Ortega-Marañón , Año V , nº 14, septiembre 2007.

- 14 Ley de 24 de noviembre de 1939 creando el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, BOE, 28 noviembre 1939.
- 15 M. A. Quintanilla Fisac, Democracias Científicas, en La modernización científica de España, Instituto de España, Madrid, pág. 175-213 (2009).
- 16 L. A. Oro, Los recursos humanos en los procesos de creación científica e innovación, Economía Industrial, 73-80 (1991).
- 17 J. López Facal, La ciencia española entre dos leyes, en La investigación: una prioridad a prueba, Cuadernos del Círculo Cívico de Opinión, 8, 31-40 (2012).
- 18 Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación 2013-2020
<http://www.ciencia.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.26172fcf4eb029fa6ec7da6901432ea0/?vgnnextoid=1387571a3db06610VgnVCM1000001d04140aRCRD>
- 19 ERAC Peer Review of the Spanish Research and Innovation System
http://www.idi.mineco.gob.es/stfls/MICINN/Prensa/FICHEROS/2014/140801_final_report_public_version.pdf
- 20 R. Xifré, La inversión en I+D y la innovación después de la crisis: sector público y sector privado, Cuadernos de Información Económica, 265, 13-24 (2018).
- 21 Pedro Duque se compromete a recuperar el nivel de inversión en ciencia anterior a la crisis, El País, 12 de julio de 2018.
- 22 L. A. Oro, La Investigación Española en la Encrucijada, Prensas Universitarias, Zaragoza (2013).
- 23 F. X. Grau, El 'ranking' de Shanghái: excelencia y especialización, El País, 2 de septiembre de 2013.
- 24 L. A. Oro, Un gran pacto de Estado en I+D, El País, 21 de diciembre de 2012.

PRESENTACIÓN A MARTIN ZIMMER

*Aurelio Serrano Delgado, IBVF CSIC -
Universidad de Sevilla*

Martin Zimmer nació en Colonia en 1967. Estudió biología en la Universidad de Colonia y en 1998 recibió su doctorado rerum naturalium (Dr. rer. nat) summa cum laude, que realizó allí y en Ann Arbor (Michigan, EE.UU.). Su investigación en la Universidad de Kiel durante su habilitación (2000-2004) y como Privatdozent en Ecofisiología Evolutiva (2004-2009) le llevó por primera vez al estudio de los ecosistemas costeros. Posteriormente dirigió un grupo de trabajo sobre Ecología terrestre en la Universidad de Salzburgo (2010-2014). Actualmente es biólogo investigador (workgroup leader) y Profesor de Ecología de los manglares en el Centro Leibniz de Ecología Marina Tropical (ZMT) y la Universidad de Bremen.

Es autor de más de 100 publicaciones en libros y revistas especializadas, miembro de Comités editoriales de prestigiosas revistas en su campo como Soil Biology and Biochemistry, Frontiers in Microbiology, Frontiers in

Agroecology y *Frontiers in Marine Sciences*. Forma parte de diferentes Comisiones académicas en la Universidad de Bremen y el Centro Leibniz de Ecología Marina Tropical así como de otras comisiones internacionales. Es miembro fundador del Cluster de Excelencia Future Ocean (Kiel). así como de la Junta Directiva del Programa de Protección del Clima de la Fundación Alexander von Humboldt.

El Prof. Zimmer investiga las interacciones en comunidades biológicas bajo condiciones ambientales cambiantes. Los ecosistemas costeros de manglares se ven fuertemente afectados por los cambios ambientales globales, como el calentamiento global, el aumento del nivel del mar o los cambios en la salinidad del agua salobre debido al aumento de las precipitaciones. A esto se agrega su explotación por las comunidades humanas. Los manglares son hábitats anfibios, formados básicamente por vegetales muy tolerantes a las sales, presentes en la zona intermareal de costas protegidas o poco expuestas, como golfos y ensenadas, marismas y estuarios cercanos a la desembocadura de cursos de agua dulce en latitudes tropicales y subtropicales, con fondos de arenas, limos o arcillas, nunca rocosos. Tienen una gran diversidad y alta productividad biológica, encontrándose en ellos muchas especies microbianas, animales y vegetales. Los manglares desempeñan una función primordial en la protección de las costas contra la erosión eólica y del oleaje, poseen una alta productividad biológica y alojan gran cantidad de organismos acuáticos, anfibios y terrestres; son, en definitiva, sistemas generadores de vida, como hábitats

preferidos de los estadios juveniles de muchas especies de peces, moluscos y crustáceos. También son el hábitat temporal de numerosas especies de aves migratorias.

Zimmer y su grupo de trabajo buscan entender cómo estos factores afectan a este ecosistema y su productividad. Para ello examinan los componentes individuales del sistema, las interacciones simbióticas, las redes alimentarias y los flujos de materiales entre los manglares y sus ecosistemas vecinos.

Sus principales líneas de investigación relacionadas con el tema de la conferencia son:

- Los ecosistemas costeros tropicales, sus procesos y productividad, y su uso.
- Cómo las interacciones bióticas en condiciones ambientales cambiantes se traducen en los procesos de esos ecosistemas que subyacen a su productividad biológica.
- Los intercambios y dinámica de la materia orgánica en los ecosistemas costeros.
- Con su conferencia sobre cómo el conocimiento del mar y sus costas puede contribuir a su uso sostenible, el Prof. Zimmer nos presentará su visión del aprovechamiento de los recursos naturales renovables de los ecosistemas costeros en base a su profundo conocimiento de los manglares.

WIE UNSER VERSTÄNDNIS DER KÜSTEN ZU IHRER NACHHALTIGEN NUTZUNG BEITRAGEN KANN – EIN DENKANSTOß

Martin Zimmer, Leibniz-Zentrum für Marine Tropenforschung, Abteilung Ökologie & Universität Bremen

Mehr als 70 % der Erdoberfläche sind von Ozeanen bedeckt. Mit einer durchschnittlichen Tiefe von etwa 3800 m und einem tiefsten Punkt etwa 11000 m unter dem Meeresspiegel, sind die Meere jedoch keine Erscheinung der Erdoberfläche, sondern füllen dreidimensional einen Körper mit den Ausmaßen von etwa 1.3 Milliarden km³. Dieses ungeheure Volumen von Meerwasser ist für die Regulierung des Klimas und als Quelle zahlreicher Roh- und Nahrungsstoffe von unschätzbbarer Bedeutung für den Menschen. Seit den ersten Sesshaftwerdungen des Menschen waren es solche Siedlungen, die an Flüssen oder der Meeresküste lagen, die sich schnell vergrößerten und zu wichtigen Handelszentren entwickelten.

Oberflächen- und Tiefenströme durchziehen und verbinden die Weltmeere. Diese Wasserbewegungen, die zumeist durch Unterschiede in Temperatur und Salzgehalt angetrieben werden und über lange Zeiträume stabil waren und sind, haben durch den Transport riesiger Wassermassen einen großen Einfluss auf das regionale und globale Klima. Meereslebewesen, die sich nicht aktiv über weite Strecken bewegen können, werden passiv durch diese Strömungen transportiert. Eine der bis heute nicht eindeutig beantworteten Fragen der Meeresbiologie ergibt sich aus dieser Verbindung von biogeografischen Räumen: kann jede Art überall dort gefunden werden, wo die Lebensbedingungen geeignet sind, oder gibt es auch für Meeresbewohner regional spezifische Zusammensetzungen von Lebensgemeinschaften?

Die Weltmeere sind der Lebensraum zahlreicher, vielfältiger, bisweilen bizarrer Lebewesen. Bekannt sind der Wissenschaft etwa 230,000 marine Arten, die tatsächliche Zahl wird jedoch auf mehr als eine Million geschätzt. Wir kennen also erst etwa ein fünftel aller Einwohner der Meere - viele der Arten, die wir noch nicht kennen, werden in dieser Zeit des sechsten Massenartensterbens möglicherweise aussterben, bevor sie entdeckt und beschrieben werden können. Wir werden niemals ihre faszinierenden Lebensweisen, oder auch ihren potenziellen Wert und Nutzen für den Menschen, kennenlernen.

Können wir schützen und bewahren, was wir nicht kennen?

Wo vor sollten wir die Bewohner unserer Meere schützen sollen?

Mehr als fünfzig Millionen Tonnen von Plastikmüll treiben weltweit in den Ozeanen und Küstengewässern, werden durch Meeresströmungen transportiert und akkumuliert, und werden in unübersehbaren Mengen an die Küsten angspült – die Folgen von Begegnungen von Fischen, Meeressäugern oder Vögeln mit Plastiktüten oder Trinkflaschen sind aus den Medien wohlbekannt und enden für die Tiere meist tödlich. Aber auch Großalgen und Gefäßpflanzen (Seegras, Salzmarschpflanzen, Mangroven), die an Küsten wachsen sind durch Plastikmüll bedroht. Auch wenn genaue Zahlen über die Mengen nicht vorliegen, fällt es nicht schwer sich vorzustellen, dass jährlich bis zu zehnmillionen weitere Tonnen hinzukommen.

Der seit der Industrialisierung stetig ansteigende Gehalt der Atmosphäre an Kohlendioxid (CO₂) hat in den vergangenen Jahrzehnten zur messbaren globalen Erwärmung geführt, und der Klimawandel verschont auf die Weltmeere nicht. Während viele Arten möglicherweise mit dem zeitlichen Verlauf der Erwärmung zurechtkommen und sich anpassen können, sind Hitzewellen, wie wir sie in den vergangenen Sommern kennengelernt haben, auch z.B. für Korallen tödlich. Oberhalb einer kritischen Temperatur, die meist nur wenig über der derzeitigen Durchschnittstemperatur liegt, stoßen die Polypen der

Korallen ihre symbiotischen einzelligen Algen ab - sie bleichen ... und sterben. Großflächige Korallenbleichen führen zum Tod ganze Riffe, deren Kalkskelette nun nicht nur langsam aber sicher aufgelöst werden, so dass wir wertvolle Strukturen, die z.B. die Wucht der Wellen, die auf Land abbremsen, verlieren; eine Wiederbelebung der Riffen mit neuen lebenden Korallen ist wenig wahrscheinlich und braucht unvollstellbar lange - ausgebleichte Riffe sind für eine sehr lange Zeit verloren...

Im Zuge des Klimawandels ändern sich auch die Küstenlinien von Inseln und Kontinenten. Der Meeresspiegel steigt messbar an, und neure Prognosen deuten an, dass bisherige Vorhersagen von einem jährlichen Anstieg von bis zu 3 mm für die kommenden Jahrzehnte nicht das ganze Ausmaß widerspiegeln. Die Ursachen sind im Detail vielfältig, lassen sich aber sämtlich auf direkte und indirekte Folgen des mit erschreckender und zunehmender Geschwindigkeit voranschreitenden Klimawandels infolge der Anreicherung der Erdatmosphäre mit Kohlendioxid und anderen Klima-aktiven Gasen (z.B. Methan, Lachgas) zurückführen.

Der Anstieg des CO₂-Gehalts der Atmosphäre führt durch Austauschprozesse an der Grenzschicht zwischen dem Wasserkörper der Weltmeere und der Atmosphäre auch zu einer Verschiebung der Wasserchemie, einer Anreicherung des Meerwassers mit CO₂. Die daraus resultierende Versauerung des Oberflächenwassers betrifft vor allem solche Meeresbewohner die kalkhaltige

Strukturen oder Skelette bilden, da diese im angesäuerten Meerwasser nicht nur schwieriger zu bilden sind, sondern sich auch leichter auflösen. Auch wenn artspezifische Reaktionen auf derartige Veränderungen nicht immer zu Verschiebungen im Nahrungs- oder Wechselwirkungsgefüge von Arten führen, können die Folgen der Ozeanversauerung noch nicht abschließend abgeschätzt werden. Wahrscheinlich werden viele der betroffenen Arten für immer von unserem Planeten verschwunden sein, bevor wir auch nur ansatzweise verstehen, was diese Umweltveränderungen für sie bedeuten.

Der fundamentalen Bedeutung des Meeres für den Planeten und seine (pflanzlichen, tierlichen und mikrobiellen) Bewohner steht eine menschliche Einwohnerzahl von Null gegenüber. Die Menschheit hat das Meer nicht dauerhaft besiedelt – Menschen leben an Küsten, die sich weltweit über eine Länge von 356000 km erstrecken:

Fast die Hälfte der Erdbevölkerung lebt weniger als 100 Kilometer vom Meer entfernt. Prognosen sagen voraus, dass es im Jahr 2050 fast zwei Drittel aller Menschen sein werden. Während Küstenstriche mit einer Höhe von weniger als 10 m über dem Meeresspiegel weltweit nur wenig mehr als 2 % der Gesamtfläche aller Küstenländer einnehmen, leben mehr als 10% der Bevölkerung dieser Länder in der Küstenregion. Hier haben sie direkten Zugang zu natürlichen Ressourcen und den Häfen und damit zu den Zentren des Welthandels - globale

Verkehrsströme führen seit Jahrhunderten und zunehmend über die Meere. Zudem schätzen die Menschen Küsten und Inseln als Erholungsgebiete, und Tourismus ist eine wichtige Einkommensquelle der Küstenbewohner.

Die weiterhin wachsende Weltbevölkerung und ihr zunehmender Bedarf an Ressourcen, allen voran Nahrung, wird in den kommenden Jahren und Jahrzehnten den Druck auf marine und Küstenökosystem verstärken – wir müssen Lösungen finden und Entscheidungen treffen, um die Leistungen und Ressourcen dieser Systeme auch in Zukunft nutzen zu können. Wir brauchen neue und innovative Denkansätze zu nachhaltiger Nutzung und Management. Diese wiederum setzen ein tiefgreifendes Verständnis der Ökosysteme, ihrer Artzusammensetzung, der Wechselwirkungen dieser Arten, wie sich diese in Ökosystemprozesse und -leistungen übersetzen, und wie diese von Umweltbedingungen und Ressourcennutzung beeinträchtigt werden, voraus.

Auch nach Jahren intensiver Forschung, ist bis heute umstritten, in welchem Zusammenhang die Artenvielfalt (Biodiversität) eines Ökosystems zu seinen Prozessen und Leistungen steht. Biodiversität wurde vielfach auch mit der Stabilität eines Ökosystems in Verbindung gebracht, mit seiner Widerstandsfähigkeit und Belastbarkeit gegenüber Störungen. Auch hier lassen zum Teil widersprüchliche Befunde keine eindeutige Aussage zu: wir kennen –gerade auch in

Küstenregionen- vergleichsweise artenarme Ökosysteme (z.B. einige Salzmarschen, Seegraswiesen und Algenwälder) , die dennoch sehr produktiv und stabil sind. Möglicherweise stellt sich in solchen Fällen heraus, dass eine geringe Artenzahl durch eine enge Vernetzung mit benachbarten Ökosystemen kompensiert wird. Diese Konnektivität schließt die aktive Wanderung von Tieren und die passive Drift von Verbreitungssadien ebenso ein wie den Transport von Nährstoffen und organischem Material, der insbesondere Küsten-ökosysteme mit ihren marinen und terrestrischen Nachbarn verbindet.

Die Verbindung von benachbarten Ökosystemen kann sich auch in er ein- oder gegenseitigen Abhängigkeit ausdrücken. So verbringen zahlreiche Fische, die als Erwachsene zur Artenvielfalt und Farbenpracht von Korallenriffen beitragen, ihre Jugend im Schutz des dichten Wurzelwerks von Mangroven. Geht diesen Arten durch das Abholzen oder einen anderweitigen Verlust von Mangroven ihre Kidnerstube verloren, drohen sie in Korallenriffen auszusterben. Neben ökologischen Konsequenzen für Ökosystemprozesse in Riffen, wirken sich derartige drastische Veränderungen auch auf die Nutzung der Systeme durch den Menschen aus: zahlreiche Touristen bereisen tropische Küstenstriche, um dort in Riffen zu tauchen und die reiche Fischfauna zu genießen - eine ganze Einkommensquelle für die einheimische Bevölkerung könnte infolge des Fehlens der Riffische zusammenbrechen.

Aus den bisherigen Ausführungen wird deutlich, dass der Wert eines Ökosystems (und seiner Biodiversität) in ihrem Nutzen für den Menschen besteht. Auch wenn der Schutz von Ökosystemen zum Erhalt ihrer zahlreichen Prozesse und Leistungen (für den Menschen!) in vielen Fällen vorrangig ist – oder sein sollte: wir können den Menschen nicht aus Ökosystemen ausschließen, wir können ihre Nutzung –und die ihrer Ressourcen– nicht untersagen. Wie Menschen hängen direkt und indirekt von diesen Ökosystemleistungen ab. Die Frage ist also nicht, ob wir Ökosysteme nutzen oder schützen, sondern, wie wir ihren Schutz und ihre Nutzung vereinen können und dort, wo gleichzeitiger Schutz und Nutzung nicht möglich sind, Kompromisse finden können, unterschiedliche und konkurrierende Interessen berücksichtigen.

Wie bereits zuvor angedeutet, setzen Schutz- und Nutzungskonzepte eine tiefgreifende Kenntnis zunächst der Nutzungsbedarfe und -bedürfnisse voraus. Darüber hinaus, ist es essenziell zu verstehen, welche Ökosystemleistungen von welchen Arten bzw. Lebensgemeinschaften wo erbracht werden. Karten zur räumlichen Verteilung menschlicher Bedarfe, der Verbreitung von Ökosystemleistungen und ihrer Nutzung müssen übereinander gebracht werden. In einer Welt des stetigen –und immer schneller voranschreitenden– Wandels reicht es allerdings nicht mehr, den Ist-Zustand oder Status Quo darzustellen. Vorhersagemodelle müssen genutzt werden, um aus der Korrelation zwischen früheren Veränderungen

Schlussfolgerungen für zukünftige Lebensgemeinschaften und Ökosystem und ihre Leistungen ziehen zu können. Innovative Schutz- und Nutzungskonzepte brauchen Karten prognostizierter Schutz- und Nutzungsmöglichkeiten, sowie potenzieller zukünftiger Stressoren, Drücke und Verletzlichkeiten dieser Ökosysteme. Aus diesem Wissen lässt sich dann eine räumliche Priorisierung von Schutz- und Nutzungsgebietnetzwerken, die sowohl ökologisch als auch gesellschaftlich optimierte Kompromisslösungen bietet, ableiten.

Das Ampelkonzept der Priorisierung, z.B., kategorisiert Ökosystem anhand von Prognosen ihres Zustands, ihrer Stabilität und Belastbarkeit, ihrer zukünftigen Entwicklung und ihres Wertes für den Menschen: "rote Ökosysteme" sind solche von hohem ökologischen Wert und geringer Belastbarkeit – wir schlagen vor, diese Gebiete strikt und konsequent zu schützen; "gelbe Ökosysteme" sind ebenfalls wertvoll –sowohl ökologisch als auch ökonomisch– und intakt, und zeichnen sich durch eine hohe Stabilität oder große Belastbarkeit aus – in solchen Gebieten können wir eine nachhaltige Nutzung der Ökosystemleistungen und -ressourcen zulassen; "grüne Ökosysteme" sind entweder bereits stark oder gar unwiderbringlich gestört oder werden das, gemäß der Prognosen, in absehbarer Zeit sein – sie haben weder ökologisch noch ökonomisch einen Wert, und wir geben grünes Licht für ihre Nutzung: wenn der Bau eines Hafens, einer Hotelanlage oder sonstiger Infrastruktur in der Region benötigt und geplant ist,

sollten solche Gebiete bevorzugt für diese wenig bis gar nicht nachhaltige Nutzung gewählt werden.

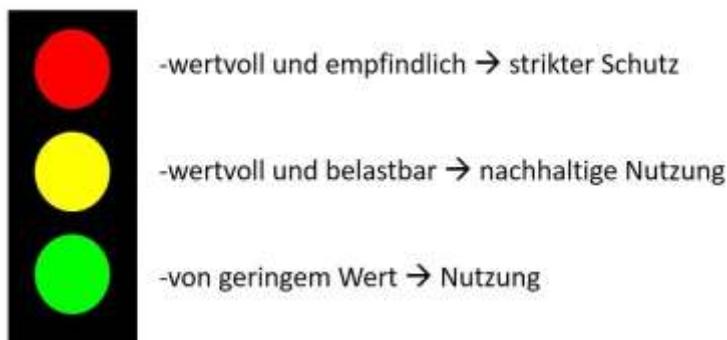


Abbildung 1. Kategorien des Ampelkonzepts für die räumliche Priorisierung von Schutz- und Nutzungsgebieten. Verändert nach Helfer & Zimmer (2018).

Degradierete Ökosysteme werden häufig einer Rehabilitierung oder Restaurierung unterzogen, mit dem Ziel, einen dem vorherigen Ökosystem ähnlichen Zustand wiederherzustellen. In vielen Fällen schlagen Restaurierungsversuche von Küstenökosystem jedoch fehl, u.a. weil es häufig an einer klaren Zielsetzung mangelt. Eine Alternative mit Fokus auf Ökosystemleistungen statt Ökosystemstruktur besteht im Ökosystem-Design. Die Bedarfe und Bedürfnisse des Menschen in den Mittelpunkt stellend, ermittelt Ökosystem-Design zunächst welche (möglicherweise kontrastierenden oder konkurrierenden) Ökosystemleistungen vor Ort (oder regional bis global) am vordringlichsten benötigt werden. Auf der Grundlage der Kenntnisse darüber, welche Arten und

Lebensgemeinschaften unter welchen Umweltbedingungen welche Ökosystemprozesse antreiben und damit Ökosystemleistungen sichern, werden aus dem regionalen Pool von Arten diejenigen gewählt und angesiedelt, die die aktuellen Bedarfe am effizientesten erfüllen. Neben ökologischen Grundlagen müssen hierzu auch gesellschaftliche Fragen der Kompromissfindung und Akzeptanz erfasst und geklärt werden – Innovative Ansätze zur Erhaltung und Wiederherstellung von Ökosystemleistungen erfordern ein inter- und transdisziplinäres Herangehen und bedürfen sowohl ökologisches als auch soziologisches und ökonomisches Verständnis der Küstenökosysteme, um diese –im Sinne ihres Schutzes und der menschlichen Nutzung– nachhaltig zu erhalten.

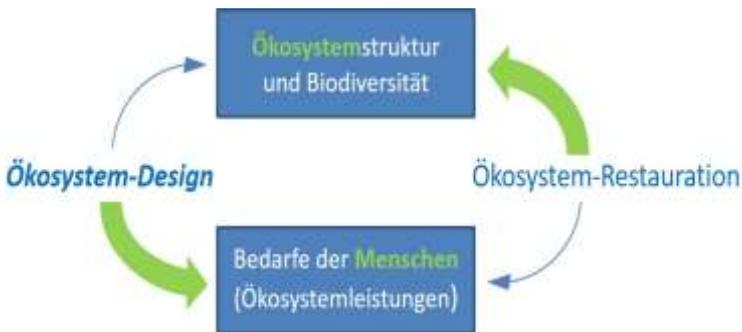


Abbildung 2. Schematische Darstellung der Grundidee des Ökosystem-Design, menschliche Bedarfe in das Zentrum des Handelns zu stellen. Verändert nach Zimmer (2018).

Zusammenfassende Schlussfolgerungen

Unser Verständnis der ökologischen und soziologischen Zusammenhänge, in die Küstenökosysteme eingebettet sind, ist eine Grundvoraussetzung für ihren effizienten Schutz und ihre nachhaltige Nutzung. Menschliche Bedarfe und Bedürfnisse bezüglich der Nutzung von Ökosystemen sind nicht nur ebenso vielfältig wie die Ökosysteme selbst, sie können zugleich konkurrieren und gar widersprüchlich in ihren Anforderungen an die Ökosysteme und ihre Leistungen sein – in jedem Fall werden sie in Zukunft weiter zunehmen. Küstenökosysteme sind nicht isoliert voneinander, sondern tauschen Organismen und Material aus – diese Konnektivität und gegenseitige Abhängigkeiten müssen in Schutz- und Nutzungskonzepten berücksichtigt werden und in das nachhaltige Management einfließen. Diese Ökosysteme unterscheiden sich voneinander (und regional) in ihrem "Wert" für den Menschen und die Gesellschaften vor Ort, sie sind unterschiedlich stark durch Umweltveränderungen und menschliche Nutzung bedroht und zeigen dieser Bedrohung gegenüber unterschiedliche Stabilität und Belastbarkeit.

Schutz- und Nutzungskonzepte für ein nachhaltiges Management von Küstenökosystemen setzen ökologische sowie sozio-ökologische und sozio-ökonomische Kenntnisse dieser Systeme voraus. Auf gesellschaftlicher Ebene muss eine breite Akzeptanz von Kompromisslösungen, aber auch gegenüber innovativen Lösungsansätzen, gefunden werden, um diese Konzepte nachhaltig zu gestalten und umzusetzen. Sämtliche

Entscheidungen müssen darauf beruhen, dass wissenschaftliche Erkenntnisse und Kenntnisse an Nutzer und Entscheidungsträger kommuniziert und mit diesen diskutiert werden.

Weiterführende Literatur des Autors:

Artspezifische Ökosystemleistungen:

- Gillis LG, **Zimmer M**, Bouma TJ. 2016. Mangrove leaf transportation: Do mimic Avicennia and Rhizophora roots retain or donate leaves? *Marine Ecology Progress Series* 551: 107-115.
- Landes A, **Zimmer M**. 2012. Acidification and warming affect both a calcifying predator and prey, but not their interaction. *Mar Ecol Progr Ser* 450: 1-10.
- Mews M, **Zimmer M**, Jelinski DE. 2006. Species-specific decomposition rates of beach-cast wrack in Barkley Sound, British Columbia, Canada. *Mar Ecol Progr Ser* 328: 155-160.
- Quadros AF, Nordhaus I, Reuter H, **Zimmer M**. 2019. Modelling of mangrove annual leaf litterfall with emphasis on the role of vegetation structure. *Estuarine Coastal & Shelf Science* 218: 292-299.
- Schaefer G, **Zimmer M**. 2013. Ability of invasive green crabs to handle prey in a recently invaded region. *Mar Ecol Progr Ser* 483: 221-229.
- Treplin M, Pennings SC, **Zimmer M**. 2013. Decomposition of leaf litter in a U.S. saltmarsh is driven by dominant species, not species complementarity. *Wetlands* 33: 83-89.
- Zimmer M**, Kautz G, Topp W. 2005. Do woodlice and earthworms interact synergistically in leaf litter decomposition? *Funct Ecol* 19: 7-16.

Zimmer M, Pennings SC, Buck TL, Carefoot TH. 2002. Species-specific patterns of litter processing by terrestrial isopods (Isopoda: Oniscidea) in high intertidal salt marshes and coastal forests. *Funct Ecol* 16: 596-607.

Konnektivität:

Hübner L, Pennings SC, **Zimmer M**. 2015. Sex- and habitat-specific movement of an omnivorous semi-terrestrial crab controls habitat connectivity and subsidies: A multi-parameter approach. *Oecologia* 178: 999-1015.

Lewis TL, Mews M, Jelinski DE, **Zimmer M**. 2007. Detrital subsidy to the supratidal zone provides feeding habitat for intertidal crabs. *Est Coasts* 30: 451-458.

Orr M, **Zimmer M**, Mews M, Jelinski DE. 2005. Wrack deposition on different beach types: Spatial and temporal variation in the pattern of subsidy. *Ecology* 86: 1496-1507.

Storry KA, Weldrick CK, Mews M, **Zimmer M**, Jelinski DE. 2006. Intertidal coarse woody debris: a spatial subsidy as shelter or feeding habitat for gastropods? *Est Coast Shelf Sci* 66: 197-203.

Treplin M, **Zimmer M**. 2012. Drowned or dry: A cross-habitat comparison of detrital breakdown processes. *Ecosystems* 15: 477-491.

Konzepte:

Helfer V, **Zimmer M**. 2018. High-throughput techniques as support for knowledge-based spatial conservation prioritization in mangrove ecosystems. In: Makowski C, Finkl CW (eds). *Threats to Mangrove Forests: Hazards, Vulnerability and Management*. Springer: 539-554.

Zimmer M, Helfer V. 2016. Biodiversität, Ökosystemprozesse und Ökosystemleistungen. In: Lozán JL, Breckle S-W, Müller R, Rachor E (Eds). *Warnsignal Klima: Die Biodiversität*. Verlag Wissenschaftliche Auswertungen. 297-302.

Zimmer M. 2018. Ecosystem Design: when mangrove ecology meets human needs. In: Makowski C, Finkl CW (eds). *Threats to Mangrove Forests: Hazards, Vulnerability and Management*. Springer: 367-376.

HACIA UN OCÉANO MÁS CÁLIDO, MÁS ÁCIDO, MENOS OXIGENADO Y MÁS DESIGUAL

Emilio Fernández, Universidad de Vigo

Cuando la Asociación Alexander von Humboldt de España tuvo la deferencia, que agradezco, de invitarme a impartir la conferencia de cierre de su XXVII Encuentro, me interrogué con la esperanza de encontrar un tema que despertara el interés de una audiencia muy diversa desde el punto de vista disciplinar, pero homogénea en cuanto a su elevada cualificación. Debía abordar una temática de interés científico vigente, atractiva en principio para cualquier persona con inquietud intelectual y, al mismo tiempo, estimuladora del debate, sin descartar incluso que tuviera una vertiente provocadora. Todo ello, claro está, dentro del reducido espacio que comprende los temas sobre los que puedo escribir un texto con la solvencia que requiere la circunstancia. Mi condición de ecólogo y mi especialización investigadora en el ámbito del mar me llevó a compartir con la audiencia algunos conocimientos y reflexiones sobre la situación en la que

se encuentran nuestros océanos en la actualidad y sobre los cambios que están aconteciendo y, muy previsiblemente tendrán lugar en ellos, como consecuencia de la acción humana. Es la síntesis de estos conocimientos y de las reflexiones que estos me han inducido, lo que les presento en las próximas páginas. El objetivo que me planteo, reconozco que ambicioso, es estimular su interés por esta apasionante fracción del conocimiento y procurar aportar los cimientos necesarios para que, a partir de ellos, puedan construir el edificio intelectual que sustente una posición razonada y rigurosa sobre un tema científico multidimensional, con muy extensas derivaciones ideológicas, políticas y económicas.

EL ANTROPOCENO

Que la presencia del ser humano ha generado y está generando cambios muy importantes en el planeta Tierra es una evidencia que sólo desde una posición interesada o desde la extrema ignorancia se puede negar. Desde hace casi dos siglos, la especie humana aumenta su presencia en la Tierra a una velocidad que se ajusta a un modelo de crecimiento exponencial, es decir mostrando tasas constantes de crecimiento que resultan en incrementos continuos de su tamaño poblacional. Es el modelo de crecimiento característico de las plagas. Por lo que no nos debe sorprender que se nos recuerde que el ser humano, en la actualidad, es una plaga de más de 7000 millones de ejemplares cuyo crecimiento no cesa, siendo muy probable que alcance los 9000 millones de

individuos a mediados de este siglo. Sin embargo, no sería riguroso atribuir la causa de los impactos del ser humano sobre el planeta exclusivamente a la explosión demográfica, sino que es la creciente capacidad tecnológica desarrollada por nuestra especie, así como la forma como esta es utilizada, lo que se encuentra también detrás de la voracidad con la que consumimos los recursos y energía de la Tierra.

De entre todos los impactos que el ser humano ejerce sobre el planeta, con seguridad es el cambio climático el más conocido y estudiado en la actualidad. Sin embargo, este fenómeno no es más que uno de los síntomas de un proceso de dimensión global y de intensidad extraordinaria que, cuando se analiza desde la disciplina de la Ecología, se concreta en la perturbación de los flujos de energía y de los patrones de circulación de materia en la biosfera, proceso que incluso ha generado nuevos flujos inéditos en la historia del planeta. Procesos como la extinción de especies, la transformación masiva del territorio, la acidificación de los océanos, la eutrofización a escala global o el cambio climático, ya mencionado, son consecuencia de la acción de una única especie, *Homo sapiens*.

La magnitud de la transformación acelerada que sufre la Tierra, junto a su carácter global desde el punto de vista espacial, han llevado a algunos autores a proponer la existencia de una nueva era geológica: el antropoceno (Crutzen y Stoermer, 2000; Steffen et al., 2007). El premio Nobel holandés Paul Crutzen escribía: “Debido a que las

actividades humanas han crecido de forma que se han convertido en fuerzas geológicas significativas, por ejemplo cambios en el uso del suelo, deforestación y quema de combustibles fósiles, está justificado asignar el término “antropoceno” a la época geológica presente”. Esta nueva era geológica que se propone, se visualiza en la evolución en el tiempo de numerosas variables relacionadas con la actividad humana: la ya señalada población humana, el producto interior bruto mundial, el consumo de energía, el número de embalses que modifica la dinámica de los sistemas fluviales, la producción de papel, el consumo de agua, el número de vehículos de motor o el de teléfonos móviles, entre otros muchos. Asociado a esta aceleración de la actividad humana, numerosas variables que reflejan la dinámica de los diferentes compartimentos del planeta: hidrosfera, atmósfera, biosfera, han experimentado un patrón de variación temporal similar. Así, por ejemplo, las concentraciones de distintas moléculas en la atmósfera (metano, óxido nítrico, ozono, etc.), la temperatura media del planeta, el nivel de acidificación de los océanos, la entrada de compuestos de nitrógeno a la zona costera o la magnitud de la reducción en la extensión de los bosques tropicales. Todas estas variables han aumentado de forma exponencial desde la revolución industrial, mostrando este crecimiento una aceleración muy significativa a partir de mediados del siglo pasado (Steffen et al., 2012).

UNA ATMÓSFERA PROFUNDAMENTE ALTERADA

Los procesos de transformación de gran escala espacial que experimenta el planeta son, pues, numerosos y de origen variado, siendo significativo el efecto de todos ellos sobre la salud de los ecosistemas. No obstante, uno de ellos, el que afecta al cambio del clima, no sólo es el que ha recibido y recibe más atención, como ya se ha mencionado, sino que es sobre el que se dispone de más conocimiento e ilustra con claridad la magnitud de los cambios ocasionados por el ser humano. Sin duda, una de las representaciones gráficas más icónicas en la ciencia del cambio global es la denominada curva de Keeling, que representa la evolución temporal de la concentración de CO₂ en la atmósfera, mostrando la característica forma en hoja de sierra que refleja la variación estacional de la “respiración” del planeta, la secuencia de periodos caracterizados por un intenso crecimiento de la vegetación, lo que supone una retirada de CO₂ de la atmósfera, seguidos de fases en las que predomina la descomposición de la materia producida, con el consecuente consumo de este gas de efecto invernadero (Figura 1).

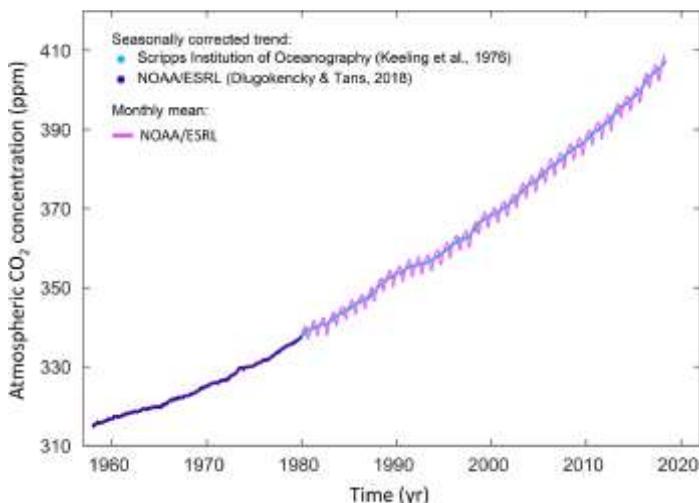


Figura 1.- Curva de Keeling. Evolución temporal de la concentración de CO₂ atmosférico en el periodo 1957-2018.

La serie correspondiente al periodo 1957-1979 proviene de los datos obtenidos por en Mauna Loa (Hawaii) y en el Polo Sur, por la Scripps Institution of Oceanography. Los correspondientes al periodo 1980-2018 son valores promedio de numerosas estaciones de observación. (Tomado de Le Queré et al., 2018).

La concentración de este gas de efecto invernadero, por lo tanto responsable del calentamiento de las capas bajas de la atmósfera, en las que habitamos, ha aumentado de forma sostenida desde mediados del siglo pasado, momento en que alcanzaba valores próximos a 320 partes por millón en volumen (ppmv), hasta los comienzos de la presente década, en que tomaba valores que superaban los 390 ppmv. El promedio de la concentración de CO₂ en el mes de abril de este año ha

Hacia un océano más cálido, más ácido, menos oxigenado y más desigual

sido de 413.32 ppmv, más de 3 ppmv superior al registrado en el mes de abril del año pasado.

Con seguridad, el lector ha escuchado, o leído, que el ascenso que están experimentando los niveles de este gas en la atmósfera en las últimas décadas, no es más que parte de un ciclo natural de la tierra. Este es el argumento de los autodenominados “negacionistas” o “escépticos” del cambio climático. Se trata de un colectivo diverso que se manifiesta con diferentes aproximaciones. Por una parte se encuentran aquellos que no creen en la existencia de abundante conocimiento científico que muestra una tendencia clara hacia el calentamiento global del planeta, adoptando una posición similar a la de los “terraplanistas”, seres vivos que creen con fervor que la tierra es plana, sin percatarse todavía de que la ciencia no tiene creencias, sino que sólo analiza evidencias, por supuesto refutables, pero siempre derivadas de la razón. Existen también los que, sin poner en duda la veracidad de la tendencia de calentamiento que se mide en el planeta, cuestionan que esta deba atribuirse a la acción humana.

Es absolutamente cierto que la concentración atmosférica de CO₂ siempre ha sido variable a lo largo de la historia de la Tierra. La investigación científica ha conseguido reconstruir la evolución temporal de la concentración de CO₂ que ha experimentado la atmósfera terrestre en los últimos 800000 años, es decir, en épocas en las que Homo sapiens todavía no existía y la presión ambiental de otras especies de homínidos era, sin duda,

despreciable a escala global. Se preguntará el lector cómo es posible adquirir este conocimiento si, evidentemente, no existen registros históricos que informen sobre esta variable. La respuesta está en el hielo. En el proceso de congelación del agua, quedan atrapadas burbujas de aire. Cuando vuelvan a tomar un refresco y pidan que se añadan cubitos de hielo, reparen en la gran cantidad de pequeñas burbujas que albergan. Burbujas que encierran aire de la atmósfera que existía en el momento de su formación. En los casquetes polares, el hielo que se forma cada año se va acumulando de forma que las capas de hielo más someras representan a aquel que se ha formado más recientemente. Es posible con los medios técnicos actuales introducir un tubo en el interior de un casquete polar, lo que denominamos testigo de hielo, y analizar la composición química de las burbujas de aire en diferentes profundidades, así como la edad del hielo formado. A partir de estas medidas se podrá conocer la concentración de CO₂ correspondiente a las atmósferas que envolvieron nuestro planeta hasta el momento que se corresponde con la capa más antigua de hielo que hayamos podido alcanzar. Al realizar este ejercicio con testigos de hielo muy profundos introducidos en la Antártida, Luthi et al., (2008) comprobaron que, efectivamente, la concentración de CO₂ en la atmósfera terrestre mostraba la transición desde épocas con bajos niveles de este gas de efecto invernadero, hasta periodos que mostraban concentraciones más elevadas, pero nunca superiores a los 300 ppmv. Estas variaciones cíclicas se encontraban asociadas a los correspondientes ciclos glaciales e inter-glaciales. Se trata por tanto, de

variaciones naturales inherentes al funcionamiento del sistema terrestre, que acontecen con independencia de la acción antrópica. Sin embargo, estos mismos resultados permiten concluir que ni la magnitud absoluta de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) que presenta en estos momentos nuestra atmósfera, ni la velocidad a la que ésta se ha alcanzado tienen un reflejo en ningún momento anterior de la historia de nuestra atmósfera, al menos, en los últimos 800000 años, lo que pone de manifiesto la insólita intensidad de la transformación experimentada en ella coincidiendo con la fase de crecimiento exponencial de la población humana.

Estas evidencias son interesadamente ignoradas por dirigentes que sostienen que el proceso de calentamiento global no es más que una creación de potencias extranjeras, generalmente atribuyendo a China la responsabilidad de su invención, con la aviesa finalidad de perjudicar a la industria norteamericana. Afortunadamente, otros líderes mundiales reaccionan en sentido contrario, e incluso en la última encíclica del actual Papa, *Laudato si*, se reconoce al cambio climático como “uno de los principales desafíos actuales para la humanidad”, alertando de la gravedad de los problemas que este fenómeno lleva asociados.

UN OCÉANO MÁS ÁCIDO

El cambio observado en la composición química de la atmósfera terrestre está causado, principalmente, por la

emisión de dióxido de carbono consecuencia de la quema de combustibles fósiles (91%) y por las emisiones asociadas a los cambios en los usos del suelo, como la deforestación (9%). En el año 2017, los seres humanos emitimos unas 41 Gigatoneladas de CO₂ a la atmósfera (1 gigatonelada, Gt, son 1015 gramos), o lo que es lo mismo, en 2017 entraron en la atmósfera 41000 millones de toneladas de CO₂ procedente de la acción humana, el valor más elevado registrado desde que se realizan estimaciones de este flujo. Una fracción del CO₂ emitido a la atmósfera, aproximadamente el 44%, se acumula en ésta, aumentando así la capacidad de la atmósfera para retener radiación de onda corta procedente de la tierra, dando lugar al fenómeno del calentamiento global. Algo menos del 30% del CO₂ emitido es capturado por la vegetación terrestre, mientras que el 22 % del CO₂ de origen humano que entra en la atmósfera, sobre 9 Gt de CO₂, acaban penetrando en el océano, alterando sus propiedades químicas y conduciendo al fenómeno de la acidificación oceánica (Le Quéré et al., 2018). Este flujo ha ido aumentando progresivamente a lo largo de las últimas décadas, desde valores menores de 4 Gt de CO₂ al comienzo de la década de los 60 del siglo pasado, hasta la magnitud actual, que más que duplica este valor (Figura 2). Por lo tanto, la intensa interacción que se establece entre la atmósfera, el océano y el sistema terrestre, ha provocado que la alteración del componente atmosférico se haya extendido a la totalidad del planeta, confiriendo a este fenómeno un carácter global en lo que afecta a la escala espacial.

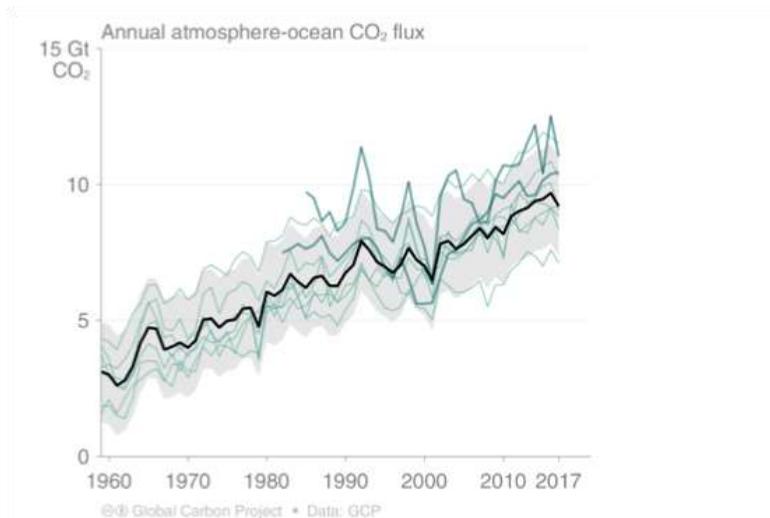


Figura 2.- Evolución temporal (1960-2017) de la magnitud del flujo de CO₂ entre atmósfera y océano. Fuente: Le Quéré et al., 2018. (Tomado de Global Carbon Project; <https://www.globalcarbonproject.org/index.htm>).

En la actualidad, el conocimiento científico establece que los océanos del planeta acogen unas 155 Gt del carbono que se han liberado a la atmósfera fruto de la acción humana, denominado carbono antropogénico. Para poner en contexto esta cantidad de carbono, resulta de interés su comparación con la cantidad de carbono que representan la totalidad de los seres vivos, animales y vegetales, que habitan en los océanos, que alcanzan un valor unas 50 veces inferior. Este carbono antropogénico se encuentra distribuido en todos los océanos, aunque las mayores concentraciones se detectan en aquellas regiones en las que el agua superficial penetra hacia las

zonas más profundas, como el Atlántico Norte, siendo notablemente más bajas en aguas del Índico y aún más del Pacífico (Sabine et al., 2004).

La acumulación de CO₂ antropogénico en el océano altera las características químicas del agua de mar en lo que respecta a los compuestos inorgánicos de carbono. El CO₂ que entra en el océano superficial se combina con el agua formando un compuesto de vida media muy corta que es el ácido carbónico. Este se disocia en iones bicarbonato y protones. De esta forma, al aumentar el flujo de CO₂ desde el océano a la atmósfera (Figura 2), no sólo aumenta la cantidad de carbono inorgánico presente en disolución en el agua de mar, principalmente en forma de iones bicarbonato, sino que aumenta también la concentración de protones, es decir, desciende el pH, o lo que es lo mismo, se incrementa la acidez del océano. Esta es, de forma muy sintética, la base del proceso de la acidificación oceánica, una de las amenazas a las que está haciendo frente el océano presente y, sin duda, afectará con mayor intensidad al océano del futuro. Las investigaciones llevadas a cabo sobre el aumento de acidez del océano, o lo que sería más correcto, sobre la disminución de su carácter básico, indican que este efecto tiene un carácter global, aunque variable espacialmente en cuanto a su magnitud. Se ha estimado que los cambios de acidez, de pH, que han acontecido en los océanos del planeta entre el periodo anterior a la revolución industrial y finales del siglo XX suponen descensos de entre 0.04 a 0.1 unidades de pH (nótese que la escala de pH es logarítmica) (Figura 3).

Hacia un océano más cálido, más ácido, menos oxigenado y más desigual

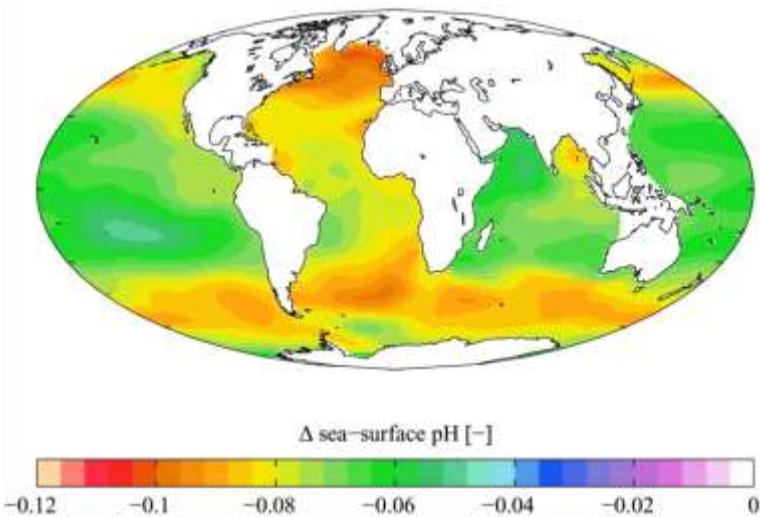


Figura 3.- Variación del pH (en unidades estándar de pH) en la superficie de los océanos estimado para el periodo 1700 (época preindustrial) y 1990. Las estimaciones se han realizado a partir de la climatología del Global Ocean Data Analysis Project (GLODAP) y valores de salinidad del World Ocean Atlas.

Son diversos los impactos que este incremento de acidez ejerce, o puede ejercer en el futuro, sobre los ecosistemas marinos. Entre estos, posiblemente uno de los más estudiados, y sin duda el más fácilmente visualizable, es el que soportan los organismos marinos calcáreos, para los que cada vez es más difícil sintetizar sus estructuras y caparazones. El aumento en el número de protones que tiene lugar en el océano asociado a la entrada de CO₂, presentado más arriba, deviene en la reacción de estos protones con iones carbonato para dar

lugar a iones bicarbonato, disminuyendo mediante este proceso la concentración de aquel en el agua. Los iones carbonato son los elementos esenciales de la síntesis de carbonato de calcio, bien como calcita o como aragonito, materiales inorgánicos de los que están formados los caparazones de organismos marinos tanto vegetales, como los cocolitofóridos, como animales, como los moluscos, los corales o los pterópodos. El ejemplo que se presenta en la figura 4 ilustra este fenómeno. Se muestra como una concha del pterópodo *Limacina helicina* se disuelve casi en su totalidad tras ser incubada durante 45 días en agua de mar modificada, de manera que tanto las concentraciones de las diferentes formas de carbono inorgánico disueltas como el nivel de acidez de la misma simulan las características que se espera posea el agua de mar en el año 2100.

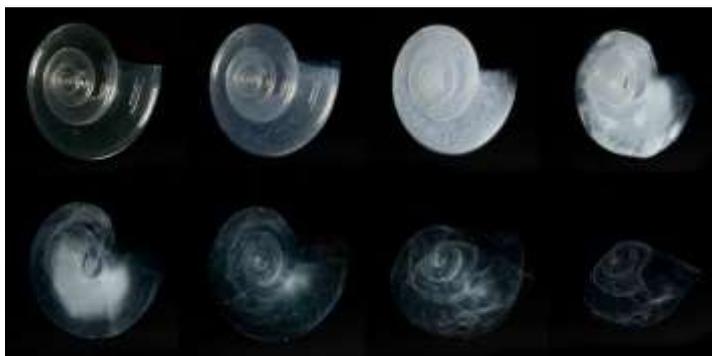


Figura 4.- Evolución temporal de la concha del pterópodo *Limacina helicina* incubadas en agua de mar de características similares, en términos de química del carbono y pH, al que se prevé que experimentarán estos organismos en el océano de finales del siglo XXI. NOAA Environmental Visualization Laboratory (EVL).

Este ejemplo es sólo una muestra de los numerosos experimentos que se han realizado en las últimas décadas tratando de comprobar el efecto de la acidificación del océano sobre las especies marinas (ver por ejemplo, Kroeker et al., 2013). Los resultados obtenidos en estos experimentos permiten afirmar que la acidificación del agua de mar representa una amenaza para muchas especies marinas que se encuentran distribuidas en todos los océanos. Esta amenaza se concreta en descensos en la supervivencia, la calcificación, el crecimiento, el desarrollo y la abundancia de las especies ensayadas consideradas en su conjunto, aunque se identificaron diferencias interespecíficas notables en estas respuestas. Se concluyó también que la sensibilidad de los organismos marinos a la acidificación del medio aumentaba significativamente cuando esta ocurría en paralelo con un aumento de temperatura, lo que refuerza la idea de que es necesario considerar los efectos sinérgicos, o antagónicos, de las diferentes presiones ambientales para poder predecir con fiabilidad la respuesta de los ecosistemas marinos a los cambios ambientales a que están sometidos.

UN OCÉANO MÁS CÁLIDO, MÁS ESTRATIFICADO Y MENOS OXIGENADO

Que la tierra está experimentando un proceso de calentamiento global no está hoy en discusión por parte de la comunidad científica. El último informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático señala

que el calentamiento promedio combinado de tierra y mar que ha tenido lugar entre 1880 y 2012 se estima en 0.85 °C (IPCC, 2013). En el caso del océano superficial, el incremento promedio registrado desde 1901 hasta 2012 es del orden de 0.65 °C por siglo, calentamiento que acelera su ritmo en las últimas décadas, alcanzando valores de 1° por siglo cuando se analizan los resultados derivados de distintos modelos para el periodo 1979-2012. Actualmente se sabe que el calentamiento de la atmósfera terrestre no sólo ha causado un incremento de la temperatura superficial del océano, sino que éste ha aumentado su contenido de calor, al menos, hasta los 2000 m de profundidad. Utilizando todos los datos de temperatura disponibles desde 1971, año a partir del cual los datos disponibles son representativos. Levitus et al. (2012) estimaron que el incremento de temperatura de los 700 m superiores del océano ha sido de 0.015 °C por década. El calentamiento del océano no es homogéneo espacialmente, detectándose un patrón de calentamiento más intenso en el Océano Atlántico que en el Pacífico, y en éste que en el Índico, siendo además superior en el hemisferio Norte relativamente al hemisferio Sur y en latitudes medias y bajas con respecto a las regiones polares o subpolares (Rhein et al., 2013). A pesar de estas diferencias espaciales, el calentamiento puede considerarse prácticamente generalizado.

Aunque el océano se calienta en su conjunto, el incremento de temperatura es, obviamente, mayor en las capas más superficiales que se encuentran en contacto con la atmósfera. Se establece de esta manera un marcado gradiente vertical de acumulación de calor en

el océano que se va intensificando como consecuencia del calentamiento de la atmósfera. Así, en términos relativos, la capa superior del océano, los primeros 50 metros, aceleran su calentamiento, y consecuentemente, se hacen menos densos, con lo que progresivamente aumenta la estratificación de esta capa con respecto al océano más profundo, más frío y más denso (ver la figura 2 en Levitus et al., 2012). Este gradiente de densidad se hace más acusado en las regiones tropicales y ecuatoriales (Gruber 2011). Las consecuencias que se derivan de esta progresiva estratificación térmica del océano son variadas. En este artículo abordaremos dos de las más importantes: su efecto sobre el contenido de oxígeno del océano y su impacto sobre la productividad oceánica.

La mayor estratificación de la columna de agua y la asociada reducción de la intensidad de la mezcla vertical que se predice de cara a las próximas décadas deriva en un proceso poco conocido todavía, pero de gran importancia: la desoxigenación del océano profundo. El océano incorpora oxígeno mediante la difusión de esta molécula desde la atmósfera y gracias a la producción de oxígeno que tiene lugar en el proceso de la fotosíntesis, que al ser dependiente de la energía lumínica, sólo tiene lugar en las primeras decenas de metros del océano. Por lo tanto, los océanos del planeta se recargan de oxígeno por su parte superior. Por el contrario, en el océano profundo y oscuro, el oxígeno se consume en el proceso de respiración aerobia, mediante el que se oxida la materia orgánica que, producida en las capas más

someras, sedimenta hacia los fondos oceánicos. Si esta situación persistiera en el tiempo, el océano superficial mantendría concentraciones de oxígeno elevadas y próximas a las que se corresponden con su equilibrio con la atmósfera, mientras que el océano profundo se convertiría en anóxico, es decir, quedaría privado de oxígeno. Si esto no acontece más que en algunas zonas muy limitadas del océano es debido a que los procesos de mezcla vertical que transportan agua profunda a la superficie, produciéndose entonces el equilibrio de las concentraciones de oxígeno del agua y de la atmósfera. Al aumentar la estratificación, especialmente en las zonas tropicales, estos procesos de ventilación de las aguas profundas se hacen menos intensos, dificultando así la entrada de oxígeno al océano. Recientemente, investigadores de la Escuela de Oceanografía de la Universidad de Washington, en Seattle (EEUU), han estimado la escala de tiempo en la que se espera que la desoxigenación del océano profundo debido al cambio climático sea detectable (Long et al., 2016).

Estos investigadores concluyeron que mientras en grandes extensiones oceánicas no es previsible que este fenómeno acontezca a lo largo de este siglo, como es el caso del Océano Atlántico, en otros océanos, ocurrirá en fechas tan próximas como 2035-2040, como muy probablemente ocurrirá, por ejemplo, en el Pacífico Norte (Figura 5). La desoxigenación de amplias regiones del océano profundo es un fenómeno que muy probablemente comenzará a formar parte de las preocupaciones de la próxima generación y, por lo tanto, haríamos bien en incorporarlo más pronto que tarde al

Hacia un océano más cálido, más ácido, menos oxigenado y más desigual

elenco de problemas ambientales con los que nos tendremos que enfrentar.

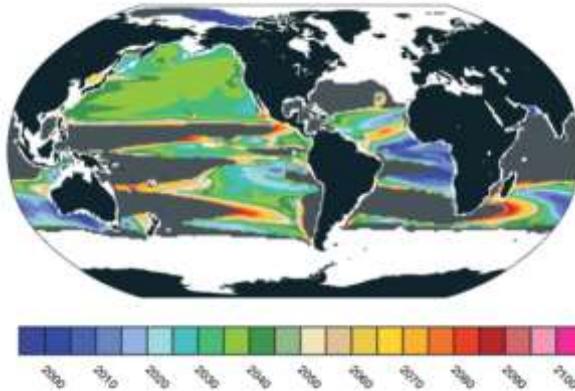


Figura 5.- Escala temporal en la que se prevé que la desoxigenación del océano profundo debido al cambio climático sea detectable en las diferentes regiones del océano. Esta imagen es una cortesía de Mathew Long, NCAR, cuya utilización es libre para su uso en publicaciones o actividades sin ánimo de lucro.

UN OCÉANO MENOS PRODUCTIVO ... Y MÁS DESIGUAL

Esta misma tendencia hacia el aumento de la estratificación térmica del océano tiene un efecto significativo sobre su productividad, pudiendo afectar de forma directa a las poblaciones humanas más dependientes del mar. En el océano, los nutrientes necesarios para el crecimiento de los vegetales marinos

se acumulan preferentemente en las capas profundas y oscuras. Estos nutrientes ascienden a la superficie cuando en una determinada región oceánica operan procesos físicos que permiten vencer la diferencia de densidad que existe entre las masas de agua profundas y las superficiales, procesos generalmente asociados al enfriamiento de estas últimas y a la acción del viento. El progresivo incremento de la estratificación térmica que experimentan las regiones tropicales asociado al calentamiento global reduce, por tanto, la intensidad de la mezcla vertical del océano, que es el responsable de buena parte de la entrada de nutrientes necesarios para la fotosíntesis marina y origina, consecuentemente, una reducción de la producción de materia vegetal, denominada producción primaria, en estas regiones. Mediante la utilización de modelos matemáticos complejos, algunos autores han estimado que esta productividad puede experimentar descensos de hasta el 40% en algunas regiones tropicales en el año 2050 con respecto al presente (Barange et al, 2014). Estos mismos autores señalan que este descenso de productividad primaria se traducirá muy posiblemente en descensos en las capturas de especies de peces explotados por los seres humanos de hasta un 20 %, muy especialmente en aquellos países de África, Asia y América del Sur en los que la dieta proteica de las poblaciones humanas es más dependiente del consumo de pescado, como por ejemplo, Angola, Perú, Filipinas o Bangladesh. Por el contrario, muchos de los países menos dependientes del consumo de pescado, Polonia, Suecia, Gran Bretaña, entre otros, verán probablemente incrementadas las capturas de peces entre un 10 % y un 40 % (Barange et

al., 2014). Es este un ejemplo que muestra con claridad los impactos que el calentamiento global puede ejercer sobre las sociedades, en particular, sobre aquellas más vulnerables, e ilustra como los cambios que se prevén en el ambiente oceánico y en el funcionamiento de sus ecosistemas para lo que resta del presente siglo, se convertirán en motores de desigualdad social, acentuando aún más las ya extraordinarias diferencias existentes en los niveles de bienestar de las sociedades del norte con respecto a las del sur del planeta.

CODA

Se preguntarán los lectores qué acciones deberíamos emprender para comenzar a revertir esta desbocada tendencia hacia la alteración intensa y global de nuestros océanos, mejor diré de los océanos del planeta, que es a quien realmente pertenecen, y en general de la biosfera terrestre. Probablemente, el mayor esfuerzo colectivo que los seres humanos han realizado en esta dirección como especie sea el Acuerdo de París adoptado en el seno de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de Naciones Unidas en diciembre de 2015. Este acuerdo se sintetiza en el compromiso, repetido en innumerables ocasiones, de “Mantener el incremento medio de temperatura de la atmósfera terrestre por debajo de 2°C con respecto a los niveles pre-industriales y, de ser posible, limitar este ascenso a 1.5°C, reconociendo que esta acción reducirá de forma significativa los riesgos e impactos del cambio climático”. Lean, por favor, de

nuevo esta última frase: “Mantener el incremento medio de temperatura de la atmósfera terrestre por debajo de 2°C ...”. Fíjense en lo que en ella está implícito. La humanidad se marca como objetivo adoptar las medidas precisas para modificar la composición química de la atmósfera terrestre con el fin de evitar o reducir riesgos para el desarrollo de nuestras sociedades en el futuro. Por primera vez en los aproximadamente 3800 millones de años de historia de la vida en el planeta, una única especie tiene la capacidad de transformar los balances de energía de la atmósfera. Esta es la esencia del problema ambiental que nos ocupa. Esta es la esencia del antropoceno: una única especie responsable de un impacto global sobre el planeta.

El antropoceno es el producto de la sociedad industrial capitalista. Un modelo de sociedad que depende y tiene su razón de ser en el uso masivo de energía, en el consumo de recursos y en la transformación intensiva del territorio, a cambio de recompensas en términos de bienestar para una fracción reducida de la población humana. Personalmente, no confío en que las soluciones eficaces para abordar este inmenso reto puedan provenir del mismo sistema que genera el problema. Desgraciadamente, tampoco soy capaz ni siquiera de vislumbrar qué otro sistema podría resultar más satisfactorio, aunque sí me atrevo a defender con pasión que el nuevo modelo económico y social debe sustentarse en una reducción drástica el consumo de energía y de recursos, si realmente aspiramos a mitigar, al menos de forma parcial, la magnitud de los impactos que la ciencia predice para las próximas décadas. Sin

duda, este nuevo modelo requerirá una nueva definición del concepto de bienestar social. Este concepto, dotado de un considerable componente subjetivo, adopta un formato en los países más ricos que conduce irremisiblemente a situaciones incompatibles con la sostenibilidad del desarrollo de nuestras sociedades y amenaza a la propia homeostasis planetaria. Mientras este proceso de transformación lento pero inevitable acontece, podemos depositar nuestra confianza en que los estados del planeta adquieran compromisos de forma voluntaria para que las emisiones de gases de efecto invernadero se reduzcan de forma drástica. Eso es depositar nuestra confianza en la eficacia del Acuerdo de París. Esta confianza puede llegar a convertirse en un placebo que acalle nuestras conciencias en el futuro próximo, pero, a mi juicio, no es previsible que podamos esconder durante mucho tiempo su cuestionable efectividad para abordar los desafíos ambientales y sociales a los que se enfrenta la humanidad.

REFERENCIAS

Barange, M., Merino, G., Blanchard, J.L., Scholtens, J., Harle, J., Allison, E. H., Allen, J. I., Holt, J., Jennings, S. 2014. Impacts of climate change on marine ecosystem production in societies dependent on fisheries. *Nature Climate Change*. DOI: 10.1038/NCLIMATE2119

- Crutzen, P. J., Stoermer, E. F. (2000). IGBP, Newsletter 41 Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm.
- Gruber, N. 2011. Warming up, turning sour, losing breath: ocean biogeochemistry under global change. *Phil. Trans. R. Soc. A.* 369: 1980-1996.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Kroeker, K.J., Kordas, R.I., Crim, R., Hendriks, I.E., Ramajo, L., Singh, G.S., Duarte, C.M., Gattuso, J-P. 2013. Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming. *Global Biogeochemical Cycles.* 19: 1884-1896.
- Le Quéré. C., y 75 autores más (2018). Global Carbon Budget 2018. *Earth Syst. Sci. Data.* 10: 2141-2194.
- Levitus, S., Antonov, J.I., Boyer, T.P., Baranova, O.K., García H.E., Locarnini, R.A., Mishonov, A.V., Reagan, J.R., Seidov, D., Yarosh, E.S., Zweng, M.M. 2012. World ocean heat content and thermosteric sea level change (0-200 m), 1955-2010. *Geophysical Research Letters.* 39. doi:10.1029/2012GL051106.
- Long, M.C., Deutsch, C., Ito, T. 2016. Finding forced trends in oceanic oxygen. *Global Biogeochemical Cycles.* 10.1002/2015GB005310.

- Luthi, D., Le Floch, M., Bereiter, B., Blunier, T., Barnola, J.-M., Siegenthaler, U., Raynaud, D., Jouzel, J., Fischer, H., Kawamura, K., Stocker, T.F. 2008. High-resolution carbon dioxide concentration record 650000-800000 years before present. *Nature*. 453:379-382.
- Rhein M et al 2013 Observations: ocean. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* ed T F Stocker, D Qin, G-K Plattner, M Tignor, S K Allen, J Boschung, A Nauels, Y Xia, V Bex and P M Midgley (Cambridge: Cambridge University Press) Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Sabine, C.L., et al., 2014. The oceanic sink for anthropogenic CO₂. *Science*. 305: 367-371.
- Steffen W, Crutzen PJ., McNeill JR (2007) The Anthropocene: Are humans now overwhelming the great forces of Nature?. *Ambio* 36: 614-621.
- Steffen, W., Grinevald, J., Crutzen, P., McNeill, J. 2011. The anthropocene: conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 369: 842-867.

DOCUMENTOS HUMBOLDT

- 1) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2002): “Documentos Humboldt 1: *Una nueva estrategia universitaria*”, Editado por el Instituto de Dirección y Organización de Empresa, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, 124 pp.
- 2) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2003): “Documentos Humboldt 2: *Accreditation and quality. A new strategy for the European University*”, Editado por el Instituto de Dirección y Organización de Empresa, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, 172 pp.
- 3) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2005): “Documentos Humboldt 3: *Bachelor – Master en la cultura universitaria europea: Retos y Oportunidades*”, Editado por el Instituto de Dirección y Organización de Empresa, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, 125 pp.

- 4) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2006): “Documentos Humboldt 4: *“La Universidad como institución del conocimiento y la innovación”*”, Editado por el Instituto de Dirección y Organización de Empresa, Alcalá de Henares, 166 pp.
- 5) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2007): “Documentos Humboldt 5: *“Ciencia y Humanismo: La universalidad del humanismo: la contribución de la Fundación Alexander von Humboldt”*”, Editado por el Instituto de Dirección y Organización de Empresa, Alcalá de Henares, 102 pp.
- 6) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2007): “Documentos Humboldt 6: *“El Papel de la Ciencia Básica para el Desarrollo Tecnológico: Repercusiones en los aspectos sociales y humanísticos”*”, Editado por el Instituto de Dirección y Organización de Empresa, Alcalá de Henares, 248 pp.
- 7) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2008): “Documentos Humboldt 7: *“Dimensión Educativa, Científica y Social de la Inmigración: Ciencia y Educación como clave de los procesos de inmigración con especial atención a Los Países de África”*”, Editado por el Instituto de Dirección y Organización de Empresa, Alcalá de Henares, 196 pp.

- 8) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2008): “Documentos Humboldt 8: *Ciencia y Sociedad Ejes de la Transformación Universitaria*”, Editado por el Instituto de Dirección y Organización de Empresa, Alcalá de Henares, 240 pp.
- 9) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2009): “Documentos Humboldt 9: *Humanismo, Ciencia y Sociedad*”, Editado por el Instituto de Dirección y Organización de Empresa, Alcalá de Henares, 218 pp.
- 10) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2009): “Documentos Humboldt 10: *El Espacio Europeo de Investigación: Nuevos Desafíos y Oportunidades*”, Editado por el Instituto de Dirección y Organización de Empresa, Alcalá de Henares, 148 pp.
- 11) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2011): “Documentos Humboldt 11: *Redes científicas transnacionales: desafíos para las ciencias sociales y las humanidades*”, Editado por el Instituto de Dirección y Organización de Empresa, Alcalá de Henares, 152 pp.
- 12) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2012): “Documentos Humboldt 12: *Relaciones Científico-Culturales Hispano-Alemanas*”, Editado por el Instituto de

Dirección y Organización de Empresa, Alcalá de Henares, 114 pp.

- 13) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2014): “Documentos Humboldt 13: *“La Gobernanza de las Universidades”*”, Editado por el Instituto de Dirección y Organización de Empresa, Alcalá de Henares, 176 pp.
- 14) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2015): “Documentos Humboldt 14: *“El Papel de la Ciencia en el Desarrollo de la Identidad Europea”*”, Editado por el Instituto de Dirección y Organización de Empresa, Alcalá de Henares, 200 pp.
- 15) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2016): “Documentos Humboldt 15: *“El Comportamiento Ético en la Economía y en la Sociedad”*”, Editado por el Instituto de Dirección y Organización de Empresa, Alcalá de Henares, 190 pp.
- 16) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2017): “Documentos Humboldt 16: *La Dinámica Regional en el Desarrollo Científico Europeo*”, Editado por el Instituto de Dirección y Organización de Empresa, Alcalá de Henares, 255 pp.
- 17) ASOCIACIÓN ALEXANDER VON HUMBOLDT DE ESPAÑA (2018): “Documentos Humboldt 17: *Ciencia, Innovación y Cultura: Tres Pilares del Progreso*” Editado por el Instituto de Dirección y Organización de Empresa, Alcalá de Henares, 230 pp.



gestützt von / Supported by



Alexander von Humboldt
Stiftung/Foundation