



INVESTIGACION

CULTURA CIENCIA Y TECNOLOGIA

VOLUMEN 15

Nº 30

2023

INVESTIGACION

CULTURA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Revista N° 30
VOLUMEN 15 2023

Director

José Luis Vázquez López
investigación@galicia.com
36201 Vigo - España

Dirección Creativa e Innovación

María del Mar Vázquez Jiménez
mariadelmarvj@gmail.com

Consejo de Redacción

José Luis Vázquez López
Francisco Javier Rodríguez Berrocal
Almudena Fernández Briera

Comité Científico

Jesús Souza Troncoso
José Luis Legido Soto
Juan Manuel Vieites Baptista de Sousa
Francisco Javier Rodríguez Berrocal
Almudena Fernández Briera
Ángel Tomás Camacho García
Antonio De Ron Pedreira
Diana Valverde Pérez
Juan Enrique Pardo Froján

Secretaría y Dep. Divulgación

Raquel María Vázquez

Revista adscrita al

INSTITUTO DE CULTURA,
CIENCIA Y TECNOLOGÍA (ICCT)
www.institutociencia.es

ISSN: 1889 - 4399

DEPÓSITO LEGAL:

VG - 347 - 2009



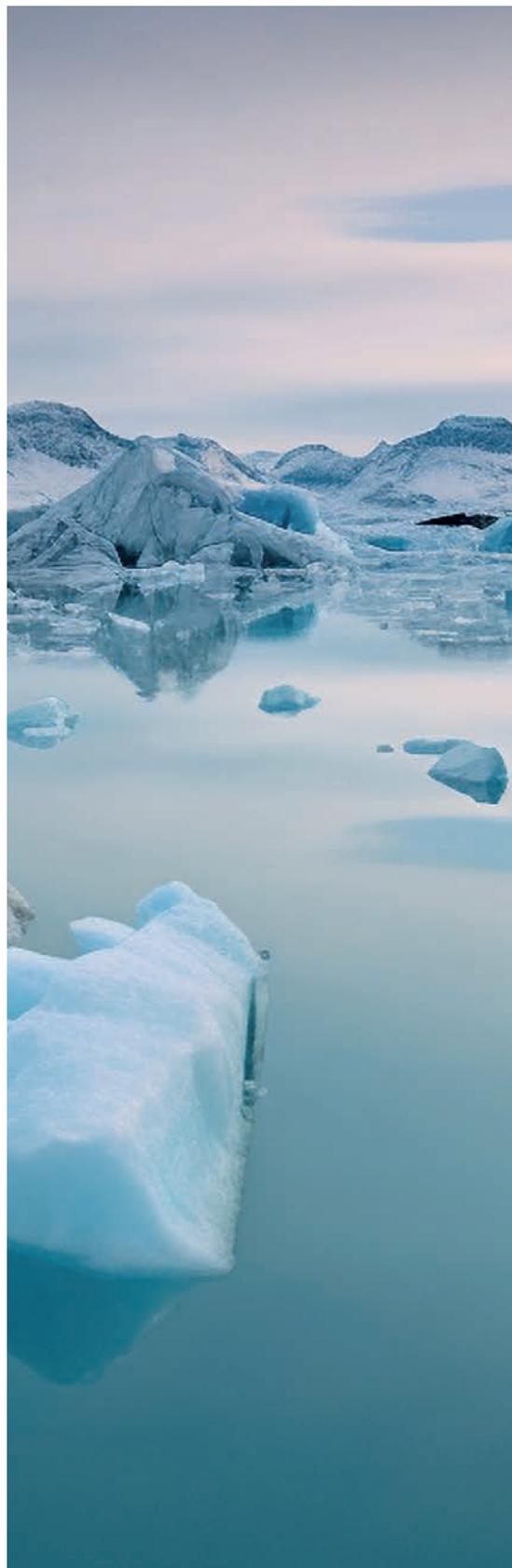
AXENCIA
GALEGA DE
INNOVACIÓN



INSTITUTO CULTURA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Queda prohibida la reproducción total o parcial de cualquiera de los contenidos de esta publicación, sin citar la procedencia. La revista "Investigación" no se hace responsable, ni se identifica con artículos, ni opiniones que publican sus autores y colaboradores.

LOS INVESTIGADORES DE INSTITUCIONES, EMPRESAS, LABORATORIOS Y UNIVERSIDADES INTERESADOS EN REMITIR ARTÍCULOS, PREVIAMENTE DEBERÁN CONTACTAR CON NUESTRO DEPARTAMENTO DE REDACCIÓN PARA RECIBIR INSTRUCCIONES: investigación@galicia.com



índice

SUMARIO
VOLUMEN 15 Nº 30 2023

Editorial

- 6** **L** **A IMPORTANCIA Y RECONOCIMIENTO DE LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA EN LAS UNIVERSIDADES**
Belén Rubio Armesto
*Catedrática de Estratigrafía, Centro de Investigación Marina. Universidade de Vigo.
Vicerrectora de Investigación, Transferencia e Innovación de la Universidade de Vigo. España.
Coordinadora de la Red Divulga de Crue I+D+i.*

Infecciones por bacterias resistentes

- 8** **R** **RESISTENCIA A ANTIMICROBIANOS: LA PANDEMIA SILENCIOSA**
Tomás Camacho García
Médico Especialista en Análisis Clínicos y Toxicología. Vigo. España.

Ciencias económicas

- 11** **C** **CINCO DÉCADAS DE DESIGUALDAD Y POBREZA EN ESPAÑA**
Olga Cantó Sánchez
*Catedrática de Fundamentos del Análisis Económico.
Facultad de Económicas, Empresariales y Turismo.
Universidad de Alcalá y EQUALITAS. Madrid. España.*

Meteorología

171

4.07.2022 . SISTEMA CONVECTIVO MESOESCALAR EN GALICIA

Juan Pablo González Cillero

*Máster en Meteorología por la Universidad de Barcelona (UB).
Unidad Territorial Noroeste - Grupo Tragsa. Santiago de Compostela. España.*

Proyecto "CLIMAREST"

31R

RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS MARINOS ÁRTICOS Y ATLÁNTICOS AFECTADOS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO: EL PROYECTO HORIZON EUROPE "CLIMAREST"

Paula Daban^{1,2}, Laura Leyva⁴, Javier Atalah³, Aitor Forcada³, Pablo Sánchez-Jerez³, Jesús López^{1,2}, Mariano Lastra^{1,2},
Estefanía Paredes^{1,2}, Elsa Vázquez^{1,2}, Celia Olabarria^{1,2}, Jesús S. Troncoso^{1,2}

¹ Dpto. Ecología y Biología Animal. Facultad Ciencias del Mar. Universidade de Vigo. España.

² CIM-UVIGO. Centro de Investigaciones Marinas. ECIMAT. Vigo. España.

³ Dpto. Ciencias Marinas y Biología Aplicada. Universidad de Alicante. Alicante. España.

⁴ Instituto Multidisciplinar para el Estudio del Medio. Universidad de Alicante. Alicante. España.

Anomalía congénita

38S

SÍNDROME O SECUENCIA DE POLAND: DEL CASO CLÍNICO A LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Vanesa Rodríguez-Fernández, MD PhD^{1,2,3}; Lucía Cameselle-Cortizo, MD^{1,4}; Alba García-Mallo, MD^{1,5};
Susana Portela Pérez, MD^{1,6}; Laura González Rodríguez, MD¹; Elena Marín Ortiz, MD PhD²;
Jorge F. Cameselle-Teijeiro, MD PhD¹

¹ Grupo Investigación Oncológica Clínica ADICAM. Cangas. España.

² Servicio de Obstetricia y Ginecología. Hospital Álvaro Cunqueiro. Vigo. España.

³ Unidad de Patología Mamaria. Hospital Meixoeiro. Vigo. España.

⁴ Servicio de Geriátrica. Hospital Meixoeiro. Vigo. España.

⁵ Hospital Central de la Defensa Gómez Ulla. Madrid. España.

⁶ Clínica IVI. Vigo. España.

Cambio global. Habitats marinos

46C

CAMBIO GLOBAL Y LA VULNERABILIDAD DE LAS ESPECIES MARINAS EXPLOTADAS

Natalia Petit-Marty

Instituto de Investigaciones Marinas (IIM-CSIC). Vigo. España.

Derecho

56E

EL SIGNIFICADO DE CARMEN EN DERECHO ROMANO

Ana Vázquez Lemos

*Doctora en Derecho Romano por la Universidade de Vigo.
Abogada en Balms Abogados S.L.P.*

Comunicación

62C

CONVERGENCIA DE LAS APLICACIONES MÓVILES EN LA RADIO GENERALISTA. UNA APROXIMACIÓN A LAS APPS RADIOFÓNICAS EUROPEAS Y CHILENAS

Beatriz Feijoo Fernández¹, Aurora García González²

¹ Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). España.

² Catedrática de Periodismo. Facultad de Comunicación. Universidade de Vigo. España.

editorial

LA IMPORTANCIA Y RECONOCIMIENTO DE LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA EN LAS UNIVERSIDADES

La ciencia ha transformado profundamente nuestra manera de vivir en los últimos siglos. Desde los avances en medicina que han extendido nuestra esperanza de vida, hasta la revolución digital que nos permite estar conectados con personas de todo el mundo en tiempo real, la ciencia ha sido una fuerza motriz detrás de muchos de los cambios más importantes que hemos experimentado como sociedad.

La universidad, desde sus orígenes, ha tenido la triple misión de enseñar, investigar y transferir conocimiento en todos los ámbitos del saber. La interrelación de estas tres funciones ha llevado a que la transferencia se divida en dos vertientes: la empresarial y la social. Es fundamental destacar la importancia de la transferencia social del conocimiento, y más concretamente, de la divulgación científica, para acercar la ciencia a la sociedad y a los responsables políticos.

En el último año, hemos sido testigos de una serie de cambios y reformas en el ámbito universitario. Entre ellos, destaca la reciente creación (noviembre 2022) de las Oficinas de Transferencia del Conocimiento (OTC), cuyo objetivo principal es precisamente fomentar la transferencia empresarial y social del conocimiento generado en las universidades. También en la modificación de la ley de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (LCTI), de septiembre del 2022 en su artículo 40 destaca la incentivación y reconocimiento del personal de investigación en el fomento

de la divulgación científica, tecnológica e innovadora, y de las Unidades de Cultura Científica y de la Innovación (UCC-i) de las universidades y centros de investigación.

A menudo, se piensa que la divulgación científica es exclusiva de algunos expertos en comunicación, cuando en realidad debería ser parte integral de la labor de todo el personal docente e investigador de las universidades, apoyados por este personal. Transmitir la información a la sociedad con un lenguaje sencillo, pero riguroso y preciso, es fundamental para lograr una mayor comprensión y difusión de la ciencia. Para ello, el manual *"Informando de ciencia con ciencia"*, de León *et al.* (2023), se constituye como una herramienta valiosa para todos aquellos que buscan mejorar su capacidad de comunicar de manera efectiva la ciencia a la sociedad.

La divulgación científica ha demostrado ser más importante que nunca durante la pandemia originada por la Covid-19. La rápida propagación del virus y la incertidumbre sobre su comportamiento han llevado a un aumento en la demanda de información precisa y actualizada sobre el virus y las medidas preventivas, intentando prevenir la desinformación y las *fakenews*. Así, la ciencia debe llegar a todas partes y a todas las personas, independientemente de su formación y ubicación geográfica. En este sentido, la Ciencia Abierta (artículo 37 de la LCTI) se presenta como una herramienta fundamental para lograr un mayor acceso y difusión

del conocimiento científico. La Ciencia Abierta busca promover el acceso libre y gratuito a las publicaciones científicas y los datos de investigación, y favorecer así la colaboración y el intercambio de información entre investigadores de todo el mundo.

La revista "Investigación" es un ejemplo de cómo la Ciencia Abierta puede ayudar a lograr una mayor difusión del conocimiento científico. Al estar disponible en un clic, cualquier persona interesada puede acceder a los artículos publicados y conocer los últimos avances en diferentes áreas de conocimiento. La revista tiene un carácter multidisciplinar, y abarca los cinco grandes ámbitos de conocimiento que tenemos en la universidad: Ciencias, Tecnología, Ingeniería, Artes y Humanidades y Ciencias Sociales. Esto permite que sea accesible y útil para un amplio público, y fomenta la colaboración entre diferentes disciplinas.

Por otra parte, la Red Divulga (red de divulgación y cultura científica) de Crue Universidades Españolas, juega un papel fundamental en la contribución de las universidades a la promoción de la cultura científica y a la transferencia del conocimiento generado en ellas.

Además, la digitalización y las redes sociales han cambiado la forma en que se consume la información y han abierto nuevas oportunidades para la divulgación científica. Las redes sociales permiten llegar a un público más amplio y diverso, especialmente a los jóvenes, quienes son nativos digitales y consumen información de forma masiva a través de estas plataformas. Por tanto, es importante utilizar estas herramientas para promover la divulgación científica y llevar la ciencia a todas partes. En el marco de la Red Divulga hemos realizado ya este año, con gran éxito, la tercera edición del concurso #Hilo Tesis, una iniciativa interesante que fomenta la divulgación de los resultados de investigación de los estudiantes de doctorado de una manera accesible y atractiva para el público general, consistente en la publicación de su Tesis Doctoral en un hilo de no más de 20 tweets. Esta acción es un ejemplo de cómo la divulgación científica puede ser una actividad enriquecedora tanto para el público como para los investigadores.

En definitiva, la divulgación científica es un elemento clave en la transferencia del conocimiento generado en las universidades, que precisa de un impulso para que nos sitúe como país a la altura que estamos en publicaciones científicas (posición 11 en el mundo). Este impulso puede lograrse gracias a la potenciación y mejora de tres aspectos:

- 1) La consolidación de las UCC-i como estructuras con personal estable que forme parte de la relación de puestos de trabajo en las universidades, constituidas por expertos de la comunicación, el periodismo y la publicidad que ayuden y apoyen al personal

investigador a impulsar la cultura científica, tecnológica e innovadora a través de la divulgación científica.

- 2) El reconocimiento de la transferencia por parte del personal de las universidades a través del sexenio de transferencia, como ocurrió en su día con el sexenio de investigación. Se convocó en el año 2018 una primera prueba piloto del mismo, pero hasta la fecha no se ha vuelto a convocar.
- 3) El reconocimiento de la labor de divulgación científica como una de las tareas valorables del currículum vitae del personal docente e investigador. Este último aspecto está siendo abordado en el marco de la coalición CoARA (Coalition for Advancing Research Assessment), una coalición para la reforma de la evaluación de la investigación, en la que están involucradas más de 400 instituciones de Europa. En España, la integración de la ANECA (Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación), es clave para la valoración y el reconocimiento de diversos formatos, prácticas y actividades que realiza el personal investigador, pues ya casi transcurrido un cuarto del siglo XXI y con nuevas aplicaciones como la inteligencia artificial, estas actividades van mucho más allá de la mera publicación en una revista científica.

Aunque la implicación del personal científico en la comunicación pública de la ciencia es cada vez mayor, siguen existiendo barreras importantes que la limitan, siendo una de ellas la mencionada falta de reconocimiento formal de esta labor, demanda habitual entre el personal investigador y los responsables de comunicación de las instituciones vinculadas con la investigación. Establecer los criterios para reconocer esta importante labor tiene enormes complejidades. Esta complejidad está siendo abordada, tanto desde CoARA como desde FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología) y ANECA en colaboración con la Red Divulga de Crue, pero aún queda un largo camino por recorrer.

En definitiva, la labor del PDI (personal docente e investigador) de las universidades no se limita a la investigación y la docencia, sino que también incluye la transferencia del conocimiento en la que se enmarca la divulgación científica, y todo ello debe valorarse en su justa medida. Publicaciones de carácter divulgativo como la revista "Investigación" contribuyen a incrementar y potenciar esa transferencia.

Belén Rubio Armesto

Catedrática de Estratigrafía, Centro de Investigación Marina, Universidade de Vigo

Vicerrectora de Investigación, Transferencia e Innovación, Universidade de Vigo

Coordinadora de la RedDivulga de Crue+D+i

RESISTENCIA A ANTIMICROBIANOS: LA PANDEMIA SILENCIOSA

Tomás Camacho García

Médico Especialista en Análisis Clínicos y Toxicología. Vigo. España.

La resistencia a los antibióticos representa una de las mayores amenazas para la salud global (CDC 2021). Cada vez hay más estudios que informan sobre la transmisión de resistencia a los antibióticos (Spellberg, B., 2016; Huijbers, P., 2015; Singer, A., 2016) y el mayor número de casos de enfermedades infecciosas que resultan difíciles o imposibles de tratar a medida que dichos antibióticos pierden su eficacia. Es por ello que, si no se toman medidas urgentes, el mundo está abocado a una “era post-antibiótica”, en la que muchas infecciones comunes e intervenciones rutinarias serán potencialmente mortales. De hecho, los expertos advierten que cada año en el mundo 700.000 personas mueren a causa de enfermedades infecciosas comunes (por ej., neumonía, tuberculosis y septicemia) provocadas por bacterias resistentes a los antibióticos (ARB), y se estima que para el año 2050 el número de muertes llegará a los diez millones de personas (O'Neill, J., 2015). El problema es de tal magnitud que pone en riesgo el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible creados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) como parte de la agenda 2030. Por lo tanto, es fundamental desarrollar una estrategia de control eficiente para mitigar la diseminación de la resistencia a los antibióticos en el medio ambiente.

Los antibióticos son compuestos que desde su descubrimiento han sido empleados en medicina humana y veterinaria con el objetivo de tratar infecciones producidas por bacterias, unas formas de vida procariontas y unicelulares que, aunque a primera vista parezcan seres simples, poseen características que les confieren una alta capacidad de adaptación frente a los cambios ambientales.

Por un lado, poseen mucha plasticidad genómica, esto es, su ADN cambia fácilmente desarrollando cualidades cada vez mejor adaptadas a su entorno. Por el otro, al ser organismos unicelulares, las bacterias suelen juntarse en comunidades

(en estas agrupaciones las bacterias se comportan de una forma muy diferente a las bacterias no organizadas; en vez de luchar entre sí, cooperan para luchar contra amenazas como los antibióticos). Esta es la razón por la que han colonizado todos los rincones del planeta, independientemente de las características físicas y químicas del entorno.

Así pues, desde la existencia de los antibióticos, las bacterias han intentado adaptarse con el objetivo de conseguir características que favorecieran su supervivencia. Para ello han desarrollado mecanismos genéticos de resistencia ante las presiones selectivas a las que se encuentran sometidas, a través de un proceso conocido como transferencia horizontal de genes (se produce cuando dos bacterias no emparentadas se transfieren material genético principalmente a través de bacteriófagos y plásmidos), lo que les ha permitido obtener una característica ventajosa para sobrevivir en ambientes hostiles. De este modo, una bacteria que ha sido expuesta a los antibióticos puede desarrollar genes de resistencia y transmitirlos a otras bacterias compartiendo así la capacidad de combatir a los antibióticos. Pero, además, no siempre es necesaria la presencia de antibióticos para promover el desarrollo de las bacterias resistentes, ya que ciertos compuestos químicos como los pesticidas, detergentes, metales pesados y microplásticos, co-seleccionan genes de resistencia a los antibióticos y estimulan su intercambio horizontal, contribuyendo a magnificar el problema (Peltier, E., 2010; Zhiyin, R., 2023; Tianyi, L., 2023).

Entre las diferentes vías de propagación de la resistencia a los antibióticos el agua representa un papel fundamental, ya que los sistemas acuáticos son con frecuencia efluentes de aguas cargadas de residuos de antibióticos liberados en las heces u orina y contaminadas por metales, desinfectantes, pesticidas y microplásticos.

Desde los ríos y arroyos, tanto los antibióticos como los contaminantes, así como las bacterias y los genes, viajan diseminándose a lo largo de su trayecto hasta que finalmente desembocan en el mar. Esta es la razón por la que la aparición de bacterias y genes resistentes a antibióticos en entornos costeros es alta ya que estos lugares son focos de asentamiento humano. Algunos autores (Leonard, A. F. C., 2018) han observado que las personas que frecuentan el agua para uso recreacional, como por ejemplo los surfistas, tienen tres veces más probabilidades de ser colonizados por *E. coli* resistente a antibióticos de tercera generación. Estos hallazgos sugieren que existe una asociación entre la exposición al agua de baño costera y la colonización intestinal por bacterias resistentes, convirtiendo las zonas costeras en “puntos calientes” de desarrollo y transmisión de la resistencia a los antibióticos.

La desinfección del agua, al inactivar y destruir los patógenos transmitidos, es fundamental en los sistemas de tratamiento del agua (Backer, H., 2019). Aunque las técnicas comunes de desinfección, tales como la cloración, la radiación ultravioleta (UV) o la ozonización (O_3), son efectivas para las bacterias en general, sin embargo estas técnicas son menos eficientes para las bacterias altamente resistentes; esto ocasiona que en las masas de agua se produzca entre las distintas comunidades bacterianas una transferencia horizontal de genes de resistencia a antibióticos (Mao, D., 2014; Yu, Z., 2017; Guo, X., 2018) que, con posterioridad, se transmitirán al ser humano a través del agua potable (Sanganyado, E., 2019). Por lo tanto, existe una necesidad urgente de desarrollar procesos de desinfección del agua que sean seguros, respetuosos con el medio ambiente, de bajo costo y altamente eficientes para eliminar tanto ARB (bacterias resistentes a antibióticos) como ARG (genes resistentes a antibióticos).

De forma especial, las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR), fuente de descarga de muchos contaminantes, incluidos los antibióticos y microorganismos patógenos procedente de una amplia variedad de fuentes (hospitales, industrias, hogares), son también posibles criaderos y fuentes de diseminación ambiental de la resistencia a los antibióticos (Pärnänen, K., 2019; Zhang Xu-Xiang, 2009; Zhang, T., 2011; Auerbach, E. A., 2007; Gulkowska, A., 2008; Watkinson, A. J., 2007; Zhou, L. J., 2013; Viau, E., 2009). Aunque todavía no se comprende bien hasta qué punto los antibióticos que ingresan a la EDAR influyen en la dinámica de los genes de resistencia, sí se justifica una mayor investigación en la implementación de nuevos sistemas de desinfección en el tratamiento de las aguas residuales, de forma especial la combinación de los procesos de oxidación avanzada (POA), tales como la oxidación fotocatalítica con dióxido de titanio (TiO_2) y luz ultravioleta.

La diseminación de la resistencia a los antibióticos es un problema complejo en donde el medioambiente representa un papel muy importante, ya que actúa como reservorio y vía de propagación de las bacterias y genes de resistencia. La entrada de antibióticos procedentes del ámbito de la salud humana, agricultura, ganadería o industria, implica que las estrategias centradas únicamente en la salud humana son insuficientes para abordar la complejidad y dimensión del problema. En consecuencia, es necesario comprender que para entender la intrincada naturaleza de la propagación de la resistencia a los antibióticos hay que entender también las numerosas interrelaciones entre humanos, animales y medio ambiente, donde el agua, un elemento de interconexión entre dichas actividades, funciona como vehículo de propagación de dicha resistencia. El problema es de tal magnitud que amenaza seriamente los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la ONU en la Agenda 2030 que constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. Los sistemas de salud no serán sostenibles sin antibióticos eficaces y muchos de los ODS no podrán ser alcanzados sin ellos (Cars O, 2015; Barbosa J, 2020). La resistencia a los antibióticos amenaza a 14 de los 17 objetivos propuestos, incluso aumentando la desigualdad de género ya que las evidencias muestran que las mujeres tienen un mayor grado de mortalidad a causa de las infecciones causadas por bacterias resistentes.

Pero, sin duda, el ODS más afectado por la resistencia a los antibióticos es el 3 (Salud y Bienestar), por las implicaciones en la pérdida de la eficacia de los tratamientos médicos actuales. Las infecciones por bacterias resistentes se calcula que para el año 2050 ocasionarán más muertes que las provocadas por el cáncer, y comprometen el éxito de intervenciones como trasplantes de órganos, profilaxis quirúrgica, la prevención de muertes de madres y bebés por sepsis neonatal, y la prevención de infecciones en pacientes con inmunosupresión, entre otras; pero, además, habrá un aumento de la morbilidad que conducirá a estancias más prolongadas en el hospital, más pruebas diagnósticas invasivas, más ingresos en unidades de cuidados intensivos (UCIs), más pacientes sometidos a ventilación mecánica y más cirugías extra.

El resultado final del auge de las resistencias es que, además de suponer un incremento del sufrimiento humano, conducirá a una mayor utilización de los recursos y a un agigantamiento del coste hospitalario. La era dorada de los antibióticos forma parte ya del pasado y está claro que el mundo debe desarrollar una solución integral para su solución.

BIBLIOGRAFÍA

1. Auerbach, E., *et al.* Tetracycline resistance genes in activated sludge wastewater treatment plants. *Water Res.* 2007 Mar; 41(5): 1143-51.
2. Backer, H., *et al.* Wilderness Medical Society Clinical Practice Guidelines for Water Disinfection for Wilderness, International Travel, and Austere Situations. *Wilderness and Environ Med.* 2019, Dec. 30 (4): 100-120.
3. Barbosa da Silva, J., *et al.* Antimicrobial resistance: time for action. Editorial. *Rev Panamericana Salud Publica*, 44, 2020.
4. Cars, O., *et al.* ReAct-Action on Antibiotic Resistance. Antibiotic resistance (ABR)-no sustainability without antibiotics. Brief for Global Sustainable Development Report (GDSR). 2015.
5. Centers for Disease Control and Prevention 2021 One health Basics: History. Disponible en: <https://www.cdc.gov/onehealth/basics/history/index.html>
6. Gulkowska, A., *et al.* Removal of antibiotics from wastewater by sewage treatment facilities in Hong Kong and Shenzhen, China. *Water Res.* 2008 Jan 42 (1-2): 395-403.
7. Guo, X., *et al.* Biofilms as a sink for antibiotic resistance genes (ARGs) in the Yangtze Estuary. *Water Res.* 2018, Feb. 1; 129: 277-286. Huijbers, P., *et al.* Role of the Environment in the Transmission of Antimicrobial Resistance to Humans: A Review. *Environ Sci Technol.* 2015, Oct. 20; 49(20): 11993-2004.
8. Leonard, A., *et al.* Exposure to and colonisation by antibiotic-resistant *E. coli* in UK coastal water users: Environmental surveillance, exposure assessment, and epidemiological study (Beach Bum Survey). *Environment International* 114: 326–333. 2018.
9. Mao, D. Persistence of extracellular DNA in river sediment facilitates antibiotic resistance gene propagation. *Environ Sci Technol.* 2014; 48(1): 71-8.
10. O'Neill, J. Antimicrobials in agriculture and the environment: Reducing unnecessary use and waste: The review on antimicrobial resistance. Book. 2015. Pärnänen, K. *et al.* Antibiotic resistance in European wastewater treatment plants mirrors the pattern of clinical antibiotic resistance prevalence. *Science Advances.* Mar 27; 5(3): 2019.
11. Peltier, E., *et al.* Zinc-induced antibiotic resistance in activated sludge biorreactors. *Water Res.* 2010, Jul., 44(13): 3829-36.
12. Sanganyado, E., *et al.* Antibiotic resistance in drinking water systems: Occurrence, removal, and human health risks. *Sci Total Environ.* 2019, Jun., 15; 669: 785-797.
13. Singer Andrew, C., *et al.* Review of Antimicrobial Resistance in the Environment and Its Relevance to Environmental Regulators. *Front Microbiol.* 2016, Nov., 1; 7: 1728.
14. Spellberg, B., *et al.* Resistance in Humans and Animals National Academy of Medicine. June, 22, 2016.
15. Tianyi, L., *et al.* Different microplastics distinctively enriched the antibiotic resistance genes in anaerobic sludge digestion through shifting specific hosts and promoting horizontal gene Flow. *Water Res.* Jan., 1; 228. 2023.
16. Viau, E., *et al.* Evaluation of the enterococci indicator in biosolids using culture-based and quantitative PCR assays. *Water Res.* 2009, Nov., 43 (19): 4878-87.
17. Watkinson, A. J., *et al.* Removal of antibiotics in conventional and advanced wastewater treatment: Implications for environmental discharge and wastewater recycling. *Water Res.* 2007, Oct. 41(18): 4164-4176.
18. Yu, Z., *et al.* Co-occurrence of mobile genetic elements and antibiotic resistance genes in municipal solid waste landfill leachates: A preliminary insight into the role of landfill age. *Water Research.* Vol. 106, 1 December 583-592; 2016.
19. Zhang, T., *et al.* Plasmid Metagenome Reveals High Levels of Antibiotic Resistance Genes and Mobile Genetic Elements in Activated Sludge. *PLoS One.* 2011; 6(10): e26041. Zhang X *et al.* Antibiotic resistance genes in water environment. *Appl Microbiol Biotechnol.* Mar., 82(3): 397-414. 2009.
20. Zhiyin, R., *et al.* P, N, and C-related functional genes in SBR system promoted antibiotics resistance gene transmission under polystyrene microplastics stress. *Water Res.* May., 15; 235. 2023.
21. Zhou, L. J., *et al.* Occurrence and fate of eleven classes of antibiotics in two typical wastewater treatment plants in South China. *Sci. Total Environ.* 2013, May., 1 (452-453): 365-76.

CINCO DÉCADAS DE DESIGUALDAD Y POBREZA EN ESPAÑA

Olga Cantó Sánchez

*Catedrática de Fundamentos del Análisis Económico.
Facultad de Económicas, Empresariales y Turismo.
Universidad de Alcalá y EQUALITAS. Madrid. España.*

1. INTRODUCCIÓN

En la gran mayoría de los países de la OCDE las desigualdades sociales han crecido en el último medio siglo (OCDE, 2015; 2019; Chancel *et al.*, 2022). Las principales causas de esta tendencia al alza en la desigualdad de renta y riqueza en los países más ricos del planeta estarían ligadas a dos elementos clave. Por un lado, el progresivo aumento de la concentración de las rentas del trabajo y de capital en los tramos más altos de la escala de ingresos por la intensificación del cambio tecnológico en el conjunto del sistema productivo que desplaza la demanda laboral hacia los trabajadores con mayor cualificación. Por otro, la creciente globalización en el comercio ejerce un efecto sobre la demanda de trabajadores menos cualificados que ven caer sus remuneraciones al aumentar el peso económico de las importaciones de países con salarios más bajos.

A su vez, la creciente desregulación de los mercados de trabajo en los países desarrollados ha ido reduciendo el impacto de algunos de los elementos institucionales que mayor capacidad tenían para contener el aumento de la desigualdad de las rentas del trabajo: los salarios mínimos, los costes de despido o la extensión de la negociación colectiva, entre otros. También ha aumentado la desigualdad de las rentas de capital, cuya contribución a la desigualdad total ha crecido en la mayoría de los países. Todos estos cambios no han podido ser compensados por el efecto redistributivo del sistema de impuestos y prestaciones con la misma fuerza que en las décadas previas.

En España el alto nivel de desigualdad en la distribución de ingresos, sensiblemente mayor que la de la mayoría de los países europeos, es uno de los problemas sociales y económicos más importantes. La mayor incidencia del desempleo en períodos recesivos junto con la menor capacidad redistribu-

tiva del sistema de impuestos y prestaciones sociales son elementos clave para explicar nuestra situación en el contexto comparado. Si esta desigualdad persiste en el tiempo nuestro país será más vulnerable ante cualquier shock económico futuro ya que la evolución de la desigualdad en las distintas fases del ciclo desde hace cinco décadas sugiere que ésta crece rápidamente cuando la economía está en recesión y se reduce menos cuando se expande.

La prolongación e intensidad de la crisis que se inició en 2008 provocó un importante aumento de los ingresos procedentes del trabajo, y dio lugar a una importante caída del porcentaje de población perceptora de rentas medias, sobre todo medio-bajas. Esta tendencia negativa no se ha visto compensada por el crecimiento experimentado desde 2014, muy desigual, por lo que muchos hogares aún se encontraban en una situación de notable vulnerabilidad cuando llegó la crisis de la COVID-19 en 2020. Los efectos de shocks transitorios pueden persistir en el tiempo y las desigualdades de hoy transformarse en aún mayores desigualdades futuras, sobre todo si afectan a jóvenes y a menores de edad que ven reducidas sus oportunidades vitales, guiándonos aun futuro donde se acumulen problemas sociales en varios ámbitos clave del bienestar humano como la salud, la vivienda y la educación.

En este capítulo se presenta un análisis descriptivo de los niveles de desigualdad y pobreza económica en España a lo largo del último medio siglo (1973-2021), a partir de datos de encuestas de hogares. Se analizan los principales cambios en la estructura distributiva por clases sociales y se estudia cómo ha contribuido la evolución de la desigualdad de las rentas de mercado a la de la desigualdad global y qué papel han jugado las políticas públicas de prestaciones e impuestos en la cohesión social. El último apartado recoge las principales conclusiones.

2. LA EVOLUCIÓN DE LA DESIGUALDAD Y LA POBREZA EN ESPAÑA

A mediados de los años setenta, la OCDE publicó uno de los primeros informes con información comparada sobre el alcance de la desigualdad en los países ricos. Su autor utilizó datos de encuestas de ingresos de distintos países y seleccionó una muestra que incluía a Australia, Canadá, Francia, la República Federal Alemana, Noruega, España, Suecia, Reino Unido y Estados Unidos (Sawyer, 1976). Aunque con algunos problemas de homogeneidad de las fuentes, los indicadores de desigualdad estimados dibujaban un panorama nítido. Los países nórdicos eran los que disfrutaban de menores niveles de inequidad gracias a la extensión de sus sistemas de impuestos y prestaciones sociales, Estados Unidos era el país donde la desigualdad era mayor y, entre el resto de los países europeos ricos, España destacaba como el más desigual por la mayor distancia entre el porcentaje de la renta disponible que recibían los hogares pertenecientes al quintil más bajo y el que recibía el 20% más rico.

Esta posición desfavorable en los rankings internacionales de desigualdad no parece haberse modificado sustancialmente. Con datos inmediatamente previos al inicio de la pandemia, España se colocaba, junto con algunos países de Europa del Este, entre los países de la Unión Europea (UE) donde la desigualdad era mayor. Esta aparente ausencia de cambios relevantes en el largo plazo resulta llamativa, ya que los instrumentos generales de corrección de las desigualdades de las rentas primarias se han extendido notablemente. Mientras que a principios de los años setenta el gasto público en España apenas excedía el 20% del PIB, en la actualidad es más del doble de ese porcentaje, correspondiendo casi dos tercios de ese gasto a protección social, esencialmente sanidad y educación. Un crecimiento similar, aunque más contenido en su nivel máximo, ha sido el de los ingresos públicos, con un amplio desarrollo de la imposición personal progresiva sobre la renta.

En general, existe cierto consenso en cuanto a que las principales razones que explican los altos niveles de desigualdad en España son su estructura productiva, con un menor peso de las ramas de alta tecnología que en los países europeos de mayor renta, el alto nivel de desempleo, la notable incidencia del trabajo de bajos salarios y el reducido tamaño del sistema de impuestos y prestaciones monetarias.

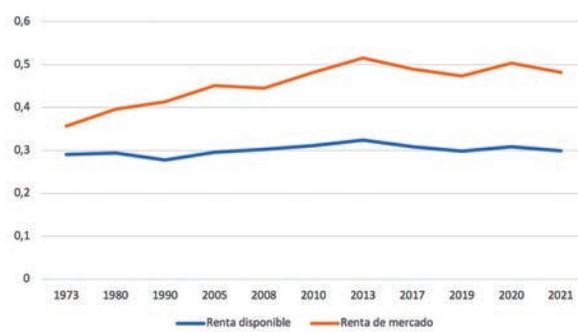
Uno de los puntos clave es que los altos niveles de desempleo en España no son el único elemento para explicar las diferencias con los países europeos de mayor renta y hoy parece más difuminado que nunca ese automatismo entre la creación de empleo y la reducción de la desigualdad. Otros elementos, como la extensión de la temporalidad y la parcialidad de los contratos, la concentración de situaciones laborales precarias en algunos

hogares o la persistente debilidad del sistema de prestaciones e impuestos, han pasado a tener mayor importancia.

A partir del Gráfico 1, constatamos, en primer lugar, que la intensa crisis económica de los años setenta no dio lugar a aumentos importantes de la desigualdad, pese a que el desempleo creció rápidamente, porque su efecto fue parcialmente compensado por el notable incremento de los salarios y por el tardío desarrollo de los instrumentos básicos del Estado de bienestar, incluyendo la puesta en marcha de un sistema más ambicioso de fiscalidad progresiva. Fue en los años ochenta cuando se produjo la mayor reducción de la desigualdad de las últimas cinco décadas con la reducción de un 5,4% del índice de Gini. La reactivación de la economía en la segunda mitad de esa década, con una importante reducción de la tasa de desempleo y el notable crecimiento del gasto social hicieron que la desigualdad disminuyera, mientras que en la mayoría de los países de la OCDE se daba la tendencia contraria. Tras un cierto repunte en el primer tercio de los años noventa como consecuencia de una breve pero intensa etapa recesiva, los indicadores de desigualdad apenas cambiaron durante la etapa de bonanza económica que se prolongó hasta la crisis de 2008. Esto apunta a que el crecimiento de la actividad económica y del empleo no se tradujeron en cambios en la desigualdad de ingresos, porque factores como la extensión de la temporalidad, la parcialidad y los bajos salarios evitaron un reparto más equitativo del crecimiento.

Con la crisis de 2008, en cambio, la desigualdad de rentas de mercado aumentó rápidamente. El drástico crecimiento del desempleo, el incremento de las diferencias salariales cuando se derrumbó el sector de la construcción y la insuficiencia de las políticas públicas de protección de rentas que sostuvieran unos niveles mínimos de ingresos, hicieron que la desigualdad de mercado aumentara considerablemente, un 14,2% y la disponible lo hiciera hasta un 9,5% del índice de Gini entre 2005

Gráfico 1. La evolución de la desigualdad en España (1973-2021): Índice de Gini de renta disponible y de mercado



Fuente: Elaboración propia a partir de Encuesta de Presupuestos Familiares y Encuesta de Condiciones de Vida (ECV).

y 2013 y que esta última lo hiciera, además, durante un largo periodo de tiempo y a un ritmo mayor que el de la mayoría de los países europeos.

Esta evolución de la distribución de la renta desde 2005 en adelante ha estado marcada por el empeoramiento de la situación económica de los hogares con rentas más bajas en relación con la mediana de ingresos. En el Gráfico 2 se presentan las grandes tendencias de la pobreza en España por grupos de edad. Al igual que la desigualdad, es entre 1980 y 1990 cuando la incidencia de la pobreza se redujo para todos los grupos sociales, y especialmente para los mayores de 64 años. Posteriormente, y a pesar de la falta de información entre 1990 y 2003, parece claro que en esos años el crecimiento de la renta mediana implicó el empeoramiento relativo de los más mayores. En contraste, en la década siguiente la incidencia de la pobreza de los mayores de 64 años se redujo intensamente, y se dividió por la mitad, pasando de un 34 a un 15 por ciento entre 2003 y 2013. Desde entonces, su situación ha empeorado progresivamente con un incremento de 5 puntos porcentuales a medida que la mediana de renta crecía entre 2013 y 2017.

En todo ese periodo la evolución de la incidencia de la pobreza en los menores de 18 años y en los adultos en edad de trabajar (18-64) fue muy distinta. La pobreza infantil creció fuertemente a partir de 1990 pasando del 20% al 26,7% en 2003 y se ha mantenido consistentemente por encima del 25% toda la primera década de este siglo con un empeoramiento importante a raíz del segundo golpe de la Gran Recesión cuando alcanzó la incidencia más alta en cinco décadas (el 30,5%, lo que supone que prácticamente uno de cada tres menores viva por debajo del umbral de la pobreza). La incidencia de la pobreza de los adultos en edad de trabajar es más baja que

la de los menores, pero tiene una tendencia temporal similar, crece consistentemente entre 2003 y 2013 y es estable a niveles altos desde entonces hasta hoy.

El intenso impacto de las dos últimas crisis económicas sobre la desigualdad y la pobreza ha suscitado diferentes cuestiones sobre la recomposición de la población por grupos de renta. Aunque el principal efecto del cambio de ciclo económico ha sido el deterioro de las rentas de los hogares con ingresos más bajos, una de las cuestiones relevantes es también la extensión de las caídas de ingresos hasta capas relativamente bien posicionadas en la distribución de ingresos que apunta al empeoramiento de la situación de la llamada clase media.

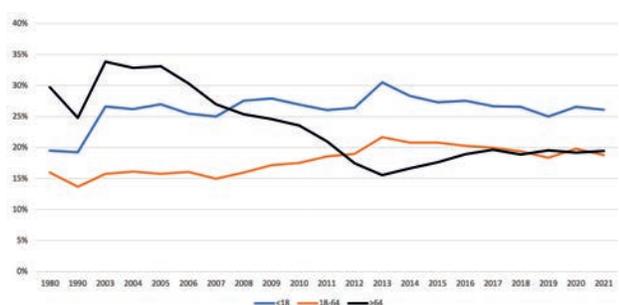
Tanto desde la opinión pública como desde los propios analistas del proceso distributivo se han generalizado las representaciones del posible declive de la clase media y del hipotético aumento de la polarización en la sociedad española. Se trata de una cuestión relevante, en la medida en que el devenir de las clases medias es fundamental para la estabilidad social, como pilar del modelo económico, productivo y de consumo vigente (Ayala y Cantó, 2018; 2022).

Aunque algunas definiciones de la clase media han tratado de combinar características económicas propias de este estrato, sobre todo las relacionadas con la educación y la ocupación, se han generalizado los intentos de acotar los distintos grupos teniendo en cuenta distintos umbrales de ingresos.

Ciertamente, refutar o confirmar la idea de declive de las clases medias puede ser abordado a partir de la evolución de los distintos grupos de renta en el largo plazo. Entre los economistas se han generalizado las representaciones de las distintas clases a partir de un enfoque relativo sugerido por Atkinson y Brandolini (2013). Este enfoque toma como referencia tres grupos sociales definidos a partir de la mediana de la renta por adulto equivalente. En esta propuesta, la clase media la integrarían los hogares cuya renta equivalente se sitúa entre el 75 y el 200% de la mediana y las otras dos clases serían las determinadas por estos dos umbrales (menos del 75% y más del 200% de la mediana).

Como se puede apreciar en el Gráfico 3, desde la consolidación de la democracia hasta el comienzo de los años noventa del siglo pasado se registró un proceso de crecimiento del segmento de población con rentas medias, sobre todo el de rentas medias-bajas. Un proceso inverso fue el seguido por el grupo con rentas altas, que en los años de mayor corrección de la desigualdad fue perdiendo peso hasta llegar a un valor mínimo del 8% a comienzos de la década de 1990. La ganancia de peso de las rentas medias en el largo plazo se explica por varios factores, como el desarrollo tardío del Estado de bienestar en España, el

Gráfico 2. La evolución de la pobreza en España por grupos de edad (% población por debajo del 60% de la renta mediana): 1980-2021



Fuente: Elaboración propia a partir de Encuesta de Presupuestos Familiares y Encuesta de Condiciones de Vida (ECV).

crecimiento del nivel educativo de la población, el aumento de la tasa de actividad femenina, la mejora de algunas ocupaciones y el propio incremento de las rentas salariales. Especialmente importante, como en otros países, fue la expansión del sistema de prestaciones e impuestos, dada la mayor incidencia de las prestaciones sociales en las rentas medias y bajas y el efecto moderador de las rentas más altas que tiene la imposición progresiva. Antes de la crisis de 2008, la población con rentas medias suponía casi dos tercios del total. Como consecuencia de esta crisis, se produjo una importante caída de este peso en pocos años, paralelo al crecimiento del grupo de rentas bajas -casi uno de cada seis hogares pasó al estrato de rentas más bajas- y del segmento con mayor renta. Tal cambio afectó a las desigualdades internas en cada grupo de renta, con un importante aumento de la desigualdad dentro de los hogares con rentas medias. Ese proceso se invirtió, de nuevo, durante la recuperación previa a la pandemia, cuando se volvió a un cuadro muy similar al que había antes de la crisis.

Hay algunos rasgos sociodemográficos que diferencian también al grupo de renta media en España. En comparación con otros países, se trata de una población de mayor edad, con un menor nivel educativo, que en una proporción importante tiene que trabajar a tiempo completo para acceder a este nivel de renta y lo hace, sobre todo, a través de ocupaciones medias, a diferencia de otros países donde una parte importante de las clases medias tienen ocupaciones que pueden considerarse como de mayor cualificación y mejor remuneradas. Estos rasgos sugieren importantes diferencias intergeneracionales en España, donde parece que las generaciones que se incorporaron en las dos últimas décadas al mercado laboral han tenido menos oportunidades, debido a un estancamiento generalizado de la productividad y la pérdida estructural de calidad en el empleo. En otros países, estas generaciones más

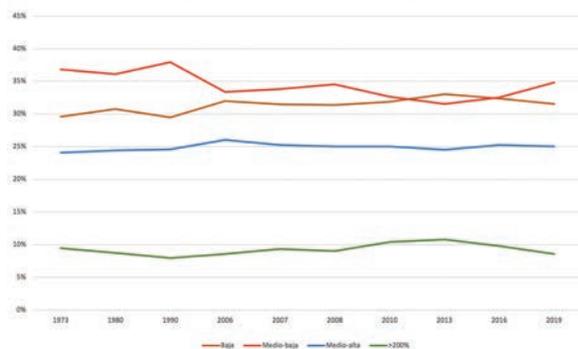
jóvenes han tenido mejores oportunidades para acceder a las rentas medias.

España presenta algunas singularidades en la distribución de la población según el nivel de renta en 2019 (un 35% en el estrato de rentas bajas, un 59,6% en el segmento intermedio y un 9,0% en el grupo de renta alta). Esa segmentación se aleja notablemente tanto de la de los países nórdicos como de la de los países centroeuropeos, donde las clases medias (y especialmente las medias-bajas) tienen una dimensión mayor. De los países de mayor renta, solo en Estados Unidos las rentas medias tienen un peso inferior, levemente superior al 50% de la población. El hecho que más determina la diferente extensión en cada país de las rentas medias es la combinación entre un segmento de rentas medias-bajas extenso y un estrato de rentas medias-altas más contenido. Dentro de esta caracterización, España se sitúa más cerca de los modelos anglosajones que de los centroeuropeos y nórdicos, por el limitado peso del estrato de rentas medias-bajas (34,8% del total). En contraste con otros países en los que ese estrato supone más de un 40% de la población como en Alemania o Francia (un 42% en Alemania y un 45% en Francia en 2019). Este grupo de renta medio-baja fue el que más sufrió durante la Gran Recesión reduciendo su tamaño poblacional a favor del de las rentas bajas, lo que supuso que en 2013 su peso poblacional cayese hasta el 31%, siendo superado, por primera vez en varias décadas, por el del grupo de rentas más bajas (33%).

3. EL PAPEL DE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS PARA REDUCIR LA DESIGUALDAD Y LA POBREZA

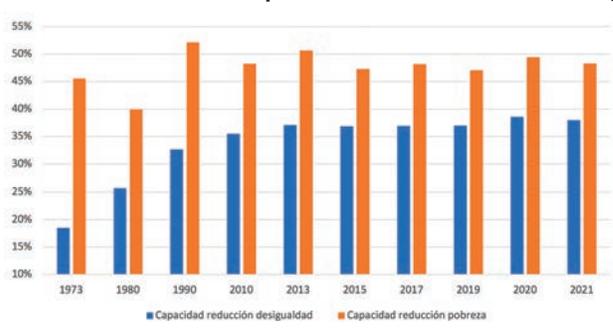
Una amplia literatura económica ha tratado de identificar los elementos que contribuyen al mayor nivel de desigualdad de

Gráfico 3. Distribución de la población por grupos de renta en España 1973-2021 (% de la población)



Fuente: Elaboración propia a partir de Encuesta de Presupuestos Familiares y Encuesta de Condiciones de Vida.

Gráfico 4. Capacidad del sistema de prestaciones e impuestos para reducir la desigualdad y la pobreza: 1973-2021 (% reducción índice de Gini, % reducción tasa de pobreza relativa - umbral 60% mediana)



Fuente: Elaboración propia a partir de Encuesta de Presupuestos Familiares y Encuesta de Condiciones de Vida.

ingresos en España y la falta de simetría en su evolución en periodos de expansión y recesión. Salvo en la profunda y prolongada crisis de los años setenta del pasado siglo, en todos los periodos de contracción de la economía la desigualdad creció considerablemente. Este aumento se relaciona, sobre todo, con cambios estructurales en los factores que determinan la distribución de las rentas primarias, especialmente aquellos de tipo tecnológico, comercial e institucional. Común a todos ellos es la creciente internacionalización de la economía, que ha aumentado la presión sobre la capacidad competitiva de cada país. Estos cambios también han afectado a las características del ciclo económico y la capacidad redistributiva de las políticas públicas.

La desigualdad en la distribución de las rentas del trabajo y de capital, las rentas primarias, es elevada en el caso de España debido a las características de la estructura productiva. En ella, destaca el alto peso de las actividades de bajo contenido tecnológico que no requieren de empleados de alta cualificación y favorecen, por tanto, relaciones laborales marcadas por la temporalidad y la parcialidad, sobre todo en las fases de ralentización de la actividad económica. En las etapas expansivas, sin embargo, con la excepción de los años ochenta, la desigualdad disminuyó solo levemente.

Del conjunto de rentas que reciben los hogares, las del trabajo asalariado son, por su dimensión, las que más contribuyen a la desigualdad de las rentas primarias en España. Sin embargo, son las rentas del trabajo por cuenta propia y las rentas de capital las que se distribuyen más desigualitariamente. España es, de hecho, uno de los países de la Unión Europea donde la desigualdad en las rentas de capital es mayor. Algunos trabajos han estimado un aumento importante en varios países de la importancia de la desigualdad en estas rentas para explicar la desigualdad total desde mediados de los años ochenta.

La contribución a la desigualdad de las rentas del trabajo dependiente tiene un cierto componente cíclico. Aumentó durante la crisis de 2008 y disminuyó, aunque moderadamente, en los años posteriores. La razón de este comportamiento es la alta sensibilidad al ciclo económico de sectores, como el de la construcción, donde el salario total depende más de las horas trabajadas que del salario por hora. En las etapas expansivas, los trabajadores de estos sectores experimentan una importante mejora de unas rentas que, en otra situación, serían sensiblemente inferiores.

Como se puede ver en el Gráfico 4, el desarrollo y mejora de algunos instrumentos básicos del Estado de bienestar en las últimas décadas del siglo pasado (mejora de las pensiones contributivas, extensión del impuesto directo sobre la

renta, mejora de las prestaciones por desempleo) dio lugar a importantes aumentos de la capacidad de corrección de la desigualdad y la pobreza, pero su impacto redistributivo mejoró muy poco entre 1990 y 2005. Claramente, los estabilizadores automáticos (prestaciones por desempleo e impuestos) impulsaron su capacidad de reducción de la desigualdad y la pobreza entre 2005 y 2013, para moderarse después hasta la nueva crisis de 2020, en la que de nuevo las políticas públicas rápidamente aumentan su capacidad de reducir la desigualdad en 1,5 puntos porcentuales. Así, aunque el alcance del sistema de impuestos y prestaciones no consiga evitar que los aumentos de la desigualdad de las rentas primarias se traduzcan en incrementos de la desigualdad de la renta disponible en las fases recesivas, su efecto de colchón es muy importante.

En 2020, advertimos que el sistema aumentó especialmente su capacidad de reducción de la pobreza, lo que subraya la mejora en la capacidad de amortiguar las pérdidas de ingresos de la cola más baja de la distribución. Esta mejora puede estar ligada a los efectos económicos de los ERTE y del Ingreso Mínimo Vital (IMV), una nueva política estatal focalizada sobre el 10% más pobre y que está dirigida a la población más pobre que en algunas CCAA no recibía una renta mínima o que la que recibía era muy baja. Es esperanzador ver que la capacidad redistributiva del sistema se mantiene en 2021 por encima de la de los años previos a la pandemia.

4. CONCLUSIONES

Uno de los problemas sociales y económicos más importantes de España es el alto nivel de desigualdad en la distribución de ingresos. Es una situación que persiste en el tiempo y que nos hace más vulnerables a posibles shocks económicos adversos. El análisis de las tendencias muestra que para reducir el problema no es suficiente con que la economía alcance niveles altos de crecimiento, dado que la estructura productiva y las características de las ocupaciones y de nuestro mercado de trabajo tienden a generar empleos de bajo salario, además de una mayor extensión del desempleo. España es, además, uno de los países europeos con un sistema de impuestos y prestaciones de menor capacidad redistributiva de la Unión Europea.

Esas características estructurales hacen que cuando la economía decrece la desigualdad aumente mucho, normalmente por la vía de un rápido incremento de hogares con rentas bajas y la caída del peso relativo de los hogares con rentas medio-bajas. En estas circunstancias, los efectos que cabe esperar de los shocks son, fundamentalmente, un aumento de

la desigualdad y de la pobreza severa, especialmente en los hogares con menores, con el riesgo de que, como sucedió en recesiones anteriores, sus consecuencias se hagan endémicas.

Cualquier intento de rebajar los altos niveles de desigualdad en España pasa por modificar la distribución de las rentas que reciben los hogares antes de la intervención del sector público. Sin cambios en la estructura productiva será difícil moderar las diferencias actuales. Existe margen, en cualquier caso, en el ámbito de la regulación, con instrumentos que moderen el efecto desigualador de las rentas del capital o mejoren los salarios más bajos como caminar hacia la eliminación de la dualidad en la tributación del impuesto sobre la renta, los aumentos del salario mínimo y la mejora de las modalidades de contratación o, a más largo plazo, las políticas educativas, que pueden tener un papel relevante en la mejora de la distribución.

Además, España es uno de los países de la Eurozona con una menor capacidad redistributiva del sistema de prestaciones e impuestos. Para reducir ese diferencial es necesario aumentar el tamaño (y en algunos casos la progresividad) del sistema fiscal y extender la protección no contributiva, especialmente la dirigida a los jóvenes y a los hogares con menores. Esas políticas deberían incluir tanto a los hogares con rentas inferiores al umbral de pobreza como a los altamente vulnerables que forman parte de la clase media-baja. Para moderar las diferencias de los efectos de las expansiones sobre la desigualdad, muy modestos, y de las recesiones, con un gran impacto, resulta necesaria la extensión de los instrumentos contracíclicos. Los primeros resultados que permiten valorar el efecto de las políticas más recientes apuntan a que tanto los ERTE como el Ingreso Mínimo Vital podrían estar detrás del aumento de la capacidad de las políticas públicas de reducir la pobreza a partir de 2020, lo que podría contribuir a evitar la cronificación de la inseguridad y vulnerabilidad económicas ligadas a esta última crisis.

BIBLIOGRAFÍA

1. Atkinson, A. B., y Brandolini, A. (2013): On the Identification of the Middle Class, en Gornick, J. C., y Jäntti, M. (eds.): *Income Inequality: Economic Disparities and the Middle Class in Affluent Countries*, Stanford: Stanford University Press.
2. Ayala, L., y Cantó, O. (2018): Ciclo económico, clases medias y políticas públicas, capítulo del III Informe sobre la Desigualdad en España, Fundación Alternativas.
3. Ayala, L., y Cantó, O. (2020): Mercado de trabajo y desigualdad. Parte Tercera: Capítulo 1 en Informe España 2020.
4. Ayala, L., y Cantó, O. (2022a): Radiografía de medio siglo de desigualdad en España. Informe-01. Proyecto "Desigualdad y Pacto social". Observatorio Social, La Caixa.
5. Ayala, L., y Cantó, O. (2022b): Crecimiento económico y distribución del bienestar en España en el último medio siglo, *EKONOMIAZ: Revista Vasca de Economía*, número 101, Capítulo 7, Monográfico sobre Crecimiento inclusivo, págs. 184-199.
6. Cantó, O. (2019): Desigualdad, Redistribución y Políticas Públicas: ¿hay una brecha generacional?, *ICE, Revista De Economía*, (908).
7. Cantó, O. (2021): Los efectos de la pandemia de la COVID-19 en la distribución de la renta y el papel de las políticas públicas, *ICE, Revista De Economía*, número 923, diciembre 2021: 145-161.
8. Cantó, O. (2023) Evolución de la desigualdad en el último medio siglo, *Future Policy Lab*, *en prensa*.
9. Chancel, L.; Piketty, T.; Sáez, E.; Zucman, G. (2021): *World Inequality Report 2022*, World Inequality Lab. <https://wir2022.wid.world>
10. OCDE (2015): *In It Together: Why Less Inequality Benefits All*, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264235120-en>
11. OCDE (2018): *A Broken Social Elevator? How to Promote Social Mobility*, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264301085-en>
12. OCDE (2019): *Under Pressure: The Squeezed Middle Class*, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/689afed1-en>
13. Sawyer, M. (1976): *Income distribution in OECD Countries*, OECD Economic Outlook, Paris: OECD.

14.07.2022. SISTEMA CONVECTIVO MESOESCALAR EN GALICIA

Juan Pablo González Cillero

Máster en Meteorología por la Universidad de Barcelona (UB).
Unidad Territorial Noroeste. Grupo Tragsa. Santiago de Compostela. España.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el viernes, 8 de julio, hasta el lunes, 18 de julio de 2022, la práctica totalidad de la península Ibérica estuvo sumida en una masa de aire canicular procedente del norte de África. La comunidad gallega, en consecuencia, padecía los efectos de una ola de calor con temperaturas extremas, llegándose a batir récords de temperaturas, mínimas y máximas, en algunas localidades.

El objetivo de este caso de estudio no es, sin embargo, evaluar las causas y efectos de esa ola de calor, sino analizar la situación sinóptica y mesoescalar por la que, en la tarde del jueves, 14 de julio, se formaría lo que en argot meteorológico se conoce como *Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM)*, probablemente del tipo *Línea de Turbonada*, la cual pudo haber adquirido las peculiaridades de un *Eco en Arco*.

Durante los días precedentes se había registrado actividad tormentosa de forma aislada y, además, restringida a zonas de montaña. Sin embargo, la jornada del 14 de julio acabaría entrando a formar parte del cuaderno de efemérides. Unas condiciones ambientales caracterizadas por una inestabilidad potencial extrema, un forzamiento apropiado que ayudaría a liberar la ingente cantidad de energía latente en la atmósfera y una particular distribución del viento con la altitud se aliaron sobre una misma área geográfica en el momento preciso.

Además de su virulencia y explosividad, lo sorprendente de este acontecimiento es que no fue bien resuelto por ningún modelo numérico. Por esta razón, además de esclarecer los procesos por los que formó este tipo de sistema, intentaremos

encontrar explicaciones a ese respecto y dar algunas nociones a la hora de abordar el pronóstico de la convección.

2. CONVECCIÓN PROFUNDA

Tres son los ingredientes básicos para la convección profunda: flotabilidad, forzamiento y cizalladura del viento. Esta última va a influir en la organización, longevidad y virulencia de la convección.

En función del comportamiento de variables como la temperatura, humedad y, especialmente, el viento con la altitud, se pueden desarrollar tres tipos de tormentas: unicelulares o de masa de aire (*pulsetorms* en idioma anglosajón), multicelulares (clúster, líneas de turbonada) y supercelulares. Dada la naturaleza del caso de estudio, nos vamos a centrar, exclusivamente, en el segundo tipo.

TORMENTAS MULTICELULARES: SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA

A medida que la cizalladura del viento aumenta, la convección se organiza, resultando en la formación de nuevas células convectivas que surgen continuamente debido a la interacción del flujo de salida de otras células de tormenta con el aire cálido y húmedo del ambiente circundante.

Uno de los conglomerados nubosos más conocidos son los *Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM)*, que, acorde a la definición de Houze, “son formaciones nubosas que incluyen grupos de tormentas convectivas y que producen un área de precipitación de 100 km o más en al menos una dirección”¹.

¹ Houze, R. A. Jr. (1993), *Cloud Dynamics*, 573 pp., Academic, San Diego, Calif. (19.01.2023).

Según *Fritsch*, “los SCM tienen un grado de organización y una estructura interna dentro de la mesoescala que les hace evolucionar con su propio ciclo de vida y pueden interactuar con el entorno sinóptico, llegando incluso a modificarlo”². Dentro de esta clasificación encontramos sistemas tales como las *Líneas de Turbonada*.

Línea de turbonada

Una LT es un SCM cuya parte convectiva tiene una organización lineal formada por una línea alargada continua, o rota, de células tormentosas. Su evolución depende de la flotabilidad y de la cizalladura vertical del viento en la que se desarrolla la convección (Figura 1). En su etapa madura, el perfil trans-

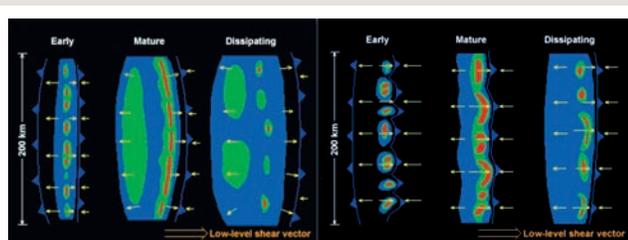


Figura 1. Ciclo de vida de una LT: inicio (early), madurez (mature) y disipación (dissipating) bajo condiciones de cizalladura del viento débil a moderada (izqda.) y moderada a fuerte (dcha.). Las flechas amarillas representan el flujo del aire en niveles bajos, la línea azul con triángulos simboliza el frente de racha en superficie.

Fuente: The Comet® Program. https://www.meted.ucar.edu/mesoprim/severe2/print.php#page_3-0-0

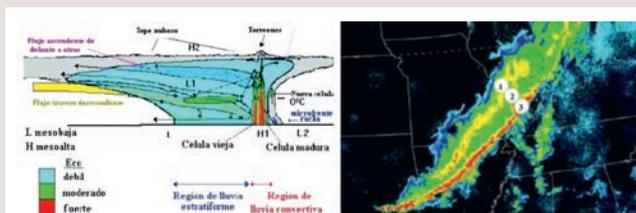


Figura 2. Corte transversal según esquema de R. A. Houze (American Meteorology Society) (izqda.) y patrón radar (dcha.) típicos de una línea de turbonada (1, parte convectiva; 2, zona de transición; 3, parte trasera estratiforme).

Fuente: The Comet® Program. https://www.meted.ucar.edu/mesoprim/severe2/print.php#page_3-0-0

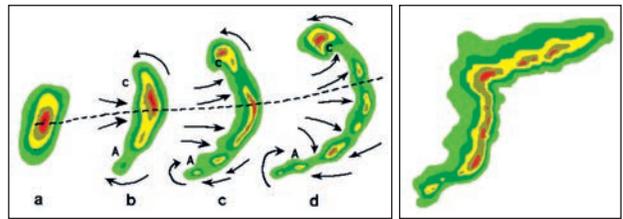


Figura 3. Izquierda: modelo conceptual de la evolución de un eco tormentoso de radar en un eco en forma de arco (b, c) y en un eco en forma de coma (d). La línea discontinua señala el eje de mayor potencial de reventones (downburst). Las flechas indican el sentido de flujo de los vientos respecto a la tormenta. Nótese las regiones de rotación ciclónica (C) y anticiclónica (A). Derecha: contornos de reflectividad típicos asociados a un eco lineal con patrón ondulado (Line-Echo Wave Pattern). Obérvese la similitud de la mitad más baja del arco con el eco en arco de la figura a la izquierda.

Fuente: https://www.weather.gov/oun/diccionario_terminos_meteorologicos

versal tipo “posee una zona de baja presión delantera (L2), una zona de alta presión con descendencias (H1) y lo más característico de la LT, una zona de bajas presiones trasera en niveles medios (L1) que fomenta la formación de un flujo trasero descendente causante de un frente de racha mucho más fuerte que los desarrollos normales por la interacción con la cizalladura”³ (Figura 2).

Eco en arco

Una de las formas más curiosas y elocuentes de organización de la convección en la mesoescala es el *Eco en Arco* (Figura 3). Un eco en arco es “una LT en la que, en algún momento durante su ciclo de vida, uno de sus segmentos adquiere una apariencia curvada, lo que suele ser indicativo de tiempo adverso en superficie en forma de rachas de viento muy fuertes o extremas (derecho)” (Klimowski et. al., 2004)⁴. Dentro de la escala meso, su tamaño es relativamente pequeño, de 20 a 120 km de largo, y necesitan de condiciones de fuerte inestabilidad y cizalladura moderada a fuerte en niveles inferiores. Según el Dr. Fujita, “suelen comenzar como una potente célula aislada o línea de células que evoluciona en un segmento simétrico de forma arqueada durante un período de unas pocas horas”⁵. Esa forma característica se debe al empuje de una potente corriente trasera descendente acentuada por un estrato seco en niveles medios causante de un mayor enfriamiento evaporativo”.

² Estudio de dos Sistemas Convectivos de Mesoescala en el Área Mediterránea Española. **Francisco Martín León, Mercedes Canalejo Mendaza, Lucía de Esteban Jódar.** <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=105500> (19.01.2023).

³ Línea de Turbonada en la Península Ibérica. **Agencia Española de Meteorología (AEMET).** [https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/11435/1/XXXV_JAME_AlvarezAlonso_p80.pdf\(22.01.2023\)](https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/11435/1/XXXV_JAME_AlvarezAlonso_p80.pdf(22.01.2023))

⁴ Radar Observations of the Early Evolution of Bow Echoes. **Brian, A.; Klimowski; Mark, R. H.; Jelfelt; Matthew, J. B.; Bunkers.** https://www.spc.noaa.gov/misc/AbtDerechos/papers/Klimowskietal_2004.pdf (24.01.2023)

⁵ Convección severa: Sistemas Convectivos de Mesoescala. **The COMET® Program.** https://www.meted.ucar.edu/mesoprim/severe2_es/print.php (24.01.2023).

2.1. OTROS CONCEPTOS RELACIONADOS

A. Temperatura potencial equivalente, temperatura potencial del termómetro húmedo

La temperatura equivalente (T_e) se define como la temperatura que un volumen de aire tendría si todo el vapor de agua que contiene se condensara, liberando calor latente en el proceso de condensación. Si, posteriormente, ese mismo volumen de aire es llevado adiabáticamente hasta el nivel de 1000 hPa, obtenemos la temperatura potencial equivalente (Θ_e).

“El origen de las diferentes masas de aire determina en gran parte su propio valor de Θ_e . Este hecho es importante, dado que las tormentas se forman, frecuentemente, en áreas con altos valores de Θ_e en 850 y 1000 hPa. En los casos de convección veraniega, uno puede considerar la convergencia en niveles bajos en penachos de alta Θ_e como el indicador más útil para saber dónde se desarrollarán las tormentas”⁶.

Por su parte, la temperatura del termómetro húmedo (T_w) se define como la temperatura que un volumen de aire tendría si todo el vapor de agua que contiene se evaporara, extrayendo calor latente en el proceso de evaporación. Si continuamos comprimiendo ese volumen de aire hasta el nivel de 1000 hPa siguiendo la adiabática saturada, obtenemos la temperatura potencial del termómetro húmedo (Θ_w).

Θ_w nos da una estimación del máximo enfriamiento que un volumen de aire puede experimentar en su descenso hasta el nivel de 1000 hPa. “Por lo general, la corriente descendente se origina cerca del nivel de temperatura potencial mínima de bulbo húmedo, a 3-5 km sobre el suelo”⁷. En el ejemplo de la Figura 4, se asume que la corriente descendente se origina a 700 hPa:

- Si el volumen de aire no experimenta evaporación en su descenso, el enfriamiento será menor (seguiría la adiabática seca en lugar de la adiabática saturada) (Fig. 4 izquierda).
- Si el aire de niveles medios contuviera mayor humedad, la Θ_w sería más alta y el enfriamiento potencial y la fuerza de la corriente descendente serían menores” (Fig. 4 derecha).

En consecuencia, cuanto más secos y más fríos estén los niveles medios y cuanto más cálida/más inestable sea la parcela de la capa límite, las corrientes ascendentes y descendentes serán más fuertes y con ello la posibilidad de rachas convectivas violentas.

B. CAPA DE MEZCLA ELEVADA: LA ESCOPETA CARGADA

Una Capa de Mezcla Elevada (EML por sus siglas en inglés) es una capa de aire cálido y seco bien mezclado que es advectada desde una región fuente por encima de otra capa con aire con otras propiedades.

Para hacer más comprensible cómo se forma, vamos a coger el estrato comprendido entre, aproximadamente, 900-625 hPa del radiosondeo de Madrid del día 13 de julio a las 1200 UTC y lo vamos a transponer en el de A Coruña del día 14 a las 1200 UTC (Figura 5).

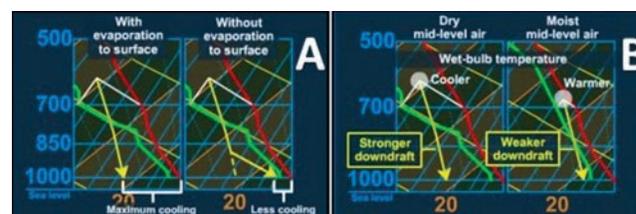


Figura 4. Evolución de una corriente vertical descendente bajo diferentes circunstancias. A) un volumen de aire que experimenta evaporación hasta la superficie (*with evaporation to surface*) seguirá la adiabática saturada, experimentando el mayor enfriamiento posible (*maximum cooling*) (izqda.); un volumen de aire con menor contenido de vapor de agua no experimenta evaporación hasta la superficie (*without evaporation to surface*) y seguirá la adiabática seca, experimentando un enfriamiento menor (*less cooling*) (dcha.) B) un volumen de aire que desciende desde niveles medios secos/niveles medios húmedos (*dry mid-level air/moist mid-level air*) tendrá una T_w (*wet-bulb temperature*) más baja/alta (*cooler/warmer*), originándose, así, descendencias más fuertes/débiles (*stronger downdraft/weaker downdraft*).

Fuente: https://www.weather.gov/oun/diccionario_terminos_meteorologicos

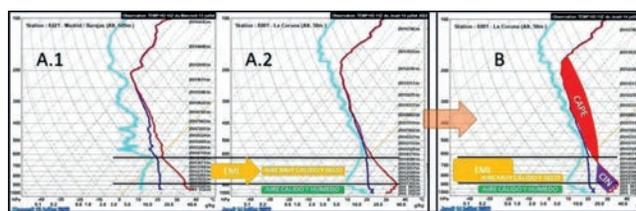


Figura 5. (A.1) Radiosondeo de Madrid el día 13 de julio y (A.2) de A Coruña el día 14 de julio, ambos a las 1200 UTC. Obsérvese la presencia de una capa de mezcla elevada en un estrato profundo entre 900-625 hPa. (B) Radiosondeo de escopeta cargada de A Coruña para el jueves, 14 de julio a las 1200 UTC. La tapadera de inversión (*CIN*) llega a superar el nivel de 700 hPa e impide los desarrollos verticales, pero, si se rompiera, se dispararía la convección profunda con altos valores de *CAPE*.

Fuente: <https://www.meteociel.com> + elaboración propia.

⁶ *Guide to using Convective Weather Maps (Guía para el uso de Mapas convectivos)*. Oscar van der Velde. <https://www.lightningwizard.com/maps/ConvectiveWeatherMaps.pdf> (29.01.2023).

⁷ *Principles of Convection I: Buoyancy and CAPE (Principios de Convección: Flotabilidad y CAPE)*. The COMET® Program. <https://www.meted.ucar.edu/mesoprim/cape/print.php> (29.01.2023).

Este proceso daría lugar a una de las situaciones potencialmente más peligrosas: aquella en la que el aire que se cuele por debajo de esa capa inestable es de origen marítimo, formándose una inversión de tapadera que inhibe o retrasa la iniciación de la convección y ocasiona un almacenamiento de la energía convectiva (CIN por sus siglas en inglés). El resultado es un radiosondeo de *v* invertida, también llamado de escopeta cargada (Figura 5), con una capacidad enorme para originar tormentas fuertes, siempre y cuando existan un mecanismo de disparo capaz de vencer esa inversión y una cizalladura del viento adecuada.

3. CONFIGURACIÓN ATMOSFÉRICA

Al amanecer del día 14 de julio, se podían observar nubes del género *altocumulus* de la especie *castellanus*, signo inequívoco de inestabilidad elevada. Además, según transcurría la mañana, se iban desplazando, al oeste de Galicia, bandas de nubes con precipitación convectiva. Igualmente, durante las primeras horas de la tarde, se pudieron ver células de tormenta aisladas en zonas montañosas en territorio gallego y, de manera algo más concentrada, a lo largo de la parte occidental del Sistema Central. Ninguno de estos desarrollos mostraba síntomas de organización.

Sin embargo, durante las últimas horas de la tarde, la desorbitada inestabilidad latente que se había ido acumulando durante los días previos se liberó de forma explosiva y la convección consiguió organizarse para terminar creando un SCM de dimensiones gigantescas.

3.1. SITUACIÓN SINÓPTICA

La intensa y pertinaz ola de calor que asolaba Galicia se debió a la combinación de un fuerte anticiclón quasi-estacionario al norte de España y de una imponente dorsal subtropical asociada. Por otro lado, se iba a formar sobre el Archipiélago de

Las Azores una *Depresión Aislada en Niveles Altos (DANA)*.

Durante los días previos al 14 de julio, esta DANA se movería de modo errático sobre el Atlántico, algo habitual en este tipo de sistemas atmosféricos. Al inicio, descendería hasta la latitud del archipiélago de Madeira, donde quedaría estacionaria y seguiría profundizándose hasta ser vista en los campos de presión en superficie. Desde esa posición iba a provocar el bombeo, desde el norte de África, de aire canicular. En su regreso hacia el norte, la borrasca acabaría por quedar prácticamente inmóvil en algún lugar del Atlántico entre el noroeste peninsular y las Islas Azores, emplazamiento que acabaría resultando clave para la consecución del acontecimiento.

En los mapas de reanálisis del modelo CFS (Figura 6) destacan, en niveles altos, la dorsal sobre gran parte de la Europa mediterránea, que estabilizaba la masa de aire sobre la Península, pero iba siendo erosionada en su flanco occidental por la depresión aislada en la zona atlántica, frente a las costas de Portugal. En niveles bajos, se identifican la borrasca al oeste de la Península y altas presiones al norte y al este.

3.2. SITUACIÓN MESOESCALAR

Inestabilidad

Dos factores son imprescindibles para crear inestabilidad: un fuerte gradiente vertical de temperatura y una capa límite cálida y húmeda. El primero es evidente en el radiosondeo de A Coruña, donde está presente una capa de mezcla elevada

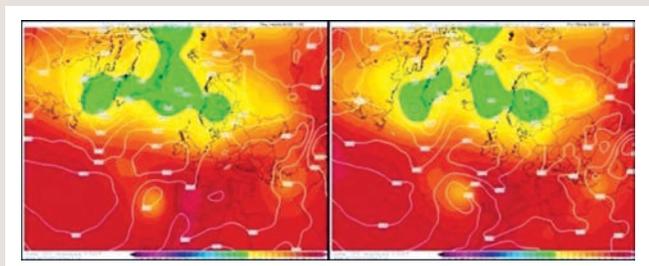


Figura 6. Presión atmosférica a nivel del mar (hPa) (líneas blancas) y altura geopotencial en 500 hPa (gdp) (escala de colores) para el 14 de julio a las 12 UTC (izqda.) y 15 de julio a las 0 UTC (dcha.).

Fuente: <https://www.wetterzentrale.de/es/reanalysis.php?model=cfsr>

TABLA 1 Datos de temperaturas máxima y mínima y temperatura media del punto de rocío (°C) recogidos en las estaciones de Lugo-Rozas (izqda.) y Ourense (dcha.), desde el 4 al 14 de julio de 2022						
Fecha	LUGO			OURENSE		
	Tmáx (°C)	Tmin (°C)	TdMed (°C)	Tmáx (°C)	Tmin (°C)	TdMed (°C)
04-jul	19.8	14.8	13.8	31.6	17.2	15.0
05-jul	20.8	14.6	14.3	30.5	16.9	14.9
06-jul	23.8	13.7	14.0	32.6	17.6	15.0
07-jul	25.3	10.9	14.1	34.4	15.3	13.8
08-jul	27.3	12.9	15.7	36.6	14.7	14.3
09-jul	30.1	16.3	17.1	39.8	16.3	13.9
10-jul	35.1	13.4	15.7	40.1	17.0	14.7
11-jul	32.8	13.8	17.2	39.3	17.9	16.5
12-jul	36.2	14.3	17.8	43.3	20.1	16.1
13-jul	38.3	14.6	17.3	41.0	20.8	17.4
14-jul	35.2	16.9	18.8	44.1	21.7	17.7

Fuente: <https://www.ogimet.es>



Figura 7. Temperatura del punto de rocío (°C) (recuadro grande) y temperatura del aire (°C) (recuadro pequeño) para el jueves, 14 de julio a las 1200 UTC. Obsérvense los valores de temperatura de rocío reinantes en Galicia y el área del Cantábrico, equiparables a la zona mediterránea, y la frontera entre el aire húmedo atlántico y el seco mesetario.

Fuente: <https://www.ogimet.es>

con un marcado descenso de la temperatura con la altitud. El segundo lo encontramos en los altos valores de temperatura del punto de rocío que venían registrándose en buena parte del territorio gallego (Tabla 1).

El día 14 en particular, a las 1200 UTC, muchas estaciones de la comunidad gallega arrojaban valores de temperatura de rocío entre 18 y 22°C (Figura 7). En zonas elevadas del suroeste de Galicia, los valores eran también relativamente altos, alrededor de 12°C. Contrastan, y de qué manera, con los que se registraban a la misma hora en la meseta norte peninsular, algunos inferiores a 5°C, y todo ello a altitudes similares y con valores de temperatura del aire semejantes. Se descubre, así, una frontera de aire con diferentes características: uno muy cálido y seco sobre la meseta y otro, sobre Galicia, igual de cálido, pero con mayor contenido de humedad (Tabla 2).

Procedemos, ahora, a transponer en el radio sondeo de A Coruña los datos que se leían el jueves, 14 de julio a las 1500 UTC en diferentes puntos de Galicia (Tabla 3). De esta manera, obtenemos, de forma aproximada, el siguiente per-

TABLA 2
Datos de temperatura del aire y temperatura del punto de rocío (°C) medidos el día 14 de julio de 2022 a las 1200 UTC en diferentes localidades

LOCALIDAD	Altitud (m)	T aire (°C)	T rocío (°C)
Xinzo de Limia (Ourense)	620	38.8	11.8
Braganza (Portugal)	690	39.6	6.1
Pobra de Trives (Ourense)	840	35.4	12.3
Villardecervos (Zamora)	860	37.1	3.0

Fuente: <https://www.ogimet.es> <https://www.meteogalicia.gal>

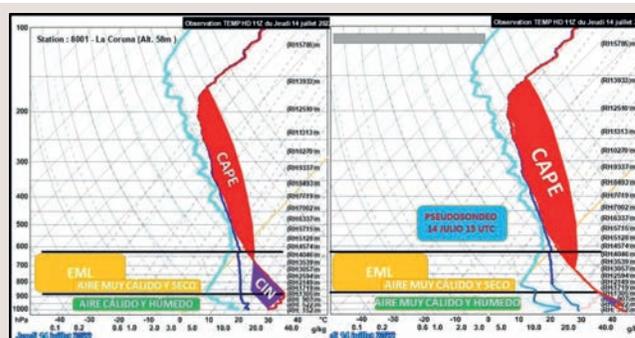


Figura 8. Radiosondeos de A Coruña (izqda.) y para un punto del centro de la provincia de Ourense (dcha.), construido con datos obtenidos de diferentes estaciones meteorológicas, para el jueves, 14 de julio de 2022, a las 15 UTC.

Fuente: *Elaboración propia.*

fil vertical para un punto hacia el centro de la provincia de Ourense (Figura 8), en el cual se presume la existencia de una pequeña inversión o capa isoterma de unos pocos cientos de metros de espesor en niveles bajos. Ya por encima de los 925 hPa, encontramos un muy pronunciado gradiente vertical. Comparando ambos sondeos, se aprecian diferencias evidentes tales como una CAPE mucho más alta, CIN más débil y NCL a menor altitud.

TABLA 3
Datos de temperatura del aire (Taire) y temperatura del punto de rocío (Troció) (°C) medidos el día 14 de julio de 2022 a las 1200 y 1500 UTC

LOCALIDAD	Altitud (m)	12 UTC		15 UTC	
		T aire (°C)	T rocío (°C)	T aire (°C)	T rocío (°C)
Ourense	130	38	17	43	17
Carballino	400	36	21	38	21
Xinzo de Limia	620	39	12	39	15
Pobra de Trives	840	35	12	38	11
Vilariño de Conso	1.050	35	11	36	10
Cabeza de Manzaneda	1.750	27	10	27	9

Fuente: <https://www.ogimet.es> <https://www.meteogalicia.gal>

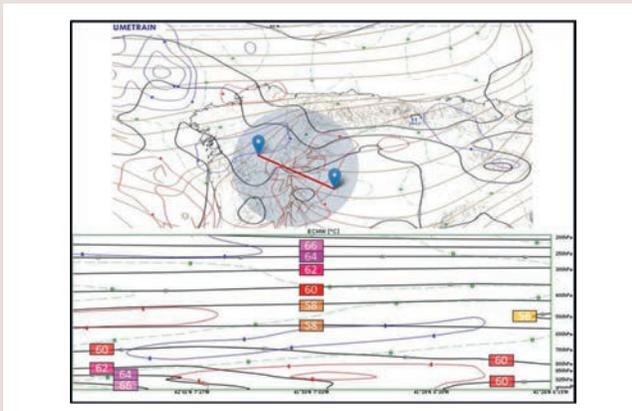


Figura 9. Arriba: campos de presión en superficie (hPa) (líneas negras), líneas de corriente en 950 hPa (flechas marrones) y divergencia/convergencia en 850 hPa (líneas azules/rojas). Abajo: corte vertical a lo largo de la línea roja de la imagen superior, mostrando los valores de θ_e (°C) (líneas negras) y de divergencia/convergencia (líneas azules/rojas), para el jueves, 14 de julio, a las 1500 UTC, según análisis del modelo numérico IFS (ECMWF). Obsérvense la convergencia en niveles bajos en el centro de la zona, más acentuada entre 900-850 hPa, y la inestabilidad convectiva existente, más pronunciada en dirección noroeste.

Fuente: <https://www.eumetrain.org> + elaboración propia.

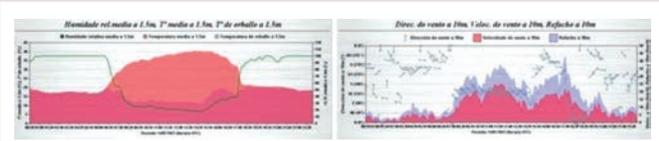


Figura 10. Izquierda: temperatura del aire (°C) (línea naranja), temperatura del punto de rocío (°C) (línea roja) y humedad relativa del aire (%) (línea verde). Derecha: dirección (barbas) y velocidad del viento (km h⁻¹) para la localidad de Xizno de Limia el jueves, 14 de julio de 2022.

Fuente: <https://www.meteoGalicia.gal>

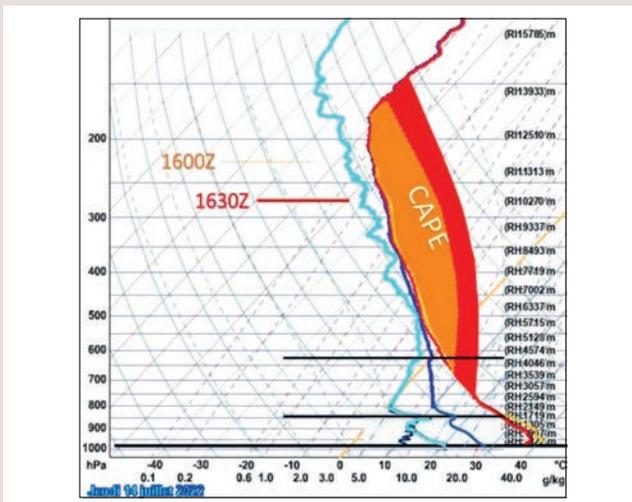


Figura 11. Radiosondeos idealizados para un punto hacia el centro-sureste de la provincia de Ourense construido con datos obtenidos de diferentes estaciones meteorológicas para el jueves, 14 de julio de 2022, a las 1600 (amarillo) y 1630 UTC (rojo).

Fuente: Elaboración propia.

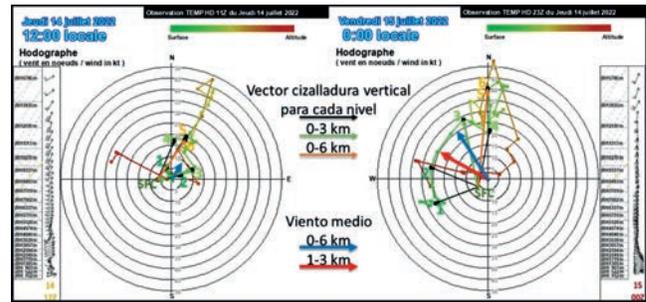


Figura 12. Hodógrafos obtenidas a partir de sus respectivos perfiles de viento para el 14 de julio a las 1200 UTC (izqda.) y 15 de julio a las 00 UTC (dcha.). Altitud en escala de colores. Vector de cizalladura del viento para diferentes capas en flechas negras, verde y naranja. Vector de viento 0-6 km y 1-3 km en flecha azul y roja, respectivamente.

Fuente: <https://www.meteociel.fr> + elaboración propia.

3.2.1. Mecanismo de disparo

Es importante destacar que el fuerte calentamiento del aire cerca de la superficie terrestre durante el verano induce, a menudo, la formación de una baja térmica. Esta baja provoca un flujo ciclónico en capas bajas de tipo mesoescalar que puede dar lugar a una zona y líneas de la convergencia térmica. Este mismo proceso ocurriría en algún lugar hacia el sureste de Galicia.

Hagamos un corte vertical de la atmósfera en esa área (Figura 9). Examinándolo con detalle, se descubren:

- Una zona de fuerte convergencia en niveles bajos-medios, entre el nivel de superficie y los 800 hPa, especialmente intensa entre 900 y 850 hPa, hacia el punto medio del corte vertical (líneas rojas en la imagen inferior).
- Divergencia por encima del nivel anterior, entre 750-500 hPa (líneas azules).
- Inestabilidad convectiva en un estrato muy profundo entre superficie y, aproximadamente, 500 hPa (θ_e decrece con la altitud), al menos hacia el centro y, especialmente en dirección noroeste.
- Inestabilidad convectiva más acusada en dirección noroeste entre superficie y el nivel de 800 hPa, pues las líneas están más apretadas (θ_e decrece más y más rápidamente).
- Aire cada vez más estable por encima del nivel de 500 hPa (θ_e aumenta con la altitud).

Igualmente, ligado a la formación de una zona de convergencia de vientos en niveles bajos-medios, se produjo una advección de humedad. De este modo, se iba a dar en esa zona una combinación explosiva de aire cálido marítimo y aire muy cálido mesetario. Para corroborar este hecho se presenta

TABLA 4
Datos de temperatura del aire y temperatura del punto de rocío (°C)
medidos el día 14 de julio de 2022 a las 1600 y 1630 UTC en diferentes
estaciones meteorológicas de Galicia.

LOCALIDAD	Altitud (m)	T aire (°C)	T rocío (°C)	T aire (°C)	T rocío (°C)
		1600 Z		1630 Z	
Verín	400	40	12	37	19
Laza	600	41	9	38	15
Vilardevós	800	37	12	36	13
Ríos	840	38	9	37	11
Mezquita	1.000	37	12	33	9
Cabeza de Manzaneda	1.750	29	11	25	12

Fuentes: <https://www.ogimet.es> y <https://www.meteogalicia.gal>

el meteograma de la estación meteorológica de Xinzo de Limia (Ourense) (Figura 10). En él, se puede adivinar cómo, hacia las 1500 UTC, el viento gira de sureste a componente oeste y la temperatura de rocío aumenta considerablemente sin apenas variar la del aire.

Desplacémonos, seguidamente, a esa zona de convergencia donde se empezaba a gestar el SCM. Hagamos lo mismo que hicimos anteriormente, pero con datos de estaciones más próximas a esa zona (Tabla 4). Se revela, así, cómo, en un corto intervalo de tiempo, la temperatura del punto de rocío en capas bajas aumentaba considerablemente. Al construir los radiosondeos, queda patente que el cada vez mayor contenido de vapor de agua iba a tener como principal consecuencia un claro descenso de la altitud a la que se alcanzaba el NCL, con lo que cada vez sería más fácil que se iniciara la convección. Si echamos un vistazo al área de CAPE, huelga decir que una vez que eso sucediera, lo haría con gran virulencia (Figura 11).

3.2.2. Cizalladura

La flotabilidad ambiental y, particularmente, el perfil vertical del viento son factores enormemente influyentes en el desarrollo de estructuras tormentosas. Por ejemplo, la fuerza y organización de un SCM con base en la capa límite aumentan proporcionalmente a la magnitud de la cizalladura y su evolución está fuertemente controlada por la interacción entre la bolsa fría en superficie y la cizalladura vertical del viento en niveles bajos. Para el caso particular de una LT, la componente de la cizalladura en niveles bajos perpendicular a la línea es la que ejerce el máximo control sobre su estructura y progreso. Del mismo modo ocurre en un eco en arco, los cuales tienden a formarse bajo condiciones de fuerte cizalladura vertical concentrada en los niveles inferiores y a propagarse en la dirección del vector de cizalladura vertical de 0 a 3 km.

Por último, se puede asumir, al menos en las primeras etapas de la mayor parte de formaciones convectivas, que los núcleos tormentosos se mueven a una velocidad próxima a la del viento medio de la capa en la que crecen. Dado que tanto modelos numéricos como observaciones sugieren que el movimiento de una tormenta obedece, fundamentalmente, a los vientos de los niveles inferiores, se calcula el viento medio en la capa de 0 a 6 km.

Por todos estos motivos, es muy importante analizar cómo se distribuye la cizalladura del viento sobre la profundidad de la hodógrafa.

fundidad de la hodógrafa.

Volvamos a nuestro caso de estudio y observemos la Figura 12. En ella se pueden ver dos perfiles verticales de viento que resultan en sus respectivas hodógrafas. Estos perfiles de viento fueron obtenidos por los globos sonda lanzados desde el aeropuerto de A Coruña el 14 de julio, a las 1200 UTC (izqda.) y el 15 de julio, a las 00 UTC (dcha.). A simple vista, es evidente el cambio en la distribución del viento con la altitud en el tiempo, lo que, muy probablemente, se debía a la aproximación de la baja atlántica. Este suceso se ha demostrado determinante en el devenir del acontecimiento.

El día 14, a las 1200 UTC, la dirección del viento no varía de modo considerable con la altitud, manteniendo una dirección WSW en niveles bajos y SW en niveles medios y altos, aunque si lo hace su intensidad. Consecuentemente, la cizalladura del viento en niveles bajos es más bien débil, incrementándose ligeramente desde los 3 hasta los 6 km y de manera más notoria por encima de los 6 km. La cizalladura en la capa 0-6 km tampoco es excesivamente grande y el vector viento medio de 0 a 6 km es de unos 10 kt en dirección NE.

Por el contrario, el día 15, a las 00 UTC, el viento, además de reforzarse, vira considerablemente con la altitud, con un flujo del este en los niveles bajos y un flujo cada vez más del sur en el centro y en los niveles superiores, lo que sugiere advección de aire cálido que favorece los ascensos de aire. La hodógrafa resultante muestra vectores de cizalladura tanto en los 3 primeros kilómetros de la troposfera como de 0 a 6 km mucho más largos y un vector de viento medio que superaba los 20 kt con dirección NNW. Vemos, claramente, la forma curvada de la hodógrafa en los niveles inferiores. Otra característica importante es la configuración de vientos en niveles medios

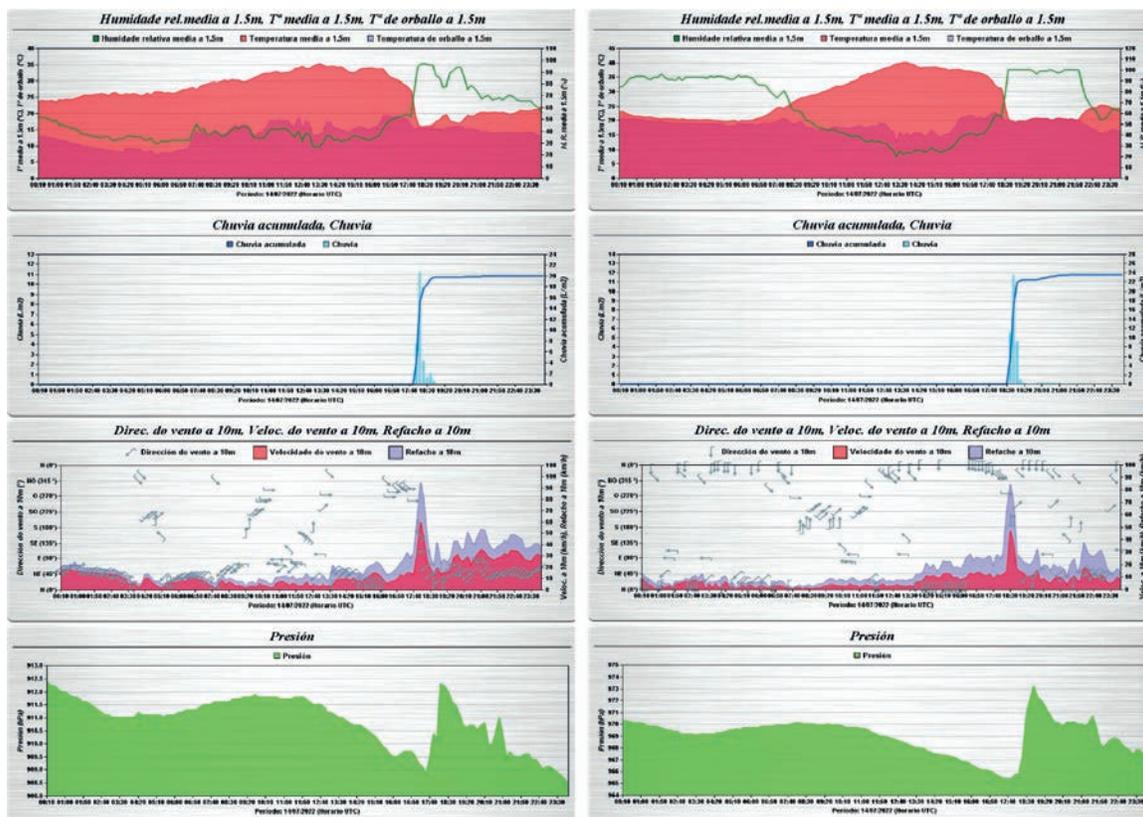


Figura 13. De arriba abajo: datos de temperatura del aire (línea naranja), temperatura del punto de rocío (línea roja) (°C) y humedad relativa del aire (línea verde) (%); precipitación 10-minutal; dirección (barbas) y velocidad del viento (km h-1); presión atmosférica (hPa) para las estaciones de Alto do Rodicio (municipio de Maceda, Ourense) (izqda.) y Bóveda (municipio de Bóveda, Lugo) (dcha.) registrados el jueves, 14 de julio de 2022.

Fuente: <https://www.meteogalicia.gal>

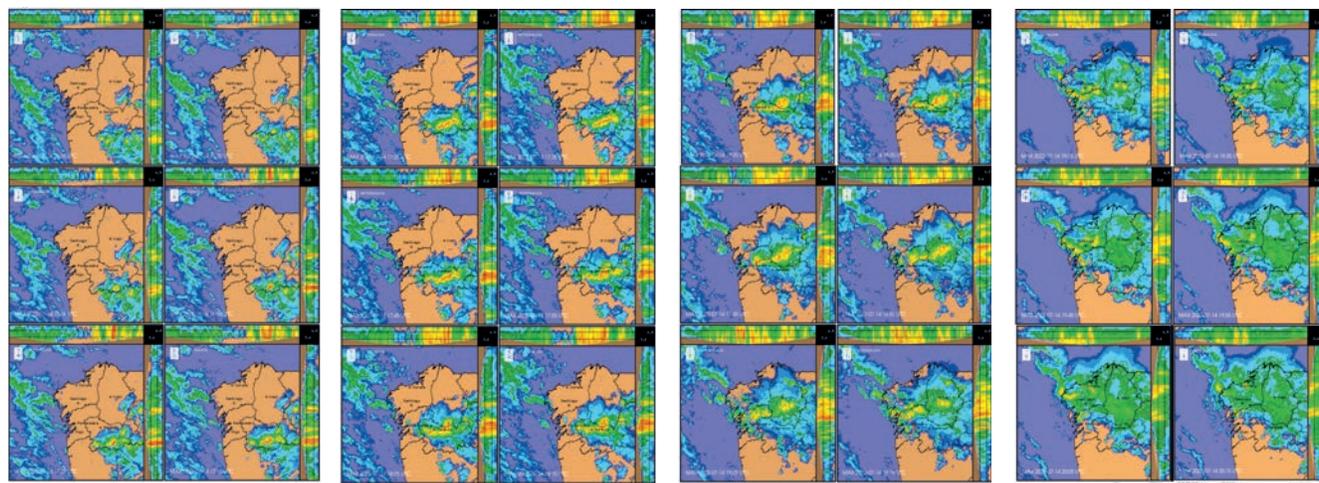


Figura 14. Reflectividad máxima obtenida por el radar de precipitación desde 1625 hasta 2015 UTC, a intervalos de 10 minutos, el 14 de julio de 2022. Sobre la escala de reflectividades se indica, de forma aproximada, el carácter de la intensidad de la precipitación según la fórmula de Marshall-Palmer.

Fuente: <https://www.meteogalicia.gal>

(4-6 km), quasiparalelos e intensos, pero con poca cizalladura vertical entre esos dos puntos de referencia, lo que iba a permitir el movimiento en grupo de los núcleos convectivos y, por consiguiente, del *SCM*.

Nuestro *SCM* comenzaba a formarse, aproximadamente, poco antes de las 1700 UTC en el sureste de Galicia y moría hacia las 2200 UTC ya en la costa cantábrica, es decir, su ciclo de vida estuvo comprendido entre esos dos perfiles verticales del viento, aunque, como se verá posteriormente, todo apunta a que estuvo más influido por el segundo.

4. EFECTOS EN SUPERFICIE

En este capítulo vamos a examinar algunos de los efectos que el *SCM* ocasionaría en superficie a su paso por la Comunidad gallega. Las principales características observacionales son: intensidades torrenciales de precipitación, granizo de gran tamaño, rachas de viento muy fuertes y miles de descargas eléctricas que "sembraron el caos, dejando carreteras intransitables, anegando calles, arrancando árboles, perjudicando cultivos y dañando infraestructuras de telecomunicaciones o de suministro eléctrico, especialmente, en poblaciones del sur de Lugo y noroeste de Pontevedra. Aisladamente, en la *Serra do Courel* y en la comarca de *Valdeorras* también se originaron incendios a consecuencia de los rayos"⁸.

El paso de este *SCM* por las diferentes localidades tuvo una duración inferior a una hora y se puede seguir perfectamente en las distintas estaciones y en todas las variables, pues en ellas se observa el mismo patrón: aumento súbito de las rachas, humedad y presión y descenso brusco de temperatura, denotando descendencias con viento con el avance de los núcleos convectivos más activos (Figura 13).

Precipitación

Con el fin de describir el ciclo de vida de nuestro *SCM*, se muestran las imágenes radar de *reflectividad máxima de precipitación* desde las 1625 hasta las 2005 UTC del 14 de julio de 2022 a intervalos de 10 minutos (Figura 14). En ellas se aprecia cómo, a partir de un grupo de tormentas dispersas, se desarrollaba un *SCM* que se organizaba rápidamente para formar una *LT* en la que algunos de sus segmentos parecían adoptar forma arqueada.

1. Fase inicial (1630-1730 UTC): la convección profunda que

constituiría el germen de lo que acabaría siendo el *SCM* se iniciaba en el sureste de Galicia a partir de núcleos aislados poco antes de las 17 UTC. Su nacimiento fue en forma de una célula convectiva de gran poder y tamaño. Inmediatamente después, la convección se organizaba en forma de línea gracias a larápida interacción de los focos tormentosos.

2. Fase de madurez (1730-1900 UTC): la *LT* se trasladaba en dirección noroeste movida por el viento de los niveles medios a una velocidad algo mayor a 25 kt (recordar el vector viento medio 0-6 km) y se propagaba, aproximadamente, en la misma dirección, ajustándose poco a poco a la dirección del vector de cizalladura vertical 0-3 km que venía imponiendo la borrasca al aproximarse. Progresivamente, se iba formando una zona estratiforme alineada con la parte más activa debido a que las corrientes ascendentes eran tan potentes que sobrepasaban la tropopausa y se extendían en todas direcciones (*overshooting*), de ahí el aspecto redondeado del sistema visto desde satélite.

Dos aspectos son signos de mención durante esta fase:

- a) Las formas onduladas que iban tomando los ecos de precipitación ligera (colores azules) nos orientan sobre la dirección de las corrientes horizontales de aire: las muescas en las señales de precipitación con forma cóncava se corresponden con el flujo de salida de las células tormentosas (*microfrente de racha*), mientras que las que tienen forma convexa indican aire que se dirige hacia los núcleos convectivos.
 - b) La apariencia curvada que, por momentos, adquirían algunos de los segmentos de la *LT*.
3. Fase de disipación (1900-2100 UTC): finalmente, la *LT* iba perdiendo organización al mismo tiempo que aparecían núcleos convectivos sobre la fachada atlántica, persistiendo nubosidad de tipo medio y alto de la zona estratiforme.

En la Tabla 5 se presentan los datos 10-minutales de precipitación registrados en diferentes estaciones en las provincias de Ourense y Lugo. Nótese el corto intervalo de tiempo en el que estuvo lloviendo y la intensidad alcanzada por las precipitaciones. Por ejemplo, en una de las estaciones meteorológicas situadas en el municipio de *Monforte de Lemos* (E), se llegaron a acumular ¡18,5 mm en 10 minutos! (111 mm h⁻¹).

⁸ <https://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/arousa/vilagarcia-de-arousa/2022/07/15/tormenta-provoca-caida-dos-arboles-vilagarcia/00031657870218352659585.htm> (12.02.2023)

https://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/lemos/2022/07/15/ola-calor-desemboca-violenta-tormenta-sur-lucense/0003_202207M15C3996.htm (12.02.2023).

TABLA 5
Datos de precipitación 10-minutales recogidos por diferentes estaciones meteorológicas en las provincias de Ourense y Lugo el jueves 14 de julio de 2022, entre las 1700 y las 1950 UTC

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	PP1-LAZA LAZA (OU)	PP1-RODICIO MACEDA (OU)	PP1-PONTE BOGA CASTRO CALDELAS (OU)	PP1-MARROXO MONFORTE (LU)	PP2-MONFORTE MONFORTE (LU)	PP1-MILLARA PANTÓN (LU)	PP1-BOVEDA BÓVEDA (LU)	PPWXT-SANFIZ CHANTADA (LU)	PP1-MORELLE SARRIA (LU)
14/07/2022 17:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14/07/2022 17:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14/07/2022 17:20	4,6	0	0	0	0	0	0	0	0
14/07/2022 17:30	7,8	0	0	0	0	0	0	0	0
14/07/2022 17:40	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0
14/07/2022 17:50	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0
14/07/2022 18:00	0,2	4,1	0	0	0	0	0	0	0
14/07/2022 18:10	0	11,2	5,9	0,7	0	0	0	0	0
14/07/2022 18:20	0	2,4	4	12,4	8,2	0	0	0	0
14/07/2022 18:30	0	0,7	0,6	12,7	18,5	0,1	0	0	0
14/07/2022 18:40	0	1,1	0,4	2,2	6,4	5,4	5,5	1,2	0
14/07/2022 18:50	0	0,3	0	0,4	0,9	6,1	11,8	3,9	0
14/07/2022 19:00	0	0	0,1	0,2	0,4	1,3	4,6	6,3	12
14/07/2022 19:10	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,5	3,2	4,8
14/07/2022 19:20	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	1,5
14/07/2022 19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
14/07/2022 19:40	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0,1
14/07/2022 19:50	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0
	14,2	19,8	11	28,7	34,6	13,1	22,5	14,7	18,6

Fuente: <https://www.meteogalicia.gal>

La Figura 15 muestra también datos de precipitación en diferentes períodos.

Rachas de viento

Existen salidas de modelos numéricos que persiguen anticipar la fuerza de las rachas producidas por corrientes descendentes. Por ejemplo, se puede computar la diferencia entre la Θ_e de la capa límite y la Θ_e más baja encontrada entre 1000-500 hPa. Cuanto mayor sea esta diferencia, mayor riesgo de vientos fuertes.

Valores superiores a 12 grados se consideran una buena señal para rachas fuertes y “superiores a 20 señalan la posibilidad de reventones” (Atkins, Wakimoto, 1991)⁹.

Otro método consiste en calcular el promedio de la presión ponderada de los vientos entre 1-3 km y persigue advertir de lo que podemos esperar cuando una corriente descendente baje a través de una capa de vientos fuertes, llevando el impulso hacia abajo a la superficie. “Normalmente, sobre tierra, la proporción entre la velocidad de la racha y la media de los

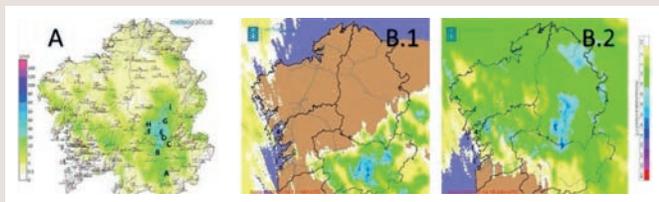


Figura 15. (A) Precipitación total acumulada ($L m^{-2}$) (escala de colores) registrada por la red de estaciones meteorológicas de MeteoGalicia el día 14 de julio. Las letras A-I se corresponden con las localidades de la Tabla 5. (B) Precipitación acumulada en 6 horas ($L m^{-2}$) (escala de colores) estimada por el radar meteorológico de MeteoGalicia el día 14 de julio entre las 1200-1800 UTC (B.1) y las 1800-2400 UTC (B.2).

Fuente: <https://www.meteogalicia.gal>

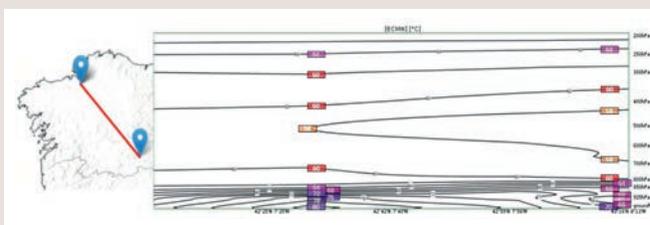


Figura 16. Corte vertical a lo largo de la línea roja, mostrando los valores de e ($^{\circ}C$) (líneas negras) para el jueves, 14 de julio, a las 1800UTC, según análisis del modelo numérico IFS (ECMWF). Obsérvense la gran diferencia de temperatura entre superficie y los niveles medios hacia el centro de la imagen.

Fuente: <https://www.eumetrain.org> + elaboración propia.

⁹ Wet Microburst Activity over the Southeastern United States: Implications for Forecasting. Nolan T. Atkins, Roger M. Wakimoto https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/6/4/1520-0434_1991_006_0470_wmaots_2_0_co_2.xml (15.02.2023).

¹⁰ Guide to Using Convective Weather Maps, Oscar van den Velde. <https://www.lightningwizard.com/maps/ConvectiveWeatherMaps.pdf>

¹¹ El récord de rayos detectados sobre territorio gallego es de 9.562 el viernes, 26 de mayo de 2017. Fuente: <https://www.meteogalicia.gal>

vientos en 10 minutos no excede 1,7, con un cierto margen¹⁰. Esto no excluye que una racha intensificada por la convección profunda pueda deparar mayores velocidades.

A lo largo de este exhaustivo análisis de las condiciones atmosféricas, hemos constatado la existencia de una EML que se extendía en la vertical hasta, aproximadamente, el nivel de 650 hPa. Si aplicamos los métodos mencionados, podemos ver, con ayuda del corte vertical de la Figura 16, que la diferencia entre la Θ_e de la capa límite y la mínima Θ_e por debajo de 500 hPa en un punto hacia el centro de la Comunidad se aproximaba a ¡20°C! Además, como ya se comentó, la corriente descendente se origina, preferentemente, cerca del nivel de la mínima temperatura potencial de bulbo húmedo, entre 3-5 km sobre el suelo. Ajustando los datos para el cálculo a los mostrados en la hodógrafa del día 15, a las 00 UTC (Figura 12), los vientos a la altitud mencionada se movían con una velocidad superior a los 30 kt y el promedio del viento entre 1-3 km rondaba los 25 kt.

En la Tabla 6 se recogen las rachas de viento más intensas medidas por diferentes estaciones meteorológicas en las provincias de Ourense y Lugo. Hay que prestar atención a la componente sur de todas ellas, lo que pone de manifiesto el avance del frente de racha asociado al sistema. Vemos como los valores de rachas máximas registradas se aproximan a lo que cabría esperar al ejecutar los cálculos.

La Figura 17 muestra las rachas de viento más fuertes registradas en la Comunidad de Galicia a lo largo del día 14 de julio.

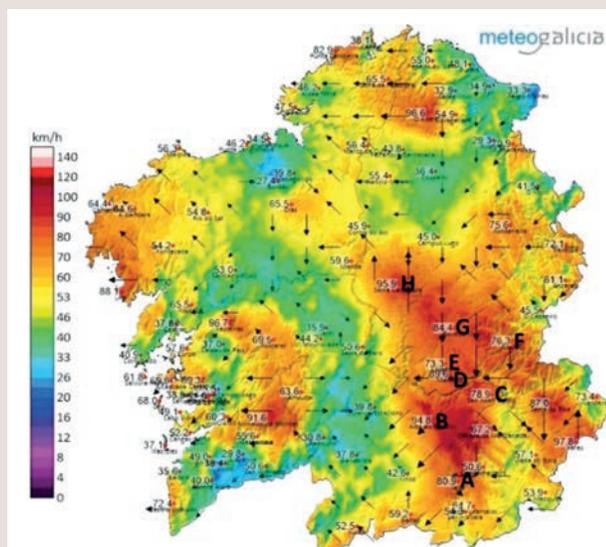


Figura 17. Dirección del viento predominante (flechas negras) y racha máxima (km h⁻¹) (escala de colores) registrados por la red de estaciones meteorológicas de Meteogalicia el día 14 de julio de 2022. Las letras A-H se corresponden con las localidades de la Tabla 6.

Fuente: <https://www.meteogalicia.gal>

Rayos

Según los datos de la Figura 18, entre las 1600 y las 2200 UTC del jueves, 14 de julio, se registraban en Galicia 5.820 rayos nube-tierra¹¹, la mayor parte de ellos en un intervalo de tan solo 2 horas. Una cifra desorbitada que da muestra de la magnitud de las tormentas eléctricas.

La actividad eléctrica despertaba pasadas las 1630 UTC (fase inicial) en la provincia de Ourense con los primeros desarrollos convectivos, aumentaba hasta alcanzar su punto álgido durante un breve período de dos horas entre las 1730-1900 UTC (fase de madurez), seguramente ligado a los procesos de organización interna del sistema, y decaía considerablemente a partir de las 2000 UTC (fase de disipación) con los últimos focos activos que se movían, principalmente, por el oeste de la provincia de A Coruña y acabarían desapareciendo sobre el mar.

Llama poderosamente la atención la cantidad de descargas positivas (+). De un total de 7.025 rayos detectados, 5.216 eran positivos: un 74%. Dicho de otro modo: por cada 4 rayos caídos, 3 eran positivos. Estos rayos son, por lo general, más peligrosos, ya que pueden golpear áreas lejanas a las tormentas y, al atravesar una capa más profunda de la troposfera, alcanzar corrientes de pico de descarga 10 veces superior a los rayos negativos.

Prácticamente la totalidad de los rayos positivos tenían su origen en el SCM, pues muchos de los de opuesta carga (-), conforme a la leyenda horaria y las imágenes radar, estaban

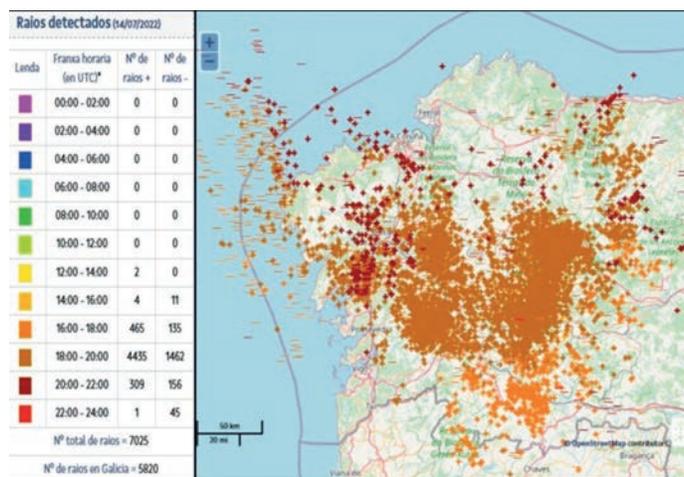


Figura 18. Número de descargas eléctricas detectadas por la red de rayos de Meteogalicia el día 14 de julio de 2022, divididas por franjas horarias según escala de colores adjunta.

TABLA 6
Datos 10-minutales de ráfagas de viento medidos por diferentes estaciones meteorológicas en las provincias de Ourense y Lugo el jueves 14 de julio de 2022 entre las 1710 y las 1940 UTC. Entre paréntesis se indica la altitud de la estación

	A	B	C	D	E	F	G	H
	Laza (580) LAZA (OU)	A.Rodicio (980) MACEDA (OU)	San Xoán de Río (1025) SAN XOÁN DE RÍO (OU)	Marroxo (650) MONFORTE (LU)	Monforte (290) MONFORTE (LU)	Courel (780) FOLGOSO (LU)	Bóveda (430) BÓVEDA (LU)	S.Vacaloura (780) PORTOMARIN (LU)
12/07/2022 17:10	42	26	28	24	25	28	23	35
13/07/2022 17:20	81	33	26	20	18	30	26	33
14/07/2022 17:30	41	28	22	20	23	28	27	36
14/07/2022 17:40	26	33	30	20	22	28	19	38
14/07/2022 17:50	31	61	31	31	27	26	28	38
14/07/2022 18:00	30	95	64	22	20	21	24	35
14/07/2022 18:10	17	80	79	74	67	58	29	36
14/07/2022 18:20	20	44	72	90	73	76	63	33
14/07/2022 18:30	22	27	58	77	57	69	84	27
14/07/2022 18:40	10	21	41	25	23	57	67	29
14/07/2022 18:50	14	42	25	30	30	28	28	96
14/07/2022 19:00	14	24	17	31	21	22	25	82
14/07/2022 19:10	24	27	37	31	21	21	21	75
14/07/2022 19:20	25	24	39	34	40	21	21	62
14/07/2022 19:30	24	28	44	29	25	22	20	41
14/07/2022 19:40	26	42	14	20	28	16	23	30
	SSW	SSE	SSW	SSE	SSE	S	SSW	S

Fuente: <https://www.meteogalicia.gal>

vinculados a los núcleos dispersos que se movían sobre el Atlántico y no al propio SCM.

5. MODELOS NUMÉRICOS

Podríamos definir los modelos numéricos de predicción del tiempo como una interpretación matemática del comportamiento físico de la atmósfera. Ocasionalmente, uno de los grandes desafíos a los que éstos se tienen que enfrentar son los *Sistemas Convectivos de Mesoescala*: formaciones convectivas que engloban grupos de tormentas de muy variados tamaños.

El mayor problema reside en que gran parte de los procesos convectivos y de los asociados a la precipitación en los SCM tienen lugar a escalas más pequeñas que las que pueden resolver la mayoría de los modelos de predicción numérica. Por esta razón, esos procesos se parametrizan, lo que puede resultar en desviaciones importantes de la realidad.

Por el contrario, el pronóstico de ingredientes de forzamiento como frentes, chorros de viento o regímenes de brisas y de inhibición como inversiones de tapadera es más preciso. Esto significa que, aunque el ambiente tenga componentes suficientes para anticipar la convección y, consecuentemente, la formación de tormentas, la mayoría de modelos numéricos disponibles no son capaces de determinar con precisión el inicio, localización y, en última instancia, la organización de las estructuras convectivas.

Existen infinitud de modelos, cada uno con sus virtudes e

inconvenientes, pero todos tienen algo en común: los errores que cometen tienen como causas principales las *condiciones iniciales* y la *parametrización* de los procesos convectivos. Si las condiciones iniciales no son acertadas, es poco probable que logremos acertar el pronóstico y si los esquemas de parametrización no son capaces de reproducir con exactitud atributos de la convección, resultará imposible calcular correctamente la evolución de un *SCM*.

Por tanto, nuestra atención se debe concentrar más en patrones sinópticos y mesoescalares y perfiles verticales de viento que favorezcan la formación de *SCMs*, siendo conocedores de los posibles errores que pudieran derivarse de un incorrecto posicionamiento de los centros de acción y de los particulares sesgos del modelo.

Sin embargo, de ninguna manera debemos ignorar por completo las distintas parametrizaciones de los modelos. Campos como el tope de nubes convectivas nos pueden dar pistas sobre cómo de profunda puede ser la convección, en caso de que se inicie. O velocidades verticales excepcionalmente altas junto a grandes cantidades de precipitación, aunque puedan ser el resultado de un error en el cálculo, nos pueden alertar de que tenemos que inspeccionar la situación cuidadosamente.

Por estos motivos, habría que incidir en aspectos como la iniciación de la convección, la evolución de la estructura tormentosa o la cantidad de precipitación, los cuales dependen, en gran medida, del escenario sinóptico, la exactitud de las condiciones iniciales, la resolución del modelo y el esquema de parametrización utilizado. Otros como los efectos en superficie no están contemplados por ningún tipo de cálculo com-

putacional y van a depender de la experiencia del predictor.

De esta forma, una forma recomendable de acometer un pronóstico de la convección sería destacar, de forma detallada, las áreas más favorables y, posteriormente, introducir en la predicción la influencia de posibles perturbaciones mesoescalares en superficie, en especial, de las zonas de convergencia y de la presencia de mesobajas que pueden dar lugar a una reorganización del campo de viento (fundamental para la aparición de los primeros focos) y a fronteras térmicas de poco espesor.

6. CONCLUSIONES

El jueves, 14 de julio de 2022, tuvo lugar un episodio meteorológico en Galicia sin antecedentes: la formación de un Sistema Convectivo de Mesoescala, el cual se originó a partir de un grupo de tormentas dispersas, organizándose rápidamente en la forma característica de una Línea de Turbonada en la que, durante su ciclo de vida, algunos de sus segmentos parecían adoptar forma arqueada, aunque quizás no durante un tiempo suficientemente largo para poder considerarse un Eco en Arco.

De todas formas, los impactos en superficie fueron más que significativos: intensidades torrenciales de precipitación, fuertes rachas de viento, granizo grande y miles, miles de descargas eléctricas.

Una de las primeras conclusiones que se pueden extraer de este caso de estudio es que el origen de nuestro *SCM* obedeció a una serie de condiciones sinópticas y mesoescalares que se han demostrado como favorables para la ocurrencia de tales fenómenos meteorológicos:

- a) forzamiento débil en niveles altos;
- b) forzamiento fuerte en niveles bajos (convergencia de vientos y humedad);
- c) cizalladura moderada a fuerte, principalmente, en niveles inferiores, donde se suele situar un chorro de vientos intenso;
- d) advección de temperatura positiva en niveles inferiores, especialmente en 850 hPa, con un flujo de componente E en niveles bajos girando a componente S con la altitud;
- e) inestabilidad potencial concentrada en capas bajas afectando a grandes áreas e inhibida en niveles superiores al inicio;
- f) inestabilidad latente por la presencia de una Capa de *Mezcla Elevada* caracterizada por aire cálido y seco bien mezclado que sobrevuela otro estrato con aire cálido y húmedo;
- g) frontera térmica de aire de poco espesor en niveles bajos;
- h) una baja en superficie no muy lejana canalizando el flujo de componente E y modulando las zonas de convergencia.

Algo que llama poderosamente la atención es que este tipo de fenómenos meteorológicos no son, en absoluto, habituales en el noroeste peninsular. Sin embargo, este hecho nos debe servir de lección para comprender:

1. el mérito de reconocer de patrones sinópticos y mesoescalares;
2. las dificultades que tienen los modelos numéricos para predecir la convección y más aún estructuras como los *SCM*, con una dinámica compleja que se autoorganiza;
3. la transcendencia de localizar los mecanismos iniciadores de la convección;
4. el peso que tiene la convergencia de vientos como iniciador de la convección;
5. la importancia que adquieren la advección de humedad y el calentamiento superficial en terrenos elevados como creadores de inestabilidad;
6. la relevancia que pueden tener singularidades térmicas para generar perturbaciones al nivel de la mesoescala;
7. el control que tiene la cizalladura sobre el modo de organización de la convección y, por ello,
8. el valor de evaluar e interpretar correctamente la hodógrafa y, así, ser capaces de anticipar el rango de comportamientos probables de las tormentas y sus potenciales amenazas;
9. el tipo de procesos que predominan: sinópticos, de traslación o de propagación para poder adelantarnos a las posibles trayectorias de los núcleos tormentosos (viento en 500 ó 700 hPa, viento medio 0-6 km, vector cizalladura 0-3 km);
10. la consideración de las temperaturas (potencial) equivalente (T_e , Θ_e) y (potencial) del bulbo húmedo (T_w , Θ_w) a la hora de evaluar, por ejemplo, la estabilidad estática sobre la vertical de un área más amplia o el riesgo de rachas convectivas;
11. y, por último, pero no por ello menos importante, por qué los radiosondeos sobre la vertical de un punto no deben usarse con exclusión de otros datos.

Por todo ello, se puede afirmar que este tipo de situaciones, dado su grado de incertidumbre y potencial peligro, requiere de un análisis pormenorizado de los mapas meteorológicos, un monitoreo exhaustivo e ininterrumpido de las condiciones ambientales y de una continua verificación de los modelos numéricos.

Es por esto que, además de productos de teledetección y diagnosis (*nowcasting*) que permiten un mejor seguimiento de la situación al proporcionar índices de inestabilidad en tiempo real, sería conveniente incorporar tanto en los sistemas de predicción meteorológica como en los de observación de datos los siguientes parámetros:

- opción de ver los datos meteorológicos 10-minutales previos sin necesidad de consultar individualmente cada estación;
- datos de estaciones meteorológicas en la vecindad de Galicia;
- tendencia de la presión atmosférica, para adivinar posibles zonas de convergencia;
- Θ_e de la capa límite, para descubrir áreas con condiciones favorables para el desarrollo convectivo;

- cálculo de la diferencia entre la $\Theta_e(\Theta_w)$ de la capa límite y la $\Theta_e(\Theta_w)$ más baja encontrada en niveles medios, por debajo de 500 hPa, para anticipar posibles rachas de viento significativas;
- cálculo de la diferencia entre la $\Theta_e(\Theta_w)$ más baja encontrada en niveles medios y la temperatura a 2 m (intensidad de la bolsa fría), también como indicativo de posibles rachas de viento fuertes;
- cálculo del promedio de la presión ponderada de los vientos entre 1-3 km, para adelantar lo que se puede esperar si una corriente descendente baja a través de una capa de vientos fuertes;
- modo *Doppler* en el radar de precipitación, para advertir de la aproximación y velocidad de núcleos de tormenta o vientos intensos en superficie;
- modo de velocidades verticales en el radar de precipitación, para descubrir corrientes verticales significativas;
- mayor rapidez en la recepción de información de imágenes de radar de precipitación y de la red de detección de rayos.

Por último, tampoco sería descabellado pensar en modificar el sistema de información de tiempo adverso, al menos en los casos donde la certeza de que un fenómeno acontezca sea baja pero su potencial peligro asociado muy alto. Así, además de una vigilancia ininterrumpida de las condiciones ambientales, podría implementarse una fase previa a la activación de alertas. Podríamos definirlo como aviso o *advertencia meteorológica*.

De este modo, se emitiría un aviso meteorológico para zonas concretas con el fin de tener a la población *en guardia*, pero sin llegar a atemorizar y, llegado el caso, se activaría la alerta meteorológica al aumentar la certidumbre o al iniciarse el fenómeno, informando, entonces, a la mayor brevedad posible por todos los medios disponibles (por teléfono a protección civil, redes sociales, aplicación móvil, etc.).

Al mismo tiempo, la idea del aviso meteorológico podría ayudar a prevenir un aumento de la desconfianza por parte de los ciudadanos hacia futuras alertas meteorológicas por haberse podido comprobar muchas de ellas falsas.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Guide to using Convective Weather Maps*, Oscar van der Velde. <https://www.lightningwizard.com/maps/ConvectiveWeatherMaps.pdf>
2. *Principles of Convection I: Buoyancy and CAPE*, The Comet® Program. <https://www.meted.ucar.edu/mesoprim/cape/print.php>
3. *Principles of Convection II: Using Hodographs*, The Comet® Program. <https://www.meted.ucar.edu/mesoprim/hodograf/navmenu.php>
4. *Principles of Convection III: Shear and Convective Storms*, The Comet® Program. <https://www.meted.ucar.edu/mesoprim/shear/navmenu.php>
5. *Vertical Wind Shear, Hodographs and Tornadoes*. Paul Sirvatka, College of Du Page. <https://weather.cod.edu/notes/materials/1115/windshear.hodographs.pdf>
6. *Radar Observations of the Early Evolution of Bow Echoes*. Brian, A; Klimowsk; Mark, R.; H. Jelmfelt; Matthew, J.; B. Bunkers. https://www.spc.noaa.gov/misc/AbtDerechos/papers/Klimowskietal_2004.pdf
7. *Temperatura Potencial de Termómetro Húmedo. Cálculos y Aplicaciones*. A. García Méndez (AEMET). <https://core.ac.uk/download/pdf/217346301.pdf>
8. *Thermodynamic Diagrams*. College of Dupage Meteorology Program. <https://weather.cod.edu/notes/materials/1115/thermodiagrams.lab.pdf>
9. *Static Stability*. Randy, A. Pepler, Illinois State Water Survey, 1988. <https://weather.cod.edu/notes/materials/1115/staticstability.pdf>
10. *The Elevated Mixed Layer*, Johnathan D. Finch. www.bangladeshtornadoes.org
11. *Climatology and Vertical Distribution of Elevated Mixed Layers in the CONUS*, NSF-REU. <https://scholar.valpo.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2142&context=cus>
12. *Manual of Synoptic Satellite Meteorology*, ZAMG. <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/main.htm>
13. *Thunderstorms*. Paul Sirvatka, University of Du Page. <https://weather.cod.edu/notes/materials/1115/Thunderstorms.pdf>
14. *The Lemon Technique*. Paul Sirvatka and Les Lemon, University of Du Page. <https://weather.cod.edu/notes/materials/1115/lemontechnique.pdf>
15. *Mesoscale convective systems*. Luther College. http://www.faculty.luther.edu/~bernatzr/Courses/Sci123/Chapter12/MCS_generalFacts.html#MCC
16. *Severe Convection: Mesoscale Convective Systems*. The Comet® Program. <https://www.meted.ucar.edu/mesoprim/severe2/print.php>
17. *Línea de turbonada en la Península Ibérica*. Agencia Española de Meteorología (AEMET). https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/11435/1/XXXV_JAME_AlvarezAlonso_p80.pdf
18. *Estudio de dos Sistemas Convectivos de Mesoescala en el Área Mediterránea Española*. Francisco Martín León, Mercedes Canalejo Mendaza, Lucía de Esteban Jódar. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=105500>
19. *Estudio de Sistemas Convectivos Mesoscalares en la Zona Mediterránea Occidental mediante el uso del Radar Meteorológico*. Tomeu Rigo Ribas, Universidad de Barcelona. https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/664274/03.TRR_3de9.pdf?sequence=3&isAllowed=y

RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS MARINOS

ÁRTICOS Y ATLÁNTICOS AFECTADOS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO: EL PROYECTO HORIZON EUROPE "CLIMAREST"

Paula Daban^{1,2}, Laura Leyva^{3,4}, Javier Atalah³, Aitor Forcada³, Pablo Sánchez-Jerez³, Jesús López^{1,2}, Mariano Lastra^{1,2}, Estefanía Paredes^{1,2}, Elsa Vázquez^{1,2}, Celia Olabarría^{1,2}, Jesús S. Troncoso^{1,2}

¹ Dpto. Ecología y Biología Animal. Facultad Ciencias del Mar. Universidade de Vigo. España.

² CIM-UVIGO. Centro de Investigaciones Marinas - ECIMAT. Vigo. España.

³ Dpto. Ciencias Marinas y Biología Aplicada. Universidad de Alicante. Alicante. España.

⁴ Instituto Multidisciplinar para el Estudio del Medio. Universidad de Alicante. Alicante España.

RESUMEN

Los mares y océanos están experimentando impactos significativos a diferentes escalas debido al cambio climático y a actividades antropogénicas, como la sobrepesca, la acuicultura y la contaminación generada por diferentes residuos. Bajo este contexto nace el proyecto CLIMAREST, financiado por Horizon Europe, con el objetivo de abordar los desafíos en el ámbito de la restauración de ecosistemas marinos costeros impactados desde el Ártico hasta el Atlántico. Con la colaboración de 18 instituciones europeas, el proyecto busca desarrollar e implementar herramientas y soluciones basadas en la naturaleza para mitigar las presiones sobre estos ecosistemas y fortalecer la resiliencia de las comunidades marinas que dependen de ellos. Además de beneficiar la biodiversidad y salud de los ecosistemas, CLIMAREST busca fomentar la colaboración y el apoyo de diferentes sectores de la comunidad para garantizar el éxito del proyecto a largo plazo.

INTODUCCIÓN

Los mares y océanos de todo el mundo están sufriendo impactos significativos debido al cambio climático, que interactúan y se combinan con otros efectos derivados de las actividades humanas, como la sobrepesca, la acuicultura y la contaminación proveniente de diversas fuentes, como son las aguas residuales o vertidos de petróleo (He y Silliman, 2019). La complejidad de estos impactos requiere enfoques a múltiples escalas e integrados a nivel ecosistémico, lo cual es crucial para aumentar la resiliencia de los ecosistemas oceánicos y costeros, así como de los servicios que proporcionan (IPCC, 2022).

Las zonas costeras albergan a una significativa porción de la población europea, ya que más del 40% de los habitantes de la Unión Europea reside en los extensos 55,000 km de costa. Además, los seres humanos dependen de estos ecosistemas costeros ya que proporcionan servicios esenciales, como la pesca, la acuicultura y el esparcimiento. Sin embargo, esta alta concentración poblacional también impone una enorme presión sobre los frágiles ecosistemas costeros, lo que pone en riesgo su equilibrio y salud a largo plazo (Hewitt, Ellis y Thrush, 2016). Lamentablemente, la creciente presión y la demanda de estos recursos costeros han llevado a la pérdida y degradación de hábitats costeros, lo que a su vez ha provocado la disminución de su biodiversidad (He y Silliman, 2019). Esto hace que los ecosistemas sean más vulnerables al cambio climático. Frente a este panorama, la restauración de ecosistemas marinos emerge como una nueva disciplina para revertir esta situación y recuperar la salud y funcionalidad de estos valiosos sistemas costeros.

La restauración de ecosistemas marinos costeros implica la implementación de medidas activas para rehabilitar hábitats degradados, promoviendo la recuperación de especies clave y restableciendo procesos ecológicos fundamentales. Estas acciones incluyen la revegetación de manglares y praderas marinas, la creación de arrecifes artificiales, la eliminación de especies invasoras y la implementación de prácticas sostenibles de pesca, acuicultura y gestión costera. Al restaurar estos ecosistemas dañados, se busca restablecer la funcionalidad de estos, permitiendo que recuperen su capacidad de proporcionar hábitats adecuados, proteger las costas de la erosión y promover la productividad biológica (Gann *et al.*, 2019).

La restauración de ecosistemas marinos costeros no solo beneficia a la biodiversidad, sino que también tiene un impacto positivo en las comunidades locales. Estos ecosistemas restaurados brindan oportunidades para actividades económicas sostenibles, como el turismo ecológico, la pesca artesanal y la acuicultura, generando empleo y mejorando la calidad de vida de las comunidades costeras. Además, los ecosistemas marinos saludables son vitales para mitigar los efectos del cambio climático, ya que actúan como sumideros de carbono, ayudando a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a mantener el equilibrio del clima global (Buonocore *et al.*, 2021).

En este contexto, el proyecto CLIMAREST se presenta como un proyecto pionero en Europa para abordar los desafíos de restauración de ecosistemas marinos costeros. Al unir fuerzas y conocimientos de diferentes países europeos, el proyecto busca maximizar el impacto de las acciones de restauración, promoviendo la recuperación de los ecosistemas costeros en peligro y sentando las herramientas para un futuro sostenible.

Acompáñanos en este viaje de descubrimiento y aprendizaje sobre el proyecto CLIMAREST y su labor en la búsqueda de las herramientas clave para lograr la preservación, restauración y conservación de los ecosistemas marinos de Europa, mejorando de este modo los servicios ecosistémicos que nos brindan. Exploraremos las actividades que se están llevando a cabo en cada país participante, así como los desafíos y oportunidades que se presentan en esta tarea crucial para el futuro de nuestras costas y océanos. En particular, pondremos especial atención en el proyecto de demostración que se está desarrollando en la Ría de Vigo, donde se están implementando arrecifes artificiales en los fondos afectados por los cultivos de mejillón. Esta medida tiene como objetivo mitigar el impacto de estos cultivos en el ecosistema marino, al tiempo que se busca mejorar la biodiversidad y la resiliencia de la zona.

PROYECTO CLIMAREST

"CLIMAREST: Herramientas para la Resiliencia Climática Costera y la Restauración Marina en la Cuenca Ártica Atlántica", se trata de un proyecto de investigación de la Comisión Europea dentro del programa *Horizon Europe Missions Restore our Ocean and Waters* (Restaurar nuestros Océanos y Aguas) y, es miembro de *Lighthouse* para la Cuenca Ártica y Atlántica. El periodo de actuación del proyecto es de 3 años, desde diciembre de 2022 hasta diciembre 2025, y cuenta con un presupuesto total de 8.701.780,25 €.

CLIMAREST presenta una colaboración única entre distintas



Figura 1. Sinopsis del flujo de trabajo del proyecto CLIMAREST.

regiones, desde Svalbard, situado en el mar Glacial Ártico en el norte de Noruega (79°N), hasta el archipiélago de Madeira, Portugal en el noroeste de África (33°N). El proyecto engloba **cinco sitios de demostración**, en los que se están desarrollando un conjunto de herramientas tecnológicas, logísticas, sociales y económicas para la restauración y resiliencia climática de ecosistemas marinos, costeros y fluviales (Figura 1). Se incluyen herramientas para la participación de distintos sectores de la comunidad interesados, así como la coproducción de conocimientos, análisis de mejora de servicios ecosistémicos, análisis de costo-beneficio y la priorización de acciones y protocolos para la restauración y monitoreo de los sistemas restaurados en un marco de amplia aplicabilidad.

Este nuevo proyecto europeo cuenta con la participación de 18 instituciones colaboradoras provenientes de España, Portugal, Francia, Italia, Islandia, Noruega y Dinamarca, profesionales especializados en diversas disciplinas, abarcando desde ecología marina hasta economía azul. A través de una colaboración estrecha y coordinada, cada uno de los países participantes en el proyecto está desarrollando planes de restauración adaptados a sus propias necesidades y particularidades costeras. Estos planes incluyen medidas para la rehabilitación de hábitats clave, la reintroducción de especies autóctonas y la implementación de prácticas sostenibles en la gestión de los recursos marinos.

CLIMAREST se enfoca especialmente en los hábitats más delicados y susceptibles, como las áreas costeras oligotróficas del Ártico, las praderas de anerógamas marinas, los fondos rocosos poco profundos, los arrecifes de ostras y los hábitats bentónicos de fondo blando. Estos ecosistemas están interconectados, son sensibles a las perturbaciones y desempeñan un papel crucial en la creación de hábitats complejos donde pueden coexistir múltiples especies marinas. Mediante su estudio, se busca establecer un modelo para llevar a cabo una restauración más eficiente y efectiva de los hábitats costeros degradados, desde el Ártico hasta el Atlántico.

La **colaboración y apoyo de diferentes sectores de la comunidad es fundamental** para el éxito de CLIMAREST. La efectividad de proyectos de restauración depende de protocolos



Figura 2. Países donde se llevan a cabo las acciones de demostración para la restauración de ecosistemas marinos.

adecuados, monitorización y participación de las partes interesadas. A su vez, la colaboración de los ciudadanos locales es esencial para lograr los objetivos, garantizar la recolección responsable de datos y permitir el uso respetuoso, creativo y eficiente del Conocimiento Ecológico Tradicional.

Se están desarrollando **cinco actividades de demostración para la restauración de ecosistemas marinos a través de soluciones basadas en la naturaleza**, es decir, soluciones no dependientes que aprovechan elementos naturales del ecosistema para hacer frente a desafíos como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad. Estas soluciones son sostenibles y ofrecen ventajas adicionales para las comunidades y el medio ambiente. Una vez establecidas las herramientas para los distintos ecosistemas en cada sitio de demostración, se replicará el proceso en los sitios propuestos con condiciones similares (Figura 2).

SVALBARD, NORUEGA

Hábitat: Fiordos árticos

Los ecosistemas marinos del Ártico, en concreto los fiordos, debido a su interfaz entre la tierra y el océano y la marcada estacionalidad del área, son ecosistemas especialmente vulnerables a factores como el calentamiento global, la con-



Figura 3. Sitio de demostración en Svalbard, Noruega. Contaminación por aguas residuales no tratadas y erosión costera.

taminación, la pesca y la introducción de nuevas especies. La degradación del permafrost aumenta la erosión costera y con ello, la liberación de materia particulada y contaminantes que se han acumulado a lo largo de los años. Esto ha llevado a una disminución en la diversidad y abundancia de especies en los fiordos árticos, debido especialmente a la contaminación de las aguas residuales (Jaskólski, Pawłowski y Strzelecki, 2018).

Objetivos

Los objetivos en Svalbard incluyen desarrollar herramientas para mitigar las presiones en los ecosistemas marinos árticos debido a la descarga de aguas residuales sin tratar, y fortalecer la resiliencia de las comunidades humanas a través de soluciones basadas en la naturaleza para prevenir la erosión costera en el entorno construido (Figura 3).

Sitio de replicación

La costa oeste de Groenlandia figura como el sitio de replicación, debido a que enfrenta desafíos similares a Svalbard en relación con el cambio climático, la gestión de desechos y aguas residuales, el creciente turismo y actividad pesquera.

IRLANDA

Hábitat: Praderas de fanerógamas marinas

Las praderas de fanerógamas marinas ofrecen valiosos servicios ecosistémicos, entre los que cabe destacar su función reguladora del clima mundial a través de la captura de carbono o su papel como ingenieros ecosistémicos, albergando una importante cantidad de especies, siendo clave para la conservación de la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema (Orth *et al.*, 2023).

Durante el siglo XX, estas praderas han experimentado una disminución debido a diversas presiones humanas. Han sido especialmente afectadas por la eutrofización asociada con la intensificación de la agricultura, la destrucción de hábitats y los efluentes de residuos provenientes de la urbanización. Aunque en Europa se ha observado una reversión de esta tendencia, la recuperación de las praderas sigue siendo un



**Figura 4. Sitio de demostración en Irlanda:
Restauración de las praderas de fanerógamas.**

proceso lento. La restauración de estas se ha identificado como una solución fundamental para la resiliencia climática y la conservación de la biodiversidad (Figura 4).

Objetivo

El objetivo principal en Irlanda es desarrollar métodos de restauración para las praderas marinas, centrándose en la plantación de semillas (por ejemplo, selección de sitios, trasplantes, germinación de semillas) destinadas a la restauración a gran escala y crear una red con investigadores y partes interesadas de otros países europeos.

Sitio de replicación

El área de replicación se encuentra en el Mar Báltico, donde también se enfrentan a desafíos similares debido a la pérdida de praderas marinas.

FRANCIA

Hábitat: Arrecifes de ostras

La ostra plana *Ostrea edulis*, una especie nativa de Europa ha experimentado una drástica disminución en su población en los últimos tres siglos debido a la pesca intensiva, la aparición de parásitos, depredadores y otros factores de estrés causados por la actividad humana. Esta situación ha llevado a su desaparición en muchas áreas de Europa y ha sido catalogada por la OSPAR14 como una especie en peligro y/o en declive.

Los arrecifes de ostras nativas europeas son ingenieros de ecosistemas y ofrecen multitud de servicios ecosistémicos, reducen la erosión costera, brindan refugio y alimentación, ofrecen áreas de desove, regulan los ciclos biogeoquímicos y contribuyen a la regulación climática global mediante la captura de carbono (Figura 5). También son fundamentales para la conservación de la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas debido a la gran cantidad de especies que albergan (Fariñas-Franco *et al.*, 2018).



**Figura 5. Sitio de demostración en Francia:
Restauración de los arrecifes de ostras.**

Objetivo

El objetivo principal en Francia es desarrollar una herramienta exitosa de restauración de arrecifes de ostras planas nativas europeas a gran escala para recuperar las funciones y servicios ecosistémicos y aumentar la adaptación potencial a la resiliencia al cambio climático.

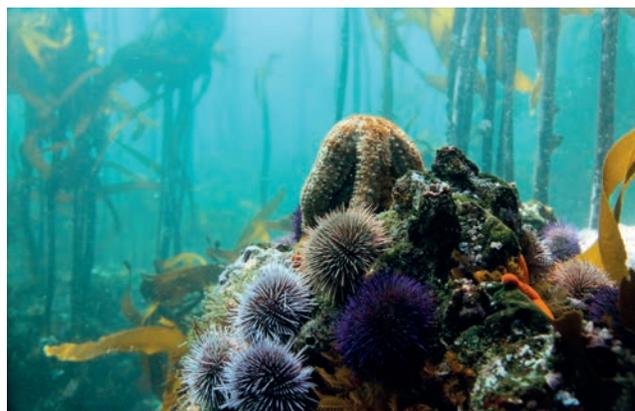
Sitio de replicación

El sitio de replicación se llevará a cabo en la costa holandesa, donde anteriormente se encontraba cubierta de bancos de *O. edulis*. Sin embargo, debido a una combinación de sobrepesca, enfermedades, contaminación e inviernos fríos, prácticamente desapareció del Mar del Norte.

MADEIRA, PORTUGAL

Hábitat: Sustrato rocoso somero

El paisaje de los fondos rocosos de la isla de Madeira se ha ido transformando. Anteriormente, estos fondos estaban dominados por algas pardas formadoras de hábitats complejos y asociadas a una gran diversidad de especies, las algas *Sargassum* spp. y *Cystoseira* spp. Hoy en día, la diversidad y biomasa de estos fondos ha decrecido considerablemente, y están dominados principalmente por el erizo de mar *Diadema africanum* (Figura 6). Este cambio ha sido resultado de diversas presiones que



**Figura 6. Sitio de demostración en Madeira, Portugal:
Hábitats de sustratos rocosos y bosques de algas.**

han afectado negativamente a las praderas de algas, como es el desarrollo costero y urbano, así como la disminución de los depredadores de los erizos (Bernal-Ibáñez *et al.*, 2021).

Objetivo

El objetivo principal en Madeira es restaurar y promover la transición de estos fondos dominados por erizos a hábitats cubiertos de macroalgas. Para ello, se está implementando una estrategia integral que abarca el control o la eliminación de los estresores, así como el uso de paneles que ayudan al reclutamiento y la translocación de un conjunto de organismos que coexisten en estos hábitats.

Sitio de replicación

En la cuenca del Mediterráneo, por ejemplo, en Chipre, los arrecifes rocosos poco profundos cubiertos de algas están amenazados por la expansión del erizo de mar de espina larga (no autóctono) *Diadema setosum*. El enfoque y los conocimientos adquiridos en Madeira podrían aplicarse para abordar la restauración de estos hábitats críticos.

GALICIA, ESPAÑA

Hábitat: Fondos sedimentarios blandos

En España, se está llevando a cabo un proyecto de restauración que se enfoca en los ecosistemas sedimentarios de fondos blandos afectados por la acuicultura. Esta iniciativa se desarrolla en las Rías Baixas, ubicadas en Galicia, y se enfoca específicamente en la ría de Vigo, una zona ampliamente reconocida por su trascendencia ecológica y su relevancia socioeconómica. Las Rías Baixas destacan por su alta producción primaria y su extraordinaria diversidad de especies marinas, lo que las convierte en un centro vital para la actividad pesquera y acuícola en la región. Entre todas las actividades acuícolas, destaca la producción de mejillón, convirtiendo a esta área en el

principal referente de la industria en toda Europa (Figueiras y Labarta, 2002).

A pesar de los beneficios que brinda la acuicultura en esta zona, su desarrollo ha generado impactos negativos, provocando el deterioro de los fondos marinos y la disminución de la biodiversidad. Esto afecta directamente a las comunidades marinas asociadas a los fondos sedimentarios bajo las bateas de mejillones, donde a su vez se realiza la pesca artesanal. Por lo tanto, es fundamental abordar los desafíos que surgen de la interacción entre la acuicultura y los ecosistemas sedimentarios, con el objetivo de mitigar los impactos negativos y restaurar la salud y la funcionalidad de estos ecosistemas clave.

Objetivos

El proyecto de restauración en Galicia tiene como propósito implementar medidas que fomenten la recuperación de estos ecosistemas y promuevan una coexistencia sostenible entre la acuicultura y la pesca artesanal en las rías de Galicia. Para ello, se aplicarán enfoques innovadores y se desarrollarán prácticas que permitan minimizar los impactos ambientales y maximizar los beneficios sociales y económicos para las comunidades locales. Se llevarán a cabo acciones específicas para recuperar los ecosistemas sedimentarios de fondos blandos, promoviendo la recuperación de las especies y los procesos ecológicos clave.

En el marco de esta restauración, se explorará una estrategia clave: la creación de hábitats artificiales, específicamente arrecifes artificiales. Estas estructuras desempeñarán un papel fundamental al proporcionar refugio y alimento para una amplia variedad de especies marinas (Figura 7). Además, se ha identificado otro beneficio importante de estos arrecifes artificiales: fomentarán la producción secundaria al realizar el reciclaje del exceso de materia orgánica producida por el cultivo de mejillón (Callier *et al.*, 2018).

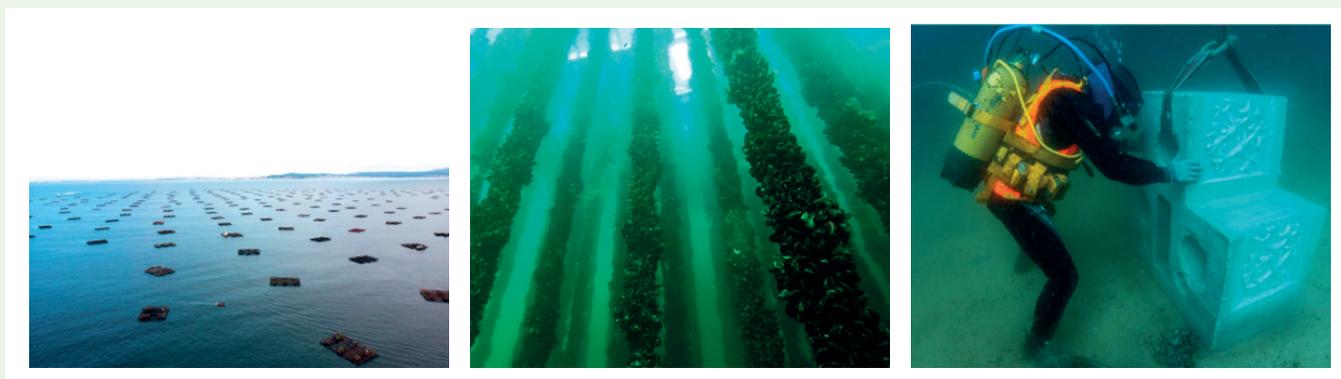


Figura 7. Sitio de demostración en España: Efectos de la acuicultura en los ecosistemas de fondos blandos.



Figura 8. Censo de organismos encontrados alrededor de los arrecifes artificiales. Arriba a la derecha se observa una puesta de calamar. Abajo a la derecha se pueden observar diferentes estrellas de mar colonizando el arrecife sobre un lecho de conchas de mejillón y el pez moma (*Parablennius pilicornis*).

Los arrecifes artificiales no solo contribuirán a la estabilización de los fondos marinos, sino que también promoverán la colonización de estas estructuras, enriqueciendo así la biodiversidad marina y restaurando los procesos ecológicos clave. Estas estructuras servirán como refugio para peces, crustáceos y otras especies, permitiéndoles reproducirse y crecer en un entorno seguro (Figura 8).

Sitio de replicación

En la cuenca del Mar Mediterráneo, Croacia es uno de los países líderes en términos de la producción acuícola, con impactos importantes en los fondos sedimentarios blandos. El enfoque que se está desarrollando en Galicia podría ser utilizado para afrontar la rehabilitación de estos hábitats fundamentales.

RESULTADOS ESPERADOS

Resultados generales

El proyecto CLIMAREST tiene como objetivo lograr resultados tangibles a través de la generación de herramientas replicables para la restauración de ecosistemas marinos costeros, estableciendo mejores prácticas de actuación a nivel mundial. Estos resultados no solo contribuirán a la restauración a gran escala, sino que también fortalecerán la resiliencia de los ecosistemas marinos frente a los desafíos del cambio climático y otros impactos antropogénicos. Esto se traducirá en la capacidad mejorada de estos ecosistemas para adaptarse y resistir los cambios ambientales, así como la protección de los valiosos servicios ecosistémicos que brindan, la protección costera y la mitigación del cambio climático a través del secuestro de carbono.

La ciencia ciudadana aplicada en los distintos países del proyecto CLIMAREST, no solo va a involucrar a las personas en la recopilación de datos a gran escala, sino que también se va a fomentar la participación y educación pública en temas científicos, involucrando a diversos sectores de la sociedad. Al fomentar la participación activa de los ciudadanos en la investigación, se promueve una mayor comprensión y aprecio de los ecosistemas marinos, así como una mayor concienciación sobre los desafíos a los que se enfrentan debido al cambio climático y a las actividades antropogénicas.

El impacto más significativo esperado del proyecto CLIMAREST es la restauración de los océanos y la creación de comunidades marinas más resilientes para el año 2030. Este enfoque estratégico y a largo plazo tiene como objetivo abordar tanto los desafíos actuales como garantizar la sostenibilidad y la salud de los ecosistemas marinos en el futuro.

Resultados en el sitio de demostración Galicia-Fondos sedimentarios blandos

En la acción de restauración llevada a cabo en la Ría de Vigo se espera obtener los siguientes resultados significativos:

1. Mitigación del impacto causado por el exceso de materia orgánica producido por la acuicultura de mejillones. Esto se logrará promoviendo un equilibrio entre la producción y el reciclaje de nutrientes esenciales, como el carbono, nitrógeno y fósforo, hacia niveles superiores de la cadena alimentaria. De esta manera, se favorecerá la producción secundaria y la recirculación de nutrientes.
2. Aumento de la resiliencia de las comunidades y poblaciones que habitan en los fondos donde se desarrolla la acuicultura de mejillón. Esto se logrará mejorando la complejidad y heterogeneidad de los hábitats.
3. Incremento del reclutamiento de especies de interés comercial, como invertebrados, peces o crustáceos, que se han visto afectados por la sobrepesca y los efectos del cambio climático, como es el caso del bogavante europeo.
4. Exploración de la viabilidad de la Acuicultura Multitrófica Integrada (IMTA) como un enfoque sostenible que aprovecha los residuos generados por la acuicultura de mejillones. Este enfoque busca establecer un sistema en el cual diferentes especies se cultivan de manera integrada, aprovechando los recursos disponibles y reduciendo los impactos ambientales. La implementación de IMTA en el sitio de demostración en Galicia permitirá evaluar su eficacia y generar información importante sobre las mejores prácticas y recomendaciones que puedan aplicarse en otras regiones costeras de Europa y más allá.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bernal-Ibáñez, A. *et al.* (2021) 'The collapse of marine forests: drastic reduction in populations of the family Sargassaceae in Madeira Island (NE Atlantic)', *Regional Environmental Change*, 21(3), p. 71. Availableat: <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01801-2>.
2. Buonocore, E. *et al.* (2021) 'Trends and evolution in the concept of marine ecosystem services: An overview', *Water (Switzerland)*. MDPI AG. Availableat: <https://doi.org/10.3390/w13152060>.
3. Callier, M. D. *et al.* (2018) 'Attraction and repulsion of mobile wild organisms to finfish and shell fish aquaculture: a review', *Reviews in Aquaculture*. Wiley-Blackwell, pp. 924-949. Availableat: <https://doi.org/10.1111/raq.12208>.
4. Fariñas-Franco, J. M., *et al.* (2018) 'Missing native oyster (*Ostrea edulis* L.) beds in a European Marine Protected Area: Should there be widespread restorative management?', *Biological Conservation*, 221, pp. 293-311. Availableat: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.03.010>.
5. Gann, G. D., *et al.* (2019) 'International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition', *Restoration Ecology*, 27(S1), pp. S1-S46. Availableat: <https://doi.org/10.1111/rec.13035>.
6. He, Q., and Silliman, B. R. (2019). 'Climate Change, Human Impacts, and Coastal Ecosystems in the Anthropocene', *Current Biology*. Cell Press, pp. R1021-R1035. Availableat: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.042>.
7. Hewitt, J. E.; Ellis, J. I., and Thrush, S. F. (2016). 'Multiple stressors, nonlinear effects and the implications of climate change impacts on marine coastal ecosystems', *Global change biology*, 22(8), pp. 2665-2675. Availableat: <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gcb.13176>.
8. Figueiras, F. G.; Labarta, U., & Reiriz, M. F. (2002). Coastal upwelling, primary production and mussel growth in the Rías Baixas of Galicia. In *Sustainable Increase of Marine Harvesting: Fundamental Mechanisms and New Concepts: Proceedings of the 1st Maricult Conference held in Trondheim, Norway, 25-28, June 2000* (pp. 121-131). Springer Netherlands.
9. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp. Availableat: <https://doi:10.1017/9781009325844>.
10. Jaskólski, M. W.; Pawłowski, Ł., and Strzelecki, M. C. (2018). 'High Arctic coasts at risk: the case study of coastal zone development and degradation associated with climate changes and multidirectional human impacts in Longyearbyen (*Adventfjorden, Svalbard*)', *Land Degradation & Development*, 29(8), pp. 2514-2524. Availableat: <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ldr.2974>.
11. Orth, R. J., *et al.* (2023) 'Restoration of seagrass habitat leads to rapid recovery of coastal ecosystem services', *Science Advances*, 6(41), p. eabc6434. Availableat: <https://doi.org/10.1126/sciadv.abc6434>.

SÍNDROME O SECUENCIA DE POLAND: DEL CASO CLÍNICO A LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Vanesa Rodríguez-Fernández, MD PhD^{1, 2, 3}; Lucía Cameselle-Cortizo, MD^{1, 4};
Alba García-Mallo, MD^{1, 5}; Susana Portela Pérez, MD^{1, 6}; Laura González Rodríguez MD¹;
Elena Marín Ortiz, MD PhD²; Jorge F. Cameselle-Teijeiro, MD PhD¹

¹ Grupo Investigación Oncológica Clínica ADICAM. Cangas. España.

² Servicio de Obstetricia y Ginecología. Hospital Álvaro Cunqueiro. Vigo. España.

³ Unidad de Patología Mamaria. Hospital Meixoeiro. Vigo. España.

⁴ Servicio de Geriatria. Hospital Meixoeiro. Vigo. España.

⁵ Hospital Central de la Defensa Gómez Ulla. Madrid. España.

⁶ Clínica IVI. Vigo. España.

Conflicto de interés: Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés con respecto a la publicación de este artículo.

Aprobación ética: El paciente de nuestro informe nos ha dado su consentimiento para publicar toda la información sobre su caso.

RESUMEN

El síndrome o secuencia de Poland (SP) es una rara anomalía congénita con amplia variabilidad fenotípica. Se caracteriza por alteraciones del desarrollo (hipoplasia o agenesia) del músculo pectoral mayor, que pueden asociarse a anomalías del miembro superior y/o de la caja torácica ipsilateral. La etiología aún no está clara, aunque se ha planteado la hipótesis de una lesión vascular de la arteria subclavia durante el desarrollo fetal. Se han descrito casos familiares, aunque la mayoría son esporádicos, por lo que la etiología genética no puede ser completamente excluida. Presentamos el caso de un varón de 32 años con SP que presenta deformidad torácica del hemitórax derecho por ausencia congénita y parcial del músculo pectoral mayor, con discreta hipoplasia de areola mamaria. Además, presenta escoliosis dorso-lumbar con giba dorsal derecha y discreto aplanamiento de la parrilla costal derecha y una cavidad siringomiélica en médula dorsal entre T4 y T10. No presenta alteraciones a nivel del miembro superior ni antecedentes familiares de SP. Debido a que la mayoría de los casos de SP son varones y las anomalías torácicas asociadas pueden ser leves, como resulta en nuestro caso, es posible que este síndrome no sea tan infrecuente pues fácilmente pasan inadvertidos.

Palabras clave: Síndrome de Poland; secuencia de Poland; anomalía mamaria congénita; agenesia músculo pectoral mayor.

INTRODUCCIÓN

La ausencia parcial o completa de un músculo es relativamente frecuente y no suele ser debilitante. Esto, por ejemplo, sucede con el músculo palmar largo o palmar menor que está ausente en el 10-15% de la población mundial, si bien debemos hacer constar que existe una variabilidad poblacional significativa y la prevalencia de este músculo (palmar largo) es menor en poblaciones asiáticas, negras y nativas americanas (1). La agenesia también puede afectar a otros músculos de nuestro cuerpo, por ejemplo: serrato anterior, cuádriceps femoral,

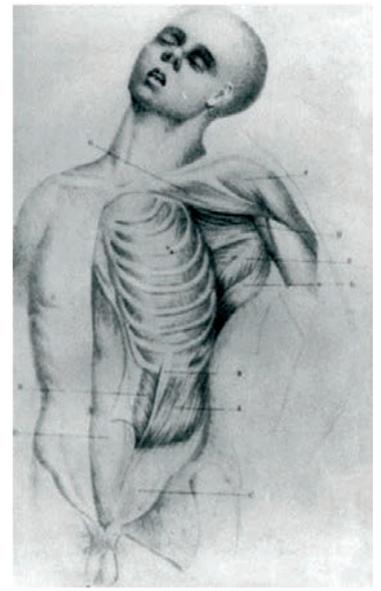


Figura 1. Ilustración de la disección de Alfred Poland en 1841, publicada en el *Guy's Hospital Reports* con el título "Deficiencia de los músculos pectorales".

musculatura abdominal (*síndrome de abdomen en ciruela pasa*) o al músculo pectoral.

En el caso concreto del músculo pectoral, la agenesia es infrecuente (1/30.000), aunque esta prevalencia probablemente esté subestimada. Afecta con mayor frecuencia a los varones (2 a 3 hombres: 1 mujer).

Lallemand (2) fue el primero, en 1826, en describir la agenesia del músculo pectoral en un hombre de 60 años. En 1839, Froriep (3) publicó los resultados de la autopsia a una mujer con amastia (ausencia unilateral de una mama), ausencia de las costillas tres y cuatro, pectoral mayor y menor, músculos intercostales y porciones del músculo serrato asociadas a malformaciones de la mano (sindactilia). En 1841, Alfred Poland (4) describió un caso de agenesia del músculo pectoral mayor y menor asociado con otras deficiencias musculares y braqui-sindactilia de la mano ipsilateral al realizar una autopsia a un joven de 27 años (Figura 1).

La sinonimia ha sido amplia: Anomalía, Sindactilia, Secuencia o Síndrome de Poland. Quizá el término más adecuado sea el de "Secuencia de Poland", definiendo "secuencia" como la concatenación de anomalías congénitas debidas a una alteración inicial, generalmente mecánica. En 1962, Patrick Clarkson describió 3 enfermos con hipoplasia de tórax y sindactilia y acuñó el término de Sindactilia de Poland (5).

No obstante, el término que más se ha popularizado en la literatura médica ha sido el de "Síndrome de Poland". Nos referimos a una anomalía congénita que se caracteriza -en todos los casos- por la ausencia total o parcial del músculo pectoral mayor (en general, del vientre esternal) y que puede asociarse o no a la agenesia del músculo pectoral menor o a otras anomalías torácicas ipsilaterales y/o de las extremidades superiores. También puede asociarse a hipoplasia distal del miembro superior y anomalías de la mano (sindactilia -*fusión de los dedos*-, braquidactilia -*acortamiento de los dedos*- u oligodactilia -*< 5 dedos en la mano*-, clinodactilia -*deformación de uno o varios dedos con una desviación anómala respecto a los otros dedos*-) (6, 7), implicando diferentes grados de severidad funcional y alteraciones estéticas.

En este artículo presentamos un caso clínico de un hombre con SP y hacemos una revisión de la literatura al respecto.

CASO CLÍNICO

Presentamos el caso de un varón de 32 años con SP que presenta deformidad torácica del hemitórax derecho por ausencia congénita y parcial del músculo pectoral mayor (conserva la porción clavicular del músculo pectoral mayor) y con discreta hipoplasia de areola mamaria, que se encuentra desplazada ligeramente hacia arriba y la derecha (Figura 2). Presenta escoliosis dorso-lumbar con doble concavidad, con giba dorsal derecha y discreto aplanamiento de la parilla costal derecha. Caverna siringomiélica en médula dorsal entre T4 y T10 (Figura 3). Antecedentes quirúrgicos durante su infancia: hernioplastia inguinal bilateral laparoscópica y herniorrafia umbilical. No cuenta con antecedentes familiares de SP ni otros de interés. A nivel cutáneo llama la atención un acné comediano y quístico en región frontal. No presenta alteraciones a nivel del miembro superior.

DISCUSIÓN Y REVISIÓN DE LA LITERATURA

Las diferentes nomenclaturas que dan nombre a esta entidad clínica tienen una larga historia en la literatura médica (5). La anomalía constante es la agenesia de los fascículos esternocostales (vientre esternal) del pectoral mayor que le da esa apariencia asimétrica al tórax desde el punto de vista clínico. Thomson, en 1895, fue el primero en documentar la asociación entre sindactilia y agenesia los músculos pectorales.

La etiología aún no está clara, aunque se ha planteado la hipótesis de una lesión vascular de la arteria subclavia durante el desarrollo fetal. Se han descrito casos familiares, aunque la mayoría son esporádicos, por lo que la etiología genética no puede ser completamente excluida.

Actualmente, SP hace referencia a alteraciones del desarrollo pectoral, que pueden asociarse a anomalías del miembro superior y/o de la caja torácica. La ausencia del músculo pectoral



Figura 2. Imágenes clínicas de pared torácica anterior. Asimetría torácica con depresión de la pared torácica anterior derecha y aplanamiento de la región pectoral derecha con pezón desplazado superiormente (A y B), secundario a ausencia parcial del músculo pectoral mayor (ausencia de la porción esternocostal, con parte clavicular conservada: asterisco en imagen B) e hipoplasia mamaria (C).

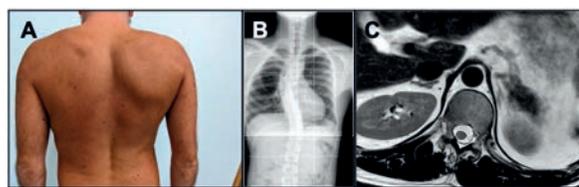


Figura 3. Escoliosis y cavidad siringomiélica. Escoliosis dorso-lumbar (fácilmente visible en radiografía anteroposterior, B) asociada a giba costal a nivel dorsal (que se puede intuir en imagen clínica, A). En la imagen de resonancia magnética -corte axial- (C), podemos ver la cavidad siringomiélica a nivel dorsal.

suele ser unilateral, con un predominio del hemitórax derecho (60-75%). La afectación bilateral es muy rara (menor del 1% de los casos). Con frecuencia existe asimetría mamaria con hipoplasia de la mama y del complejo areolomamilar homolateral. Las malformaciones de la mano son diversas y complejas. Las anomalías asociadas en las extremidades superiores y en las costillas determinan la gravedad del SP. Por lo tanto, el fenotipo del SP puede ser muy variable, las anomalías van desde la hipoplasia unilateral hasta la ausencia del músculo pectoral y de la mama; con frecuencia se asocian a hipoplasia distal del miembro superior y anomalías de la mano (sindactilia, braquidactilia, oligodactilia), e incluso a anomalías torácicas ipsilaterales.

Dado que aún no se han identificado los genes responsables del SP, el diagnóstico es clínico. La agenesia o hipoplasia del músculo pectoral mayor es actualmente la característica cardinal obligatoria para el diagnóstico, que puede asociarse a alguna de las alteraciones anteriormente mencionadas. Además de la exploración física, son necesarias pruebas de imagen para definir mejor el defecto, descartar malformaciones asociadas y confirmar el diagnóstico en casos dudosos.

El polimorfismo del cuadro clínico del SP hace que el diagnóstico sea en muchos casos tardío y ha impedido el desarrollo de un régimen de tratamiento uniforme.

El SP es más común en hombres que en mujeres (ratio 3:1), y es más frecuente en el lado derecho que en el izquierdo (ratio 3:1) (7, 8). Se desconocen las razones de estas diferencias.

El caso de nuestro artículo sigue esta tendencia, se da en un hombre y con lateralidad derecha. Es un caso esporádico, pues no informa de antecedentes familiares. La agenesia parcial del músculo pectoral mayor se asocia, en este caso, a hipoplasia mamaria, escoliosis dorso-lumbar con giba dorsal

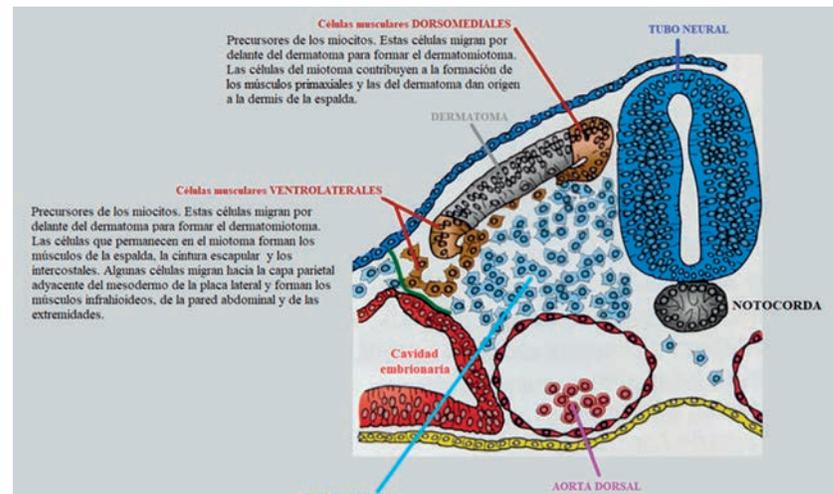


Figura 4. Desarrollo del somita. Modificado de Sadler, T. W. Langman Embriología Médica. Barcelona, Wolters Kluwer Health, 2019.

derecha y discreto aplanamiento de la parilla costal derecha; sin anomalías a nivel del miembro superior derecho. La resonancia magnética permitió diagnosticar una cavidad siringomielica a nivel de la médula dorsal.

A continuación, exponemos una revisión bibliográfica extensa sobre el SP.

Recuerdo embriológico del sistema muscular

El período somítico o estadio filotípico es semejante en muchas especies de vertebrados, desde los peces hasta el hombre. Los somitas son engrosamientos del mesodermo, que se forman a pares, uno a cada lado de la notocorda, de manera simultánea. En el embrión humano la formación de somitas se inicia el día 20, originándose un número de tres pares de somitas por día con un total de 44 ± 2 pares de somitas (9). En esta etapa (día 20-23) el embrión humano mide 1,5-2 mm. Además de formarse las somitas; se prolongan los pliegues neurales y la notocorda; y aparecen los pliegues de la cabeza y de la cola. Se diferencian la membrana cloacal y el intestino posterior (10). Debido a que

TABLA 1: ORIGEN EMBRIOLÓGICO DE LOS MÚSCULOS (DOMINIOS ABAXIAL Y PRIMAXIAL)

ORIGEN EMBRIOLÓGICO	MÚSCULOS DEL CUELLO	MÚSCULOS REGIÓN TÓRACOABDOMINAL	MÚSCULOS DEL BRAZO	MÚSCULOS DE LA PIERNA
PRECURSORES DOMINIO ABAXIAL	Infrahiodeos	<i>Pectoral mayor y menor</i> Oblicuo externo e interno Transverso del abdomen Esternales Recto del abdomen Diafragma pélvico	<i>Músculos distales</i>	Todos los músculos de la extremidad inferior
PRECURSORES DOMINIO PRIMAXIAL	Escalenos, genihiodeo y prevertebrales	Intercostales	Romboides, elevador de la escápula y dorsal ancho	

los somitas aparecen con una periodicidad específica, la edad de un embrión puede calcularse de forma precisa durante el periodo pre-embriionario mediante el conteo de somitas.

El sistema muscular esquelético se desarrolla a partir de la capa germinal mesodérmica. Concretamente, del mesodermo paraxial que forma somitas desde la región occipital hasta la sacra, así como los somitómeros en la cabeza. Las células de la región superior del somita crean el dermatoma y dos regiones formadoras de músculos, localizadas en los márgenes dorsomediales y ventrolaterales. Las células procedentes de estas dos áreas migran y proliferan para producir células musculares en un sitio ventral al dermatoma y establecen el dermatomiotoma (Figura 4).

Los miocitos provenientes del extremo ventrolateral que cruzan la frontera somítica lateral (línea verde en el dibujo) e ingresan al mesodermo de la placa lateral constituyen los precursores de las **células musculares abaxiales** (Tabla 1) y muchas de las señales de diferenciación que reciben proceden del mesodermo de la placa lateral (11).

Los miocitos que permanecen en el mesodermo paraxial sin cruzar la frontera somítica lateral (las células ventrolaterales remanentes) y todas las que están en el margen dorso medial integran los precursores de las **células musculares primaxiales** (Tabla 1) y gran parte de las señales de desarrollo que reciben derivan del tubo neural y la notocorda (11).

Expresión de los genes que regulan la diferenciación muscular en el embrión

La formación del somita tiene lugar donde FGF-8 tiene un umbral bajo. La identidad posicional de los somitas se especifica por la expresión combinada de genes de los complejos Hox. Los somitas de cordados dan origen al esqueleto axial (vértebras y costillas), todos los músculos esqueléticos incluidos los de los miembros y pared del cuerpo, además la mayor parte de la dermis (9).

La proteína WNT induce la formación de células precursoras musculares a partir de la parte dorsomedial del somita y la expresión del gen MIF5. El dermatoma del somita se convierte en dermis por acción de la neurotrofina 3 (NT-3) secretadas por la parte dorsal del tubo neural. La proteína Sonic hedgehog elaborada por la notocorda y el tubo neural induce la formación del esclerotoma a partir de la parte ventral del somita y la expresión de PAX-1 que, a su vez, controla la condrogénesis y la formación de las vértebras.

La proteína WNT induce la formación de células precursoras musculares a partir de la parte dorsomedial del somita y la expresión del gen MIF5. Las proteínas activadoras WNT y la proteína inhibidora BMP-4 activa la expresión de MyoD en la región ventrolateral para crear un segundo grupo de células precursoras musculares (11). Desde la placa basal del tubo neural y desde la notocorda las células secretan Sonic hed-

gehog (SHH), una proteína que es clave para la señalización posicional, e inducen la formación del esclerotoma a partir de la parte ventral del somita (12, 13).

El tubo neural y la notocorda generan señales que establecen el patrón del somita, si la notocorda y el tubo neural se eliminan, las células de los somitas experimentan apoptosis, no se desarrollan ni vértebras ni estructuras musculares axiales, aunque sí lo hacen los músculos de los miembros.

Los tendones se originan a partir de células que provienen del dominio dorsolateral del esclerotoma y expresan específicamente el factor de transcripción Scleraxis. Esta región progenitora de tendón es inducida por la señal de Fgf en el límite de esclerotoma y del miotoma (14).

La regulación de los genes de caja homeótica Pax en el somita por señales de la notocorda y el tubo neural parece ser importantes en la inducción del destino celular. Pax-3 es expresado inicialmente en todas las células que formarán los somitas. Su expresión es luego modulada por señales de las proteínas BMP-4 y WNT de modo que queda restringido a los precursores musculares. Después es regulado negativamente en las células que se diferencian como músculos del dorso, pero se mantiene activado en las células musculares presuntivas que migran y pueblan los miembros. En los ratones que carecen de un gen Pax-3 funcional faltan los músculos de los miembros. En el pollo se ha atribuido a Pax-1 la formación de la escápula, parte de la cual es contribución de los somitas. A diferencia de las células de las vértebras que expresan Pax-1, que tienen origen en el esclerotoma, la escápula se forma a partir de las células del dermatomiotoma de los somitas 17 a 24 del pollo. Todas las células que forman la escápula expresan Pax-1 (9).

Etiopatogenia del síndrome de Poland

Se desconoce su etiología, aunque se han propuesto varias teorías. La hipótesis más aceptada propone una alteración vascular del mesodermo (interrupción del flujo sanguíneo de la arteria subclavia) como origen de este síndrome durante la sexta semana de la vida embrionaria (15). Factores ambientales podrían contribuir a su expresión fenotípica (15). Bouvet, J. P., y cols. (16) proponen que la hipoplasia o estenosis de la arteria subclavia podría alterar el desarrollo de las estructuras irrigadas por las ramas periféricas de esta arteria, si son terminales (16). Estos autores estudiaron la vascularización de los miembros superiores en pacientes con SP y apreciaron una asimetría entre el lado afectado y el sano, que apoyaría la hipótesis del origen vascular durante el periodo embrionario (17).

Se han sugerido otras causas para intentar aclarar su etiopatogenia: interrupción de la placa lateral del mesodermo (a partir de la cual se desarrolla el músculo pectoral) (18, 19), injurias intrauterinas (trombosis o embolias placentarias) que afectan el flujo sanguíneo y alteran la embriogénesis; vasoespasmo inducido por drogas como la cocaína o la talidomida; heren-

cia autosómica dominante con penetración variable, efectos genéticos simples, trauma, infecciones virales y efectos teratogénicos de xenobióticos ambientales (6, 18, 20, 21). Algunos autores advierten que fumar durante el embarazo puede duplicar el riesgo de SP (18, 22).

Aunque la mayoría de los casos son esporádicos, se han publicado familias con varios miembros afectados. Por ello, la etiología genética no puede ser completamente excluida. Los casos esporádicos podrían explicarse por mutaciones de novo. De hecho, algunas hipótesis señalan mutaciones deletéreas en genes que regulan el desarrollo embrionario y afectan a los músculos de la cintura pectoral y estructuras óseas. Incluso, se ha propuesto un fenotipo en mosaico causado por una mutación somática que ocurre durante el desarrollo, y que la gravedad del fenotipo depende del momento en el que ocurre esa mutación (23, 24).

Algunas hipótesis sugieren la presencia de mutaciones en distintos genes que explicarían la variabilidad fenotípica característica del SP y el papel de factores ambientales (modelo poligénico multifactorial). Aunque sabemos con certeza que la mayoría de casos son esporádicos, resulta importante informar sobre la existencia de SP familiares ya que el riesgo de que una persona afectada tenga hijos con la misma enfermedad es mayor que el de la población general y nos obliga a proporcionar un asesoramiento genético.

Insistimos en que los casos descritos con varios miembros afectados en una misma familia son poco frecuentes (menos del 10% y con una mayor prevalencia en hombres). Vaccari y cols. (25) informaron de gemelas monocigóticas con SP y su concordancia fenotípica apoya la hipótesis genética, ambas gemelas compartían una delección heterocigótica del cromosoma 11q12.3. También se han sugerido otras alteraciones; como un posible vínculo genético entre la duplicación 10p13-14, SP e hiperinsulinemia congénita (26). Sierra y cols. (27) describen el caso de dos primos con un SP tipo 1 (forma mínima) con hipotrofia del músculo pectoral mayor, izquierdo y derecho, respectivamente. Shalev y cols. describen a un hijo y a su madre con SP (28). Baban y cols. (29) estudiaron 190 pacientes con SP y a sus padres, observando que: en 8 familias (4,2% del total) se confirmó que existía un SP familiar (con defectos en el músculo pectoral en al menos 2 familiares); en otras 16 familias (8,4% del total) el SP se asoció a familiares que tenían los músculos pectorales normales pero presentaban anomalías torácicas y/o del miembro superior homolateral características del SP, y el 87,4% restante (166 de 190) se clasificaron como SP esporádicos (29).

Diagnóstico y fenotipo clínico del síndrome de Poland

A la inspección, llama la atención las típicas alteraciones en el tórax y en la mano. Destaca la hipoplasia o ausencia del pectoral mayor, 70% en el lado derecho. En un tercio de los casos se observa también la ausencia del músculo pectoral menor. Otras anomalías incluyen a la glándula mamaria (hipomastia o amastia) que puede acompañarse de hipoplasia de la areola y pezón, que está desviado lateralmente y hacia arriba.

Además de las alteraciones de la extremidad superior y tórax que ya hemos descrito previamente, se pueden dar otras alteraciones como: ausencia del vello axilar y de las glándulas sudoríparas apocrinas, escoliosis, alteraciones pulmonares (hipoplasia pulmonar), hipotricosis pectoral y ausencia parcial de la zona cartilaginosa de las costillas de esta región (entre la segunda y la quinta) (30). El pectus excavatum está presente en el 10% de los casos, pectus carinatum en el 8,6%, pero la mayoría de los pacientes (75%) no presentan ninguna deformidad en el esternón. Se observan desviaciones de la columna en el 25% de los casos. Algunos autores describen casos de SP asociados a dextrocardia, la cual podría deberse a un desplazamiento mecánico del corazón durante la vida embrionaria en pacientes con SP y agenesia de al menos dos costillas izquierdas (33). En una minoría de casos, el SP se combina con malformaciones genitourinarias (hipoplasia agenesia renal, ectopia renal, reflujo vesicoureteral y criptorquidia), hernia inguinal, o malformaciones del tracto hepático y/o biliar (35). En muy raras ocasiones, las anomalías torácicas y/o de las extremidades superiores del SP se producen de forma bilateral (36).

Moore y Schosser (37) registraron una melanosis de Becker asociada a hipoplasia de las mamas y del músculo pectoral mayor. Zubowicz y Bostwick (38) también confirmaron los casos de dos pacientes con áreas de hiperpigmentación difusa subyacentes a una glándula mamaria hipoplásica unilateral.

Las condiciones dermatológicas asociadas descritas en el SP incluyen dermatosis perforante adquirida, manchas "café con leche", hemangioma congénito, nevus melanocítico congénito y neurofibromas cutáneos difusos (20). A nivel facial se ha descrito: estrabismo, epicantus, anomalías del oído externo y síndrome de Moebius. Se ha documentado una incidencia aumentada de leucemia, esferocitosis, leiomiomas y déficit de hormona de crecimiento (30).

El diagnóstico del SP se establece por lo general durante el primer año de vida (29), aunque en algunos casos el diagnóstico puede ser tardío ya que la presentación puede ser sutil.

Además de la exploración física, son necesarias pruebas de imagen para definir mejor el defecto, descartar malformacio-

MÚSCULO PECTORAL MAYOR

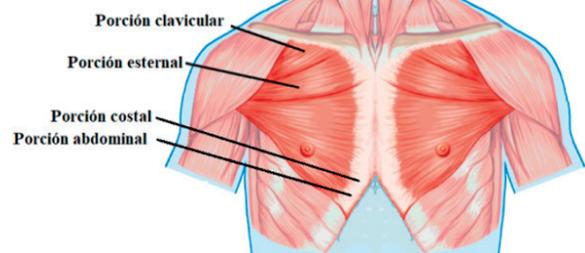


Figura 5. SP tipo 1 o forma mínima (defecto aislado del músculo pectoral).

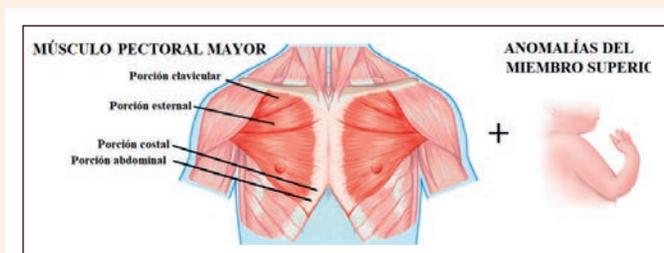


Figura 6. SP tipo 2A o variante del miembro superior (asocia anomalía de miembro superior).

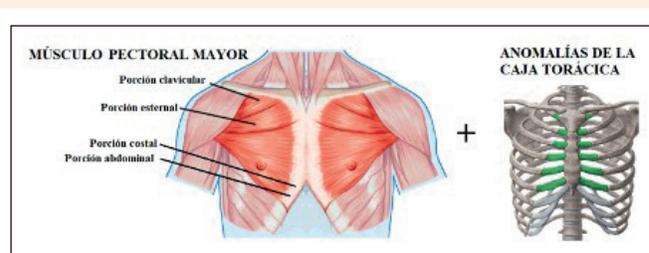


Figura 7. SP tipo 2B o variante torácica (asocia anomalía de la caja torácica).

nes asociadas y confirmar el diagnóstico en casos dudosos. La ecografía es la prueba diagnóstica de elección: ecografía de región pectoral, ecocardiografía y ecografía abdominal, y en caso de anomalías evidentes se completa el estudio con radiografías de tórax, de la mano y/o del brazo. Tanto la tomografía computarizada como la resonancia magnética muestran claramente la ausencia del músculo pectoral mayor y permiten una mejor apreciación de otras anomalías musculoesqueléticas y de órganos internos, pero se consideran pruebas de "segunda línea". Generalmente estas pruebas se reservan para casos severos y para una evaluación quirúrgica (31).

Catena y cols. (32) proponen en 2012 una clasificación de las anomalías de manos y miembros superiores en el SP a partir de la evaluación clínica e instrumental de 175 pacientes. Las anomalías de manos y miembros superiores se clasificaron en 8 grupos en función del grado clínico de gravedad y en función de la presencia de anomalías asociadas coexistentes. Romanini y cols. (33) simplifican en 2018 esta clasificación en función de las anomalías asociadas en tres entidades clínicas:

1. **SP tipo 1 o Forma Mínima** (Incluye a un tercio del total de casos, aproximadamente): solo se observa un defecto aislado del músculo pectoral. En una mayoría de casos este subdesarrollo afecta selectivamente a la cabeza esternocostal del músculo pectoral mayor, provocando una asimetría en el tórax.
2. **SP tipo 2 o Forma Parcial** (Incluye a algo más de la mitad de los casos, aproximadamente) que presenta dos variantes según el defecto asociado a la agenesia del músculo pectoral:

Tipo 2 A (Variante del Miembro Superior): se asocia a una anomalía del miembro superior. Esta anomalía de la extremidad superior está presente en el 56% de los pacientes, incluida la braquidactilia, la sindactilia o una combinación de ambas. En casos excepcionales, podemos observar una mano hipoplásica/ausente y acortamiento del antebrazo. Con frecuencia también se observa aplasia o hipoplasia de las falanges medias de la mano. Otras anomalías adicionales de los miembros superiores incluyen acortamiento leve de los huesos del antebrazo y subdesarrollo leve de los músculos del brazo, características no fácilmente detectadas.

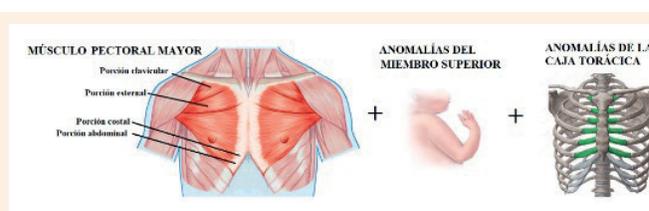


Figura 8. SP tipo 3 o forma completa (asocia anomalías del miembro superior y de la caja torácica).

Tipo 2 B (Variante Torácica): se asocia anomalía de las costillas. La afectación muscular adicional puede incluir el serrato anterior, el dorsal ancho y el trapecio. En casos de mayor gravedad pueden verse defectos de la caja torácica: ausencia de la parte anterior de las costillas con hernia pulmonar, hipoplasia costal, pectus carinatum contralateral y/o pectus excavatum.

Los huesos de la caja torácica pueden verse afectados con costillas acortadas, ausentes o supranumerarias y vértebras fusionadas, malformadas o supranumerarias, así como también pectus carinatum o excavatum; pudiendo provocar deformidades torácicas graves y dificultad respiratoria asociada. La amastia o hipoplasia de la glándula mamaria junto con la hipo/aplasia del pezón también ocurren, asociando a vello axilar ipsilateral escaso o ectópico (34).

3. **SP tipo 3 o Forma Completa** (Incluye en torno al 10 % del total de casos): A la ausencia del músculo pectoral se le asocian anomalías tanto del miembro superior como de la pared costal.

Tratamiento quirúrgico

En la práctica clínica, las formas de expresión leves pueden ser ignoradas, pero en los casos más severos es necesario un enfoque multidisciplinar para su abordaje y tratamiento. Los casos leves no presentan alteraciones funcionales, la afectación es estética; la mayoría de estos pacientes no van a necesitar cirugía para reparar la deformación torácica. Solo en los casos extremos, como sucede con la ausencia total de cartilago costal o de segmentos anteriores de las costillas, experimentan discapacidad física y alteraciones emocionales por su deformidad.

En las mujeres afectadas, el complejo areola-pezones es aplásico o hipoplásico con localización superolateral del pezón.

El tratamiento quirúrgico se reserva (17) para las siguientes indicaciones:

- 1) depresión torácica unilateral con riesgo de progresar;
- 2) falta de protección del pulmón o del corazón;
- 3) movimiento paradójico de la pared torácica;
- 4) hipoplasia o aplasia mamaria en mujeres;
- 5) defecto cosmético secundario a la ausencia del pectoral mayor en hombres.

Cabrera-González y cols. (39) revisaron 74 pacientes y proponen en 2022 una nueva clasificación de las deformidades del SP, que resulta útil para planificar la cirugía de la mano y asesorar a los padres sobre la estrategia quirúrgica. Esta clasificación establece seis tipos de gravedad ascendente basándose en los hallazgos clínicos y radiológicos:

- **SP tipo 1:** Aplasia pectoral mayor aislada sin anomalías en miembros superiores.
- **SP tipo 2:** Mano hipoplásica con o sin aplasia o hipoplasia de la falange media, sin sindactilia.
- **SP tipo 3:** Mano hipoplásica con falange media hipoplásica o aplásica y sindactilia.
- **SP tipo 4:** Sindactilia completa incluyendo el primer espacio con el pulgar en el mismo plano que los otros dedos y asociada a hipoplasia/aplasia de los músculos tenares; una falange media hipoplásica o aplásica, rigidez de los dedos y, ocasionalmente, sinfalangismo (fusión de las falanges de los dedos de la mano).
- **SP tipo 5:** Sindactilia asociada con deficiencia longitudinal de algunos dedos o metacarpianos
- **SP tipo 6:** Desde la amputación transversa a nivel del metacarpiano, afectando uno o más radios de los dedos, hasta la aplasia completa de la mano con o sin protuberancias.

La gravedad de las deformidades según esta clasificación se correlacionó con el número de cirugías realizadas; excepto en el tipo 5, en el que el resultado de la cirugía suele ser decepcionante, y en el tipo 6, que está fuera del alcance del tratamiento quirúrgico.

La indicación de cirugía torácica suele estar relacionada con anomalías graves de la caja torácica, ya sea de la pared torácica anterior (pectus excavatum, carinatum o combinación de ambos) o de las costillas (agenesia costal). En caso de defecto de la pared torácica anterior, la indicación de la cirugía puede ser cosmética (en la mayoría de los casos) o funcional. Las indicaciones funcionales incluyen los problemas causados por la agenesia de las costillas y por las anomalías esternas (en particular, el pectus excavatum, que puede causar compresión del corazón/pulmón). La agenesia costal significativa causa respiración paradójica, con la pared torácica sobresaliendo a través del defecto hacia el tórax durante la inspiración. Otra indicación teórica para la reparación quirúrgica de una agenesia costal es la falta de protección de las vísceras torácicas, aunque no se han informado complicaciones traumáticas

en pacientes con SP hasta donde sabemos (40).

No se pueden ignorar los aspectos sociales en caso de malformación corporal, tanto para pacientes masculinos como femeninos. La asimetría que afecta a las mamas, de hecho, suele ser moderada o grave y se complica aún más por las malformaciones torácicas subyacentes. La amplia variabilidad fenotípica explica las múltiples opciones quirúrgicas reconstructivas: prótesis de silicona, transposición de colgajo muscular dorsal ancho y músculo recto abdominal, inyección de grasa autóloga, colgajos microvasculares libres... (41, 42). Por lo general, es mejor corregir una anomalía grave de la pared torácica (si está presente) antes de la reconstrucción mamaria/pectoral, para mejorar el resultado final. La planificación reconstructiva de los tejidos blandos debe tener un enfoque personalizado (en función de edad, alteraciones y expectativas); la cirugía puede iniciarse en la pubertad, pero puede no ser definitiva y necesitar nuevas cirugías para mantener el resultado estético con el tiempo (43).

CONCLUSIONES

El SP es una anomalía congénita rara que se presenta con una amplia gama de variabilidad fenotípica. Debido a que alrededor del 75% de los afectados son varones y la alteración torácica aislada puede ser de pequeña magnitud es posible que el síndrome no sea tan infrecuente, ya que muchos casos pueden pasar inadvertidos.

Continúa sin conocerse la verdadera etiopatogenia de este síndrome. La hipótesis de un origen vascular es la más aceptada (interrupción del flujo sanguíneo de la arteria subclavia). No obstante, se han descrito casos de SP Familiar, por lo que se requiere asesoramiento genético.

Para el tratamiento, es fundamental un enfoque gradual (desde lo más conservador) y multidisciplinar. Debemos optimizar el momento del tratamiento, empezando en la adolescencia temprana para disminuir el impacto psicológico si así las anomalías lo requieren.

Un diagnóstico precoz y un abordaje terapéutico oportuno son de gran ayuda para mejorar la calidad de vida de los pacientes con SP.

BIBLIOGRAFÍA

1. Sebastin, S. J.; Puhaindran, M. E.; Lim, A. Y.; Lim, I. J.; Bee, W. H. The prevalence of absence of the palmaris longus. A study in a Chinese population and a review of the literature. *J Hand Surg Br* 2005; 30(5):525-7.
2. Lallemand, L. M. *Ephémérides médicales de Montpellier*. *Ephémérides Médicales*. 1826;1:144-147.
3. Froriep, R. Beobachtung eines Falles von Mangel der Brustdrüse. *Notizen aus dem Gebiete der Natur- und Heilkunde*. 1839; 10:9-14.
4. Poland, A. Deficiency of the pectoral muscles. In: Browne, J. H., editor. *Guy's Hospital Reports*. Volume 6. London: J. & A. Churchill; 1841:191-193.
5. Fox, J. P.; Seyfer, A. E. The real history of Poland's syndrome. *Bull Am Coll Surg* 2012; 97(3): 27-29.

6. Freire-Maia, N.; Chautard, E. A.; Opitz, J. M.; Freire-Maia, A.; Quelce-Salgado, A. The Poland syndrome clinical and genealogical data, dermatoglyphic analysis, and incidence. *Hum Hered* 1973; 23(2): 97-104
7. McGillivray, B. C.; Lowry, R. B. Poland syndrome in British Columbia: incidence and reproductive experience of affected persons. *Am J Med Genet* 1977; 1(1): 65-74.
8. Ram, A. N.; Chung, K. C. Poland's syndrome: current thoughts in the setting of a controversy. *Plast Reconstr Surg*, 2009; 123(3): 949 e 953.
9. Rojas, M.; Smok, C. Modeling the body of the embryo during the somitic period. *Int. J. Med. Surg. Sci.* 2014; 1(1): 57-62.
10. England, M. A. *Color Atlas of Life Before Birth: Normal Fetal Development*. Wolfe Medical Publications Ltd., 3 Conway Street, London (United Kingdom) 1983.
11. Sadler, T. W. *Langman Embriología Médica*. Barcelona, Wolters Kluwer Health, 2019
12. Fan, C. M., & Tessier-Lavigne, M. Patterning of mammalian somites by the surface ectoderm and the notochord: Evidence for sclerotome induction by Sonic hedgehog/Vhh-1. *Cell*, 1994; 79(7): 1175-1186.
13. Resende, T. P.; Ferreira, M.; Teillet, M. A.; Tavares, A. T.; Andrade, R. P. & Palmeirim, I. Sonic hedgehog in temporal control of somite formation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2010; 107(29): 12907-12912
14. Brent, A. E.; Braun, T., & Tabin, C. J. Genetic analysis of interactions between the somitic muscle, cartilage and tendon cell lineages during mouse development. *Development*. 2005; 132(3): 515-528.
15. Bavinck, J. N.; Weaver, D. D. Subclavian artery supply disruption sequence: hypothesis of a vascular etiology for Poland, Klippel-Feil, and Möbius anomalies. *Am J Med Genet* 1986; 23(4): 903-18.
16. Bouvet, J. P.; Maroteaux, P.; Briard-Guillemot, M. L. Le syndrome de Poland. *Etudes clinique et génétique. Considérations physiopathologiques*. *Nouv Presse Méd*, 1976; 5: 185-190.
17. Bouvet, J. P., Leveque, D.; Bernetieres, F.; Gros, J. J. Vascular origin of Poland's syndrome? A comparative rheographic study of the vascularisation of the arms in eight patients. *Eur J Pediatr* 1978; 128: 17-26.
18. Fokin, A. A.; Robicsek, F.: Poland's syndrome revisited. *Ann Thorac Surg* 2002; 74: 2218-2225.
19. Bamforth, J. S.; Fabian, C.; Machin, G.; Honore, L.: Poland anomaly with a limb body wall disruption defect: case report and review. *Am J Med Genet* 1992 Jul 15; 43 (5): 780-784.
20. Vazirnia, A.; Cohen, P. R. Poland's syndrome: a concise review of the clinical features highlighting associated dermatologic manifestations. *Am J Clin Dermatol*. 2015; 16(4): 295-301..
21. David, T. J.: Nature and etiology of the Poland anomaly. *N Engl J Med* 1972; 287 (10): 487-489
22. Martínez-Frías, M. L.; Czeizel, A. E.; Rodríguez-Pinilla, E.; Bermejo, E.: Smoking during pregnancy and Poland sequence: results of a population-based registry and a case-control registry. *Teratology* 1999; 59 (1): 35-38).
23. De Zwart-Storm, E. A.; Rosa, R. F.; Martín, P. E.; Foelster-Holst, R.; Frank, J.; Bau, A. E.; Zen, P. R.; Graziadio, C.; Paskulin, G. A.; Kamps, M. A.; Van Geel, M.; Van Steensel, M. A. Molecular analysis of connexin26 asparagine14 mutations associated with syndromic skin phenotypes. *Exp Dermatol* 2011; 20(5): 408-12.
24. Van Steensel, M. A. Poland anomaly: not unilateral or bilateral but mosaic. *Am J Med Genet A* 2004; 125A(2): 211-2.
25. Vaccari, C. M.; Romanini, M. V.; Musante, I.; Tassano, E.; Gimelli, S.; Divizia, M. T.; Torre, M.; Morovic, C. G.; Lerone, M.; Ravazzolo, R.; Puliti, A. De novo deletion of chromosome 11q12.3 in monozygotic twins affected by Poland Syndrome. *BMC Med Genet*. 2014; 15: 63.
26. Giri, D.; Patil, P.; Hart, R.; Didi, M.; Senniappan, S. Congenital hyperinsulinism and Poland syndrome in association with, 10, p13-14 duplication. *Endocrinol Diabetes Metab Case Rep*. 2017; 2017: 16-0125
27. Sierra, L.; María Paz González M. P. Síndrome de Poland. Descripción de dos casos familiares. *An Pediatr (Bar)* 2008; 69(1): 49-51.
28. Shalev, S.; Hall, J. Poland anomaly. Report of an unusual family. *Am J Med Genet* 2003; 118: 180-183.
29. Baban, A.; Torre, M.; Costanzo, S.; Gimelli, S.; Bianca, S.; Divizia, M. T.; Sénès, F. M.; Garavelli, L.; Rivieri, F.; Lerone, M.; Valle, M.; Ravazzolo, R.; Calevo, M. G. Familial Poland anomaly revisited. *Am J Med Genet A*. 2012; 158A (1):140-149.
30. Cruz, M.; Bosch, J. *Manual Ilustrado de Enfermedades Raras*. Editorial Ergon; 2014; 7: 298-299.
31. Baldelli, I.; Gallo, F.; Crimi, M.; Fregatti, P.; Mellini, L.; Santi, P., *et al*. Experiences of patients with Poland syndrome of diagnosis and care in Italy: a pilot survey. *Orphanet J Rare Dis*. 2019; 14(1): 269.
32. Catena, N.; Divizia, M. T.; Calevo, M. G.; Baban, A.; Torre, M.; Ravazzolo, R.; Lerone, M.; Sénès, F. M. Hand and upper limb anomalies in Poland syndrome: a new proposal of classification. *J Pediatr Orthop* 2012; 32(7): 727-31.
33. Romanini, M. V.; Calevo, M. G.; Puliti, A.; Vaccari, C.; Valle, M.; Senes, F.; Torre, M. Poland syndrome: A proposed classification system and perspectives on diagnosis and treatment. *Semin Pediatr Surg* 2018; 27(3): 189-199.
34. Gocmen, H.; Akkas, Y.; Doganay, S. Poland syndrome: rare presentation in two cases. *N Z Med J* 2010; 123(1321): 71-77.
35. Kim, Y. H.; Kwon, W. J.; Park, S. I. Anesthetic experience during reconstruction surgery of a chest wall defect in a patient with Poland syndrome: a case report. *Korean J Anesthesiol* 2009; 57(5): 652-655.
36. Geeroms, B.; Breyssem, L.; Aertsen, M. An atypical case of Poland syndrome with bilateral features and dextroposition of the heart: in the work-up of Poland syndrome, different imaging modalities are necessary to depict the full extent of the anomalies. *J Belg Soc Radiol*. 2019; 103(1): 45.
37. Moore, J. A.; Schosser, R. H. Becker's melanosis and hypoplasia of the breast and pectoralis major muscle. *Pediatr Dermatol* 1985; 3 :34-37.
38. Zubowicz, V.; Bostwick, J. 3rd. Congenital unilateral hypoplasia of the female breast associated with a large melanotic spot: report of two cases. *Ann Plast Surg* 1984; 12: 204-206.
39. Cabrera-Gonzalez, M.; Gutierrez-de la Iglesia, D.; Fontecha, C. G. G.; Garcia, R.; Ortega-Centol, A.; Pérez-López, L. M. Poland syndrome: a new classification system based on a retrospective analysis of 74 cases. *J Hand Surg Eur* 2022; 47(10): 1027-1031.
40. Baldelli, I.; Baccarani, A.; Barone, C.; Bedeschi, F.; Bianca, S.; Calabrese, O.; Castori, M.; Catena, N.; Corain, M.; Costanzo, S.; Barbato, G. P.; De Stefano, S.; Divizia, M. T.; Feletti, F.; Formica, M.; Lando, M.; Lerone, M.; Lorenzetti, F.; Martinoli, C.; Mellini, L.; Nava, M. B.; Porcellini, G.; Puliti, A.; Romanini, M. V.; Rondoni, F.; Santi, P.; Sartini, S.; Senes, F.; Spada, L.; Tarani, L.; Valle, M.; Venturino, C.; Zaottini, F.; Torre, M.; Crimi, M. Consensus based recommendations for diagnosis and medical management of Poland syndrome (sequence). *Orphanet J Rare Dis* 2020; 15(1): 201.
41. Zhu, L.; Zeng, A.; Wang, X. J.; Liu, Z. F.; Zhang, H. L. Poland's syndrome in women: 24 cases study and literature review. *Chin Med J (Engl)* 2012; 125(18): 3283-3287.
42. Baldelli, I.; Zena, M.; Vappiani, M.; Berrino, V.; Bruzzone, M.; Mangialardi, M. L.; Raposio E. Body Self-Perception After Breast Reconstruction in Young Female Patients Affected by Poland Syndrome. *Aesthetic Plast Surg* 2023; 47(1): 122-129.
43. Baldelli, I.; Vappiani, M.; Santori, G.; Ciliberti, R.; Santi, P. Letter to the editor: response to Manzano Surroca et al. "Poland sequence: retrospective analysis of 66 cases". *Ann Plast Surg* 2020; 84(3): 341-342.

CAMBIO GLOBAL Y LA VULNERABILIDAD DE LAS ESPECIES MARINAS EXPLOTADAS

Natalia Petit-Marty

Instituto de Investigaciones Marinas (IIM-CSIC). Vigo. España.

RESUMEN

Las actividades antropogénicas están cambiando las condiciones físicas, químicas y biológicas de los hábitats naturales, lo que se conoce como cambio global. Los mares y océanos no escapan a este cambio por lo que las especies marinas necesitan adaptarse para prosperar. La materia prima necesaria para la adaptación a los cambios en las condiciones ambientales mediante el proceso de selección natural es la variabilidad genética. Ya que el mar y los océanos constituyen ambientes conectados con condiciones ambientales heterogéneas y la mayoría de las especies marinas se distribuyen a lo largo de estos ambientes marinos diversos, es probable que la variación genética necesaria para adaptarse a los mismos esté ya presente en las poblaciones. Sin embargo, la explotación de las especies marinas también produce cambios tanto en los ambientes, como en los niveles de variación genética, estructura y conectividad de las poblaciones de las especies explotadas. Especialmente, la sobreexplotación de poblaciones produce reducciones en sus tamaños, los cuales reducen proporcionalmente la diversidad genética. De esta forma, el destino de las especies marinas explotadas es incierto ya que su explotación podría estar limitando su capacidad adaptativa a los cambios en el medioambiente convirtiéndolas en vulnerables a la extinción en un futuro cercano.

Palabras claves: *pesca, sobreexplotación, cambio climático, sostenibilidad, potencial adaptativo, genética.*

INTRODUCCIÓN

El cambio global se define como el conjunto de cambios que las actividades antropogénicas han producido y continúan produciendo sobre los ambientes naturales del planeta. El crecimiento de la población humana, el desarrollo industrial y la creciente demanda y explotación de recursos naturales han producido cambios biofísicos en el ciclo natural de los elementos indispensables para la vida en el planeta, e impactado enormemente en los sistemas biológicos. Los cambios y

transformaciones que las actividades humanas ejercen sobre el medio natural impactan los sistemas biológicos directamente por explotación de recursos naturales, pérdida, degradación y fragmentación de hábitats, e indirectamente por cambios en los ambientes naturales tales como el calentamiento global y la acidificación oceánica, producidos por el aumento de las emisiones de CO₂ en la atmósfera (Figura 1).

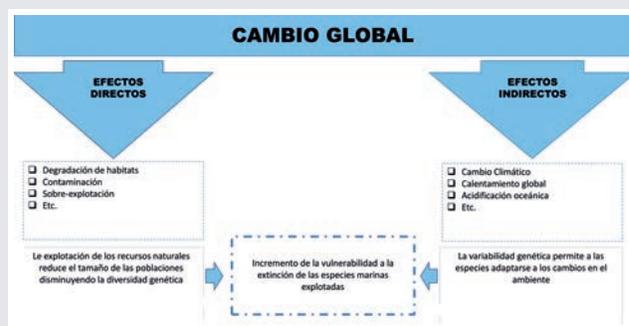


Figura 1. Efectos del cambio global sobre las especies explotadas.

El impacto del cambio global sobre la vida en el planeta es tal que se considera que estamos viviendo la sexta extinción masiva de especies (Ceballos, Ehrlich, & Dirzo, 2017). Sin embargo, mientras que la evaluación del riesgo de extinción de especies terrestres ha comenzado hace muchos años (Mace *et al.*, 2008), el estado de conservación de las especies marinas es menos conocido y muchas de las evaluaciones consideran que faltan datos para poder incluirlas en categorías amenazadas. Los ecosistemas marinos constituyen uno de los hábitats más productivos y biodiversos del planeta, que actualmente están enfrentando cambios sin precedentes que los hacen propensos al colapso. Identificar y atenuar o eliminar las amenazas sobre las especies marinas, especialmente sobre aquellas siendo explotadas para consumo humano directo o indirecto es de máxima prioridad, ya que una gran parte de nuestra alimentación viene directamente del mar (FAO, 2020).

Por un lado, sabemos que las especies tienen la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones ambientales, siendo nosotros, los seres humanos un ejemplo de esto, ya que hemos colonizado casi cada ambiente terrestre del planeta, adaptándonos a las condiciones ambientales y climáticas locales. Esta capacidad de adaptación depende principalmente de la variación genética presente en las especies (Brennan *et al.*, 2019; Palumbi *et al.*, 2019; Fitzpatrick & Reid, 2019; Gandra *et al.*, 2021; Petit-Marty *et al.* 2021 a, b). La variación genética se crea por un proceso azaroso, producido principalmente por errores en el proceso de copiado del ADN, denominado mutación. Estos cambios en la secuencia del ADN pueden ser de tres tipos: neutros, deletéreos o beneficiosos. La selección natural es el proceso por el cual la variación genética de las poblaciones se filtra eliminando las mutaciones deletéreas (selección purificadora) e incrementando la frecuencia de las mutaciones beneficiosas (selección adaptativa). Este proceso se da mediante la reproducción diferencial de los individuos de una población, ya que las mutaciones deletéreas disminuyen la eficacia biológica de los individuos que las portan y por tanto éstos dejarán menos descendencia, mientras que lo contrario sucederá con las mutaciones beneficiosas. De esta manera, el ámbito de acción de la selección natural es la población, la cual se define como un grupo de individuos que se reproducen entre ellos. En general, se puede decir que las poblaciones que prosperan, están adaptadas a vivir en las condiciones ambientales preponderantes y que la diversidad genética que observamos en éstas es mayormente neutra o casi neutra, es decir sin efectos o con efectos muy leves sobre la eficacia biológica de los individuos que las portan (Kimura, 1983; Otha, 1992). Sin embargo, los cambios en las condiciones ambientales ejercen una presión selectiva sobre las poblaciones ya que algunos individuos soportarán mejor el cambio y dejarán más descendencia que otros. Si estas ventajas de unos individuos sobre otros se deben a cambios genéticos, es decir a mutaciones beneficiosas que aumentan la eficacia biológica de los individuos en las nuevas condiciones, la selección natural adaptativa aumentará la frecuencia de estas mutaciones beneficiosas de generación en generación hasta que las mismas estén presentes en todos los individuos de la población, en un proceso conocido como adaptación local (Orr, 2009).

Por otro lado, también existen evidencias de que la sobreexplotación de los recursos naturales produce reducciones en los tamaños de las poblaciones de las especies que a su vez provocan una pérdida proporcional de variación genética, y por tanto el potencial adaptativo de las especies para hacer frente a los cambios en el medioambiente puede verse reducido (Pinsky & Palumbi, 2014; Gandra *et al.*, 2021; Petit-Marty *et al.*, 2022). Además, si las especies son explotadas en todo su rango de distribución esta pérdida de diversidad genética global produce homogeneización genética entre las poblaciones (Gandra *et al.*, 2021), de manera que las variantes genéticas que incrementan la adaptación diferencial de las poblaciones a las condiciones ambientales locales tienen menos probabilidades de persistir y dispersarse entre otras poblaciones.

Los datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020) indican que al menos un 30% de pesquerías del mundo están siendo explotadas por encima de los límites de sostenibilidad. De esta manera, actualmente, las especies marinas explotadas podrían ser vulnerables a la extinción ya que las mismas están sujetas a la presión directa de la explotación y a la presión indirecta producida por los cambios en los ambientes donde habitan. Ambos tipos de cambios potencialmente producen desequilibrios en las complejas interacciones de los ecosistemas marinos, por lo que no solo las especies marinas explotadas son vulnerables de extinción, sino que también los ecosistemas marinos en donde las actividades de explotación se llevan a cabo son potencialmente vulnerables al colapso (Pikitch *et al.*, 2004). De esta forma, el destino de las especies marinas explotadas y los ecosistemas en donde habitan es hoy por hoy incierto, y por tanto, la evaluación del estado de salud genética de los mismos en cuanto a pérdida de potencial de adaptación al cambio en las condiciones del ambiente, es urgente.

En este artículo revisamos la teoría y las evidencias científicas de la capacidad de adaptación de especies marinas a los cambios en el ambiente y de la pérdida de diversidad genética producida por la explotación de las mismas, identificando y discutiendo los parámetros más importantes a ser evaluados en futuros análisis sistemáticos de resiliencia de las especies marinas explotadas al cambio global.

Evidencias de adaptación de especies marinas a cambios en el ambiente

La capacidad de adaptación de las especies a cambios en el medioambiente depende de diferentes factores y de la variación de éstos en tiempo y espacio. Frecuentemente, la persistencia de las poblaciones frente a los cambios en su medioambiente está mayormente determinada por las condiciones ambientales a las que la población ya se ha adaptado, las cuales determinarán su nivel de tolerancia (Fitzpatrick & Reid, 2019). No obstante, actualmente, las poblaciones naturales están expuestas a nuevos factores como patógenos o toxinas y cambios severos en el ambiente a los que nunca antes habían estado expuestas. De esta forma, las poblaciones que no son hábiles para tolerar variaciones o nuevos factores ambientales, probablemente sufrirán una pérdida de eficacia biológica convirtiéndose en poblaciones vulnerables a la extinción (Hoffmann & Sgro, 2011). Sin embargo, más allá de la compleja interrelación entre los factores que afectan la persistencia de las especies, los resultados de diferentes estudios indican que existe una clara tendencia mostrando que las poblaciones con mayores niveles de variación genética también muestran mayor tolerancia fisiológica y por tanto persistencia (Fitzpatrick & Reid, 2019). No obstante, la persistencia no es sinónimo de adaptación ya que los individuos de una población podrían persistir en un nuevo ambiente ajustando su fisiología, en un proceso conocido como aclimatación (Merilä & Hendry, 2014). Sin embargo, a diferencia de la aclimatación,

la adaptación es un proceso a largo plazo y requiere cambios genéticos (Orr, 2009; Merilä & Hendry, 2014). La selección adaptativa o divergente (Figura 2A) incrementa la frecuencia de las mutaciones que mejoran la eficacia biológica de los individuos que viven en el nuevo ambiente, diferenciándolos de los individuos adaptados para vivir en ambientes diferentes (Bernachez, 2016; Palumbi *et al.*, 2019). No obstante, la gran mayoría de las larvas de las especies marinas tienen un estadio pelágico en el cual viajan largas distancias ayudadas por las corrientes marinas, incrementando la conectividad entre las poblaciones de las especies. De esta manera, el proceso adaptativo diferenciando genéticamente las poblaciones que viven en diferentes ambientes se podría ver ralentizado por el flujo constante de variación genética proveniente de individuos de otros ambientes. Así, aunque muchos estudios han encontrado algún grado de diferenciación genética asociadas con diferencias en condiciones ambientales; aún no se han encontrado evidencias de diferenciación genética completa entre poblaciones de especies marinas por adaptación a las condiciones locales (Merilä & Hendry, 2014; Bernachez, 2016; Palumbi *et al.*, 2019).

Cuando más de un ambiente es habitado por una misma población, el efecto de una mutación puede variar espacialmente entre los diferentes ambientes, pudiendo ser deletérea en un ambiente y beneficiosa en otro. Cuando esto sucede, el efecto de la selección natural también será espacialmente heterogéneo (Hedrick, 2007; Levene, 1953), implicando que dentro de una misma generación una mutación puede ser seleccionada a favor (selección adaptativa) dentro de un ambiente, pero en contra en otro ambiente (selección purificadora). Este tipo de selección espacialmente heterogénea fue propuesta por primera vez por Levene en el año 1953 para explicar cómo la variación genética puede ser mantenida dentro de una población distribuida a través de diferentes nichos ecológicos. Actualmente, este proceso selectivo es conocido comúnmente como una de las formas de la selección balanceadora (Figura 2B), la cual se refiere al proceso selectivo por medio del cual es posible mantener diversidad genética adaptativa dentro de las poblaciones (Charlesworth, 2006; Hedrick, 2007). Por lo

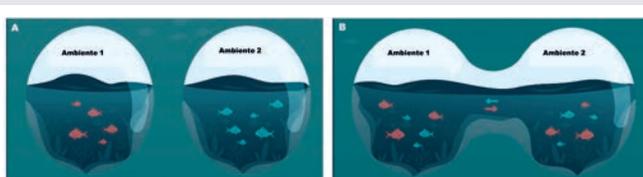


Figura 2. Modelos de adaptación a los cambios en el ambiente. A) Adaptación local: proceso por el cual diferentes mutaciones beneficiosas a diferentes condiciones ambientales aumentan su frecuencia en los diferentes ambientes dando como resultado diferenciación genética entre estos. **B) Selección balanceadora:** proceso mediante el cual la variación genética beneficiosa para diferentes ambientes es mantenida entre estos dando como resultado frecuencias intermedias de las variantes genéticas.

que este tipo de selección es de gran importancia preservando el potencial adaptativo de las especies, especialmente las marinas, las cuales frecuentemente se distribuyen ocupando hábitats con diferentes condiciones ambientales conectados entre sí (Bernatchez, 2016; Palumbi *et al.*, 2019). La evidencia de la acción de la selección balanceadora puede ser, por tanto, detectada por la presencia de variantes genéticas en frecuencias intermedias, producido por las fuerzas selectivas contrastantes entre los diferentes ambientes (Figura 2B).

La selección balanceadora (Figura 2B) selecciona igualmente las variantes genéticas beneficiosas para todos los ambientes alternativos, y es más probable que suceda cuando estos ambientes están estrechamente conectados. Sin embargo, la acción de la selección balanceadora podría ser muy costosa evolutivamente si el efecto de las mutaciones beneficiosas sobre la eficacia biológica es fuerte, como por ejemplo cuando las variantes genéticas siendo seleccionadas influyen en la supervivencia de los juveniles (Palumbi *et al.*, 2019). Si una larva porta una variante genética beneficiosa para vivir en un ambiente pero perjudicial en otro ambiente, y por azar se asienta en el segundo, morirá y no dejará descendencia (Figura 3A). El resultado de este tipo de selección balanceadora sería indistinguible del esperado por selección adaptativa si solo se mira la diversidad genética en adultos, ya que los sobrevivientes en cada uno de los ambientes llevarían variantes genéticas diferentes. Sin embargo, años de estudio de evolución molecular

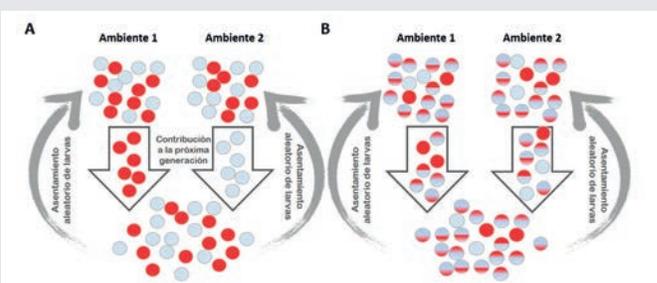


Figura 3. Modelos propuestos para el mantenimiento de variación genética adaptativa a diferentes condiciones ambientales en poblaciones con alta conectividad entre los diferentes ambientes y larvas pelágicas. A) una simple mutación aumenta la eficacia biológica de los individuos viviendo en el ambiente 1 (círculos rojos); pero esta mutación no es beneficiosa para los individuos adaptados a vivir en el otro ambiente 2 (círculos grises). De manera que en el ambiente 1 solo dejan descendencia los individuos con la mutación beneficiosa para este ambiente, mientras que en el ambiente 2 solo dejan descendencia los individuos que no la portan. Si los ambientes están conectados, las larvas se asentarán aleatoriamente en cualquiera de los dos ambientes y la selección se reiniciará en cada generación. **B)** La variabilidad genética de la población está representada por diferentes mutaciones que incrementan levemente la eficacia biológica de los individuos para vivir en el ambiente 1, pero no les afecta para prosperar en el ambiente 2 (representadas con la cantidad de color rojo en los círculos). De manera que la mayoría de los individuos llevan al menos una de estas mutaciones beneficiosas para vivir en el ambiente 1 las cuales se mantienen en la población, aunque los individuos portadores vivan en el ambiente 2. Figura adaptada de Petit-Marty *et al.*, 2021 b.



Figura 4. Resumen del modelo de adaptación a la acidificación oceánica en el pequeño pez triple-aleta propuesto por Petit-Marty *et al.* (2021 b). Los peces necesitan ajustar sus respuestas fisiológicas a los cambios de acidez en el ambiente, lo cual se logra incrementando la expresión de los genes involucrados en estos procesos fisiológicos. Los cambios genéticos en regiones reguladoras de la expresión de estos genes mejoran la eficiencia en la respuesta a los cambios en el ambiente por lo que incrementan su frecuencia por selección adaptativa. Como estos cambios genéticos afinando las respuestas de expresión de genes no afectan a los peces cuando viven en condiciones normales, la variación genética adaptativa se mantiene en las poblaciones proveyendo de potencial adaptativo a la acidificación oceánica. Créditos ilustración pez triple-aleta: Gastón Petit.

han determinado que la adaptación es mayormente producida por la selección conjunta de múltiples variantes genéticas relacionadas funcionalmente, que en general presentan pequeños impactos mejorando la eficacia biológica, más que por la selección de una sola con gran impacto (Pritchard & Di Rienzo, 2010; Bernatchez, 2016). Teniendo en cuenta esto, un nuevo modelo de adaptación por selección balanceadora ha sido propuesto para especies marinas con larvas pelágicas, en el cual la mejor performance de una población que vive entre dos ambientes diferentes se obtiene con la combinación de diferentes variantes genéticas de pequeño impacto sobre la eficacia biológica que son portadas en su totalidad o parcialmente por la mayoría de los individuos de la población global (Petit-Marty *et al.*, 2021b; Figura 3B).

Dos casos de estudio mostrando la presencia de variación genética potencialmente adaptativa a cambios en el ambiente en poblaciones de especies marinas son el erizo de mar púrpura y el pez triple-aleta de Nueva Zelanda, los cuales se detallan a continuación.

El erizo del mar púrpura, *Strongylocentrotus purpuratus*, es una especie ampliamente distribuida a través de la costa del pacífico desde Alaska hasta México; donde las poblaciones experimentan una alta heterogeneidad ambiental en temperatura y acidez. Brennan y colaboradores (2019) estudiaron la variación genética de estas poblaciones en un experimento de selección por una generación, exponiendo larvas a condiciones de acidificación y comparándolas con otras desarrollándose en condiciones normales. El estudio identificó que las larvas sobrevivientes a las condiciones de acidez alternativas presentaban variantes genéticas únicas detectadas en uno o en el otro tratamiento, tal como esperado de la Figura 3A, pero también variantes genéticas en frecuencias intermedias

encontradas en los dos tratamientos, tal como esperado de la Figura 3B. Similarmente, Petit-Marty y colaboradores (2021b) investigaron la posibilidad de adaptación a ambientes acidificados en una población de un pez que prospera en ambientes acidificados, pero con una población reproductiva repartida entre el ambiente acidificado y el ambiente normal. La población estudiada de este pez, el triple-aleta común (*Forsterygion lapillum*), proviene de una isla volcánica (White Island, Nueva Zelanda), en donde existen filtraciones submarinas de CO₂. Estas filtraciones submarinas forman manchas de alrededor de unos 20 m² que presentan reducciones del pH, y constituyen hábitats con características especiales en donde hay un enriquecimiento de recursos netos que beneficia toda la cadena trófica adaptada a vivir en el ambiente acidificado ya que los productores primarios (plantas y algas) prosperan con el aumento del CO₂ (Nagelkerken *et al.*, 2017). El pequeño pez triple-aleta es uno de los consumidores primarios que prospera en estos ambientes acidificados mostrando densidades más grandes dentro que fuera de estas manchas de bajo pH (Nagelkerken *et al.*, 2017, 2021). El estudio de las diferencias en expresión génica y metabolismo entre los triple-aletas que viven dentro y fuera de estos ambientes acidificados mostró que los individuos que viven dentro, especialmente los machos, tienen un metabolismo más elevado (Nagelkerken *et al.*, 2021) y una elevada expresión génica en general y en especial para genes relacionados con la producción de energía y la homeostasis (Petit-Marty *et al.*, 2021 b). El análisis de la variación genética de estos genes expresados en mayor grado en el ambiente acidificado, mostró un incremento significativo de variantes genéticas en frecuencias intermedias, el cual puede ser explicado por selección balanceadora actuando sobre elementos reguladores de la expresión de estos genes (Figura 4). Por lo tanto, es posible que los triple-aleta de White Island hayan encontrado una manera de adaptarse para poder vivir en los dos ambientes y prosperar dentro del ambiente acidificado donde la disponibilidad de recursos es mayor.

Los dos casos de estudio descritos anteriormente muestran evidencias de que especies marinas no explotadas poseen variación genética potencialmente adaptativa a los cambios en el ambiente (Brennan *et al.*, 2019, Petit-Marty *et al.*, 2021b). Sin embargo, el grado en que esta variación genética ha sido erosionada por el cambio global y en especial por la explotación de las especies es aún desconocido.

Evidencias de pérdida de diversidad genética por explotación de especies marinas

La pérdida de diversidad genética por explotación ha sido estudiada especialmente en peces utilizando diferentes marcadores genéticos o genómicos. Pinsky & Palumbi (2014) realizaron un meta-análisis comparando diferentes estimas de diversidad genética basadas en microsatélites entre grupos de especies de peces explotados y no explotados, encontrando que las especies explotadas han experimentado en promedio

alrededor de un 12% de reducción en los niveles de variabilidad genética cuando se comparan con especies de peces no explotadas.

Otro meta-análisis de datos genéticos de especies explotadas, evaluó los índices de diferenciación genética entre poblaciones de especies de peces con respecto a su valor comercial (Gandra *et al.*, 2020), mostrando una correlación significativa y negativa entre el valor comercial y el nivel de diferenciación genética entre las poblaciones. Esta correlación puede ser explicada por los efectos de la pesca causando reducciones de los tamaños poblacionales y erosionando la diversidad genética de las poblaciones. Sin embargo, los autores también proponen como explicación alternativa: que muchas poblaciones de peces sobreexplotadas han sufrido extinciones locales que han pasado desapercibidas ya que han sido reemplazadas por poblaciones vecinas, perdiéndose de esta manera las particularidades genéticas diferenciales de las diferentes poblaciones.

Los niveles de diversidad genética en el gen mitocondrial

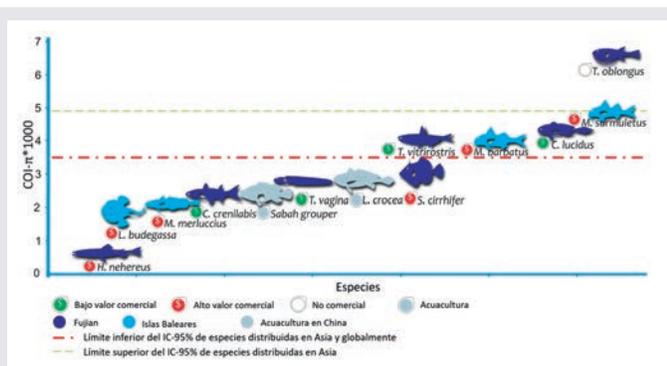


Figura 5. Niveles de diversidad genética en el gen mitocondrial COI en peces colectados con redes fijas en el Mar de la China del Este (Fujian, azul intenso) y su relación con la importancia comercial de los mismos. La línea roja muestra el límite inferior del Intervalo de Confianza al 95% (IC-95%) de la distribución de los valores de diversidad genética en el COI, obtenidos para 1425 especies de peces óseos, el cual coincide con el obtenido para un subconjunto de 118 especies de peces con distribución en el Mar de la China del Este, mientras que la línea verde representa el límite superior del IC-95% para este subconjunto. Dos especies producidas en granjas (en gris) y cuatro especies con historias de explotación y dinámicas poblacionales conocidas, provenientes de las Islas Baleares (azul-turquesa) fueron adicionadas al análisis con fines comparativos. La especie con menor diversidad genética, el pez pato de Bombay, *Harpodon nehereus*, es la especie con mayores evidencias de ser sobreexplotado en todo su rango de distribución; mientras que el pez presentando mayor diversidad genética es un pez globo, *Takifugu oblongus*, el cual es venenoso y no apto para el consumo humano. Las dos especies provenientes de acuicultura: *Larimichthys crocea*; y el mero híbrido Sabah grouper: (*Epinephelus fuscoguttatus* x *E. anceolatus*), mostraron niveles de diversidad genética por debajo del límite inferior del IC-95%, lo cual es esperado para especies que han experimentado un cuello de botella en granjas. Por último, las 4 especies con historias demográficas y de explotación conocidas de las Islas Baleares, mostraron diferencias en los niveles de diversidad genética esperados por las diferencias en tiempo generacional e historia de explotación. Figura adaptada de Petit-Marty *et al.* 2022.

de la subunidad I de la enzima Citocromo Oxidasa (COI) para especies de peces habitando uno de los mares más explotados del mundo, el mar de la China del Este, fueron analizados en Petit-Marty *et al.*, 2022. La elección de este gen se basó en un estudio previo en el cual se encontró que la diversidad genética del COI es significativamente menor en peces con evidencias de estar amenazados de extinción (categorías VU, EN y CR en UICN “Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza”) (Petit-Marty *et al.* 2021a). Los niveles de diversidad genética de las especies evaluadas se contrastaron con la distribución de los niveles de diversidad genética de un grupo de más de 1400 especies de peces óseos distribuidos alrededor del mundo, y seis especies con historias demográficas conocidas. Los resultados indicaron que los niveles de diversidad genética en COI coinciden con las expectativas y predicciones teóricas basadas en la importancia comercial, las características biológicas de las especies y las evaluaciones de stocks pesqueros de especies explotadas por largos períodos (Figura 5). Por lo que, dado el bajo coste económico de obtener estimas de diversidad genética en el COI, se ha propuesto su uso sistemático para una primera evaluación del estado de conservación de especies explotadas (Petit-Marty *et al.*, 2022).

Recientemente, Ferragut-Perelló y colaboradores (2023), usaron los niveles de diversidad genética en el COI para evaluar el estado de conservación de una especie de pez cartilaginoso de amplia distribución, la raya común, *Raja clavata*, en el Mediterráneo. Los resultados mostraron una estrecha asociación entre la historia de explotación de la especie y los niveles de diversidad genética en COI. Especialmente los bajos niveles de diversidad genética en las Islas Baleares se pudieron asociar a eventos conocidos de reducción de la población por sobreexplotación alrededor de los años setenta.

Aislando el efecto de la explotación sobre los niveles de diversidad genética de otros factores que también la afectan

Diferentes factores relacionados con las características biológicas de las especies influyen en los niveles de diversidad genética observados en diferentes especies marinas. Entre estos factores se destacan el tiempo generacional y la historia evolutiva de la especie, el tipo de reproducción y la variabilidad en el éxito reproductivo, y la conectividad entre las poblaciones de una especie o tasa de migración (Petit-Marty *et al.*, 2022). Todos estos factores determinan lo que se conoce como tamaño efectivo histórico de las poblaciones, el cual puede ser definido en términos prácticos como el número de individuos que contribuyen genéticamente a la siguiente generación. Dado la gran diversidad de especies marinas explotadas es fundamental entender las expectativas teóricas determinadas por estas diferentes características biológicas cuando se quiere evaluar el efecto de la explotación sobre la diversidad genética de las mismas.

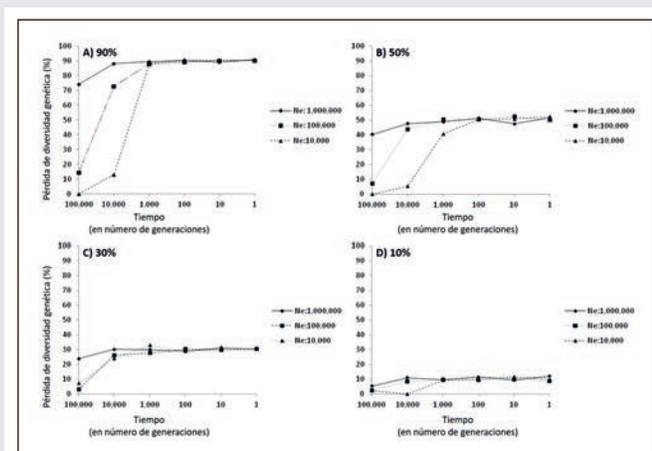


Figura 6. Simulaciones mostrando el efecto de las reducciones en los tamaños poblacionales sobre la pérdida de diversidad genética. En las simulaciones se consideraron tres tamaños efectivos de las poblaciones, Ne: 1 millón, 100 mil y 10 mil y cuatro grados de reducción de las poblaciones: A) 90%, B) 50%, C) 30%, y D) 10%; y las poblaciones se consideraron aisladas. Las reducciones del tamaño poblacional se produjeron una sola vez, simulando un evento de sobreexplotación y no se permitió la expansión de las poblaciones, simulando la explotación continuada. En el eje X se representa el tiempo, en número de generaciones atrás, en el que se produjo la reducción poblacional, o sobreexplotación. De esta manera, se puede observar que la pérdida de diversidad genética es indetectable cuando el evento de sobreexplotación se produjo antes de Ne generaciones atrás, el cual es el tiempo que la población necesita para recuperar su equilibrio.

I. TIEMPO GENERACIONAL

El tiempo generacional de una especie es de gran relevancia en la evaluación de la pérdida de diversidad genética de especies explotadas. Esto se debe a que de acuerdo a las predicciones de la teoría neutra de la evolución molecular (Kimura, 1983) el tiempo que una población tarda en recuperar la diversidad genética perdida, o el equilibrio, después de una reducción en el tamaño de las poblaciones es directamente proporcional a su tamaño efectivo y al tiempo que cada especie tarda en producir una nueva generación de individuos reproductivos (Figura 6). De esta manera, el efecto de un evento de reducción del tamaño de las poblaciones histórico, como podría ser el producido por la última glaciación hace más de 12.000 años atrás, todavía podría verse reflejado en especies con tiempos generacionales largos, y tamaños efectivos grandes.

En el estudio de Petit-Marty *et al.*, 2022, las cuatro especies provenientes del mar Mediterráneo, las cuales muy probablemente han experimentado los mismos procesos históricos, presentaron diferentes niveles de diversidad genética en el COI diferentes. Las dos especies con tiempos generacionales largos (mayores de 10 años), la merluza (*Merluccius merluccius*) y el rape (*Lophius budegassa*), mostraron niveles de

diversidad genética más bajos que las dos especies de salmónetes (*Mullus barbatus* y *Mullus surmuletus*) con tiempos generacionales cortos (~2 años). De esta manera, los niveles de diversidad genética bajos en la merluza y el rape podrían deberse a eventos de sobreexplotación, pero como los tamaños poblacionales efectivos históricos de estas dos especies son desconocidos, los efectos de eventos históricos como la última glaciación no pueden ser descartados como explicativos de la baja diversidad genética. Por lo tanto, la estimación de los tamaños efectivos históricos de las poblaciones de especies explotadas con tiempos generacionales largos es indispensable para la evaluación del efecto de la explotación en la pérdida de diversidad genética, y los tiempos necesarios para que las poblaciones recuperen su equilibrio genético.

II. TIPO DE REPRODUCCIÓN Y VARIABILIDAD EN EL ÉXITO REPRODUCTIVO

Aunque las especies marinas presentan diferentes tipos de reproducción y cuidado parental, la gran mayoría de especies explotadas tienen fecundación externa y larvas pelágicas; por lo que el éxito reproductivo depende en gran medida de las condiciones ambientales en donde los nuevos individuos se desarrollan y asientan. Por ejemplo, una hembra de pez puede producir millones de huevos en cada puesta, los cuales son fecundados externamente y se desarrollan dentro de la columna de agua transportadas por las corrientes marinas. De esta manera, la supervivencia de los huevos y las larvas puede variar mucho entre un año y otro, o entre un lugar geográfico y otro (Hauser & Carvalho, 2008; Allendorf, 2008; González-Carrión & Saborido-Rey, 2022; Otero & Hidalgo, 2023). Normalmente, la supervivencia de las larvas pelágicas suele ser baja, por lo que un año malo para la reproducción podría generar una reducción natural en el tamaño de las poblaciones llevando a la pérdida natural de diversidad genética (González-Carrión & Saborido-Rey, 2022; Otero & Hidalgo, 2023). Por lo tanto, si un mal año de reproducción se acopla con un nivel alto de explotación, el resultado podría ser catastrófico para la población. De esta forma, cual es el éxito reproductivo de las poblaciones explotadas y los factores ambientales que lo afectan, es otro de los factores que se hace imprescindible conocer para asegurar la supervivencia a largo plazo de las especies marinas explotadas.

III. CONECTIVIDAD ENTRE LAS POBLACIONES O TASA DE MIGRACIÓN

Las especies marinas pueden clasificarse a grandes rasgos en especies migratorias, especies no migratorias y especies sésiles. En el estudio de Petit-Marty *et al.* 2022 se observó que las especies migratorias tienden a tener mayores niveles de diversidad genética que las especies no migratorias,

siempre y cuando los niveles de explotación no sean altos en todo el rango de distribución de las especies. Esto se debe a que generalmente las especies migratorias viajan largas distancias hasta sitios donde la reproducción se lleva a cabo produciéndose intercambio genético entre poblaciones que aumentan los niveles de diversidad genética de las mismas. Por el contrario, las especies no migratorias solo reciben nuevo material genético a través del reclutamiento de nuevas larvas que llegan con las corrientes marinas. Así, en la Figura 5 se puede observar que dos especies del Mar de la China del Este con baja importancia económica *Collichthys lucidus* y *Crenimugil crenilabis*, difieren en sus niveles de diversidad genética con la especie no migratoria *C. crenilabis* presentando valores más bajos. Similarmente, las dos especies de salmonetes del mediterráneo con tiempos generacionales cortos y parámetros de vida similares muestran una diferencia de aproximadamente un 10% en los niveles de diversidad genética (Figura 5), la cual puede ser asociada a que la especie con mayor diversidad genética, *M. surmuletus*, es una especie migratoria, mientras que *M. barbatus* no lo es (Petit-Marty *et al.*, 2022). De esta forma, la conectividad entre poblaciones de las especies explotadas se convierte en un factor clave para la manutención de la diversidad genética potencialmente adaptativa a los cambios ambientales entre poblaciones de una especie.

IV. EFECTOS INDIRECTOS DE LA EXPLOTACIÓN

La explotación de especies marinas tiene efectos que afectan no solo a las poblaciones explotadas, sino a todo el ecosistema en donde estas especies viven. Entre estos efectos indirectos se destacan la destrucción de los hábitats, la mortalidad accidental de otras especies que no son el blanco de la explotación, los cambios en la función y la estructura de los ecosistemas, y cambios genéticos dentro de las poblaciones ocasionados por la pesca selectiva (Pikitch *et al.*, 2004, Allendorf *et al.*, 2008). Los diferentes tipos de pesca pueden tener diferentes efectos sobre las poblaciones explotadas y los ecosistemas en donde viven. Así, la pesca de arrastre además de facilitar la captura de grandes volúmenes de peces, destruye gran parte de los fondos marinos incluyendo las poblaciones de productores primarios formadores de hábitats como las algas, plantas y corales. (Pikitch *et al.*, 2004). En general, cualquier tipo de pesca puede crear desequilibrios en los ecosistemas potencialmente llevándolos al colapso y la extirpación de las especies que lo habitan. Por ejemplo, la explotación de peces predadores de consumidores primarios, puede llevar a niveles altos de pastoreo que destruyen los bosques de algas, lo que tiene implicaciones en cascada para todas las demás especies que dependen de la productividad y el hábitat proporcionado por las algas (Tegner *et al.*, 2000). Por último, diferentes tipos de pesca selectiva, como por ejemplo por tallas, ejercen presiones

selectivas sobre las poblaciones potencialmente cambiando su estructura genética (Allendorf *et al.*, 2008). De esta forma, las especies explotadas podrían estar experimentando reducciones de sus poblaciones y potencial pérdida de diversidad genética, no solo por la explotación directa, sino que también por diferentes efectos indirectos de la pesca. Por lo tanto, la evaluación del estado de los ecosistemas en donde la pesca industrial se lleva a cabo, es otra de las tareas urgentemente necesarias para alcanzar el objetivo de explotación de recursos marinos sostenible a largo plazo.

El reto: pesquerías sostenibles a largo plazo en un ambiente cambiante

La ciencia de pesquerías implementa una compleja serie de modelos y estadísticos que son obtenidos a partir de datos aportados por científicos y de datos obtenidos por las autoridades reguladoras de la pesca comercial (Bradley *et al.*, 2019). Estos datos sirven para conocer si la abundancia de las especies explotadas está disminuyendo y las probabilidades de subsistencia a largo plazo. Sin embargo, las evidencias de los efectos indirectos que la pesca industrial está produciendo sobre los ecosistemas marinos (Pikitch *et al.*, 2004; Allendorf *et al.*, 2008) combinado a los cambios producidos en las condiciones ambientales, elevan la complejidad de los datos que necesitan ser colectados para garantizar una explotación sostenible a largo plazo permitiendo la adaptación de las especies a las nuevas condiciones.

Los datos genéticos de las poblaciones de especies explotadas han sido poco considerados dentro de la gestión de pesquerías. Sin embargo, como se ha comentado previamente en este artículo, actualmente, estos datos resultan imprescindibles para garantizar la sostenibilidad de los recursos marinos a largo plazo. Por ejemplo, en el artículo de Ferragut-Perelló y colaboradores (2023), los datos de variabilidad genética aclaran cualitativamente la interpretación de los índices de sostenibilidad tradicionales usados en pesquerías, ayudando así a tomar mejores decisiones sobre la gestión de la explotación de la especie. Esto es porque los datos de abundancia de las poblaciones explotadas, no parecen ser buenos predictores del tamaño efectivo histórico de las poblaciones. Hauser y Carvalho (2008) recopilaron información sobre la relación entre abundancia y tamaño efectivo de poblaciones de peces explotadas, encontrando que ésta varía ampliamente entre poblaciones de una misma especie y entre especies explotadas. En general, el tamaño efectivo de las poblaciones de peces explotados es entre 2 y 6 órdenes de magnitud menor que la abundancia, lo cual contrasta con la relación de un orden de magnitud encontrada en ciencias de conservación aplicada a poblaciones terrestres (Frankham, 1995). Estos bajos tamaños efectivos de las poblaciones en relación a la abundancia de las mismas, podrían tener un gran impacto en la capacidad adaptativa de las especies cuando las poblaciones son explotadas sin monitorizar los cambios en los niveles de variabilidad

genética de las mismas. En último término, las poblaciones podrían incrementar su nivel de consanguinidad perdiendo eficacia biológica, lo cual incrementaría grandemente sus probabilidades de extinción (Frankham, 1995). Aunque en general se considera que las altas abundancias de las especies marinas explotadas impedirían los efectos nocivos de la consanguinidad (Hauser y Carvalho, 2008), algunas observaciones y estudios indican que esta idea no es totalmente descabellada (Fitzpatrick & Reid, 2019; Stanhope *et al.*, 2023). Un caso de una especie marina con evidencias de índices de consanguinidad altos y bajos niveles de diversidad genética que actualmente está en peligro crítico de extinción es la nacra, *Pinna nobilis*, el cual se detalla en el Cuadro 1.

La gran complejidad de los factores que están actualmente afectando la vida en el mar, resalta la urgente necesidad de estudiar y monitorizar los ecosistemas marinos holísticamente utilizando tecnologías que nos permitan predecir con mayores niveles de certeza su evolución y persistencia a largo plazo. Con respecto a esto, en el departamento de Ecología de Pesquerías del Instituto de Investigaciones Mariñas del CSIC en Vigo, además de continuar con los monitoreo, y los estudios de las dinámicas y estructuras poblacionales de las especies explotadas, se están desarrollando también diferentes proyectos basado en nuevas tecnologías. El proyecto FISHADAPT, cofinanciado por las acciones Marie Skłodowska-Curie de la Unión Europea (MSCA-PF FishAdapt <https://cordis.europa.eu/project/id/101066785>) tiene como objetivo principal evaluar el potencial adaptativo de especies de peces explotadas a los cambios en las condiciones ambientales, utilizando nuevas tecnologías de secuenciación del ADN. Mientras que otros proyectos está sentando las bases para el futuro empleo de técnicas de ADN ambiental en el monitoreo de ecosistemas marinos vulnerables a los efectos de la pesca, y la monitorización sistemática de los niveles de diversidad genética de especies explotadas.

CONCLUSIONES

El reto de conseguir una explotación de los recursos marinos sostenible a largo plazo necesita urgentemente de datos que indiquen en qué medida el potencial de adaptación de las especies explotadas ha sido erosionado. Tres parámetros biológicos que necesitan especial atención a este respecto son: 1) el tiempo generacional y el tamaño efectivo histórico de las especies explotadas; 2) el éxito reproductivo y la variabilidad de este debida a cambios en el ambiente, y 3) el nivel de flujo de las variantes genética potencialmente adaptativas a cambios en el ambiente entre las poblaciones explotadas de una especie. La evaluación holística del estado de conservación de las especies marinas explotadas, considerando su estado de salud genética y la vulnerabilidad al colapso de los ecosistemas que habitan, es urgentemente necesaria para garantizar la sostenibilidad de los recursos alimenticios provenientes del mar.

Cuadro 1. Extinción de poblaciones locales de nacras en el Mediterráneo

El caso de la nacra, *Pinna nobilis* es un ejemplo cercano de alta probabilidad de extinción de una especie emblemática del mar Mediterráneo, que ilustra cómo cambios en el medioambiente pueden definir el destino de una especie en un corto período de tiempo. La nacra es una especie de bivalvo gigante endémica del mar Mediterráneo que puede vivir hasta 40 años y medir hasta 120 cm (Figura 7).

La nacra fue explotada durante un largo período de tiempo para la producción de seda de mar de su biso (filamentos sedosos que utiliza para adherirse al fondo del mar), la cual ya se menciona en la Piedra Rosetta (año 196 a.C.), mientras que la concha, perlas y el nacar se usaban para hacer objetos decorativos, y en menor medida su carne se utilizaba en gastronomía. En la década de los '90 se detectaron reducciones en los tamaños poblacionales de las nacras y en la distribución de su principal hábitat, las praderas marinas de *Posidonia oceánica*, por lo que el año 1992 fue protegida por la Unión Europea (European Council Directive 92/43/EEC and ANNEX II of the SP/BD Protocol of the Barcelona Convention), prohibiéndose su recolección. Luego de su protección las poblaciones comenzaron a prosperar dentro de las áreas marinas protegidas, aunque algunas evidencias indicaban que la evolución de las poblaciones no era tan buena fuera de ellas (Kersting *et al.*, 2019). A finales del año 2016 apareció en el mar Mediterráneo un nuevo protozoo parasito del grupo de los haplosporidios, de origen desconocido que infecta el sistema digestivo de las nacras impidiéndoles comer, lo que llevo a un evento de mortalidad masiva nunca antes visto para la especie. El parásito se dispersó rápidamente por el Mediterráneo y para fines del 2018, la especie ya se consideraba en peligro crítico de extinción, con la mayoría de las poblaciones centrales de su distribución desaparecidas (Kersting *et al.*, 2019). Poco se ha



Figura 7. Imagen de una nacra, *Pinna nobilis*, en una pradera de *Posidonia oceánica*. Créditos de foto: Arnaud Abadie, CC BY 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0>, via Wikimedia).

discutido sobre el impacto que la explotación de la especie previa a su protección pudo tener en el estado actual de la especie. Sin embargo, diferentes estudios genéticos mostraban índices de consanguinidad significativamente elevados dentro de las poblaciones de nacras antes del evento de mortalidad masiva (Wesselmann *et al.*, 2018; Peyran *et al.*, 2021). Estos resultados fueron interpretados de diferentes maneras, ya que las poblaciones de la especie eran abundantes con censos estimados en cientos de miles a millones por lo que la hipótesis de consanguinidad fue rechazada. No obstante, Petit-Marty *et al.* (2021a) encontró que los niveles de diversidad genética en el gen mitocondrial COI de las diferentes poblaciones de nacras eran significativamente más bajos que los encontrados en especies de bivalvos sin evidencias de amenazas de extinción. De manera que, al menos dos líneas de evidencia indican que la diversidad genética de las nacras podría haber estado reducida antes de que apareciera el parásito que produjo la extinción de la mayoría de sus poblaciones. Actualmente, en España solo quedan sobrevivientes de nacras en la laguna del Mar Menor, y en el estuario del Delta del Ebro, dos hábitats que poco tienen que ver con el principal hábitat de la especie y donde el parásito no prospera. Estudios de los grupos de nacras sobrevivientes en estos dos hábitats periféricos muestran pocas esperanzas de recuperación ya que el número de individuos nuevos detectados desde la extinción de las poblaciones centrales ha sido muy bajo o nulo (Kersting *et al.*, 2020). Estas observaciones indican una tasa reproductiva baja o nula de los individuos sobrevivientes, probablemente debido a que las condiciones ambientales de estos hábitats periféricos no son las óptimas para la especie. Dado que la especie naturalmente tiene una tasa de crecimiento poblacional lenta, con tiempos generacionales largos, la recuperación natural de las poblaciones centrales de la especie parece imposible a corto y mediano plazo. De esta manera, la extinción de la nacra en la naturaleza podría ser inminente y la supervivencia de la especie dependería de su potencial cría en cautiverio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Allendorf, F. W.; England, P. R.; Luikart, G.; Ritchie, P. A., & Ryman, N. (2008). Genetic effects of harvest on wild animal populations. *Trends in ecology & evolution*, 23(6), 327-337.
2. Bernatchez, L. (2016). On the maintenance of genetic variation and adaptation to environmental change: considerations from population genomics in fishes. *Journal of Fish Biology*, 89.6: 2519-2556.
3. Bradley, D.; Merrifield, M.; Miller, K. M.; Lomonico, S.; Wilson, J. R., & Gleason, M. G. (2019). Opportunities to improve fisheries management through innovative technology and advanced data systems. *Fish and Fisheries*, 20(3), 564-583.
4. Brennan, R. S.; Garrett, A. D.; Huber, K. E.; Hargarten, H., & Pespeni, M. H. (2019). Rare genetic variation and balanced polymorphisms are important for survival in global change conditions. *Proceedings of the Royal Society B*, 286 (1904), 20190943.
5. Ceballos, G.; Ehrlich P. R., & Dirzo R. (2017). Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114.30 (2017): E6089-E6096.
6. Charlesworth, D. (2006). Balancing selection and its effects on sequences in nearby genome regions. *PLoS genetics*, 2(4), e64.
7. FAO (2020). "The State of World Fisheries and Aquaculture 2020", in Sustainability in Action (Rome). Available at: <https://www.fao.org/documents/card/es/c/ca9229en>
8. Ferragut-Perello, F.; Ramírez-Amaro, S.; Tsikliras, A. C.; Petit-Marty, N.; Dimarchopoulou, D.; Massutí, E., ... & Ordines, F. (2023). Exploitation and Conservation Status of the Thornback Ray (*Raja clavata*) in the Balearic Islands (Western Mediterranean). *Fishes*, 8(2), 117.
9. Fitzpatrick, S. W., & Reid, B. N. (2019). Does gene flow aggravate or alleviate maladaptation to environmental stress in small populations? *Evolutionary Applications*, 12(7), 1402-1416.
10. Frankham, R. (1995). Effective population size/adult population size ratios in wildlife: a review. *Genetics Research*, 66(2), 95-107.
11. Gandra, M.; Assis, J.; Martins, M. R., & Abecasis, D. (2021). Reduced global genetic differentiation of exploited marine fish species. *Molecular biology and evolution*, 38(4), 1402-1412.
12. González-Carrión, F., & Saborido-Rey, F. (2022). Influence of maternal effects and temperature on fecundity of *Sebastes fasciatus* on the Flemish Cap. *Scientia Marina*, 86(4), e050-e050
13. Hauser, L., & Carvalho, G. R. (2008). Paradigm shifts in marine fisheries genetics: ugly hypotheses slain by beautiful facts. *Fish and Fisheries*, 9(4), 333-362.
14. Hedrick, P. W. (2007). Balancing selection. *Current Biology*, 17(7), R230-R231.
15. Hoffmann, A. A., & Sgrò, C. M. (2011). Climate change and evolutionary adaptation. *Nature*, 470 (7335), 479-485.
16. Kersting, D.; Benabdi, M.; Čížmek, H.; Grau, A.; Jimenez, C.; Katsanevakis, S.; ... Otero Villanueva, M. (2019). *Pinna nobilis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: E.T160075998A160081499. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T160075998A160081499.en>.
17. Kersting, D. K.; Vázquez-Luis, M.; Mourre, B.; Belkhamssa, F. Z.; Álvarez, E.; Bakran-Petricolić, T., ... & Hendriks, I. E. (2020). Recruitment disruption and the role of unaffected populations for potential recovery after the *Pinna nobilis* mass mortality event. *Frontiers in Marine Science*, 882.
18. Kimura, M. (1983). *The neutral theory of molecular evolution*. Cambridge University Press.
19. Levene, H. (1953). Genetic equilibrium when more than one ecological niche is available. *The American Naturalist*, 87(836), 331-333.
20. Mace, G. M.; Collar, N. J.; Gaston, K. J.; Hilton-Taylor, C. R. A. I. G.; Akçakaya, H. R., Leader-Williams, N. I. G. E. L., ... & Stuart, S. N. (2008). Quantification of extinction risk: IUCN's system for classifying threatened species. *Conservation biology*, 22(6), 1424-1442.
21. Merilä, J., & Hendry, A. P. (2014). Climate change, adaptation, and phenotypic plasticity: the problem and the evidence. *Evolutionary applications*, 7(1), 1-14.
22. Nagelkerken, I.; Goldenberg, S. U.; Ferreira, C. M.; Russell, B. D., & Connell, S. D. (2017). Species interactions drive fish biodiversity loss in a high-CO₂ world. *Current Biology*, 27(14), 2177-2184.
23. Nagelkerken, I.; Alemany, T.; Anquetin, J. M.; Ferreira, C. M.; Ludwig, K. E.; Sasaki, M., & Connell, S. D. (2021). Ocean acidification boosts reproduction in fish via indirect effects. *PLoS Biology*, 19(1), e3001033.
24. Ohta, T. (1992). The nearly neutral theory of molecular evolution. *Annual review of ecology and systematics*, 23(1), 263-286.
25. Otero, J., & Hidalgo, M. (2023). Life-history traits and environment shape small pelagic fish demography and responses to fishing and climate across European Atlantic seas. *ICES Journal of Marine Science*, tsad072.
26. Orr, H. A. (2009). Fitness and its role in evolutionary genetics. *Nature Reviews Genetics*, 10(8), 531-539.
27. Palumbi, S. R.; Evans, T. G.; Pespeni, M. H., & Somero, G. N. (2019). Present and future adaptation of marine species assemblages. *Oceanography*, 32(3), 82-93.
28. Petit-Marty, N.; Vázquez-Luis, M., & Hendriks, I. E. (2021a). Use of the nucleotide diversity in COI mitochondrial gene as an early diagnostic of conservation status of animal species. *Conservation Letters*, 14(1), e12756.
29. Petit-Marty, N.; Nagelkerken, I.; Connell, S. D., & Schunter, C. (2021b). Natural CO₂ seeps reveal adaptive potential to ocean acidification in fish. *Evolutionary Applications*, 14(7), 1794-1806.
30. Petit-Marty, N.; Liu, M.; Tan, I.Z.; Chung, A.; Terrasa, B.; Guijarro, B.; Ordines, F.; Ramírez-Amaro, S.; Massutí, E., and Schunter, C. (2022). Declining population sizes and loss of genetic diversity in commercial fishes: a simple method for a first diagnostic. *Frontiers in Marine Science*, 9, p.752.
31. Peyran, C.; Boissin, E.; Morage, T.; Nebot-Colomer, E.; Iwankow, G., & Planes, S. (2021). Genetic homogeneity of the critically endangered fan mussel, *Pinna nobilis*, throughout lagoons of the Gulf of Lion (North-Western Mediterranean Sea). *Scientific Reports*, 11(1), 7805.
32. Pikitch, E. K.; Santora, C.; Babcock, E. A.; Bakun, A.; Bonfil, R.; Conover, D. O., ... & Sainsbury, K. J. (2004). Ecosystem-based fishery management. *Science*, 305(5682), 346-347.
33. Pinsky, M. L., & Palumbi, S. R. (2014). Meta-analysis reveals lower genetic diversity in overfished populations. *Molecular ecology*, 23(1), 29-39.
34. Pritchard, J. K., & Di Rienzo, A. (2010). Adaptation-not by sweeps alone. *Nature Reviews Genetics*, 11(10), 665-667.
35. Stanhope, M. J.; Ceres, K. M.; Sun, Q.; Wang, M.; Zehr, J. D.; Marra, N. J., ... & Shivji, M. S. (2023). Genomes of endangered great hammerhead and shortfin mako sharks reveal historic population declines and high levels of inbreeding in great hammerhead. *Iscience*, 26(1), 105815.
36. Tegner, M. J., & Dayton, P. K. (2000). Ecosystem effects of fishing in kelp forest communities. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3), 579-589.
37. Wesselmann, M.; González-Wangüemert, M.; Serrão, E. A.; Engelen, A. H.; Renault, L.; García-March, J. R., ... & Hendriks, I. E. (2018). Genetic and oceanographic tools reveal high population connectivity and diversity in the endangered pen shell *Pinna nobilis*. *Scientific reports*, 8(1), 4770.

EL SIGNIFICADO DE CARMEN

EN DERECHO ROMANO

Ana Vázquez Lemos

Doctora en Derecho Romano por la Universidad de Vigo.
Abogada en Balms Abogados S.L.P.

1. RESUMEN

La difamación y los atentados contra la reputación y el buen nombre de una persona han sido cuestiones que han preocupado a la sociedad desde tiempos inmemoriales. Si bien es cierto, a lo largo del presente texto, veremos cómo la concepción de la difamación o de la injuria fue variando a lo largo de las épocas, pasando de una concepción primitiva basada en la superstición a otra quizás más espiritual, cimentada en el daño al honor de la persona.

Palabras Clave: *Malum carmen, carmina, iniuria, difamación.*

2. INTRODUCCIÓN

Magia y Derecho en el mundo romano

En la etapa más arcaica de la historia de Roma, la magia desempeñaba un papel fundamental tanto para la vida pública como para la vida privada. Tal era la creencia de los romanos en la magia, que se hizo necesaria su regulación jurídica para establecer límites de lo que se consideraba lícito o no.

Para definir lo que se entendía por magia en el mundo romano debemos retrotraernos precisamente



Augur observando el vuelo de un ave.

a estos tiempos pretéritos cuando se conectó directamente el término con la actividad lucrativa de los magos de Persia, con el milagro, la profecía y la adivinación, incluso con la medicina y la astrología, dejando al margen la alquimia, que sí era considerada una verdadera ciencia.

Ortiz García¹ señala que tanto en el *malum carmen incantare* como en otros delitos de la misma naturaleza recogidos en la Ley de las Doce Tablas, se combinaban de forma estrecha e indisoluble Magia y Derecho.

Podemos considerar, que existía una distinción clara entre la magia oficial, llevada a cabo por los augures y los arúspices, que consistía fundamentalmente en el arte de la adivinación y la magia prohibida en la que un particular invocaba los poderes de la naturaleza para conseguir de forma directa que sus propósitos se cumplieran. Es efectivamente, este tipo de magia la que tenía una reputación nefasta entre los romanos, de ahí que pasara a regularse de forma oficial estableciendo castigos y límites, como veremos, a través de las Doce Tablas.

Así, uno de los primeros testimonios de lo que debía entenderse por magia lo encontramos en Cicerón en *Divinitin* 1,16, *genus sapientium et doctorum in persis*².

Apunta también Catulo en, *Carmina* 90 que *Nascatur magus ex gelli matrisque ne fando. Coniugio et discat persicum aruspicium nave magus ex matre et gnato oportet si verast persarunt impia religio gnatus ut accepto veneretur carmine divos omentum inflama pingue liquifaciens*³.

¹ Ortiz García, C. *Malum Carmen incantare*, en "Derecho Penal Romano" (Coord. Camacho de los Ríos, F.; Calzada González, M. A. "Fundamentos Romanísticos del Derecho contemporáneo", BOE, Madrid, 2005, pág. 431.

² Trad: Cicerón *Divinitin* 1,16: *el genio de los sabios y doctores en Persia.*

³ Trad. González Galicia, R. *Catuli Carmina*, Biblioteca Babab, Madrid, 2002, pág.56, XC: *que nazca un mago de la nefanda unión de Gelio y su madre y aprenda el arte adivinatoria persa: pues es forzoso que se engendre un mago de una madre y su hijo, si es verdad la sacrílega religión de los persas, para que ese hijo venere a los dioses con plegarias rituales mientras derrite en las llamas un grasiento redaño.*

En este fragmento se pone en evidencia que el objetivo del autor era tanto manifestar su profundo desagrado con respecto a la magia y a la religión persa como deshonrar a Gelio. No obstante, la magia a la que hace referencia Catulo debemos interpretarla en el sentido de magia no permitida, que implicaba la utilización de conjuros y hechicería para causar un mal.

Otros autores como Mommsen⁴ afirman que la adivinación era otra forma de magia que implicaba la predicción de eventos futuros, que hasta cierto punto estaba permitida en Roma. Al iniciar algún acontecimiento público importante, asambleas o elecciones los Augures interpretaban y observaban los fenómenos de la naturaleza como señales del cielo, gritos y vuelos de las aves o sucesos imprevistos extraordinarios, que eran considerados de mal augurio.

Los arúspices⁵ al utilizar la necromancia para estos mismos fines, tenían menor aceptación social que los augures.

Por otro lado, afirma Ortiz García⁶, que lo que convertía a un determinado tipo de acción en magia era la clase de poder que invocaba. Si se basaba en la fuerza divina o en el poder de la naturaleza, la acción no era mágica, pero si se utilizaba lo que se entendía como ayuda demoniaca o los poderes ocultos de la naturaleza, tal acción, sí podía entrar dentro del calificativo de magia.

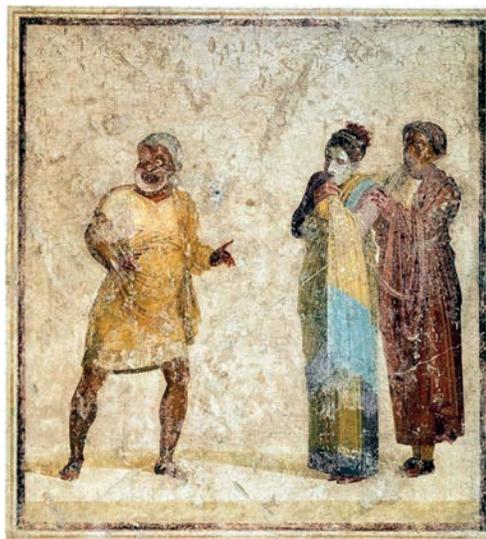
En definitiva, la magia podía llegar a tener una pésima consideración para los romanos, sobre todo si se utilizaba para hacer daño a otro. En tiempos arcaicos, la superstición jugaba un papel fundamental en todos los aspectos de la vida, esto explicaría la necesidad de regular o de protegerse de alguna forma frente a los cánticos que pretendían causar un mal llegando a recoger supuestos de hecho concretos en la Ley de las Doce Tablas, tal y como veremos a continuación.

3. DESARROLLO

La Ley de las Doce Tablas:

Malum carmen y carmen famosum

La fecha de publicación de la ley de las Doce Tablas es un tema ampliamente controvertido, pero como regla general suele aceptarse que fue publicada en torno a los años 450-451 a.C.



Escena de una comedia de Plauto. Pintura en el atrio de la casa de Publio Servilio Casca (Pompeya).

Independientemente de esta cuestión, señala Escutia Romero que la represión de la difamación durante esta etapa de la historia del Derecho Romano, estaría incluida en una norma que prohíbe los “encantamientos mágicos”, los denominados *mali carmina* de la Tab 8.1 a) y en la Tab. 8.1 b) dedicada a los *carmen famosum* que se castigarían con la pena capital, además de las palabras mágicas o encantadoras.

Sobre la Tabla 8.1 a) donde se recoge si *qui fruges excantassit*⁸, hay que recordar que *fruges* deriva de *fruo*, que significaba disfrutar o regocijarse. *Ex* unido a *cantare* completaba la acción y tenía el mismo significado que *exclamare*.

De esta forma, lo que se está describiendo es extraer con cantos (*carmina*), o lo que es lo mismo, obtener alguna cosa de forma ilícita, a través de un encantamiento, como los rendimientos del trabajo o del esfuerzo de otra persona en beneficio de aquél que contrataba los servicios de un hechicero para que entonase el conjuro adecuado a la situación⁹.

En definitiva, la conducta sancionada en este pasaje de las Doce Tablas, 8.1 a) era aquella destinada a obtener los frutos ajenos (*transferre fructus*). Esto habría que ponerlo en relación

⁴ Mommsen, T.; Marquart, J. (Trad: Duquesne, J.). Manuel des antiquités romaines, le droit penal romain. Paris, 1907, pág. 190.

⁵ Los arúspices eran adivinos de la antigua Roma, que siguiendo los antiquísimos ritos de los etruscos, eran capaces de ver el futuro examinando las entrañas de animales sacrificados, siendo objeto de especial atención, el hígado, dominaban la haruspicina, ciencia que interpretaba tres tipos de fenómenos, extra, monstra y fulgura. Los augures se dedicaban a la interpretación del augurium y elauspicium.

⁶ Ortiz García, C.; Malum Carmen (...). Op.cit.; 434.

⁷ Escutia Romero, R. Régimen jurídico de la difamación escrita en el Derecho Romano. Universidad Complutense de Madrid, 2008, pág. 11.

⁸ Trad: Mojer, A.; Tabla 8.1 a) El que con encantamientos eche a perder las cosechas, o las traslade de un campo a otro (sic...).

⁹ Algunos autores como García Rascón, C., y García González, J. M. En Ley XII Tablas, Tecnos, Madrid, 1993, pág. 21 plantean que la primera parte de la Tabla 8, se puede interpretar como represión de los actos de encantamiento tendentes a atraer el mal a una persona o como prohibición de libelos infamantes o deshonrosos.

con las antiguas creencias romanas, cuando se pensaba que con encantamientos era posible pasar la cosecha a otras tierras, lo mismo que atraer o repeler las lluvias.

Más compleja parece la interpretación de la Tabla 8.1.b: *si quis occentavisset, quod in famiam faceret flagitiumve alteri*¹⁰.

La clave estaría en qué debería entenderse por *occentare*. Según Ortiz García¹¹, acogiéndonos a la tesis de Plauto *occentare* sería el equivalente de *ostium*, de este modo, la diferencia con respecto al primer pasaje de las Doce Tablas antes transcrito, vendría determinada por el objeto al que iría dirigido el hechizo.

De este modo, la Tabla 8.1 b) se referiría a la puerta de la casa, lugar considerado por la sociedad romana como sagrado por desarrollarse en su interior, los aspectos fundamentales de la vida doméstica y familiar.

Así, *ob* sería el prefijo de canto, indicando la dirección, “cerca de” o “delante de” mientras que *occentare* u *obccentare* se traduciría por cantar. Este término también podría tener un significado mágico y referirse a los cantos de pájaros de mal agüero, como por ejemplo, el de un búho.

Por lo tanto, la Tabla 8.1 b) estaría haciendo referencia a pararse delante de una casa y cantar, lo que lleva a plantear que tipo de cantos serían estos, ¿tendrían connotaciones infamatorias *per se* o se trataría de encantamientos en sentido estricto?

En este sentido, hay un pasaje muy interesante de una comedia de Plauto, *Curculio* o el Gorgojo, que en *Curc. 145* muestra un ejemplo de *occentatio*.

El argumento se centra en el caso de *Phaedromus*, que enamorado de la cortesana Planesia, decide seguir los consejos de su esclavo e intentar ganarse el afecto de la su guardiana Leona. Tras un frustrado primer intento en *Curc. 145, 2* le pregunta *qui si adeam ad fores atque occentem*¹²?

El objetivo del *Phaedromus* se consigue acercándose a la puerta de noche, cargado de regalos y entonando una canción mágica para enamorarla.

*Pessuli, heus pessuli vos saluto lubenus, vos amo, vos loco, vos peto atque opsecho, querile amanti mihi morem amoenisumi, sussive, opsecro et mittite*¹³.

Cuando termina el canto, se abre la puerta y el protagonista consigue su objetivo convencido de que se debió a la *occentatio*.

Más significativa es otra comedia de Plauto, el *Persa*, 568, *at enim illa noctu occentabunt ostium, exurent fores, proin te tibi iubeas concludi aedis floribus fores, proin te tibi iubeas concludi aedis foribus ferreis, ferread aedis commutes, limina indas ferrea, ferream seram atque anellum, ne sis ferro parserit; ferreas tute tibi impigni iubem crassas compedis*¹⁴.

Aquí el verbo *occentare* va más allá de una simple serenata difamatoria o de un canto injurioso. Se está ordenando poner hierro, rejas de hierro a puertas y ventanas. El daño que se pretende provocar aquí, teniendo en cuenta el carácter supersticioso de los romanos de aquella época, era un daño físico a la casa a través de un maleficio o conjuro recitado en la puerta de la misma.

Sin embargo, apunta Ortiz García¹⁵, que no se puede asegurar con rotundidad que en la época de Plauto se utilizara la palabra *occentare* con un significado mágico, de ahí la dificultad que entrañaría determinar el verdadero significado del verbo.

Realmente, consideramos que los pasajes antes transcritos de las comedias de Plauto, no son más que sátiras teatrales. Es más, las fórmulas empleadas para llevar a cabo encantamientos solían ser más sencillas como “consagro”, “entierro” o “elimino”. Lo importante del encantamiento era su finalidad, no las palabras empleadas, no eran necesarias las licencias poéticas para acabar con la cosecha de algún vecino o para deseárselo el mal a través de la puerta de su hogar.

Dice Ortega Carrillo de Albornoz¹⁶, que lo importante era la cadencia rítmica y que un encantamiento mal pronunciado o con un ritmo inapropiado no conseguiría un resultado positivo, pudiendo incluso provocar un resultado contrario al deseado.

No obstante, también hay que señalar que no todos los *carmina* tenían connotaciones negativas, es decir, algunos estaban permitidos, como los llamados *carmina auxiliares*, así por ejemplo, durante la última etapa de la República fueron las propias autoridades las que mandaron recitar determinados *carmina* a la vez que se introducía un clavo en la pared del

¹⁰ Tabla 8.1 b). Si alguno lo hubiera pronunciado, hubiese hecho un crimen o una desgracia a otro.

¹¹ Ortiz García, C. *Malum Carmen* (...). *op.cit.*; 436.

¹² Trad: Iso J. J.; Moralejo, J. L. *Plauto. Comedias*. La comedia de la Arquilla. Gorgojo. Epidico. Los dos Menecmos, el mercader, el militar fanfarrón, la comedia del fantasma, el persa. Editorial Gredos, Madrid, 1996, pág. 7. ¿Qué te parece si me acerco y le canto una serenata?

¹³ *Idem* nota 12. *Cerros, cerros, gustoso os saludo, yo os amo y os pido, a este enamorado, haced caso queridos (sic...)*.

¹⁴ Trad: Porque en esa noche, tocarán la puerta y la quemarán, por eso te mando que cierres las puertas de la casa, que cambies las puertas por puertas de hierro, pon hierro en los umbrales, una cerradura y un anillo de hierro, para que no sea perforado. Te ordeno que asegures las barras de hierro con gruesos grilletes.

¹⁵ Ortiz García, C. *Malum Carmen* (...). *op.cit.*; 439.

¹⁶ Ortega Carrillo de Albornoz, A. De los delitos y las sanciones en la Ley de las XII Tablas. *Universidad de Málaga*, 1988, pág.67.

templo de Júpiter con la finalidad de evitar enfermedades y epidemias. Este ritual se repetía todos los *idus* de septiembre.

En definitiva, no existe una opinión homogénea acerca de la definición de injuria para los más antiguos, pero ciñéndonos a las fuentes, tenemos pasajes, como por ejemplo, el de Plinio el Viejo (23-79 d.C.) que en PLIN. Nat, 28, 17: *non legum ipsarum in XII tabulis verba sunt: qui fruges excantassit, et alibi: qui malum carmen incantassit?*¹⁷, recoge las palabras de las Leyes de las Doce Tablas.

Sin embargo, analizando en más profundidad el texto de Plinio el Viejo, dice Ortíz García¹⁸ que, *carmen* eran considerado el medio por excelencia a través de cual se practicaban efectivamente los encantamientos, como hemos dicho en párrafos anteriores, pero siempre impregnado de un carácter sagrado puesto que según esta autora *carmen* deriva de *canne* y *cano*, siendo su traducción literal verso o poesía y canción, hablada o escrita.

Incantare se compone del prefijo *in*, que entre otros muchos significados se le puede atribuir el de contra y de *cantare* que indicaba dirección, finalidad y es aquí precisamente, donde se encontraría el carácter ilícito de *cantare*, aunque esta palabra derivaría de *canere*, que significaba cantar. En el ámbito estrictamente jurídico tendría una trascendencia más restringida: repetir una frase (un canto) para conseguir la finalidad que se pretendía.

El *malum carmen incantare* sería, por lo tanto, un crimen de magia, así lo definía Modestino D.48.9.13 (lib. 2, *Pandectarum*) *Ex Senatusconsulto eius legis poena damnari iubetur, qui mala sacrificia fecerit, habuerit*¹⁹, considerándose especialmente grave la conducta si la magia se había practicado al amparo de la oscuridad de la noche o con sacrificios humanos, tal y como se había establecido pocos años antes (7 a.c.).

Así, los *carmina* considerados por la Ley de las Doce tablas serían los conjuros o fórmulas mágicas, encaminados a causar un mal a alguien. Por tanto, podemos decir que las Doce Tablas no prevenían la difamación verbal, ni oral ni escrita,

sino que los *carmina* reprimidos eran las fórmulas mágicas de encantamiento pronunciadas con la finalidad de hacer daño.

En otras palabras, aun partiendo de la más rígida de las posturas, el sustantivo *carmen*, con independencia de que se tratase de *excantare*, *incantare* u *occentare*, solo sería acompañado del adjetivo *malum*, cuando se pronunciaba o entonaba con el objetivo de causar un mal, como hemos destacado en párrafos precedentes.

Por otro lado, y como ya se ha dicho, no todos los *carmina* tenían connotaciones negativas, dependerá del contexto en el que hayan sido utilizados porque tampoco se debe olvidar la costumbre romana de utilizar estas composiciones para eventos festivos como los *carmina triumphalia* y sobre todo en celebraciones privadas donde se permitían incluso ciertas licencias²⁰.

Por último, a modo de conclusión, desde un punto de vista sociológico, debemos prestar atención a la etapa histórica en la que nos encontramos, en una sociedad romana todavía arcaica, donde la presencia de lo sagrado envolvía todos los aspectos de la vida cotidiana. La sociedad romana era profundamente religiosa y basaba sus normas de convivencia en un equilibrio de amistad y de paz por lo que no sería de extrañar que cualquier manifestación que perturbase esta forma de vida se considerase susceptible de ser castigada con la pena de muerte.

La injuria verbal y su condena moral: la deportación y la inestabilidad

La noción de injuria se vertebró en torno al honor y la reputación, que tenían un papel fundamental para la *gens* y para el cabeza de familia, adquiriendo luego la noción de la injuria así un carácter más amplio y genérico.

La definición de las injurias nos la proporciona Gayo en 3,320 *iniuria autem committitur non solum, cum quis pugno puta aut fuste percussus vel etiam verberatus erit, sed etiam si*

¹⁷ Plin. Nat, 28, 17: Plin. Nat.28, 17 señala "¿Estas palabras de las propias Leyes no están en las XII Tablas? "Quien mediante conjuros hubiese encantado la cosecha ajena (sic...) "Quien hubiese causado un mal mediante recitaciones mágicas.

¹⁸ Ídem nota 15.

¹⁹ D.48.81.13: en virtud de un Senadoconsulto se manda que sea condenado a la pena de esta Ley el que hubiere hecho o celebrado malos sacrificios.

²⁰ Un ejemplo de fórmula positiva lo encontramos en *De agri cultura* de Catón, que en el 160 recoge dos *carmina* para curar luxaciones: a) *moetas vaeta vaeta daries dardanies asiadaries una petes*, b) *motas vetadaries dardares astataries dissunapiter*. Trad: 160, para conjurar una luxación. Si hay alguna luxación quedará sana con este conjuro: cógete una caña verde de cuatro o cinco pies de larga, hiéndela al medio y que la mantengan dos hombres junto a la cadera. Comienza a decir este conjuro: *motas vaeta daries dardares astataries dissunapiter* hasta que las dos partes coincidan. Agita por encima un hierro. Cuando coincidan y la una esté en contacto con la otra, cógela con la mano y córtale la punta a la parte derecha y a la izquierda, ácala a lo luxado o la fractura, quedará sano. Y no obstante, dirás el conjuro a diario de la siguiente manera: *huat haut haut istasistarsis ardannabou dannaustra*. Este ritual debía llevarse a cabo ante tres tipos de testigos, el enfermo, el sanador (*iatromanteis*) y la familia. Aquí podemos apreciar que la magia y la medicina estaban estrechamente ligadas en el mundo romano, de la misma forma en que lo estuvo el Derecho en los tiempos más arcaicos de Roma, Vid. Catón, M. P. *Tratado de Agricultura* (Trad: García-Toraño Martínez, A.). Editorial Gredos, Madrid, 2012.

*cui convicium factum fuerit, sive quis bona alicuius quasi debitoris sciens eum nihil sibi debere proscripserit, sive quis ad infamiam alicuius libellum aut carmen scripserit, sive quis matrem familias aut Praetextatum adsectatus fuerit, et denique aliis pluribus modis*²¹.

Gayo describe la injuria como la acción por medio de la cual se ultraja a otra persona, ya sea por medio de una agresión física, ya sea verbal, o de forma escrita, entremezclándolo con cuestiones tan relevantes como la buena fama y la honorabilidad²².

En primer lugar, vamos a centrarnos en la injuria llevada a cabo por medio de la palabra y en las consecuencias de este delito, tradición recogida de la Ley de las Doce Tablas.

Es especialmente grave la injuria realizada por medio de cánticos en los cuales basta con que se mencione a alguien, de forma que se le reconozca. Eso dice Paulo en sus Sentencias PS 5.4.15 *Qui carmen famosum in iniuriam alicuius vel alia quaelibet cantica, quo agnosci possit, composuerit, ex auctoritate amplissimi ordinis in insulam deportatur: interest enim publicae disciplinae opinionem uniuscuiusque a turpi carminis infamia vindicare...*²³.

Aquí se refiere Paulo a un cántico que resulta infamante contra otra persona, de tal forma que se le reconozca, porque le causa un perjuicio en su pública imagen. La sanción aquí es la deportación a una isla, por parte de la más alta autoridad competente. Se trata, pues de proteger a una persona frente a una posible injuria o escarnio público²⁴.

En los demás casos, la acción por injurias llevaba aparejada la imposición de una sanción, que es el ser considerado *intestabilis*. Así, como dice Arcadio, el condenado por algún libelo infame se incapacita para ser testigo en D. 22, 5, 21, Arcad. l. s. de test: *Ob carmen famosum damnatum intestabilis fit*²⁵.

Y en la misma línea dice Ulpiano en D. 28, 1, 18, 1 Ulp. 1 ad Sab²⁶ *Si quis ob carmen famosum damnatur, senatus consulto expressum est, ut intestabilis sit: ergo nec testamentum facere poterit nec ad testamentum adhiberi*.

Aquí la pena aparejada al delito de injuria era la imposibilidad de otorgar testamento y de ser testigo en el mismo.

4. CONCLUSIONES

Es difícil de determinar qué clase de conducta era perseguida en la Ley de las XII Tablas en relación con la injuria y la difamación.

No obstante, debe considerarse que lo que se castigaba eran los *mala carmina* o fórmulas mágicas de encantamiento que tenían como objetivo primordial dañar a una persona, ya fuese en el ámbito patrimonial o estrictamente privado.

La sociedad de las XII Tablas, era una sociedad muy arcaica basada en una convivencia armónica y pacífica, de forma que, cualquier turbación de esta forma de convivencia era merecedora del más severo reproche.

Sea como fuere, lo cierto es que la concepción de la *inuria* fue variando a lo largo del tiempo, tanto en cuanto al contenido como a la forma de castigo.

En esta primera etapa arcaica, la injuria tenía un componente más supersticioso, pero en la etapa clásica el fenómeno de la *iniuria* alcanzó su apogeo de la mano de una concepción espiritualista del delito.

Por ejemplo, los cantos a los que alude Paulo, parecen tener un contenido más íntimo, más directo y que van más allá de la mera superstición de los *carmina* de las Doce Tablas sobre la maldición de las cosechas o los malos deseos. Se trataría en definitiva, de cánticos que permitían reconocer a la persona a la que se aludía, dejando su imagen dañada.

Podemos llegar a la conclusión de que los cánticos difamatorios a los que se refieren las *Pauli Sententiae*, fueron castigados con penas como el destierro con la finalidad de proteger al individuo del escarnio público.

Por otro lado, Arcadio y Ulpiano nos descubren que otro de los castigos para este tipo de *iniuria* cometida a través de cánti-

²¹ Gayo, 3, 320. *Cométese injuria no solo dando a alguno puñadas, palos o azotes, sino también ultrajándolo con palabras, haciendo pregonar sus bienes por una deuda supuesta, o escribiendo contra él libelos o versos infamantes. También comete injuria el que sigue a una matrona o a una joven menor de diez y siete años (pretextatum), requiriéndoles de amores y finalmente de otras muchas maneras.*

²² Un ejemplo de escrito difamatorio, en este caso a los pies de una estatua nos lo proporciona Suetonio en *SUET. Iul, 80*: *Subscripsere quidam Luci Bruti statuae: Utinam viveres! item ipsius Caesaris: Brutus, quia reges eiecit, consul primus factus est: /Hic, quia consules eiecit rex postremo factus est. Viene a referirse a Lucio Juno Bruto y señala "Ojalá vivieras, pero del mismo César: Bruto primero se hizo cónsul porque echó a los reyes; Este porque echó a los cónsules terminó hecho rey".*

²³ Trad. PS 5.4.15: *El que ha compuesto un canto famoso para injuria de alguien o cualquier otro canto por el cual se le reconozca, es llevado a la isla por la autoridad del más distinguido rango; porque es importante que la opinión pública venga la infamia de toda canción inmunda.*

²⁴ Vid. Fuenteseca Degeneffe, M. *En Lectiones, Bosch Editor, 2ª edición, 2021.*

²⁵ D. 22, 5.21. Arcadio, el condenado por algún libelo infame se incapacita para ser testigo.

²⁶ D. 28, 1, 18, 1 Ulp. 1 ad Sab. *si alguno fuese condenado por algún libelo infamatorio, se expresó en un Senadoconsulto, que sea intestable, luego tampoco podrá hacer testamento ni ser testigo en un testamento.*

cos de dudosa moralidad, era la consideración de *intestabilis*, es decir, no se permitía a aquel que hubiese cometido este delito, ni otorgar ni intervenir como testigo en un testamento. Esto podía acarrear consecuencias muy graves si se tiene en cuenta que no se permitía al autor del hecho disponer sobre sus propios bienes.

En definitiva, desde la etapa arcaica se configuró la *iniuria* a través de los *malum carmen* y *carmen famosum*, que eran cánticos supersticiosos que podían ser castigados incluso con la pena de muerte, pero posteriormente pasaron a constituir objeto del delito los cánticos que tenían por finalidad el escarnio público, que podían ser castigados con el destierro o con la inestabilidad.

5. FUENTES CONSULTADAS

Cicerón, *Divinitin* 1,16,

Catulo, *Carmina* 90.

Las Doce Tablas, 8.1 a) y 8.1 b).

Plauto, *Curc.* 145.

El Persa 568,

Digesto.

D. 22.5.21 (Arcad. l. s. de test).

D. 28, 1, 18, 1 (Ulp. 1 ad Sab).

D.48.81.13 (lib.2, *Pandectarum*).

Gai Institutiones.

3,320.

Pauli sententiae.

5,4,15.

Noctes Atticae.

20.1.12.

20.1.13.

Suetonio.

De Vita XII Caesarum.

Iul, 80.

Plinio Naturalis Historia.

28,17.

BIBLIOGRAFÍA

1. Escutia Romero, R. "La difamación pública en Derecho Romano", en la *Revista Jurídica de la Universidad Autónoma de Madrid*, 2010, 55,
2. Escutia Romero, R. *Régimen jurídico de la difamación escrita en el Derecho Romano*, Universidad Complutense de Madrid, 2008.
3. Fontán, A.; Moure Casas, A. M^a (Intr.), Trad: Moralejo, J.L. *Historia Natural de Plinio el Viejo*, Biblioteca Clásica Gredos, Madrid, 2005.
4. Fuenteseca Degeneffe, M. En *Lectiones*, Bosch Editor, 2^a edición, 2021.
5. García Rascón, C., y García González, J. M. En *Ley XII Tablas*, Tecnos, Madrid, 1993.
6. González Galicia, R. *Catuli Carmina*, Biblioteca Babab, Madrid, 2002.
7. Iso, J. J.; Moralejo, J. L. Plauto. Comedias. *La comedia de la Arquilla. Gorgojo. Epidico. Los dos Menecmos, el mercader, el militar fanfarrón, la comedia del fantasma, el persa*. Editorial Gredos, Madrid, 1996.
8. Mommsen, T.; Marquart, J., (Trad: Duquesne, J.) *Manuel des antiquités romaines, le droit penal romain*. París, 1907.
9. Montero, S. *Los harúspices y la moralidad de la mujer romana. Universitade gli Studi di Pavia*. 1993.
10. Ortega Carrillo de Albornoz, A. *De los delitos y las sanciones en la Ley de las XII Tablas*. Universidad de Málaga. 1988.
11. Ortiz García, C. *Malum Carmen incantare*, en "Derecho Penal Romano" (Coord.

EDICIONES DE FUENTES

1. Catón, M. P. *Tratado de Agricultura* (Trad: GARCÍA-Toraño Martínez, A.). Editorial Gredos, Madrid, 2012.
2. Gaos Schmidt, A. *Noches Áticas*, Tomo IV, Libros XVII-XX, Unam, México. D. F., 2012.
3. García del Corral, I. *Cuerpo de Derecho Civil Romano*. Jaime Molinas Editor, Barcelona, 1889.
4. Hernández-Tejero, F. (Coord.) Trad. Abellán Velasco, Arias Bonet, J. A.; Iglesias Redondo, J.; Roset Esteve, J. *Institutiones de Gayo*, Marcial Pons, Madrid, 1990.
5. López Moreda, S.; Harto Trujillo, M. L.; Villalba Álvarez, J. *Facta et dicta memorabilia*, Editorial Gredos, Madrid.
6. Ramírez de Verger, A. (Inr.) Trad. Agudo Cubas, Rosa M^a, *Vidas de los Doce Césares*, Editorial Gredos, Madrid, 1992.

CONVERGENCIA DE LAS APLICACIONES MÓVILES EN LA RADIO GENERALISTA. UNA APROXIMACIÓN A LAS APPS RADIOFÓNICAS EUROPEAS Y CHILENAS

Beatriz Feijoo Fernández¹, Aurora García González²

¹ Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). España.

² Catedrática de Periodismo. Facultad de Comunicación. Universidade de Vigo. España.

1. RESUMEN

El constante desarrollo y expansión de los dispositivos móviles afianzan cada vez más la realidad de la convergencia de medios, principalmente “centralizados” en la pantalla de un *smartphone*. En lo que concierne a la radio, los teléfonos inteligentes ayudaron a potenciar la denominada radio móvil con la posibilidad de agregar a la voz, elementos textuales, audiovisuales y participativos. Del mismo modo que otros medios, una de las vías de acceso a la radio en los dispositivos móviles son las aplicaciones (apps), interfaces concebidas para aprovechar al máximo las potencialidades de estas pantallas inteligentes logrando una completa experiencia integrada por parte de un usuario *prosumer*.

El empleo de las apps por la radio está suponiendo una aparente revolución para este medio de comunicación por sus implicaciones en lo que se refiere a la distribución de sus contenidos habituales enriquecidos con información adicional escrita y/o audiovisual y a sus posibilidades de interacción con los oyentes.

A partir de esta base y con el objetivo de conocer el valor añadido que aportan las apps al servicio de determinadas estaciones de radio se planteó la presente investigación. Se busca analizar qué novedades en cuanto a contenido, actividad e interacción aporta la instalación de este tipo de apps a los usuarios. Se parte del supuesto de que las apps de radio no aporten nada más que la posibilidad de tener un receptor de radio en la mano, algo ya conseguido e implantado con el transistor. Para refutar o comprobar esta hipótesis, se propuso un análisis de contenido de una relación de apps radiofónicas europeas y chilenas (la inglesa BBC News, la francesa RTL, la portuguesa RTP Noticias y BioBio Chile) seleccionadas en función de su audiencia y por su disponibilidad de descarga en los proveedores AppStore y/o Play Store con el objetivo añadido de realizar una comparativa geográfica en relación al nivel de desarrollo e implantación de este tipo de apps.

Palabras clave: *Convergencia mediática, apps, radio digital, dispositivos móviles, smartphones.*

1. INTRODUCCIÓN

La confluencia de la radiofonia hertziana con Internet no ha supuesto una revolución completa del medio sonoro, como han sostenido durante tiempo algunos autores (Fidler, 1997 o más recientemente Videla y Piñeiro, 2013). Esta circunstancia ha afectado a la radio como a todos los demás medios. El proceso, no ha constituido una simple transferencia de contenidos de las ondas a la Web (Faus, 2001), sino que ha implicado una incorporación de nuevas potencialidades inherentes al sistema digital. Como han observado algunos autores, “en una desesperada lucha por evitar el descenso que no para” (Ala Fossi, 2016).

En la Red, el medio radiofónico ha dado lugar a una plataforma donde los mensajes de audio convergen con otros contenidos de carácter textual, hipertextual y multimedia. Que no tienen ningún valor para los oyentes, hoy diremos consumidores o incluso *prosumidores* de radio. Con la construcción y transmisión de este nuevo mensaje, la radio semeja haber perdido su vocación sonora, pero no ha ocurrido así. El sonido continúa siendo el elemento esencial de la radiofonia online; un sonido que debe estar dotado de sentido completo con independencia de los elementos multimedia que lo acompañen (Prata, 2008). Y además falta añadir que el sonido digital (primero en el CD, y después en los archivos de audio del ordenador, de diferentes proveniencias y a menudo gratuitos) ha alcanzado una calidad muy superior a la de la radio FM.

La aparición en escena de las redes sociales y su intromisión en el proceso de comunicación radiofónica, no solamente ha perjudicado a este medio, sino que también le está favoreciendo, multiplicando su efecto socializador y estrechando notablemente la relación con la audiencia (Peña y Pascual, 2013).

Una cualidad tan apreciada de la radio como la proximidad psicológica con sus oyentes se ha visto reforzada con las propuestas de interactividad de las diferentes cadenas. Sin desdeñar el teléfono, todavía empleado por las emisoras, este medio ha prescindido prácticamente de los SMS y del correo electrónico para hacer uso, cada vez en mayor medida, de las redes sociales como vía de promoción de sus contenidos y, aunque todavía de forma limitada, como herramienta de retroalimentación para modelarlos mejor en función de la respuesta de uso (Legorburu, 2013); aunque en este aspecto parece seguir vigente el planteamiento tradicional de transmisión unidireccional de contenidos (Ramos, 2014).

2. DESARROLLO

Sin duda, el crisol donde están convergiendo tanto las nuevas modalidades de escucha como la posibilidad de interactuar de los oyentes, son las apps, que lo aúnan todo y que están incorporados en los dispositivos que nos acompañan a todas partes, particularmente en el *smartphone* y el *iPhone* (Piñero y Videla, 2013), cuya ubicuidad, capacidad de conexión permanente y su posibilidad de llegar al usuario de forma personalizada, los sitúan en un lugar estratégico (Adelantado y Martí, 2011). Bien se puede decir que, aprovechando las cualidades de estos dispositivos móviles, las apps están propiciando un efecto multiplicador.

Parafraseando a Fidler (1998), Prata (2008) afirma que la radio se encuentra inmersa en un proceso de radiomorfosis en el que los usuarios y sus cambiantes hábitos de consumo están desempeñando un papel decisivo y abriendo un nuevo escenario denominado post-radio por el Groupe de recherches et d'études sur la radio (GRER) de Francia; un tiempo fundamentado en la capacidad de este medio de comunicación para optimizar los recursos que le ofrecen internet y la telefonía de última generación para suministrar servicios y contenidos diferentes a los convencionales (Ortiz, 2012).

El empleo de las apps por la radio está suponiendo toda una revolución para este medio de comunicación por sus implicaciones en lo que se refiere a la distribución de sus contenidos, a complementar estos últimos con información adicional escrita y audiovisual y a sus posibilidades de interacción con los oyentes, mediante la integración de las redes sociales. Partiendo de esta base y con el objetivo de conocer la utilización de esas APP que permiten un acceso optimizado desde terminales móviles se planteó la presente investigación.

2. 1. Objetivo, hipótesis y metodología

Esta investigación persigue el objetivo de describir qué añaden las apps y determinar la utilidad y uso de las mismas. Para ello se propuso un análisis de contenido de cuatro apps radiofónicas europeas y chilenas (la inglesa BBC News, la fran-

cesa RTL, la portuguesa RTP Noticias y BioBio Chile) seleccionadas en función de su audiencia y por su disponibilidad de descarga en los proveedores AppStore y/o Play Store con el objetivo de hacer una comparativa entre continentes en cuanto al nivel de desarrollo y de interactividad de las apps.

La **primera hipótesis** de este trabajo sostiene que las apps de radio no aportan nada más que la posibilidad de tener un receptor de radio en la mano. El uso de las apps se reduce exclusivamente a la escucha radiofónica, es decir que constituyen el nuevo transistor. Únicamente amplían la audiencia móvil (el último reducto de la audiencia potencial).

La **segunda hipótesis** sostiene que, si bien las cadenas de radio (tanto en Europa como en Sudamérica) han puesto a disposición de sus oyentes-usuarios APP para el acceso optimizado a sus contenidos desde iPhone, iPad, smartphone y tablet Android, las pretendidas posibilidades de intervención que brindan no tienen ninguna utilización significativa no ya en el entorno sonoro sino incluso en el ámbito radiofónico sin diferencias intercontinentales.

Y como **tercera hipótesis**, aunque se ha producido un desarrollo extraordinario de estas apps en un corto espacio de tiempo por parte de las emisoras, se pone de manifiesto la existencia de grandes posibilidades de desarrollo de los servicios ofrecidos hasta el momento aún no suficientemente explotadas.

Para el estudio, se optó por una metodología cuantitativa simple a partir de una ficha de estudio compuesta por variables en función de la oferta de APP para iPhone, iPad, smartphone Android o tablet Android. A partir de los proveedores App Store, Play Store y Microsoft App Store.

Como muestra de análisis se tomaron las emisoras de mayor audiencia, de tipo generalista. La muestra estuvo compuesta por un total de cuatro emisoras:

- Chile - Radio BioBio.
- Gran Bretaña - BBC iRadio Player.
- Portugal - RTP Noticias.
- Francia - RTL.

Las categorías para el análisis de contenido fueron las siguientes:

- Descriptivas: nombre aplicación; desarrollador; año de desarrollo; última versión; precio (gratuita o de pago); sistema operativo (IOS; Android, Windows, otros); número de descargas; edad recomendada por el distribuidor según sistema operativo; idioma; posibilidad usar offline.
- Navegación y estructuración de contenidos: movimientos de la mano permitidos en la app (tap, doble tap, scroll, arrastrar y deslizar; agrandar y empuqueñecer; tocar y esperar; rotar); orientación de la pantalla (vertical, horizontal, vertical/horizontal); navegación simultánea (no; sí, pero solo dentro app; sí, dentro y fuera de la app); descripción recorrido por

las pantallas de la app (recorrido lineal, recorrido más libre); nivel de accesibilidad.

- Contenidos y actividad: disponibilidad de radio en directo; sección noticias; jerarquización de las noticias (sí/no, criterios); actualización de las noticias; hemeroteca; exclusividad contenidos de la app; servicio podcast; otros archivos multimedia.
- Interactividad: posibilidad de personalización; tipo de personalización (técnica, de organización de contenidos, ambas);

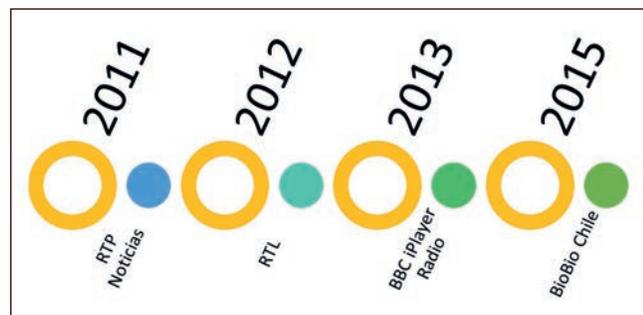


Gráfico 1. Elaboración propia.

buscador; posibilidad de compartir contenidos; de hacer comentarios; registro de usuarios; notificaciones; geolocalización; disponibilidad de la app en otros gadgets derivados.

3. RESULTADOS

Las apps seleccionadas salieron al mercado en App Store y/o Play Store entre 2011 y 2015, tal como se exponen en el siguiente gráfico:

Aunque RTP ofreció este servicio más tempranamente, 2012 supuso el año de mayor desarrollo de apps radiofónicas. Todos los casos analizados presentan al menos una actualización en 2017, son de acceso libre y gratuito y están disponibles para descargar en las tiendas de apps de los sistemas operativos con mayor penetración, IOS y Android, a excepción de BioBio Chile, no disponible (a junio de 2017) para el sistema operativo de Apple.

En cuanto al número de descargas, los datos son dispares según las estadísticas registradas por Google Play (App Store no ofrece públicamente este dato):

- BBC Iplayer Radio: + 10 millones descargas.
- RTL Francia: + 1 millón descargas.

- BioBio Chile: entre 50 mil y 100 mil descargas.
- RTP Noticias: entre 100 y 500 descargas.

La catalogación de edad de acceso recomendada, es diferente si se descarga la app para IOS o para Android. En Google Play todas las apps analizadas presentan una catalogación de PEGI 3 (desde 2015 Android se adscribió a la clasificación de contenidos de PEGI); en App Store la edad mínima recomendada es más restrictiva. La mayoría de las apps advierte que el contenido disponible es para mayores de 12 años, incluso hay algunas (no contempladas en esta muestra), como Radio France, establece una catalogación para mayores de 17 años. Todas ofrecen sus contenidos en el idioma oficial del país, no obstante, las apps de las radios francesas contemplan la opción de otros idiomas (a nivel textual). La posibilidad de descargar contenidos para consumo offline, no es un servicio extendido entre las apps analizadas, solamente BBC iPlayer Radio presta algún tipo de contenido sin conexión a la red.

En cuanto a características de navegación y estructuración de contenidos, se detectó que:

- Se navega por todas las apps analizadas básicamente con dos movimientos de los dedos, tap y scroll, esto es, pulsando levemente en las opciones deseadas y desplazando la pantalla de arriba/abajo. Con una presencia menor también se diferencia la acción de *touch and hold*, la pulsación prolongada para seleccionar determinado contenido.
- El diseño de la interfaz de la mayoría de las apps es vertical, algunas permiten la orientación tanto vertical como horizontal, al gusto y necesidades del usuario.
- Todas las apps objeto de estudio posibilitan la simultaneidad de consumo de contenidos en el móvil, es decir, mientras está operativa alguna app radiofónica, es posible realizar otras actividades en pantalla.
- Existe disparidad en cuanto al recorrido que debe hacer el usuario por los contenidos. Así, BBC iPlayer Radio y RTP Noticias ofrecen un diseño lineal: para regresar a la pantalla principal se debe realizar el camino inverso; RTL y BioBio Chile ofrecen un recorrido por los contenidos a partir de un menú principal que permite al usuario navegar de una pestaña a otra.
- En lo que respecta al nivel de atención a necesidades especiales de los usuarios, las apps británicas y francesas ofrecen la posibilidad de agrandar la letra, noticias transcritas para usuarios sordos, tecnología asistiva (BBC Iplayer Radio). El país de procedencia de la app no es determinante en su diseño pero cabe destacar que las apps de radio portuguesa y chilena contemplan esta atención especial a los usuarios.

¹ En el caso de BioBio Chile, su web clásica está considerada como uno de los medios online preferidos por los anunciantes del país. <http://www.biobiochile.cl/> pertenece al top five de las webs de noticias que más tráfico de visitas genera, tras Emol.com, Lun.com y Latercera.com (Admetricks, 2015).

En relación con la oferta de contenidos dentro de la app, además de poder sintonizar la radio en directo, los cuatro casos analizados contienen una sección de noticias, y alguna de ellas (especialmente la app chilena) parece más diseñada para ser leída que para ser escuchada.

Las apps que ofrecen contenidos escritos, los presentan organizados por secciones temáticas y ordenados cronológicamente, a excepción de RTP Noticias, que sigue un criterio aleatorio en la jerarquización de noticias. La sección de noticias ocupa un lugar central dentro de las apps analizadas y con una visibilidad preferente. La frecuencia de actualización media se sitúa entre una y tres horas, aunque los contenidos ofrecidos son los mismos que se pueden visitar en su página web¹. Ninguna de las apps tiene un servicio diferenciado de hemeroteca, pero se pueden visitar publicaciones anteriores recorriendo inversamente la lista de noticias. En esta línea, BioBio Chile tiene opción de buscador. Además de una sección de noticias, en su mayoría integran contenido audiovisual, concretamente videos que documentan las noticias compartidas en la aplicación y en la web clásica. Las apps francesa y portuguesa ofrecen un servicio podcast, a diferencia de la británica y chilena que no contemplan esa opción.

El nivel de interactividad de las apps estudiadas se midió en términos de personalización de los contenidos. Todas las apps analizadas contemplan algún tipo de personalización, bien a nivel técnico-formal (tamaño de letra, calidad de la imagen, escuchar en HD; reproducción automática de contenidos, activación/desactivación de notificaciones, edición localización, compartir estadísticas con la empresa, vibraciones, actualización widget, descarga de contenidos con wifi), bien de organización y selección de contenidos (marcar emisoras/contenidos favoritas, creación de playlists de podcasts; jerarquización y marcación de noticias, número de historias por pantalla, descarga de noticias e imágenes), especialmente la app chilena que tras su descarga permite una configuración previa por parte del usuario para ajustar la presentación de los contenidos (noticias):



Gráfico 2. Configuración que permite la app BioBio Chile tras su descarga.

También se observó la facilidad de las apps para compartir contenidos a través de redes sociales, email y Whatsapp. No obstante, no se ofrece la opción de hacer comentarios, a ex-

cepción de la app chilena gracias a un plugin de Facebook asociado (es necesario estar conectado a esta red social para participar). Ninguna app considera el registro de usuarios.

La geolocalización no está presente en este tipo de apps, sin embargo, BioBio Chile ofrece la posibilidad de seleccionar la señal de radio en función de los intereses locales de cada usuario. Todas las apps están disponibles en otros dispositivos más allá del teléfono móvil, especialmente para el Ipod Touch y para Tablet.

Otros servicios que ofrecen algunas de las apps analizadas para mejorar la experiencia del usuario son:

- Compartir una historia con la estación de radio mediante un formulario de contacto [RTP Noticias].
- Contacto con el medio mediante teléfono o email [RTL-Francia].
- Recomendación de la app a través de múltiples plataformas [RTL-Francia].

Para conocer la capacidad de respuesta se observó la puntuación otorgada a cada app en App Store y Google Play por parte de los usuarios. En la siguiente tabla se pueden observar las valoraciones dadas a cada app, consultadas a 8 de junio de 2017:

TABLA 1: ELABORACIÓN PROPIA				
CADENA DE RADIO	VALORACIÓN MEDIA		Nº USUARIOS QUE EMITIERON VALORACIÓN	
	IOS (DE 5)	ANDROID (DE 5)	IOS	ANDROID
BBC Iplayer Radio	3	4,6	4.058	2.736
RTP Noticias	3,6	4,1	38	327
RTL (Francia)	-	3,1	-	3.105
BioBio Chile	-	4,0	-	1.078

Tras el análisis realizado no se encontraron diferencias significativas en el diseño, contenido y desarrollo interactivo entre las apps radiofónicas europeas y la de BioBio Chile. Las cuatro opciones presentan una estructura y una navegación semejante, todas ellas adaptaciones de su servicio web. BBC Radio Player destaca en el rango de descargas y en la oferta de servicios offline, en cuanto a navegación y estructuración, oferta de contenidos y nivel de interactividad. Todas las apps analizadas presentan un perfil semejante independientemente de la zona geográfica desde la que fueran desarrolladas. Cabe señalar que en todas ellas ocupa un lugar preferencial la sección de noticias escritas dejando en un segundo plano al propio servicio radiofónico. Incluso, en la app de Bio Bio Chile, las preguntas para la personalización del contenido son referidas al servicio de noticias, no al radiofónico. De todas

maneras, esta opción de preconfiguración de la app chilena supone un plus de interactividad y un diferencial con respecto a las apps europeas analizadas.

4. CONCLUSIONES

Es evidente que la radio ha encontrado en internet y los dispositivos móviles -sobre todo en los smartphones- una nueva herramienta para sobrevivir en un entorno tan cambiante como el actual. Han vuelto a reconocer en la tecnología a uno de sus más valiosos aliados y se han propuesto sacarle provecho, aunque, por el momento, no todo el posible.

El principal beneficio que han obtenido estas emisoras ha sido el de multiplicar la difusión de sus contenidos por internet. Presentes todavía en la obsoleta onda median (OM), consolidadas en la aún predominante frecuencia modulada (FM), residuales en la televisión digital terrestre (TDT) y prácticamente inexistentes en el sistema DAB, las cadenas son conscientes de que, mes a mes, un porcentaje cada vez mayor de sus oyentes les sigue por internet, no tanto a través de sus ordenadores de sobremesa o portátiles, sino gracias a los dispositivos móviles. Justamente, la portabilidad fue antaño y sigue siendo hoy en día una de las bazas decisivas de la radio. En este campo abonado, las emisoras ya están cosechando sus primeros frutos.

En este sentido, del análisis realizado se desprende que todas ellas han conseguido generar propuestas de valor capaces de configurar óptimamente su oferta en este ámbito. Mención aparte merece la integración en estas apps de las redes sociales. Es este un aspecto especialmente relevante, porque esa interacción puede tener una importancia de primer orden. Las redes sociales pueden constituirse en una eficaz ayuda en su tarea a la hora de conocer las preferencias de su audiencia, tanto en lo que se refiere a los contenidos, como a sus hábitos de escucha. Pero en este terreno queda un largo camino por recorrer: las apps analizadas contribuyen a mejorar la característica de movilidad de la radio facilitando la accesibilidad al servicio solo con un golpe de dedo. No obstante, se comprobó que más allá de esa rapidez en el acceso, la app no ofrece ningún valor añadido con respecto al contenido inserto en la web clásica, es más en muchos casos la app resulta una adaptación al formato móvil de la url oficial.

Las apps, concebidas desde la óptica de la interactividad y para un usuario prosumidor, en este caso no cumplen esta función al quedarse en un contenedor de contenidos unidireccional con una participación del oyente reducida a la mínima expresión (ordenar o compartir contenidos en redes sociales). De todas las analizadas, la app de Bio Bio Chile es la que presenta un mayor nivel de atención hacia el receptor gracias a la preconfiguración previa que ofrece tras su descarga, para ordenar los contenidos según los gustos del oyente; no obstante,

también es necesario destacar que dicha configuración está habilitada solo para la sección de noticias escritas, no para el servicio radiofónico y no hay que olvidarse que se trata de una apps radiofónica, de ahí que alguna de las críticas a esta app sea su "diseño más para ser leída que para ser escuchada".

Consecuentemente se confirman las tres hipótesis planteadas en esta investigación: las apps analizadas se reducen prácticamente a la escucha radiofónica, no tienen ninguna utilización significativa y sus posibilidades de interactividad no están siendo lo suficientemente explotadas, independientemente del país y/o continente desde el que emitan o hayan sido desarrolladas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Adelantado, E.; Martí, J. (2011). "Contenidos audiovisuales y televisivos para dispositivos móviles: una aproximación al mercado español". *adComunica*, n.1, pp. 100-113. <http://dx.doi.org/10.6035/2174-0992.2011.1.8>
2. Ala Fossi, M. (2016) "Why dis TV Bits and Radio Bits not fit together? Digitalization and Divergence of Broadcast Media" in *Media Convergence Handbook*. Berlín. Springer.
3. Faus, Á. (2001). Reinventar la radio. En: *Chasqui*, nº 74. Disponible en: <http://www.comunica.org/chasqui/faus74.htm> (19/7/2012).
4. Fidler, R. (1997). *Mediamorphosis: Understanding New Media*. Thousand Oaks: Pine Forge Press.
5. (1998). *Mediamorfosis. Comprender los nuevos medios*. Buenos Aires: Gránica. ISBN: 9789506412616
6. Legorburu, J. M. (2013). "La digitalización de la radio. Un nuevo concepto en la producción y difusión de contenidos". En Legorburu, José María (coord.). *Modelos de convergencia de medios en España I. Digitalización, concentración y nuevos soportes*, Madrid: CEU Ediciones, pp. 75-134. ISBN: 9788415949022
7. Ortiz Sobrino, M. Á. (2012). Radio y post-radio en España: una cohabitación necesaria y posible. En: *Área Abierta*, nº 32, 1-16. Disponible en: <http://revistas.ucm.es/index.php/ARAB/article/view/39637> (11/12/2012).
8. Peña, P. Y Pascual, A. (2013). "Redes sociales en la radio española. Facebook, Twitter y Community Management". *ZER*, v. 18, n. 35, pp. 123-144.
9. PIÑEIRO-OTERO, T. y VIDELA RODRÍGUEZ, J. (2013). La participación de los oyentes en las radio APP españolas. Prácticas convencionales en la era de la portabilidad. En: *adComunica. Revista Científica de Estrategias, Tendencias e Innovación en Comunicación*, nº5. Castellón: Asociación para el Desarrollo de la Comunicación *adComunica*, Universidad Complutense de Madrid y Universitat Jaume I, 67-89. DOI: <http://dx.doi.org/10.6035/2174-0992.2013.5.6>
10. Prata, N. (2008). *Webradio: novos gêneros, novas formas de interação*. Tesis de doctorado em Estudos Lingüísticos. Faculdade de Letras. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. Disponible en: http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=101837 (10/09/2012)
11. Ramos, F. (2014). "Redes sociales y participación radiofónica: Análisis del caso de Twitter y Facebook en la Cadena SER". *Ámbitos*, v. 24
12. Videla, J. J.; Piñeiro, T. (2013). "La radio móvil en España. Tendencias actuales en las apps para dispositivos móviles". *Palabra Clave*, v.16, n.1, pp. 129-153. <http://dx.doi.org/10.5294/2579>



AXENCIA
GALEGA DE
INNOVACIÓN



INSTITUTO CULTURA CIENCIA Y TECNOLOGIA