



INVESTIGACION

CULTURA CIENCIA Y TECNOLOGIA

VOLUMEN 15

Nº 29

2023

MEDICINA.FISICA.FARMACOLOGIA.BIOLOGIA.PSIQUIATRIA.BIOLOGIAMARINA.EMPRESA.DERECHO.ECONOMIA.BELLASARTES

INVESTIGACION

CULTURA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Revista Nº 29
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 Brier

Comité Científico

Jesús Souza Troncoso
José Luis Legido Soto
Juan Manuel Vieites Baptista de Sousa
Francisco Javier Rodríguez Berrocal
Almudena Fernández Brier
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



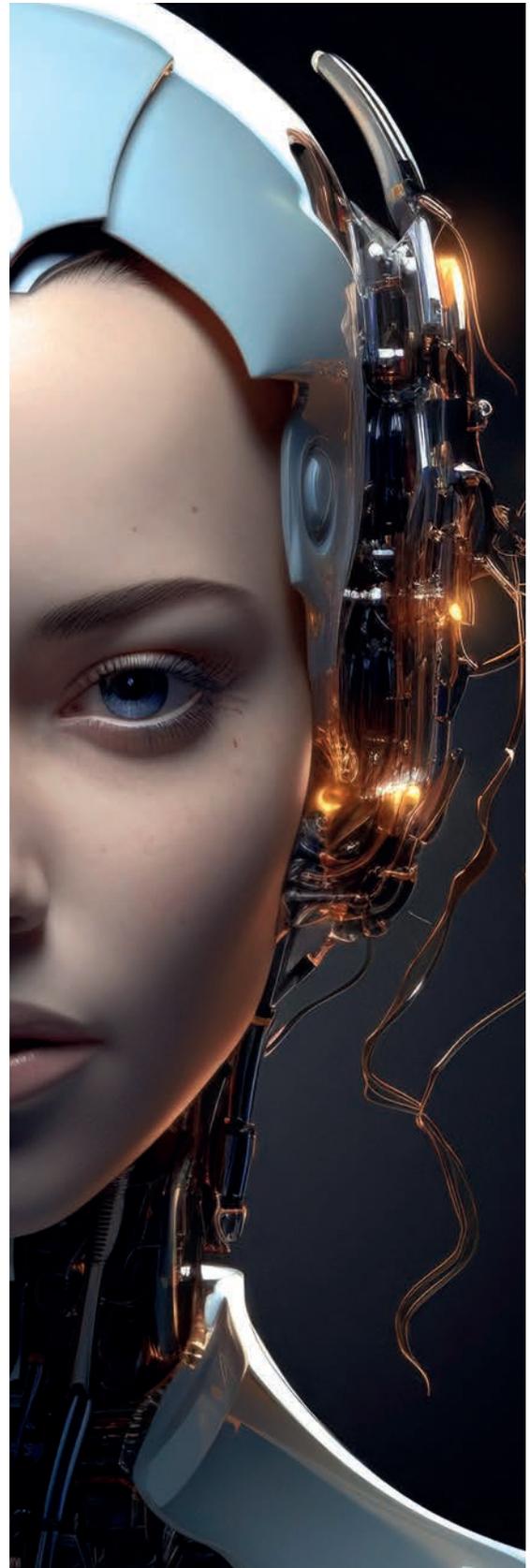
AXENCIA
GALEGA DE
INNOVACIÓN



INSTITUTO CULTURA CIENCIA Y TECNOLOGIA

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 29 2023

6 **L** Editorial - Sistema inmunitario
A INMUNOLOGÍA EN LA SOCIEDAD ACTUAL

África González Fernández

Centro de Investigaciones Biomédicas (CINBIO), Universidade de Vigo.

Instituto de Investigación Sanitaria Galicia Sur (IIS Galicia Sur), SERGAS-UVIGO. España.

17 **D** Miembro de Honor Distinguido ICCT año 2023
IVULGACIÓN CIENTÍFICA EN INMUNOLOGÍA DE UNA INVESTIGADORA

José Luis Vázquez López

Presidente del Instituto de Cultura, Ciencia y Tecnología (ICCT).

Vicepresidente A.A. de la Universidade de Vigo. Campus de Vigo. España.

Computación de altas prestaciones
18 COMPUTACIÓN CUÁNTICA DE ALTAS PRESTACIONES EN LA ERA NISQ

Mariamo Mussa Juane, Guillermo Díaz Camacho, Daniel Faílde Balea, Constantino Rodríguez Ramos, José Daniel Viqueira Cao, Andrés Gómez Tato
Fundación CESGA (Galician Supercomputing Centre). Santiago de Compostela. España.

Neurofibromatosis durante la gestación
26 NEUROFIBROMATOSIS Y GESTACIÓN. A PROPÓSITO DE UN CASO CLÍNICO

Patricia Silva Ramallo, Laura González Rodríguez, Eva Carballo Álvarez, Emilio Couceiro Naveira, Carlos López Ramón y Cajal.
Servicio de Obstetricia y Ginecología del Hospital Álvaro Cunqueiro. Vigo. España.

Biodiversidad. Las islas más remotas del fin del mundo (Chile)
30 EL ARCHIPIÉLAGO DIEGO RAMÍREZ: UN ACERCAMIENTO A LA FAUNA DE INVERTEBRADOS DE LA COSTA DE ESTAS IGNOTAS ISLAS DEL MAR DE HOCES (PROVINCIA ANTÁRTICA CHILENA)

Cristian Aldea^{1,2}, Jesús S. Troncoso³, Andrés Mansilla^{1,5}, Claudia Maturana^{4,5} & Sebastián Rosenfeld^{2,4,5}.

¹ Deptº. Ciencias y Recursos Naturales. Universidad de Magallanes. Punta Arenas. Chile.

² Centro de Investigación GAIA - Antártica. Universidad de Magallanes. Punta Arenas. Chile.

³ Deptº. Ecología y Biología Animal, Facultad C. del Mar. Universidade de Vigo. Vigo. España.

⁴ Instituto Milenio Biodiversidad de Ecosistemas Antárticos y Sub. (BASE). Santiago. Chile.

⁵ (CHIC) Cape Horn International Center, Puerto Williams. Chile.

Relaciones laborales
44 LA DESCONEJIÓN DIGITAL EN ESPAÑA: ¿UN NUEVO DERECHO LABORAL?

Raquel María Vázquez Jiménez
Graduada en Relaciones Laborales y Recursos Humanos. Universidad de Murcia. España.
Miembro de Alumni. Universidade de Vigo. España.
Técnico en Orientación Laboral. Universidad de Comillas. España.

Acuicultura
54 MEJORA GENÉTICA EN ACUICULTURA: ENFOQUE GENÓMICO PARA UN FUTURO SOSTENIBLE

María Saura¹, Silvia García-Ballesteros², Almudena Fernández², Elisabeth Morales-González², Jesús Fernández², Beatriz Villanueva².

¹ Departamento de Biotecnología y Acuicultura. Instituto de Investigaciones Marinas. (IIM)-CSIC. Vigo. España.

² Departamento de Mejora Genética Animal. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA-CSIC). Madrid. España.

Educación primaria
61 EL CURRÍCULO DE PRIMARIA DESDE LA LOMLOE. ANÁLISIS DE LAS RELACIONES ENTRE SUS ELEMENTOS

José A. Sarmiento Campos¹, Enzo Sarmiento Soto²

¹ Doctor en Psicopedagogía por la Universidad de Vigo. España.

² Graduado en Comunicación audiovisual por la Universidad de Vigo. España.

editorial

LA INMUNOLOGÍA EN LA SOCIEDAD ACTUAL

África González Fernández

Centro de Investigaciones Biomédicas (CINBIO), Universidade de Vigo.
Instituto de Investigación Sanitaria Galicia Sur (IIS Galicia Sur) SERGAS-UVIGO. España.

La Inmunología es la ciencia que estudia los componentes y las funciones del sistema inmunitario, tanto en salud como enfermedad. Tiene un papel fundamental en la clínica, en la prevención, diagnóstico y terapia de diversas enfermedades (lo que se conoce como inmunoterapia) y un gran espacio en la investigación, tanto básica como aplicada.

Esta disciplina está contemplada en programas formativos; existe la especialidad de Inmunología en los centros sanitarios (MIR, BIR, FIR); la Inmunología es un área de conocimiento en las Universidades, y existen distintos investigadores trabajando en Inmunología en varios centros de investigación en España y en otros países.

La Inmunología existe, sin embargo, muy poca gente la conoce. La pandemia ayudó a visibilizarla un poco más, pero aún queda mucho camino por recorrer.

Sin embargo, es fundamental que conozcamos nuestro sistema inmunitario. Único e intransferible, es uno de los más complejos de nuestro organismo, como el sistema nervioso.

1. UN POCO DE HISTORIA DE LA INMUNOLOGÍA EN ESPAÑA

1.1. Inmunología en los hospitales

Si hacemos un poco de historia, el año 1969 sería clave para la

Inmunología hospitalaria, y para los trasplantes, ya que se crea un servicio de Inmunología en la Clínica Puerta de Hierro con los Dres. Alfredo Bootello y Miguel Kreisler, impulsada por el Dr. Segovia de Arana. Se crea Madrid-trasplante, con el fin de estudiar la compatibilidad entre donante y receptor, y mejorar así la aceptación de los trasplantes.

También se dividiría el servicio inicialmente común de Microbiología e Inmunología de la Clínica de la Concepción (hoy Fundación Jiménez Díaz) de Madrid, liderando el servicio de Inmunología el Dr. Ortiz Masllorens¹.

La formación especializada reglada tardaría un poco más, aunque ya en la década de los 70 se iniciaría un proceso semejante al que hoy conocemos en algunos hospitales, con tutores supervisando a los futuros especialistas. Es en el año 1984 cuando ya se regula por un Real decreto (127/1984, 11 de enero)².

La especialidad de Inmunología en los hospitales surge desde sus inicios como una **especialidad multidisciplinar** donde pueden formarse médicos, biólogos, bioquímicos, farmacéuticos, tras realizar un examen nacional (MIR, BIR, FIR).

1.2. Inmunología en los centros de investigación

En el siglo XIX se crea en España el **Instituto Nacional de la vacuna** (24 julio 1871), que sería la primera institución sanitaria moderna, encargada de cultivar, difundir y controlar la vacuna antivariólica³.

¹ Seguí Navarro, J., et al. (2009). El 35 aniversario de la Sociedad Española de Inmunología. *Inmunología* 28 (1): 49-56. DOI: 10.1016/S0213-9626(09)70027-7.

² <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1984-2426>.

³ Campos Marín, R. (2004) El difícil proceso de creación del Instituto de la vacuna. *Asclepio*-Vol. LVI-1-: 79-109. <https://asclepio.revistas.csic.es/index.php/asclepio/article/view/73/76>.

Esta Institución fue seguida por el **Instituto Nacional de Bacteriología y de Higiene (1894)**, y cinco años más tarde se crearía (de la fusión de otros centros) el **Instituto de Sueroterapia, Vacunación y Bacteriología Alfonso XIII**, que posteriormente se denominaría **Instituto Nacional de Higiene Alfonso XIII**, Instituto de Sanidad y finalmente **Escuela Nacional de Sanidad**⁴.

En 1908 se crea el **Sistema Nacional de Salud**, que fue poco a poco extendiendo la cobertura para cubrir las necesidades asistenciales, y en 1986 es cuando se establecería el **Instituto de Salud Carlos III**. Se creó una sección dedicada al estudio de los virus, que daría lugar al Centro Nacional de Virología y Ecología Sanitarias (1967), lo que hoy es el **Centro Nacional de Microbiología**, dependiente del ISC-III. También se fueron creando centros como el **Nacional de Epidemiología, el de Medicina Tropical, Agencia de evaluación de tecnologías sanitarias**, o el **Instituto de Investigación de enfermedades raras**.

En 1939 se crea el **Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)**, con una expansión a diferentes comunidades autónomas y en distintas disciplinas.

Posteriormente comienzan a crearse centros como el de **Investigaciones Biológicas (CIB, 1958)**, **Biología Molecular (CBM, 1975)**, y los **nacionales de Biotecnología (CNB, 1992)**, **Investigaciones Oncológicas (CNIO, 1998)**, **Investigaciones Cardiovasculares (CNIC, 1998)**, **Investigación en enfermedades neurológicas (CIEN, 2003)**.

En muchos de estos centros hay inmunólogos muy reputados que están realizando una ciencia de calidad y que han posicionado a España a nivel internacional en este ámbito. Pero se necesita un **Centro Nacional de Inmunología** que aúne los esfuerzos de todos ellos.

1.3. Inmunología en la Universidad

El área de Inmunología es relativamente reciente, creándose a nivel nacional como área de conocimiento⁵ el **28 de julio de 1986**, y con la creación de plazas en diversas universidades españolas, como asignatura en diversas licenciaturas (Medicina, Farmacia, Veterinaria, Biología, Bioquímica), con un incremento muy lento de plazas a lo largo de estos años. Previamente

la Inmunología se impartía formando parte de otras áreas de conocimiento, de forma parcial y segmentaria, y en muchas ocasiones por personal no experto en la materia.

En Galicia, es la Universidad de Vigo la pionera, creando en 1996 la única área de Inmunología de las tres Universidades gallegas. Se oferta una plaza a la que tengo la fortuna de obtener, incorporándome a esta Universidad en febrero de ese año.

1.4. Inmunología como ciencia

La Inmunología como ciencia comienza con la hipótesis planteada y estudio experimental de la vacunación del **Dr. Jenner** con la viruela vacuna. Pero el conocimiento básico de los componentes inmunitarios, su funcionamiento y su participación en enfermedades como alergias, autoinmunidad, o rechazo de trasplantes es más reciente.

Han sido los siglos XIX, XX y el actual, los que realmente han impulsado el conocimiento de la Inmunología, y muchos de los protagonistas de ese desarrollo han recibido el premio Nobel por contribuciones tan importantes como el descubrimiento de los macrófagos, anticuerpos, técnicas inmunoquímicas, alergia, complemento, tolerancia inmunitaria, circulación linfocitaria, generación del repertorio de anticuerpos, y un largo etc. (*Figura 1*).

Hay dos personajes que me gustaría destacar y que no han recibido el premio Nobel, uno de ellos es el **Dr. Charles Janeway**, ya fallecido, que describió que el sistema inmunitario vería a los patógenos a través de unos receptores que reconocerían patrones comunes (PAMPs, del inglés *pathogen-associated molecular patterns*) de varios de ellos.

La otra figura es la **Dra. Polly Matzinger**, olvidada en el repaso histórico de la *Figura 1*, que en 1994 estableció que el sistema inmunitario no siempre se activa por patógenos, sino también por señales de alarma (modelo del daño)⁷.

Esto cambia el paradigma de cómo se pensaba que actuaba el sistema inmunitario; ya no es solo un mecanismo de defensa frente a agentes externos, sino que es un sistema muy complejo, que hace vigilancia continua para detectar elementos de

⁴ <https://www.isciii.es/InformacionCiudadanos/DivulgacionCulturaCientifica/DivulgacionISCIII/Paginas/Divulgacion/Historia-del-ISCIII.aspx>

⁵ Acuerdo de 28 de julio de 1986, de la Comisión Académica del Consejo de Universidades por el que se crean nuevas áreas de conocimiento. [https://www.boe.es/eli/es/a/1986/07/28/\(2\)](https://www.boe.es/eli/es/a/1986/07/28/(2))

⁶ Kauffman SHE. (2019). Immunology's coming of age. *Front. Immunol.* 10:684. doi: 10.3389/fimmu.2019.00684. Corrected in <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.01214>.

⁷ Matzinger, P. (1994). Tolerance, danger, and the extended family. *Annual Review of Immunology.* 12 (1): 991-1045. doi:10.1146/annurev.iy.12.040194.005015.

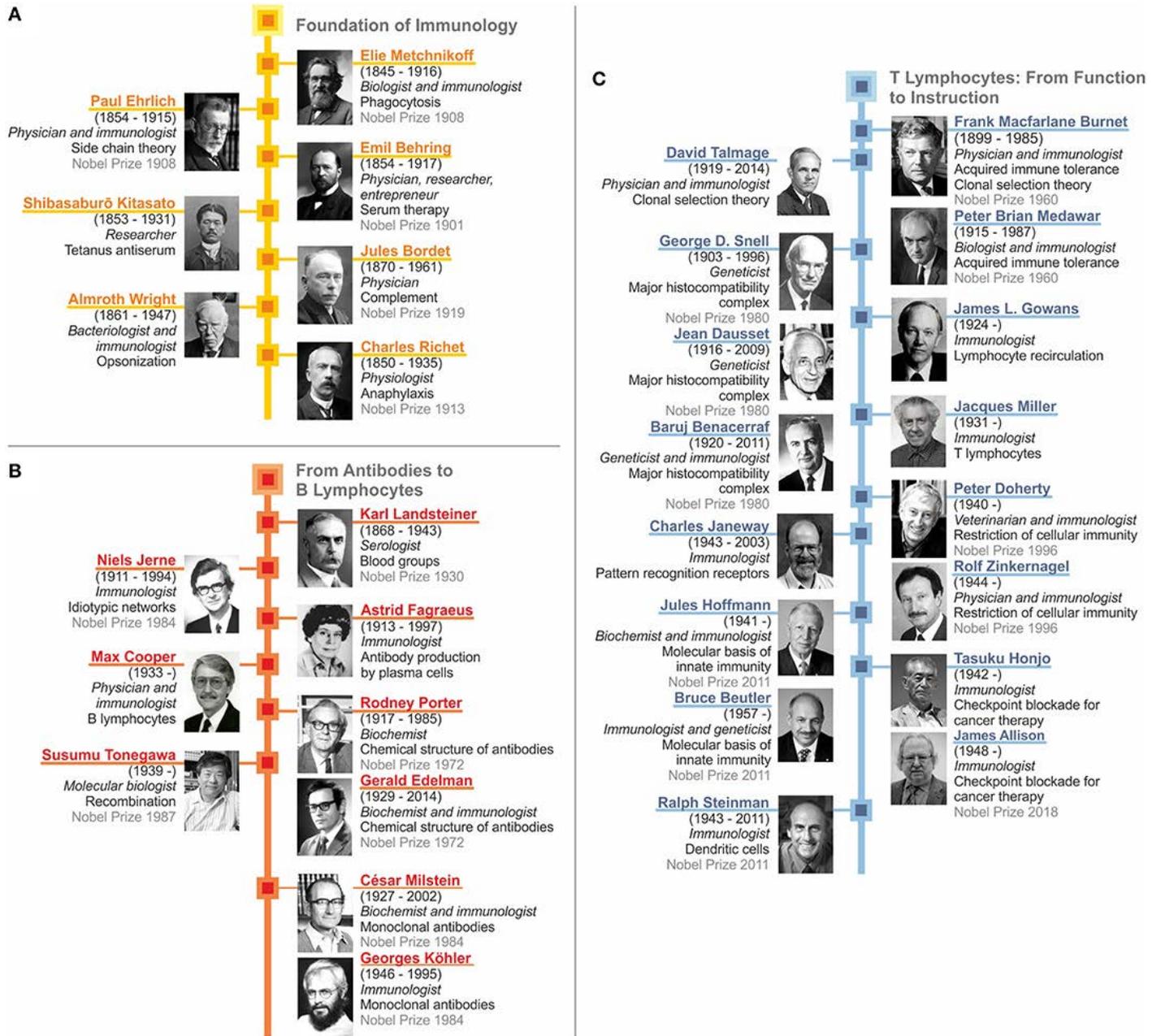


Figura 1. Científicos relevantes en el campo de la Inmunología. Copyright by Kauffman SHE⁶. Creative Commons Attribution License (CC BY).

peligro, y no actuar frente a los que no lo son (feto en mujer embarazada, microbiota, etc.).

1.5. Inmunología de la mano del desarrollo tecnológico

El gran desarrollo de la Inmunología ha venido de la mano de nuevas tecnologías que han permitido avanzar en el conocimiento. Técnicas como:

- La inmunofluorescencia (por Albert H Coons en 1941).
- El radioinmunoanálisis (Rosalyn Sussman y Solomon Berson en 1960).
- La citometría de flujo basada en fluorescencia (patentada en Alemania en 1968 por Wolfgang Dittlich y Wolfgang Göhde) que permite de forma rápida y muy sensible, estudiar poblaciones complejas como las de la sangre.
- El ELISA (por Eva Engvall y Peter Perlman de forma independiente en 1971). Es una técnica enzimática (del inglés *enzyme immunoabsorbent assay*) que permite detectar la presencia de analitos o anticuerpos de forma muy sensible.
- Anticuerpos monoclonales. Sin duda, la generación en 1975 de células inmortales (hibridomas) productoras de anticuerpos monoclonales con la técnica de César Milstein y Georges Köhler abre la posibilidad de obtener un anticuerpo específico en grandes cantidades, revolucionando las técnicas de diagnóstico, purificación de compuestos y el enorme impulso de la inmunoterapia actual. Por esto se considera al Dr. Milstein, el padre de la **Inmunología moderna**. Ambos recibieron el premio Nobel en 1984. Yo me siento muy orgullosa y tuve el placer de trabajar 4 años en su laboratorio en el medical Research Center de Cambridge, y también que aceptara el doctorado honoris causa que le ofreció la Universidad de Vigo (cuando había renunciado a este galardón de diversas universidades muy prestigiosas).
- Otro salto importante que ha permitido el avance de la Inmunología ha sido el uso y generación de diversos **modelos animales** (1989). Esto permite diseñar experimentos *in vivo* de muchos procesos inmunitarios, con ratones portadores de genes o con ellos eliminados (Knockout).
- A partir del año **1995** surgen con fuerza las **ómicas**: genómica, transcriptómica, proteómica, farmacogenómica, nutrigenómica con tecnología como los microarrays (1995), técnicas de secuenciación masiva (2005), multi-ómica (2010) o ómicas en célula única. Y de aquí se llega a lo que hoy se conoce como **INMUNÓMICA**: combinación de técnicas que permiten conocer el sistema inmunitario desde distintos puntos de vista, con una gran complejidad de técnicas y análisis⁸.

- El descubrimiento del sistema **CRISPR**, como uno de los sistemas más antiguos de inmunidad bacteriana frente a los virus, se la debemos a un español, al Dr. Francisco Mojica de Alicante, merecedor del Nobel pero que se quedó a las puertas ya que se lo concedieron a los tres investigadores que desarrollaron la técnica para editar genes (corta y pega) usando estas regiones repetitivas.

2. CAMBIOS DE PARADIGMA DE LA FUNCIÓN DEL SISTEMA INMUNITARIO

Con el desarrollo de toda esta tecnología estamos asistiendo a un cambio en el conocimiento del sistema inmunitario, tanto en sus componentes, en su función y en el papel real que tiene en nuestro organismo.

2.1. Con respecto a su función, hoy sabemos que el sistema inmunitario tiene varias funciones, y que no es tan solo un mero sistema de vigilancia externa, sino que forma parte consustancial del individuo y está interrelacionado con todos los órganos y sistemas (nervioso, endocrino, cardiovascular, renal) y también con el microbioma.

1. Defensa frente a patógenos.
2. Rechazo de trasplantes incompatibles.
3. Vigilancia tumoral.
4. Detección de señales de peligro internas.
5. Reparación de tejidos.
6. Eliminación de células senescentes y dañadas.

2.2. Mejor conocimiento del origen de sus células y de su función

El poder hoy contar con marcadores diferenciales y poder estudiarlos con anticuerpos monoclonales o con técnicas moleculares ha permitido cambiar algunas ideas clásicas de los tipos celulares, de su origen y distribución en el organismo. Por ejemplo, antes se pensaba que los macrófagos de los mamíferos procedían todos de médula ósea. Pues hoy se sabe que hay algunos que proceden directamente del saco vitelino, otros del hígado fetal, otros de médula ósea y otros se derivan de hematopoyesis extramedular.

2.3. Mejor identificación celular

De nuevo, el contar con marcadores diferenciales permite identificar mejor distintos tipos celulares. Hoy podemos subdividir

⁸ Bonaguro, L., et al. (2022) A guide to systems-level immunomics. *Nat Immunol* 23, 1412-1423. <https://doi.org/10.1038/s41590-022-01309-9>.

ya no en tres tipos: linfocitos T cooperadores, citotóxicos y reguladores, sino que con marcadores de membrana, factores de transcripción y citocinas secretadas podemos subdividir las células en subpoblaciones. Hoy conocemos que hay linfocitos T helper TH1, TH2, TH9, TH17, foliculares, cada uno de ellos encargado de una función diferente. También se han descrito nuevos tipos celulares (linfoides innatas), y podemos identificar incluso diversos tipos de células de memoria (efectora, residente, central).

Las posibilidades que han ofrecido los monoclonales y las técnicas moleculares son enormes, y ahora es posible hacer estudios mucho más sofisticados, dirigidos y con menor incertidumbre que hace unos años.

2.4. Migración celular

El conocimiento de los mecanismos de migración, moléculas de adhesión, quimiocinas que modulan el movimiento celular, se ha incrementado de forma exponencial en los últimos años.

Hoy sabemos que la mayoría de las células inmunitarias no están en circulación, sino en tejidos como el intestinal; que cooperan de forma muy dirigida y organizada, y que vuelven preferencialmente a la zona donde se activaron, gracias a los receptores para quimiocinas que les van dirigiendo hacia el lugar concreto.

2.5. Sistema inmunitario en la base de enfermedades

El sistema inmunitario se encuentra en la mayoría de las enfermedades, no solo en aquellas donde está directamente implicado como en autoinmunidad, alergia o inmunodeficiencias.

El cambio de paradigma está en que la Inmunología participa en casi todos los procesos incluida la inflamación y reparación tisular, y cada vez se encuentra su papel en patologías cardiacas, neurológicas, renales, curación de heridas, manejo del dolor, microbiota, etc.

Es por esto por lo que es tan importante potenciar los servicios de Inmunología en los hospitales, incrementar la docencia en las facultades de ciencias de la salud, ya que los profesionales cada vez deben conocer más y mejor este sistema.

2.6. El sistema inmunitario aprende a corto y largo plazo: Memoria entrenada y clásica

El sistema inmunitario comparte con el sistema nervioso la

capacidad de recordar y aprender. Son los dos únicos sistemas en nuestro organismo que pueden hacerlo.

Se pensaba que la memoria solo podría darse con unas células, los linfocitos T y B, y que era específica. Esto es lo que permite que podamos desarrollar vacunas, para activar la memoria inmunitaria, y que la persona quede protegida de sufrir enfermedad grave cuando llegue el patógeno.

Sin embargo, había algunas evidencias de que algunas vacunas como la de la tuberculosis, la BCG (bacilo de Calmette-Guerín) disminuía otras infecciones respiratorias en los niños de países en vías de desarrollo, donde se aplicaba la vacuna BCG. Se empieza a ver que células inmunitarias innatas, como los macrófagos y las células asesinas naturales (células NK, *natural killer*), podrían tener una memoria más a corto plazo, que no sería específica. Lo que haría el primer estímulo, en este caso la vacuna BCG, sería entrenar a las células innatas para que luego funcionaran mejor, aunque el estímulo fuera diferente. Esto se ha denominado memoria entrenada, para diferenciarla de la memoria específica clásica⁹.

Esto ha abierto la investigación a conocer mejor esta memoria, a analizar qué otros elementos que no son la vacuna BCG pueden activarla, ya que permitiría ayudar a un diseño más racional de las vacunas.

También se ha visto que no siempre esta memoria entrenada es activadora, sino que puede inducir estado de tolerancia o de menor respuesta frente a un estímulo. Esto explica por qué infecciones con bacterias que expresan lipopolisacárido (LPS) pueden inducir un estado de hipo-respuesta en nuestro sistema inmunitario, realizando su efecto sobre las células inmunitarias innatas.

2.7. Interacción microbiota-sistema inmunitario

Las nuevas tecnologías están permitiendo conocer mejor qué tipo de microorganismos se encuentran en el interior de las distintas cavidades de nuestro organismo, intestino, tracto urinario, vagina, tracto respiratorio, conductos mamarios, etc. Este micromundo se conoce como microbiota y se están empezando a conocer sus componentes y también sus cambios, así como la interacción que existe con los sistemas inmunitario y nervioso.

Por ahora se está aprendiendo a conocer esa gran variabilidad de bacterias, en la mayor parte de los casos saprofitas y bene-

⁹ <https://www.cell.com/trends/molecular-medicine/fulltext/S1471-4914%2822%2900077-6>

ficiosas para nuestro organismo, y de qué manera influyen en nuestra salud. Queda aún mucho camino por andar, pero cada vez estamos más cerca de conocer todas sus implicaciones y, como manipularla en nuestro beneficio.

Un ejemplo es la infección intestinal por *Clostridium difficile*, que se puede curar mediante el trasplante de bacterias intestinales de una persona sana a otra que padezca dicha infección. En modelos animales se está también trabajando en el envejecimiento, y cómo la microbiota de un animal joven, puede rejuvenecer determinados aspectos de un animal viejo. Es un futuro de investigación abierto y con mucho potencial.

2.8. Metabolismo e inmunidad

Se ha visto que hay regulación tejido-específica del metabolismo celular, y está surgiendo con fuerza el concepto de **inmuno-metabolismo**, analizando los aspectos de la dieta que pueden afectar de forma importante a la respuesta del sistema inmunitario.

En el libro *Inmuno Power* que escribí, se dan algunas pistas de qué factores son los importantes a tener en cuenta para mantener un sistema inmunitario óptimo, siendo la nutrición crucial. De hecho, los niños malnutridos fallecen sobre todo de infecciones.

2.9. Entender el cáncer y su interacción con el sistema inmunitario

En los últimos años se están conociendo mejor los factores que influyen en el cáncer y en las metástasis, y los tipos celulares que hacen que se favorezca el desarrollo tumoral o por el contrario, que se haga un buen control y vigilancia tumoral.

Las resistencias a la radioterapia y a fármacos, los factores liberados por macrófagos que influyen en el desarrollo de la angiogénesis con la formación de nuevos vasos, la degradación de la matriz con enzimas que permiten a las células escapar del tumor primario y llegar vía linfática o sanguínea a otras localizaciones, son algunos de los aspectos en estudio.

Se han identificado las células inmunitarias que participarían en la destrucción del tumor:

- Macrófagos (tipo M1) que secretan IL-12.
- Células NK.
- Células dendríticas maduras.
- Linfocitos T helper (tipo 1) que producen IL-2 e interferón gamma.

- Linfocitos T citotóxicos que van a matar a las células tumorales.

Por otra parte, hay también tipos celulares en nuestro sistema inmunitario que **intentarían evitar** que se lesionara el propio organismo, y por tanto, que no se atacara a las células tumorales del individuo. Estas células son:

- Macrófagos (tipo M2) que secretan factor de crecimiento transformante beta (TGF β) e IL-6.
- Células dendríticas inmaduras.
- Linfocitos T helper (tipo 2).
- Linfocitos T reguladores que secretan TGF β e IL-10 (citocinas anti-inflamatorias).

El tumor también ejerce un potente **efecto inmunosupresor** en su entorno, bien por la expresión de moléculas en su membrana que inducen a “dormir” a los linfocitos que tratan de eliminarlo, por la secreción de factores inmunosupresores o la creación de un estroma a su alrededor que impide que gran parte de las terapias puedan alcanzarlo.

El **equilibrio de fuerzas inmunitarias** pro- y anti-tumoral es lo que lleva a que el sistema inmunitario pueda o no controlar el desarrollo de un cáncer.

3. INMUNOTERAPIA

El uso de elementos del sistema inmunitario o su manipulación, para conseguir tratamientos más eficaces y específicos, con menos efectos secundarios que otras terapias, es lo que ha llevado a la expansión y desarrollo de numerosos fármacos basados en el sistema inmunitario, y se conoce como INMUNOTERAPIA. En los últimos años ha habido un importante desarrollo de inmunoterapias para distintas enfermedades.

Pero esta inmunoterapia no es nueva. Si tenemos en cuenta el concepto amplio de inmunoterapia, ya llevamos siglos empleándola, como por ejemplo el uso de vacunas, que pretende enseñar al sistema inmunitario para que nos defienda de patógenos, o para curar alergias.

3.1. Vacunación empleando microorganismos patógenos

El uso de patógenos vivos para prevenir una infección se ha llevado a cabo desde hace muchos siglos, y hay evidencias de que antes del siglo X se empleaba en China **“la variolización”** para prevenir de una enfermedad denominada Viruela, que se fue posteriormente extendiendo hacia la India y Turquía, con algunas variaciones.

La variolización consistía en el uso de pequeñas cantidades de pus de vesículas de pacientes con viruela y exponer a niños a través de la nariz (China), lesiones en la piel (India) o inyección (Turquía), para protegerles de padecer viruela (una enfermedad con alta mortalidad y con muchas secuelas con heridas y cicatrices a veces muy importantes). Este procedimiento se introdujo en Inglaterra y resto de Europa a finales del siglo XVIII gracias a una aristócrata inglesa, Lady Mary Wortley Montagu, que lo conoció en su estancia en Constantinopla (hoy Estambul, en Turquía), convenciendo a su médico personal para realizar la variolización a sus propios hijos, y posteriormente convencer que hicieran lo propio a los hijos de los príncipes de Gales.

Este proceso de variolización pronto se modificó por el médico rural **Dr. Edward Jenner**, empleando un patógeno diferente, el virus de la viruela bovina (que afectaba a las vacas). Era conocido que las personas que ordeñaban vacas no padecían de viruela, pero tenían en sus manos vesículas semejantes que procedían de infecciones por parte de las ubres de las vacas. El Dr. Jenner decidió hacer un experimento científico, demostrar si la viruela bovina podría proteger de la viruela humana. Tras llevar a cabo la inmunización a un niño con pus de una vesícula de la mano de la ordeñadora Sarah Nelmes, y posterior infección con viruela humana, lo repitió con más niños, demostrando su eficacia. Pronto se extendió por todo el mundo, sustituyó a la variolización, y a este procedimiento, en honor a Jenner se denominaría **Vacunación**, que se sigue empleando aún hoy en día, aunque ya no se empleen vacas.

Gracias a este procedimiento, la viruela es una enfermedad erradicada desde el año 1980, que la OMS declaró que la tierra estaba libre de viruela, y la vacunación es el procedimiento que junto con el tratamiento del agua y los antibióticos, más vidas salva.

Sin embargo, por esa época no se conocía quién producía las infecciones, para lo que fue crucial el poder contar con un instrumento como el microscopio que permitiría ver a las bacterias. Los virus sin embargo no podían verse por su pequeño tamaño, y se les denominaba “agentes filtrables” ya que atravesaban incluso los filtros que retenían a las bacterias.

Hay confusión sobre quién pudo ser el primer fabricante de microscopios, ya que a finales del siglo XVI había diversos instrumentos que empleaban lentes, sobre todo para su uso en telescopios para visualizar planetas y estrellas. Nombres como Zacharias Janssen, Galileo Galilei o Hans Lippershey están entre los posibles pioneros del desarrollo de objetivos que amplificaban y que podrían considerarse los primeros mi-

croscopios. Pero sin duda el primero que diseñó uno sencillo que aumentaba hasta 300 aumentos, y lo empleó de forma sistemática fue **Antonio Van Leeuwenhoek**.

Al tener ya tecnología, era posible visualizar microbios y diferenciar unos de otros. El primero en descubrir el agente causal de una enfermedad infecciosa fue el **Dr. Robert Koch**, el padre de la Microbiología. Descubrió quién producía la tuberculosis (*mycobacteria tuberculosis* o bacilo de Koch), el carbunco (*bacillus anthracis*) y el cólera (*V. cholerae*), a finales del siglo XIX. Se le debe también a él los estudios de la transmisión de algunas enfermedades por los insectos, y sin duda por sus famosos postulados que establecen las características que debe tener un microorganismo para ser considerado el causante de una enfermedad concreta.

- El microorganismo tiene que estar presente en los individuos enfermos, y ausente en los sanos.
- Es posible extraerlo del individuo enfermo y cultivarlo en un medio puro.
- El microorganismo aislado tras crecerlo en cultivo, debe reproducir la infección original al introducirlo en un individuo sano.
- De este último, es posible obtener el mismo microorganismo y volver a cultivarlo.

Empleando sus métodos, otros investigadores proseguirían su trabajo buscando los agentes causales de enfermedades, encontrando los patógenos que producían la difteria, neumonía, gonorrea, lepra y muchos más. El Dr. Koch intentó desarrollar una vacuna frente a la tuberculosis, pero fracasó.

El que sí lograría vacunas eficaces frente al carbunco (para vacas-ovejas), cólera (de las aves) y rabia (para humanos) fue el **Dr. Pasteur**, otro de los grandes científicos del siglo XIX. Su labor eliminando el concepto de generación espontánea, cómo parar el proceso de fermentación y esterilizar-eliminar patógenos de productos, ha sido básica para mejorar la calidad alimentaria y el desarrollo de industrias en este sector.

La importancia de Pasteur en la vacunación fue demostrar que era posible emplear patógenos atenuados, para conseguir una buena protección de la enfermedad. Ya no era necesario trabajar con bacterias vivas, pues la vacunación con patógenos atenuados era eficaz y no tenía problemas de poder producir la enfermedad.

Poco después se demostraría que se pueden usar patógenos totalmente muertos o incluso partes del patógeno (toxinas, proteínas, azúcares, DNA /RNA, virus modificados como los adenovirus, partículas parecidas a virus) para desarrollar una

vacuna, siendo los siglos XX y XXI los del desarrollo de la mayoría de las vacunas.

Un claro ejemplo es lo que hemos vivido durante la pandemia COVID. Se han desarrollado vacunas de distintos tipos, pero el gran hito, sin duda, gracias a la Dra. Katalin Karikó (que espero obtenga el premio Nobel), fue poder disponer en tiempo récord de unas nuevas vacunas de RNA modificado empleando nanoestructuras lipídicas, capaces de inducir una respuesta inmunitaria frente al virus SARS-Cov-2 que protege de enfermedad grave y evita muertes.

Otro aspecto de desarrollo en las vacunas ha sido la aprobación de **nuevos adyuvantes**. Durante muchos años se empleaban las sales de aluminio y las agencias eran reacias a incorporar cambios, demostrada su eficacia y seguridad. Un mejor conocimiento del sistema inmunitario en lo que respecta a los receptores de reconocimiento de patrones, ha llevado a un salto muy importante en el diseño y aprobación de nuevos adyuvantes que incorporan soluciones oleosas, saponinas como la obtenida del árbol Quillaja saponaria, o combinaciones de adyuvantes previamente aprobados.

Recientemente se han incorporado nuevas vacunas al calendario, como las multivalentes frente al neumococo, herpes varicela zóster, virus respiratorio sincitial, y muchas más en ensayos clínicos.

Un ejemplo de vacuna en ensayos es una nueva frente a la tuberculosis desarrollada por el Dr. Carlos Martín, de la Universidad de Zaragoza, que se encuentra ya en fase clínica III. Está basada en una micobacteria tuberculosis que se ha modificado genéticamente, que está dando muy buenos resultados y es previsible pueda comercializarse pronto.

Pero no hay que olvidar que las vacunas no solo son para prevenir enfermedades, sino que es posible curarlas. Un ejemplo son las vacunas para la alergia, que llevamos años usándolas. Es un tipo de inmunoterapia específica, que en este caso lo que intenta es desensibilizar a los pacientes frente a un determinado alérgeno.

Otras son las vacunas anti-tumorales. Se están estudiando vacunas de RNA, DNA, vacunas proteicas, o el empleo de células dendríticas pulsadas con antígenos tumorales, con el fin de estimular el sistema inmunitario de forma específica frente al tumor.

La inmunoterapia con vacunas anti-tumorales es posible que sea una realidad en poco tiempo.

3.2. Microorganismos para curar el cáncer

En ocasiones, la ciencia ha avanzado por descubrimientos al azar, sin buscarlos. Un ejemplo es el que se observó en personas con tumores que padecían infecciones como erisipela; su tumor disminuía de tamaño o incluso se curaban completamente. Esto llevó en 1891 al Dr. William Coley a usar mezcla de bacterias para obtener un preparado que se aplicó durante más de 40 años a pacientes con tumores, que se denominó toxina de Coley, y que incluso sus éxitos aparecían reflejados en los periódicos de la época.

Con el tiempo, esta terapia cayó en desuso, por el desarrollo de otras más efectivas como la radioterapia. Pero el Dr. Old estudió el bacilo de Calmette-Guerín, mostrando que podía ser también eficaz para activar el sistema inmunitario y ayudar a la eliminación de determinados tipos de cáncer. Esto llevaría a la aprobación por parte de la FDA del uso de la BCG en **cánceres de vejiga urinaria**, que sigue empleándose en la actualidad.

Además de las bacterias, se está también trabajando con virus, bien directamente capaces de matar células tumorales (oncolíticos) o que induzcan una infección que lleve a que el sistema inmunitario actúe frente al tumor.

Ya se han aprobado algunos virus y es muy posible que este campo se incremente aún más en el futuro.

3.3. Inmunoterapia con anticuerpos monoclonales

Los monoclonales, específicos de un determinado compuesto, han cambiado cómo podemos estudiar las enfermedades, buscar biomarcadores y medirlos, pero, sobre todo, curar a los pacientes. Además, están permitiendo el desarrollo de la investigación en distintos campos, y se han podido purificar compuestos de una forma mucho más específica.

Actualmente se emplean en cientos de enfermedades, incluidas las enfermedades autoinmunitarias, diversos tipos de cánceres, degeneración macular, migraña, Alzheimer, y un largo etc. Ha habido un antes y un después de la técnica de generación de hibridomas por los Dres. César Milstein y G. Köhler. Hay anticuerpos que pueden ir dirigidos frente a un tumor (por ejemplo, una leucemia), también pueden bloquear factores de crecimiento o sus receptores, pueden llevar fármacos o sustancias tóxicas, pero también pueden ayudar a activar el sistema inmunitario que está

“dormido” por las células tumorales.

Los anticuerpos pueden modificarse, emplearse solo los brazos de anticuerpo (Fab) o sus dominios variables (scFv), cada brazo ser diferente (bi-específico), unido a elementos fluorescentes, toxinas, fármacos, bolitas magnéticas, nanomateriales, sustancias radioactivas, etc.

Las posibilidades actuales del uso de anticuerpos o sus derivados son casi infinitas.

3.4 Anticuerpos anti-puntos de control (checkpoint inhibitors)

Una de las auténticas revoluciones en los años más recientes ha sido la de conocer que es posible activar el sistema inmunitario frente a un tumor, bloqueando con anticuerpos monoclonales unos receptores de membrana en la superficie de los tumores (PDL-1) o de los linfocitos T (PD-1, CTLA-4 u otros).

En el año 2014 se aprobó su uso para melanoma, y hoy son más de 25 tumores distintos se están tratando con éxito con esta terapia. Consiste en administrar un anticuerpo monoclonal dirigido frente a alguna de estas moléculas inhibitoras. Al bloquearlas, el linfocito T es capaz de activarse y matar al tumor.

Los anti-checkpoint inhibitors han cambiado el panorama de muchos pacientes con cáncer, donde otras terapias habían sido ineficaces.

3.5. Inmunoterapia CAR

El Dr. Carl Yung empleó una tecnología novedosa para la curación de leucemias empleando células modificadas genéticamente, transformado linfocitos T en células que expresen un anticuerpo, y sean capaces de lisar células tumorales directamente del propio paciente¹⁰. Este receptor quimérico (parte de anticuerpo-parte del receptor de la célula T) se denomina CAR (del inglés, *chimeric antigen receptor*), y ha demostrado su utilidad clínica inicialmente en tumores hematológicos (leucemias, linfomas, mielomas), en algunas enfermedades autoinmunitarias (como lupus), y se está iniciando también para otro tipo de enfermedades (infecciosas, trasplantes, alergias severas), pero sobre todo en tumores sólidos.

Además de las células T del propio paciente, se están inten-

tando usar otro tipo de células como las células NK (con menos capacidad proliferativa), o de otros individuos (alógenas). El rechazo que puede existir frente a células o líneas celulares obtenidas de otra persona es uno de los aspectos que hay que tener en cuenta, con el fin de lograr células que pudieran emplearse de una forma más universal y no tan personalizada como hasta ahora.

Lo importante es tener una molécula diana, lo más específica posible, de forma que la célula portadora del CAR pueda reconocer y destruir directamente. Inicialmente el CAR más empleado va dirigido frente a la molécula CD19 de linfocitos B tumorales. Otras moléculas diana son el BCMA de mielomas, el CD20 en linfomas, mesotelina, factor de crecimiento epidérmico humano (EGFR), CD22, Mucina 1, y otros, que están sobre-expresados en determinados tumores.

Actualmente hay varias empresas que comercializan CAR-T a precios muy elevados, lo que ha llevado a constituir una comisión en el Ministerio de Sanidad, para establecer unos criterios de qué pacientes podrían beneficiarse de esta terapia tan costosa, y delimitar centros donde pueda llevarse a cabo. Sin duda, iniciativas como la del Dr. Manel Juan y su equipo en el Hospital Clinic de Barcelona, con el desarrollo de los primeros CAR-T de tipo académico aprobados en Europa¹¹, ya están consiguiendo que los precios bajen y que esta terapia pueda llegar a más pacientes.

3.6. Combinación de inmunoterapias

La inmunoterapia está siendo una revolución sobre todo en Oncología, en Reumatología, en Medicina Interna, Oftalmología, Nefrología... Gracias a la inmunoterapia, se están salvando muchas vidas.

Actualmente las posibilidades terapéuticas se han incrementado exponencialmente en los últimos años, y también las combinaciones de distintas terapias. Como ejemplos, el empleo de anti-checkpoint inhibitors con vacunas anti-tumorales o con terapia CAR; radiación para potenciar la muerte inmunogénica y activar la inmunidad anti-tumoral, combinaciones de anticuerpos, etc.

La inmunoterapia es una realidad y tendremos mucha más en el futuro, sola o combinada.

¹⁰ Porter DL, Kalos M, Zheng Z, Levine B, June C. (2011). Chimeric Antigen Receptor Therapy for B-cell Malignancies. *J Cancer*. 2:331-2. doi: 10.7150/jca.2.331.

¹¹ <https://www.clinicbarcelona.org/en/news/aemps-authorises-hospital-clinics-car-t-ari-0001-for-patients-with-acute-lymphoblastic-leukaemia>.

4. RETOS DE LA BIOMEDICINA ACTUAL

4.1. Las 4 Ps

El desarrollo de la biomedicina en el futuro estará basada en las 4 Ps:

Preventiva, Predictiva, Personalizada y Participativa

Hay que trabajar en el estudio de biomarcadores, técnicas de imagen, conocer el microbioma, incrementar nuestro conocimiento en Inmunología, desarrollo de nuevas terapias, e integrar todos los datos bioinformáticos en formato electrónico (e-Health).

Por otra parte, la medicina va de la mano de la bioingeniería. No solo en técnicas de diagnóstico y terapia (resonancia, protonterapia, TAC, técnicas combinadas de imagen), sino como ayuda en nuestro día a día. Cada vez somos más biónicos con prótesis en caderas y rodillas, prótesis adaptadas a personas sin miembros, implantes dentales, lentes intraoculares que sustituyen el cristalino, implantes cocleares, material que sustituye a ligamentos y tendones, y un largo etc.

La bioingeniería está dando pasos de gigante en poco tiempo, y están apareciendo nuevos materiales (nano, micro y macro), que será imprescindible conocer cómo interaccionan con nuestro cuerpo, sobre todo cómo los reconoce nuestro sistema inmunitario. Aportan versatilidad, pero también pueden ser tóxicos, acumularse en nuestro organismo e inducir respuestas inflamatorias.

El desarrollo de organismos sintéticos, materiales biomiméticos, ingeniería de tejidos con impresión en 3D o crecimiento en modelos tridimensionales, ingeniería genética, biomecánica, química dirigida, es solo el principio de un futuro que se abre muy prometedor.

El extraordinario desarrollo de la informática y el manejo de grandes cantidades de datos, junto con procesos de inteligencia artificial, como el aprendizaje de máquina, puede ayudar mucho en el proceso de diagnóstico de enfermedades, en su seguimiento y pronóstico. El manejo de todos los datos (big data) debe tener siempre como reto mejorar la salud de los ciudadanos. Puede ayudar en muchos aspectos:

- Estudio de datos de salud de los pacientes.
- Monitorización de datos (analíticos, tensión arterial, glucosa,

colesterol).

- Identificación de imágenes patológicas (Rx, datos histológicos de Anatomía patológica).
- Prevención de errores de medicación, reducir el fraude, el abuso y excesos de medicación.
- Reducir costes.
- Reducir la readmisión de pacientes.
- Identificar pacientes de alto riesgo que pueden beneficiarse de una terapia.

4.2. Temas legales

La sociedad está cambiando y también lo hace en los aspectos éticos y legales en torno a la salud, y al propio conocimiento del individuo respecto a su enfermedad y a sus datos.

El paciente ya no es una persona pasiva, sino que es propietaria de su historia clínica, y puede tomar decisiones sobre ella. Puede además tomar decisiones sobre su salud, sobre qué hacer en casos de deterioro importante (testamento vital), puede dar o no consentimiento de sus datos y muestras para la investigación, entrar o no en ensayos clínicos, e incluso decidir si quiere que se finalice con su vida en casos especiales (eutanasia).

4.3. Retos Formativos

Todos estos aspectos en los que ha cambiado la Inmunología en años recientes exigen claramente cambios formativos en nuestras escuelas, institutos, facultades y medios de comunicación.

Las guías docentes deben actualizarse, libros y diverso material, para formar a la población sobre qué es el sistema inmunitario y su verdadero papel.

También, incrementar el conocimiento de Inmunología en los programas formativos en los hospitales, y cambios en la especialidad.

Incrementar el conocimiento de los niños sobre el sistema inmunitario para que conozcan aspectos claves de cómo funciona y qué aspectos pueden ser beneficiosos como una adecuada nutrición, horas de sueño, exposición al sol para obtener vitamina D a través de nuestra piel, oligoelementos y vitaminas esenciales, así como los elementos perjudiciales como el stress, consumo de tabaco, alcohol y drogas.

Incluir temarios específicos en los libros de texto en las escuelas e Institutos por personal experto, y desarrollar programas en radio, prensa, televisión, con esta temática.

Hay una asignatura pendiente en lo concerniente a la formación en Inmunología.

4.4. Retos Científicos

Entre los principales retos científicos que yo creo que deberíamos centrarnos en los próximos años:

PREVENCIÓN

Vacunas preventivas

- Desarrollo de vacunas eficaces frente a tuberculosis (es la enfermedad que más mata en el mundo, con 1,6 millones de personas anualmente, superando ya al SARS-Cov2, HIV o malaria).
- Vacunas frente a HIV, nuevas vacunas adaptadas a nuevos sublinajes de SARS-CoV-2.
- Vacunas más estables y eficaces. Búsqueda de rutas alternativas que no requiera de inyección.
- Investigación en nuevos adyuvantes más potentes, conocer mejor la inmunidad entrenada.
- Vacunas adaptadas a personas mayores para paliar la inmunosenescencia.
- Cómo actuar con los grupos anti-vacunas, que ponen en riesgo a la población (vuelven a surgir con fuerza enfermedades como el sarampión).

Estudio de los microorganismos

- Seguimiento de las zoonosis, variantes y linajes de patógenos.
- Diseño de nuevos anti-microbianos para los patógenos multi-resistentes.
- Mejorar la eficacia de los virus oncolíticos.
- Conocer mejor la microbiota y su manejo.

DIAGNÓSTICO

Encontrar Biomarcadores

- Diagnóstico de enfermedades / nuevas patologías.
- Interacción sistema inmunitario-enfermedad.
- Evolución de la enfermedad.
- Pronóstico.
- Selección de pacientes (inmunoterapia, CART...) Células, exosomas, ADN, ARN, Proteínas.

TERAPIA CON ANTICUERPOS o sus derivados

Mejorar la inmunoterapia, selección de pacientes y seguimiento.

- Validar biomarcadores para estratificar pacientes y predecir eficacia y posibles efectos secundarios.
- Combinación con otras terapias.
- Estudios inmunológicos en profundidad.

TERAPIA CELULAR

Terapia CAR-T y CAR-NK

- Nuevos diseños académicos.
- Diseño de células universales.
- Búsqueda de biomarcadores pronóstico de éxito de terapia celular.
- Estrategias para disminuir la toxicidad (liberación descontrolada de citocinas).
- Incrementar la eficacia en tumores sólidos.
- Selección de pacientes con infecciones, autoinmunidad, trasplantes, alergia que puedan beneficiarse de este tipo de terapias.

Dendríticas, células NK, células mesenquimales...

- Mejorar los ensayos clínicos.
- Protocolos estandarizados.
- Mejorar la selección de las células.

La Inmunología es una ciencia extraordinaria, que ha dado un salto cualitativo y cuantitativo respecto a su conocimiento básico y aplicado.

El sistema inmunitario es muy complejo, pero ya vamos conociendo casi todos sus secretos.

Dra. África González Fernández es Catedrática de Inmunología, Universidad de Vigo. Académica de Número de la RAFG.

Miembro de la Red de Investigación en inmunoterapia del cáncer (REINCA (2023-2024).

Miembro de la alianza para la investigación en cáncer de páncreas (ALIPANC).

MIEMBRO DE HONOR DISTINGUIDO AÑO 2023 DEL INSTITUTO CULTURA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA EN INMUNOLOGÍA DE UNA INVESTIGADORA

José Luis Vázquez López

Presidente del Instituto de Cultura Ciencia y Tecnología (ICCT). Director de la revista "INVESTIGACIÓN".

La editorial anterior titulada "LA INMUNOLOGÍA EN LA SOCIEDAD ACTUAL", de la autora **Dra. María África González Fernández**, nos la envió para publicación en la presente revista, cuando aún desconocía la citada científica el nombramiento que se hace constar. Se le concedió, teniendo en cuenta su importante trayectoria profesional, así como, su preocupación social en los momentos más difíciles del COVID-19, donde ha tenido a gala ir poniendo de relieve sus conocimientos en divulgación científica (en los distintos medios de comunicación nacionales), acercando a la sociedad los enfoques para una mejor comprensión, que llevó a cabo como experta inmunóloga que es.

Por todo ello, en la reunión del órgano directivo del Instituto de Cultura, Ciencia y Tecnología (ICCT), que tuvo lugar en el Círculo de Empresarios de Galicia, en Vigo, el jueves día 25 de mayo de 2023, le fue otorgado el nombramiento de "Miembro de Honor Distinguido año 2023" del ICCT, a **D^a. María África González Fernández**, doctora en Medicina y Cirugía por la Universidad de Alcalá de Henares (Madrid), con premio extraordinario en su licenciatura, actualmente catedrática de Inmunología en la Universidad de Vigo, y Académica numeraria de la Real Academia de Farmacia de Galicia (RAFG).

En su amplia trayectoria profesional, realizó la especialidad de Inmunología en el servicio de Inmunología de la Clínica Puerta de Hierro, de Madrid (1986-1991), al mismo tiempo que la tesis doctoral, la cual presentó en la Universidad de Alcalá de Henares

(Madrid) en mayo de 1991. Con una beca EMBO, realizó una breve estancia en el Laboratory of Molecular Biology (LMB) del Medical Research Council (MRC) de Cambridge (Inglaterra), para aprender técnicas de biología molecular. Tras finalizar la tesis y especialidad, realizó una estancia postdoctoral de cuatro años en el Laboratory of Molecular Biology de Cambridge bajo la supervisión del **Dr. César Milstein** por la técnica de obtención de anticuerpos monoclonales. Fue directora del Centro de Investigaciones Biomédicas (2009-2019) y Presidenta de la Sociedad Española de Inmunología (2016-2020). Coordina el área 2 del Instituto de Investigación sanitaria Galicia Sur (IIS-GS). Ha recibido diversos premios por su trayectoria científica y profesional.

El primer nombramiento en el año 2019 de **Miembro de Honor Distinguido** fue concedido al científico **Dr. Juan Luis Arsuaga Ferreras**, uno de los tres directores de Atapuerca, equipo galardonado con el Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica de 1997.

El segundo nombramiento en el presente año 2023, recayó en la **investigadora Dra. María África González Fernández**, como "Miembro de Honor Distinguido" 2023 del ICCT, y fue ratificada en la Asamblea General del INSTITUTO CULTURA, CIENCIA Y TECNOLOGÍA (ICCT), celebrada el jueves 25 de mayo de 2023.

Al igual que a cada uno de los Miembros del Órgano Directivo, se acordó por unanimidad

asignarle el **Área de Divulgación Científica en el ámbito biomédico del ICCT, en Galicia**.

Conforme al Reglamento de "Miembro de Honor" a la **Dr^a. África González Fernández**, se le reconocen todos sus méritos para dicha concesión, en un acto que se llevará a cabo en la Sede Auditorio Afundación de la Obra Social ABANCA, el **jueves 19 de octubre de 2023**, y que se invita a los investigadores y sociedad en general al mismo (hasta completar aforo), donde se llevará a cabo la entrega de la **MEDALLA Y DIPLOMA ACREDITATIVOS**, que tendrá lugar en la ciudad de Vigo, será con carácter de homenaje a su labor, y se materializará, como corresponde a un **MIEMBRO DE HONOR DISTINGUIDO** del Instituto de Cultura, Ciencia y Tecnología. Así queda especificado y ratificado en nombre de los académicos, científicos, investigadores, profesionales e instituciones que forman parte del Órgano Directivo de este Instituto.

Para cerrar este apartado, recuerdo las palabras de África González, en la presentación de uno de sus interesantes y recientes libros titulado "INMUNO POWER. Conoce y fortalece tus defensas", donde me decía, *"el sistema inmunitario es uno de los más importantes pero más desconocidos, espero que el libro ayude a desvelar parte de sus secretos"*, y quiero añadir, que su preocupación en seguir dando a conocer la inmunología, como académica e investigadora, también de su mano llega a nuestra revista, con su editorial anterior titulada "LA INMUNOLOGÍA EN LA SOCIEDAD ACTUAL".

COMPUTACIÓN CUÁNTICA DE ALTAS

PRESTACIONES EN LA ERA NISQ

Mariamo Mussa Juane, Guillermo Díaz Camacho, Daniel Faílde Balea,
Constantino Rodríguez Ramos, José Daniel Viqueira Cao, Andrés Gómez Tato

Fundación CESGA (Galician Supercomputing Centre). Santiago de Compostela. España.

RESUMEN

En su 30 aniversario, el CESGA continúa ofreciendo recursos computacionales, ahora con su recién instalado supercomputador Finis Terrae III. Este año, amplía su versatilidad de cómputo con el despliegue de una infraestructura de computación cuántica. La computación cuántica se encuadra dentro de las tecnologías emergentes y disruptivas con alto potencial transformador de la ciencia, la tecnología y la economía para beneficio de la sociedad. Con esta inversión, se desplegará un computador cuántico de propósito general que, hoy, será el que cuente con más cubits de acceso público en Europa.

En este artículo, nos proponemos dar a conocer qué es la computación cuántica y la visión que el CESGA tiene sobre la arquitectura que va a adquirir: computación cuántica en un contexto de computación de altas prestaciones.

INTRODUCCIÓN

Breve historia de la computación cuántica

La computación cuántica surge en los años ochenta cuando se empieza a especular sobre la posibilidad de crear un computador basado en las leyes de la mecánica cuántica. Se considera a Benioff como el pionero por proponer una máquina de Turing cuántica y la noción de computación cuántica universal [1]. Son Feynman [2] y Manin [3] los que empiezan a hablar de simular la naturaleza con sistemas cuánticos.

En 1992, Deutsch y Jozsa proponen un algoritmo que, a pesar de no tener uso práctico, es el primer algoritmo cuántico expo-

nencialmente más rápido que su versión clásica [4]. Un algoritmo con ventaja cuántica e interés práctico es el algoritmo de Grover del año 1996 [5]. Este algoritmo permite búsquedas en bases de datos con una aceleración cuadrática con respecto a su análogo clásico.

Es en 1994 cuando la computación cuántica capta toda la atención al hacer peligrar los cimientos de la ciberseguridad de los sistemas de la información y las comunicaciones. La encriptación vigente se basa en los tiempos de cómputo desorbitados, del orden de miles de millones de años, que un computador convencional usando los algoritmos conocidos necesita para factorizar números grandes. Cuando, un matemático llamado Peter Shor [6] muestra un algoritmo que en teoría es capaz de realizarmucho más rápidamente usando computación cuántica, ésta empieza a considerarse como alternativa para resolver problemas intratables para la computación clásica, a pesar de que no existía todavía un computador que pudiera operar con los conceptos descritos teóricamente. De hecho, a nivel hardware, hay que esperar hasta 1998 cuando Isaac Chuang de Los Alamos, Niel Gershenfeld del MIT y Mark Kubenic de la Universidad de California crean el primer computador cuántico. Poseía solo 2 cubits y era capaz de transformar entradas en salidas. Un cúbit es la unidad básica de información cuántica. En la siguiente sección, se explica más en detalle. A pesar de su limitación para resolver problemas relevantes, este computador de 2 cubits es el primer aliciente para demostrar la viabilidad de un computador cuántico. En el 2000, Emanuel Knill, Raymond Laflamme y Rudy Martínez de Los Alamos y Ching-Hua Tseng del MIT anuncian un computador cuántico de 7 cubits y un año después se

demuestra empíricamente el algoritmo de Shor. Consiguen factorizar el número 15 en un computador cuántico real [7] y la investigación en computación cuántica se dispara. En 2019, Google asegura haber conseguido por primera vez la ventaja cuántica (es decir, un problema que no se podría resolver clásicamente en un tiempo razonable) con un cálculo imposible para un computador clásico [8, 9], aunque el resultado es muy discutido e incluso existen demostraciones clásicas posteriores del mismo cálculo, aunque con un consumo energético muy superior [10].

En cuanto a la tecnología que se emplea, existen dos grandes arquitecturas: los *annealers* y los computadores cuánticos basados en puertas (también denominados universales). En 1999, se funda D-Wave¹, primera compañía en vender computadores que se aprovechan de los efectos de la cuántica basados en *annealing cuántico*, también denominada computación adiabática. Un *annealer* está enfocado a resolver problemas muy concretos de optimización englobados bajo el paraguas tipo QUBO (del inglés *Quadratic Unconstrained Binary Optimisation*). El problema QUBO tipo es el siguiente. Dada una red, *figura 1*, formada por nodos y enlaces, el objetivo del *annealer* es encontrar la partición de esta red en dos subredes que maximice el número de nodos diferentes conectados². En el mercado, ya está disponible un D-Wave de más de 5000 cubits.

Los computadores cuánticos basados en puertas son universales, esto es, son capaces de resolver cualquier tipo de problema, optimización tipo QUBO y más. A finales de 2022, IBM³ presenta Osprey con 433 cubits y espera presentar a finales de este año 2023 Condor, superando el millar con 1121 cubits. Más adelante veremos que no todo es el número de cubits. El tipo de cúbit de IBM es el cúbit superconductor, pero hay otras posibilidades: iones, átomos neutros, vacantes en diamante, etc. Difieren entre ellos en la física o en la tecnología usada (los superconductores, por ejemplo, son sistemas cuánticos fabricados específicamente mientras los iones usan propiedades físicas de átomos seleccionados), en la forma de manipular la información en cada cúbit, en los tiempos de cómputo que permiten, o en el grado de conectividad de los cubits, entre otras características. Frente a la solución anterior basada en *annealers*, ésta presenta más versatilidad en problemas a resolver.

Además de las mencionadas IBM, Google y D-Wave, hoy son ya numerosas las empresas que prestan esfuerzos en el desa-

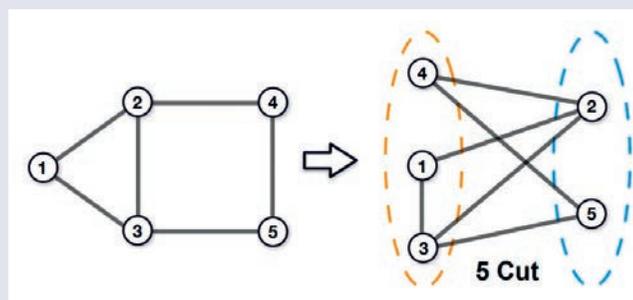


Figura 1. Ejemplo de problema que resuelve un annealer, el problema del max-cut. Las subredes formadas por los nodos {1, 3, 4} y {2, 5} maximizan el número de enlaces cortados, en este caso, 5 (11).

rollo de la computación cuántica: Oilmanjaro, IQM, Fujitsu, OQC, Quantinuum, Pascal, AQT, Quandela, Intel, Microsoft, Rigetti, IonQ, etc. En 2018, la Comisión Europea anuncia la Quantum Technologies Flagship. Su página web abre con “el futuro es cuántico”⁴ y su objetivo es liderar la segunda revolución cuántica, la revolución de las tecnologías basadas en la física cuántica más sutil.

Cubits, superposición, entrelazamiento e interferencia

Para comprender este nuevo paradigma computacional es necesario presentar una serie de conceptos de la mecánica cuántica. Pensemos un computador como un experimento físico que transforma entradas en salidas según unas reglas. En un computador clásico, la unidad básica de información de esas entradas y salidas es el bit. Bit es una voz inglesa, acrónimo de *bi(nary) (digi)t* o dígito binario en castellano. A su vez, es un juego de palabras pues en inglés un *bit* es un pedazo, muy en consonancia con unidad mínima de algo. De hecho, la Real Academia Española define el bit como “Unidad de medida de cantidad de información, equivalente a la elección entre dos posibilidades igualmente probables”. Juntando varios bits, se pueden representar diversas informaciones. Así, un computador clásico de 4 bits puede representar los números enteros positivos entre 0 y 15 o cualquier otro concepto que tenga 16 posibilidades diferentes. Por el contrario, la unidad básica de información de un computador cuántico es el cúbit, del inglés *qubit*, cuyo prefijo deriva de la palabra cuántica, en latín *quantum*, que significa cantidad. Así, un computador cuántico de 4 cubits representa de forma simultánea todos los números enteros entre 0 y 15.

¹ D-Wave - <http://dwavesys.com>

² Se conoce como el problema max-cut.

³ IBM - <http://www.ibm.com>

⁴ Quantum Technologies Flagship- <https://qt.eu/>

¿Pero qué es realmente un cúbit? Mientras que en la computación clásica el bit puede estar en el estado 0 o en el estado 1, en la computación cuántica, el cúbit es un ente físico (natural o construido) del que podemos extraer un cero o un 1 con cierta probabilidad. La propiedad cuántica de este fenómeno es la superposición. La superposición no significa ni “y” ni “o”, es una forma nueva de combinar estados:

$$|\Psi\rangle = \alpha_0|0\rangle + \alpha_1|1\rangle.$$

$| \cdot \rangle$ es la nomenclatura que se emplea en cuántica para denotar los estados del cúbit, α_0 y α_1 son números complejos⁵ y son las amplitudes asociadas a los estados $|0\rangle$ y $|1\rangle$, respectivamente. Si retomamos el símil del computador y el experimento físico, mientras no se mide, el cúbit está en el estado superpuesto $|\Psi\rangle$. Los estados $|0\rangle$ y $|1\rangle$ se conocen como base computacional.

Imaginemos que ahora tenemos dos cubits. La base computacional está formada por los cuatro estados $|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle$. Notemos que, el número de estados que forman la base computacional crece como 2^N , donde N es el número de cubits. Por lo que un estado de dos cubits se puede escribir como combinación lineal de esta base computacional:

$$|\Psi\rangle = \alpha_{00}|00\rangle + \alpha_{01}|01\rangle + \alpha_{10}|10\rangle + \alpha_{11}|11\rangle.$$

Al igual que en el caso para un cúbit, la probabilidad de observar cualquiera de los estados $|x\rangle = \{|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle\}$ viene dada por el módulo al cuadrado de su amplitud: $|\alpha_x|^2$ tal que $\sum_x |\alpha_x|^2 = 1$. De forma genérica, estos estados no se pueden obtener como producto de dos cubits individuales. La propiedad cuántica que permite este fenómeno se llama entrelazamiento. El ejemplo más simple de entrelazamiento, y al mismo tiempo de máximo entrelazamiento, son los estados de Bell. Uno de ellos es:

$$|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|00\rangle + |11\rangle).$$

Sucede que, si se observa uno de los cubits, el otro colapsa a un estado que conocemos con antelación. El entrelazamiento implica que si mido para el primer cúbit $|0\rangle$, el otro cúbit colapsa al estado $|0\rangle$ y si mido $|1\rangle$.

En esa imagen del computador cuántico como experimento físico, son las puertas cuánticas las encargadas de transformar

las entradas en salidas. Estas transformaciones son siempre unitarias, es decir, siempre preservan la norma, $\sum_x |\alpha_x|^2 = 1$. Un ejemplo de puerta es la puerta Hadamard, H, que crea el estado de superposición equiprobable:

$$H|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle + |1\rangle).$$

En efecto, si se eleva al cuadrado el coeficiente que acompaña a los estados, se obtienen las mismas probabilidades de observar $|0\rangle$ y $|1\rangle$.

Otro fenómeno cuántico del que la computación cuántica se vale es la interferencia. La interferencia es el solapamiento de dos o más ondas para formar una onda resultante de mayor, menor o igual amplitud. Por ejemplo, la interferencia ayuda a la computación cuántica a realizar cálculos de forma más rápida que la computación clásica al amplificar los estados que nos interesan y eliminar aquellos que no.

Con la computación cuántica creamos circuitos cuánticos, que son la concatenación de puertas cuánticas, para modificar el estado de los cubits hasta otro deseado, momento en que observamos, medimos, y colapsamos el estado. En ese momento, recuperamos bits clásicos. Así, la computación cuántica emplea fenómenos cuánticos como la superposición, el entrelazamiento o la interferencia para procesar la información.

Era NISQ

Una vez expuestos los conceptos teóricos básicos detrás de la computación cuántica, es necesario preguntarse hasta qué punto se encuentra avanzado el desarrollo del hardware. El físico teórico Di Vincenzo (11) formuló una serie de requisitos que sirven de guía para la construcción de los computadores cuánticos de puertas:

- 1) Identificar el cúbit, un sistema físico con dos grados de libertad con capacidad para superponerse. Además, un computador cuántico debe mantener la fidelidad y eficiencia al escalar el sistema, esto es, al hacer interactuar dos o más cubits.
- 2) Poder inicializar el estado de los cubits a un estado de referencia como, por ejemplo, el estado $|000\rangle$.
- 3) Poseer tiempos de coherencia de una duración relevante, superiores al tiempo de ejecución de una puerta. Un cúbit es un sistema abierto que interactúa con su entorno.

⁵ Un número complejo puede expresarse como, $a+bi$ donde a es la parte real y $b \cdot i$ es la parte imaginaria. i es la unidad imaginaria que satisface la ecuación $i^2 = -1$. Parte real y parte imaginaria son independientes por lo que no representamos un número complejo en 1 dimensión sino en 2 dimensiones sobre un eje cartesiano.

Los qubits son sensibles a fluctuaciones térmicas, al campo magnético terrestre, a los rayos cósmicos, a radiación local procedente de redes de telecomunicaciones o incluso a qubits vecinos dentro del computador cuántico, lo que se conoce como ruido *crosstalk*. Estos factores afectan a la precisión del computador cuántico. La consecuencia es que la información del sistema cuántico se vuelve azarosa o incluso desaparece. La evolución del qubit deja de ser unitaria. Esto se conoce como decoherencia cuántica. En un computador cuántico, buscamos maximizar los tiempos de coherencia para ejecutar el mayor número de operaciones.

- 4) Para poder construir un computador cuántico universal, se debe poder manipular el qubit a través de un grupo de puertas cuánticas universales. Las puertas cuánticas universales son un grupo de puertas a partir de las cuales se puede obtener cualquier transformación unitaria que convierta un estado de un qubit en cualquier otro.
- 5) Por último, tener la capacidad de medir, hacer colapsar el estado.

La era actual de la computación cuántica recibe el nombre de era NISQ, del inglés Noisy Intermediate-Scale Quantum, nombre propuesto por Preskill [11]. Primero, Noisy (ruidoso en castellano) porque los computadores cuánticos actuales incurren en errores que toman la forma de ruido derivado de la propia naturaleza de los qubits, relacionada con los puntos (1) y (3) y por las limitaciones técnicas a la hora de inicializar (2), ejecutar puertas (4) y medir (5). Segundo, Intermediate-scale (escala intermedia) porque el tamaño de los computadores cuánticos es todavía limitado. En 2018, Preskill apuntaba que los computadores cuánticos entre 50 y 100 qubits iban a ser capaces de superar las capacidades de los computadores clásicos de ese tiempo. Sin bien, también añade que un computador cuántico de 100 qubits no iba a cambiar el mundo.

Sin embargo, el progreso de la computación cuántica es imparable. Como ya señalamos, IBM lanza a finales de 2022 Osprey de 433 qubits y espera presentar a finales de este año 2023 Condor con 1121 qubits. Pero no todo es el número de qubits. Hay que tener en cuenta otros factores como: la interconexión que existe entre los qubits, sus tiempos de coherencia, los errores de la inicialización, de la ejecución de las puertas y de la medida, etc. Todo ello para mitigar al máximo posible el error en la ejecución de los algoritmos. Con todo, la era NISQ

es la era en la que tanto el control de los qubits, debido al ruido, como la escalabilidad están comprometidos.

Ventaja cuántica

El interés puesto en la computación cuántica no es meramente paradigmático. Su provecho frente a la computación clásica es lo que impulsa su desarrollo:

- En forma de ventaja cuántica. Se espera que ciertos algoritmos cuánticos permitan resolver problemas que los clásicos, por memoria necesaria o por tiempos de ejecución excesivamente largos (años o miles de años), no pueden. Ejemplo de esto, el algoritmo de Shor para factorizar grandes números (enteros que necesitan una representación con miles de bits), que es más eficiente para un número de bits grande que los algoritmos clásicos conocidos para este problema, o simulación de física de materiales o de moléculas de gran escala.
- En forma de rapidez cuántica. Ciertos problemas resolubles clásicamente pueden acelerarse a través de algoritmos cuánticos como es el algoritmo de búsqueda de Grover con una aceleración cuadrática.
- En forma de mejora cuántica: encontrar soluciones cuánticas a nivel cualitativo y de implementación más adecuadas que las clásicas, por ejemplo, los algoritmos de optimización combinatoria.
- En forma de eficiencia cuántica: obtener soluciones con un consumo energético inferior⁶. En el artículo de Google en el que se demuestra la ventaja cuántica, también se menciona que el consumo energético es 7 órdenes de magnitud menor que su análogo clásico [8].

DESARROLLO

Visión del CESGA a futuro: computación cuántica de altas prestaciones

Un computador cuántico no existe per se. Tanto el acceso al computador cuántico como el procesado de los datos de entrada y salida son clásicos. Así, un computador cuántico complementa a un computador clásico y funciona como un procesador más. Por tanto, arquitecturas que contemplen computadores cuánticos serán siempre híbridas cuántico-clásicas⁷.

⁶ Véase Quantum Energy Initiative - <https://quantum-energy-initiative.org/>

⁷ Si bien es cierto que está demostrado teóricamente que un computador cuántico puede hacer cualquier operación clásica (como sumas, multiplicaciones, divisiones, etc.), probablemente a medio plazo, la eficiencia de ese funcionamiento o la capacidad real de hacerlas no será suficientemente buena. O incluso, que nunca llegue a competir en ese tipo de operaciones con un computador clásico.

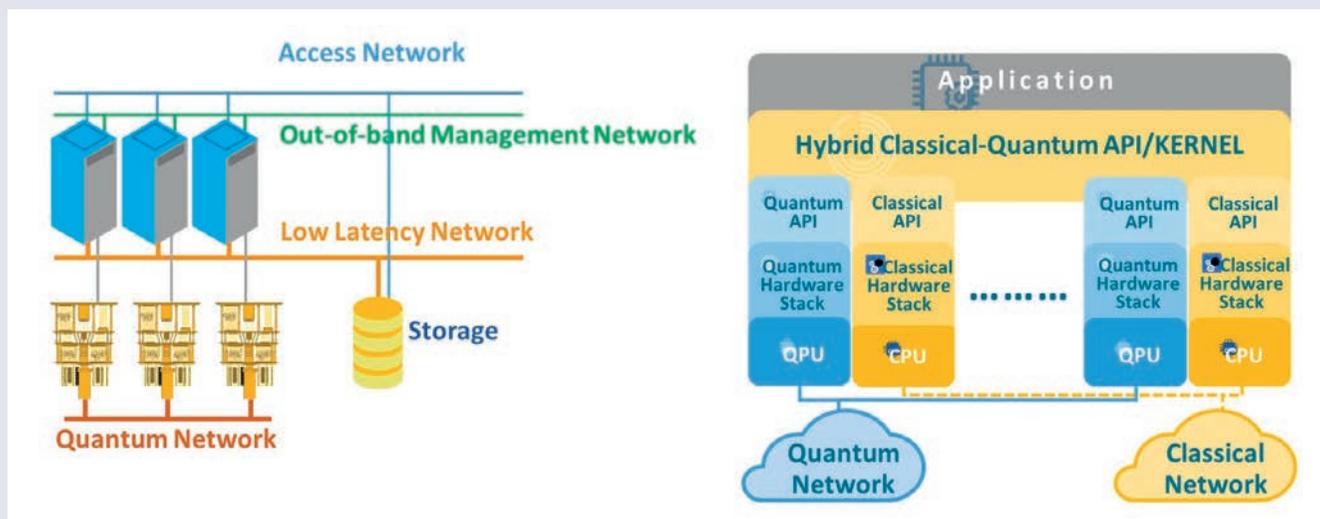


Figura 2. Infraestructura híbrida cuántico-clásica.

Los propios algoritmos también son híbridos con operaciones cuánticas y clásicas. Más adelante, mostramos un caso como ejemplo.

Como centro de supercomputación de altas prestaciones (HPC, del inglés *High Performance Computing*), en el CESGA, nos planteamos un escenario futuro de computación cuántica de altas prestaciones (en inglés HPQC, *High Performance Quantum Computing*): un sistema en paralelo híbrido clásico-cuántico y distribuido con varias arquitecturas. Puede verse en la figura 2 que este sistema integra varias unidades de procesamiento cuántico o QPU (del inglés *Quantum Processor Unit*) por cada nodo de cómputo. De este modo, las distintas QPU operan de forma coordinada o independiente. En un principio, la comunicación entre las QPU será exclusivamente clásica para incluir posteriormente una comunicación cuántica (internet cuántico) cuando la tecnología lo permita.

Como se comentó anteriormente, en junio de 2023, en el CESGA, arranca la instalación de un computador cuántico de 32 cubits de tecnología superconductor coaxmon [12]. Este hecho marca un hito histórico, pues, una vez instalado, se espera que sea el computador cuántico de acceso público más grande de toda Europa en septiembre de 2023. Fujitsu, la empresa suministradora, se ha comprometido a complementar la entrega con un emulador clásico de circuitos cuánticos llamado mpiQULACS [13], un sistema HPC y diferentes in-

fraestructuras complementarias. En el caso del computador cuántico, éste permite el control a través de subprogramas basados en puertas como los descritos anteriormente o también a través de la definición de los pulsos eléctricos a través del estándar OpenPulse [15].

Fujitsu añade valor con la elaboración de un plan de colaboración para impulsar el Polo de Tecnologías Cuánticas de Galicia a través de la creación de un Centro Internacional de Excelencia en Tecnologías Cuánticas en Galicia. Esta infraestructura pretende impulsar la investigación para el desarrollo e innovación a nivel gallego, pero también internacional. En este contexto, el CESGA se propone el ambicioso reto de ser centro de referencia a nivel estatal y europeo de la segunda revolución cuántica, la revolución de los computadores cuánticos.

Caso: optimización del VQE, un algoritmo de minimización de energías

En aras de caminar hacia una computación cuántica de altas prestaciones, la computación cuántica que se desarrolla en el CESGA maximiza los recursos computacionales ofertados por su sistema HPC, FinisTerra III⁸. En la actualidad, las líneas de investigación que se están abordando son:

- Particionado de circuitos cuánticos. Desarrollamos técnicas

⁸ A falta del computador cuántico real y siempre como complemento a este, empleamos emuladores. En el nodo con más memoria RAM del Finis Terra III, el número máximo de cubits que se ha conseguido simular usando un método universal es 38.

de división de circuitos cuánticos para su ejecución en QPU menores que permitan resolver problemas propios de la era NISQ, con QPU ruidosas y con capacidad reducida.

- *Quantum Machine Learning* aplicado a series temporales. Empleo de técnicas de aprendizaje automático para la predicción de series temporales multivariadas de gran aplicación en los procesos de producción industrial.
- QAOA, del inglés *Quantum Approximate Optimisation Algorithm* [14], un algoritmo híbrido para la resolución de problemas tipo QUBO. De gran aplicación industrial; muy útil en optimización de rutas o en logística.
- VQE, del inglés *Variational Quantum Eigensolver* [15]. Este tipo de algoritmos se emplea para cálculo de energías y son de gran interés en química, farmacia o medicina.
- Benchmarking de computadores cuánticos en colaboración con la UDC dentro del proyecto NEASQC⁹.
- Benchmarking de emuladores clásicos dentro de Quantum Spain¹⁰.
- Integración de CPU y QPU a nivel programación con el CiTIUS.
- Interfaces de acceso a los sistemas cuánticos.

Caso: optimización con VQE

En la era NISQ, una de las opciones más provechosas son los algoritmos variacionales cuánticos o VQA, del inglés *Variational Quantum Algorithms* [16]. Un VQA es un algoritmo híbrido cuántico-clásico poco profundo y parametrizado. Las puertas son pocas y constan de parámetros que un co-procesado clásico optimiza para minimizar el valor de una función de coste. Los VQA se aplican a multitud de problemas, entre ellos, al cálculo de la energía del estado fundamental (el de mínima energía) de un sistema físico.

En un VQA, al aumentar el número de qubits, pueden aparecer mínimos locales o zonas planas en el espacio de optimización. El buen rendimiento de los VQA pasa por realizar una elección inteligente tanto del circuito cuántico como del optimizador clásico. Nuestro trabajo se ha centrado en el análisis de optimizadores y emplea Differential Evolution (DE), optimizador inusual en computación cuántica, para evitar mínimos locales. El algoritmo DE que procede del siguiente modo:

- 1) Genera una población de individuos. Cada individuo es una cadena de parámetros.
- 2) Evalúa la energía para cada individuo. Reemplaza el indi-

viduo si la energía es menor (no en la primera iteración). Si converge, finaliza. Si no, continúa.

- 3) Muta la población. Para cada individuo, genera un mutante.
- 4) Recombina la población. Algunos parámetros se reemplazan con una estrategia de recombinación que genera individuos modificados. Vuelve al punto 2.

Las estrategias de recombinación que se escogieron son la binomial y exponencial. En la estrategia de recombinación binomial, cada parámetro tiene una probabilidad dada de cambiar por el parámetro correspondiente del mutante. En la exponencial, todos los elementos entre dos parámetros escogidos al azar cambian por completo.

En la *figura 3*, se representa la tasa de éxito de diferentes optimizadores frente al número de qubits. Esta tasa de éxito es:

$$\text{tasa de éxito (\%)} = \frac{n^{\circ} \text{ veces alcanza mín. energía}}{n^{\circ} \text{ veces alcanza mín. energía} + n^{\circ} \text{ veces mínimos locales}}$$

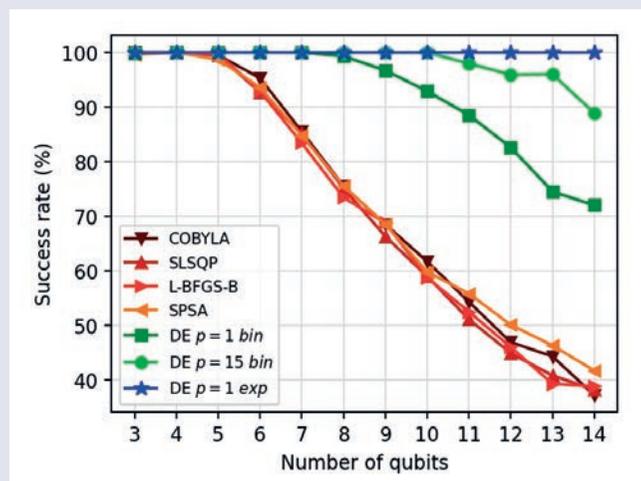


Figura 3: Tasa de éxito (success rate) frente al número de qubits para un problema de optimización combinatoria. COBYLA, L. BFGS_B, SLSQP, SPSA son optimizadores locales presentes en la literatura sobre computación cuántica. El resto de puntos pertenece al DE con una estrategia binomial con 1 individuo por parámetro, caso equivalente al de un optimizador local, o 15 individuos por parámetro (cuadrado y círculos verdes, respectivamente) o exponencial (azul). El número de parámetros del circuito cuántico escala como $4 \times n^{\circ}$ de qubits [19].

Podemos ver cómo, a pesar de la estrategia de recombinación, DE supera los resultados frente a otros optimizadores que se emplean habitualmente en la literatura de solución de

⁹ NEASQC - <https://www.neasqc.eu/>

¹⁰ Quantum Spain - <https://quantumspain-project.es/>

problemas con VOE. DE con un individuo por parámetro del problema y con una estrategia de recombinación exponencial alcanza una tasa de éxito del 100% para todos los tamaños analizadas.

La diversificación del DE permite a este optimizador saltar mínimos locales al acceder de forma más amplia al espacio de parámetros. El DE es más agresivo, su error es mayor, pero ayuda a encontrar con mejor estadística el mínimo de la energía. Para afinar su precisión, se puede combinar con otros optimizadores locales.

CONCLUSIONES

Desde una especulación en los años ochenta a más que una realidad en nuestros días, el vertiginoso desarrollo de la computación cuántica la coloca como tecnología emergente y disruptiva con gran potencialidad para transformar el panorama científico, tecnológico y económico en los años venideros. Para beneficio de la sociedad, se espera que aporte avances en áreas como la medicina, la farmacéutica, el medio ambiente, las energías, las finanzas, la automoción o la logística, entre otras.

La computación cuántica está sujeta a leyes de la mecánica cuántica y emplea como unidad mínima de información el cúbit. La limitación sobre el control y la escalabilidad de los cubits marca la era actual, la era NISQ, del inglés *Noisy Intermediate-Scale Quantum*. Como consecuencia, el computador cuántico actual es un computador cuántico ruidoso y de escala limitada, debido a restricciones técnicas por la propia naturaleza de los cubits y por la inicialización de los estados, ejecución de los circuitos cuánticos y medición de las salidas.

Con este marco, el CESGA se propone ser un agente transformador a nivel europeo de la segunda revolución cuántica, la revolución de los computadores cuánticos. En junio de este año, con el impulso del Polo de Tecnologías Cuánticas de Galicia, el CESGA empezará a instalar el computador cuántico de acceso público más grande de Europa. Consta de 32 cubits y estará desplegado en septiembre. Vendrá acompañado de un emulador clásico y un sistema HPC. Además, Fujitsu, la empresa suministradora, se compromete a crear un Centro Internacional de Excelencia en Tecnologías Cuánticas en Galicia.

La arquitectura que el CESGA contempla para el futuro es una arquitectura híbrida distribuida que use la computación

cuántica y clásica de forma coordinada, HPQC. Es decir, un sistema de computación cuántica de altas prestaciones que emplee la QPU como un subsistema de cómputo integrado con los sistemas clásicos actuales que se usan en HPC. Estas QPU realizarán operaciones de forma independiente o coordinada y estarán interconectadas a través de comunicación clásica y cuántica (cuando la tecnología lo permita).

Sin embargo, esta futura computación híbrida, necesita de futuros desarrollos tanto a nivel de *hardware* (mejores QPU, desarrollo de redes locales de comunicaciones cuánticas que las enlacen) como *software* (nuevos compiladores, nuevos paradigmas de integración, etc.). También necesitarán de nuevos algoritmos que se aprovechen adecuadamente de la nueva arquitectura, bien distribuyendo los cálculos independientes entre las diversas QPU -como podría ser el cálculo resultante de usar los parámetros de un individuo en el algoritmo DE presentado-, bien aprovechándose de la capacidad total de número de cubits de todas las QPU para resolver un único cálculo cuántico. Mientras estas capacidades no existan, para escalar en el número de cubits para un problema determinado, será necesario fraccionar los circuitos cuánticos en varios de menor tamaño. De ahí que el CESGA esté investigando en las técnicas de división de circuitos.

Una de las opciones más prometedoras para sacar provecho de la computación cuántica actual son los algoritmos tipo VQA, que utilizan algoritmos clásicos de optimización para obtener el conjunto de parámetros que definen la mejor solución usando un subprograma cuántico (denominado en la jerga circuito cuántico). Estos algoritmos presentan dificultades técnicas ya que es frecuente que aparezcan mínimos locales y zonas planas, que pueden impedir encontrar la solución buscada. Usando el algoritmo DE presentado, se ha podido demostrar que es posible solventar el problema de mínimos locales de forma efectiva, alcanzando un grado de éxito mayor que otras propuestas habituales. Sin embargo, aunque el DE se adapta adecuadamente a los entornos distribuidos como habrá en el futuro, es computacionalmente muy intenso, por lo que es necesario mejorar o encontrar otros algoritmos que cuenten con la misma efectividad, pero necesiten menor capacidad computacional.

Nuestro objetivo es integrar las diferentes técnicas de particionado y de optimización, y que podamos resolver con el futuro computador cuántico de 32 cubits del CESGA problemas complejos que necesitarían más cubits, de forma eficiente tanto en tiempo como en consumo de energía, demostrando, por tanto, dos de las ventajas cuánticas descritas anteriormente.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al equipo completo de computación cuántica del CESGA por proveer de un ambiente estimulante de debate intelectual. Este trabajo está financiado por la GAIN a través del convenio “*Despregamento dunha infraestrutura baseada en tecnoloxías Cuánticas da información que permita impulsar a I+D+i en Galicia*” dentro del programa FEDER Galicia 2014-2020. El Plan Complementario de Comunicaciones Cuánticas (PCCC) ha sido financiado mediante el MICIN a través del plan de recuperación Next Generation EU (PRTR-C17.I1) de la Unión Europea y por la Xunta de Galicia con financiación propia a través de “*Planes Complementarios de I+D+i con las Comunidades Autónomas*” en comunicaciones cuánticas. El Polo de Tecnologías cuánticas ha sido financiado mediante el FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL (FEDER) como parte de la respuesta de la Unión Europea a la pandemia de COVID-19. Programa operativo FEDER-GALICIA 2014-2020. Una manera de hacer Europa.

BIBLIOGRAFÍA

1. P. Benioff. «The computer as a physical system: A microscopic quantum mechanical Hamiltonian model of computers as represented by Turing machines», *Journal of statistical physics*, pp. 563-591, 1980.
2. R. P. Feynman. «Simulating physics with computers», *International Journal of Theoretical Physics*, p. 467-488, 1982.
3. Y. Manin. *Sovetskoye Radio*, 1980.
4. D. Deutsch y R. Jozsa. «Rapid solution of problems by quantum computation», *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences*, pp. 553-558, 1992.
5. L. K. Grover. «A fast quantum mechanical algorithm for database search», *Proceedings of the twenty-eighth annual ACM symposium on Theory of computing*, nº 1996.
6. P. W. Shor. «Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring», *Proceedings 35th annual symposium on foundations of computer science. Ieee*, 1994.
7. L. M. Vandersypen, M. Steffen, G. Breyta, C. S. Yannoni, M. H. Sherwood y I. L. Chuang. « Experimental realization of Shor's quantum factoring algorithm using nuclear magnetic resonance». *Nature*, pp. 883-887, 2001.
8. F. Arute, K. Arya, R. Babbush, D. Bacon, J. C. Bardin, R. Barends y J. M. & Martinis. «Nature», *Quantum supremacy using a programmable superconducting processor*, pp. 505-510, 2019.
9. C. Palacios-Berraquero, L. Mueck y D. M. Persaud. «Instead of supremacy 'use' quantum advantage», *Nature*, pp. 213-214, 2019.
10. Y. H. Z. H. S. G. S. Q. G. Y. C. L. H. L. Z. Z. J. & P. J. W. eng. «Quantum computational advantage with Gaussian boson sampling», vol. *Bulletin of the American Physical Society*, 2023.
11. D. P. Di Vincenzo. «The physical implementation of quantum computation», *Fortschritte der Physik: Progress of Physics* 48.9-11, pp. 771-783, 2000.
12. J. B. T. P. M. J. P. A. S. P. A. T. T. & L. P. J. Rahamim. «Double-sided coaxial circuit QED with out-of-plane wiring», *Applied Physics Letters*, vol. 222602, p. 110 (22), 2017.
13. S. Y. M. H. T. K. A. T. A. N. H. & N. K. Imamura. «mpiQulacs: A Distributed Quantum Computer Simulator for A64FX-based Cluster Systems», arXiv preprint arXiv: 2203.16044, 2022.
14. E. Farhi, J. Goldstone y S. Gutmann. «A quantum approximate optimization algorithm», arXiv preprint arXiv: 1411.4028, 2014.
15. J. Tilly, H. Chen, S. Cao, D. Picozzi, K. Setia, Y. Li y J. Tennyson, «The variational quantum eigensolver: a review of methods and best practices», *Physics Reports*, pp. 1-128, 2022.
16. M. Cerezo, A. Arrasmith, R. Babbush, S. C. Benjamin, S. Endo, K. Fujii y P. J. & Coles. «Variational quantum algorithms», *Nature Reviews Physics*, pp. 625-644, 2021.
17. J. Preskill. «Quantum computing in the NISQ era and beyond», *Quantum*, 2018.
18. D. Deutsch. «Quantum theory, the Church-Turing principle and the universal quantum computer», *Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences*, pp. 97-117, 1985.
19. D. Faílde Balea, J. D. Viqueira Cao, M. Mussa Juane y A. Gómez Tato. «Using Differential Evolution to Avoid Local Minima in Variational Quantum Algorithms», arXiv: 2303.12186, 2023.
20. A. A. J. A. P. C. W. C. G. C. C. & L. A. Y. Adedoyin, *Quantum algorithm implementations for beginners*, vol. arXiv preprint arXiv: 1804.03719, 2018.
21. L. & A. T. Capelluto. «OpenPulse: Software for Experimental Physicists in Quantum Computing», *Bulletin of the American Physical Society*, vol. 65, 2020.

NEUROFIBROMATOSIS Y GESTACIÓN

A PROPÓSITO DE UN CASO CLÍNICO

Patricia Silva Ramallo, Laura González Rodríguez, Eva Carballo Álvarez,
Emilio Couceiro Naveira, Carlos López Ramón y Cajal

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

RESUMEN

Presentamos el caso clínico de una gestante de 35 años, afectada de Neurofibromatosis tipo 1, seguida en consultas de alto riesgo del Servicio de Obstetricia y Ginecología del Hospital Álvaro Cunqueiro. Se revisó la evidencia científica disponible acerca de la evolución de la gestación, las posibles implicaciones durante la misma y el desarrollo del puerperio en mujeres que padecen dicha patología.

Palabras clave: *Neurofibromatosis, NF-1, Enfermedad de Von Recklinghausen, Gestación.*

ABSTRACT

We present the case of a pregnant woman, aged 35, with Neurofibromatosis type 1. Followed at our center in the high-risk medical consultations of the Obstetrics and Gynecology Department of Álvaro Cunqueiro Hospital. We review the scientific evidence available on the evolution of pregnancy, the possible implications during the same, and the development of the puerperium in woman with Neurofibromatosis type 1.

Key words: Neurofibromatosis, NF-1, Von Recklinghausen's disease, Pregnancy.

INTRODUCCIÓN

Las neurofibromatosis son un grupo de enfermedades genéticas multisistémicas, heredadas de forma autosómica dominante con implicación patogénica de la piel, el sistema nervioso, los ojos, los huesos y el sistema endocrino, y con un amplio espectro de hamartomas, tumores malignos y alteraciones congénitas.

Las clasificaciones han sido variadas. Desde los 7 tipos de Riccardi (clásica, acústica, mixta, inclasificable, segmentaria, solo manchas «café con leche», solo neurofibromas), pasando por las 4 formas de Houson (clásica, acústica, segmentaria, manchas «café con leche» familiares) hasta la clasificación más empleada en la actualidad, según la cual solo se consideran 2 tipos: neurofibromatosis tipo 1 (NF-1) y neurofibromatosis tipo 2 (NF-2) (6).

La neurofibromatosis tipo 1 (NF-1) o enfermedad de Von Recklinghausen es un trastorno genético, de herencia autosómica dominante, con penetrancia completa y expresividad variable. Aproximadamente el 50% de los casos son casos hereditarios, mientras que el otro 50% se producen por alteraciones genéticas de novo. La Neurofibromatosis tipo 1 se produce debido a alteraciones en el gen NF1, situado en el cromosoma 7q11.21 (1) que conduce a una proliferación excesiva de elementos de la cresta neural (6). Tiene una incidencia de 1:3000 personas (1).

Es un síndrome caracterizado por la aparición tumores histológicamente benignos del sistema nervioso central y periférico (4). Las manifestaciones clínicas consisten en lesiones cutáneas hiperpigmentadas, las máculas café con leche, junto con neurofibromas cutáneos (3). Otras manifestaciones distintivas son las pecas inguinales y axilares, los nódulos de Lisch del iris, las lesiones óseas, y los tumores medulares o de los pares craneales con potencial maligno, como los gliomas ópticos (2).

En cuanto a pacientes con Neurofibromatosis tipo 1 y gestación. La fertilidad en mujeres afectas por este síndrome parece no estar alterada (2). Teniendo en cuenta su forma de herencia autosómica

dominante, y su riesgo de transmisión a la descendencia del 50%, las pacientes con Neurofibromatosis tipo 1 deben acudir a una consulta de consejo genético preconcepcional, de cara a asesorarlas sobre los riesgos de transmisión a su descendencia y las opciones de diagnóstico prenatal o incluso preimplantacional (3, 2). De cara al abordaje preimplantacional, se puede ofrecer la opción de fecundación in vitro con diagnóstico genético preimplantacional (DGP) o la ovodonación. Si se desea un diagnóstico genético preimplantacional, se debe identificar la mutación causante de la enfermedad. En cuanto al diagnóstico prenatal en estas gestaciones, se puede valorar la realización de una biopsia corial o una amniocentesis para obtener ADN fetal e identificar la mutación causante de la Neurofibromatosis tipo 1. Se ha descrito en la bibliografía la posibilidad de diagnóstico prenatal por estudio ecográfico, pero no se considera útil actualmente debido a la variabilidad de manifestaciones que puede presentar la enfermedad (2).

Se han descrito en la literatura diversas complicaciones asociadas a la gestación en pacientes afectas de Neurofibromatosis tipo 1. Las gestantes con Neurofibromatosis Tipo 1 deben ser consideradas gestantes de alto riesgo (3). Los estudios más actuales en cuanto a la relación entre Neurofibromatosis tipo I y gestación, describen que estas presentan mayor riesgo de trastornos hipertensivos durante la gestación, patología vascular, restricción del crecimiento intrauterino, trabajo de parto prematuro o parto por cesárea (3, 4).

A continuación, presentamos el caso de una gestante de 35 años con NF-1 cuyo seguimiento se realizó en nuestro centro (Hospital Álvaro Cunqueiro). Se revisó en la bibliografía la repercusión recíproca entre NF y gestación, y los potenciales riesgos para el binomio madre-hijo.

DESCRIPCIÓN DEL CASO

Secundigesta de 35 años, afecta de Neurofibromatosis tipo 1. Como antecedentes médicos de interés destacó el diagnóstico de un glioma óptico a los 15 años. Entre los antecedentes quirúrgicos presentó una cesárea en el año 2017 por desproporción pélvico fetal, y la exéresis de dos neurofibromas. Las tumoraciones se hallaban en miembro inferior izquierdo, con exéresis de estas en 2020. Se realizó un estudio anatomopatológico de la lesión principal y se diagnosticó histológicamente de neoplasia neurofibromatosa de potencial maligno incierto. Previo a la primera gestación se le realizó un estudio genético, en donde se observó una mutación NM_001042492.2 (NF1): c.3975-2A>G en NF1 en heterocigosis, y se consensuó con la paciente la realización de un diagnóstico genético preimplantacional y una fecundación in vitro en ambas gestaciones.

Seguida en las consultas de alto riesgo del Servicio de Obs-

tetricia y Ginecología de nuestro centro. Como incidencia la paciente destacó un crecimiento anómalo de los neurofibromas cutáneos, principalmente uno presente en miembro superior derecho, que ocasionó dolor importante. A las 35 semanas y 3 días de gestación se identifica tensión arterial elevada en consulta.

En la ecografía obstétrica realizada en la semana 35 de gestación, se observó un feto varón, en presentación cefálica, con biometrías acordes a la edad gestacional, la cantidad de líquido amniótico dentro de los límites de la normalidad, y la placenta normoinsera en cara posterior, grado II de Granum.

La gestante fue ingresada en dos ocasiones durante el embarazo para estudio de hipertensión arterial. Durante el segundo ingreso, en semana 38 de gestación, se objetivó una tensión arterial elevada, manteniéndose asintomática desde el punto de vista hipertensivo. Analíticamente destaca la presencia de un Cociente proteínas/creatinina en muestra de orina de 1673 mg/g crea y una proteinuria de 0.54 g/dL en orina en 24h. El resto de las pruebas analíticas fueron dentro de los límites de la normalidad. Siguiendo la guía práctica de asistencia de la Sociedad Española de Ginecología y Obstetricia de Trastornos Hipertensivos del embarazo (7), y teniendo en cuenta la aparición de tensión arterial elevada acompañada de proteinuria, se realizó el diagnóstico de Preeclampsia sin criterios de gravedad. Inició tratamiento con Labetalol 100 mg cada 12 horas, con control adecuado de las cifras tensionales.

Durante la exploración física se observó la presencia de nódulos cutáneos generalizados compatibles con neurofibromas, que la gestante ya presentaba previamente al embarazo, de predominio en tronco, asintomáticos. Durante el actual embarazo, se produjo un aumento de las lesiones, en número y tamaño, que la paciente acusaba (Imagen 1, 2, 3). Destacaba el crecimiento anómalo de un neurofibroma localizado en cara anterolateral del miembro superior derecho en relación con el nervio radial, a nivel del tercio distal del húmero (Imagen 4). Clínicamente acusó dolor de características neuropáticas debido a esta lesión a lo largo de la gestación, que dificultó el descanso de la gestante. Valorada por la Unidad del Dolor de nuestro centro, precisó tratamiento con analgesia endovenosa, Prednisona 5 mg, Pregabalina 75 mg, Diazepam 5 mg, Tramadol a demanda y lidocaína tópica para control del dolor. Además se sometió a tratamiento con acupuntura para manejo del mismo.

En la 38 semana y 5 días de gestación se propuso a la gestante una inducción del parto por preeclampsia a término. Esta rechazó la inducción del parto y se programó una cesárea. Se realizó una cesárea, mediante la técnica de Misgav-Ladach modificada, sin incidencias, junto con una salpingectomía bilateral a petición de la mujer. La cirugía fue bajo anestesia general, motivada por la clínica que presentaba la paciente, debido a la presencia de lesiones paravertebrales en el trayecto



Imagen 1. Neurofibromas.



Imagen 2. Neurofibromas en planta del pie.

de las raíces nerviosas, principalmente a expensas de los plexos cervical y lumbar. Se desestimó anestesia loco-regional con técnicas neuroaxiales debido a la presencia de lesiones en el eje raquídeo. Nació un recién nacido varón de 2780 g, con test de Apgar 7/9, pH arterial 7.29 y pH venoso 7.30 (Imagen 5).

Durante el puerperio se objetivaron cifras tensionales elevadas, sin clínica hipertensiva asociada. Se trató con tratamiento médico, Enalapril 5 mg/12 h y Labetalol 100 mg/8h. Normalizó las cifras de tensión arterial al sexto día tras la cesárea, y se mantuvo tratamiento antihipertensivo ambulatorio con Enalapril 5 mg/12 h.

A seguimiento en el momento actual por el Servicio de Neurocirugía, por el Servicio de Cirugía Plástica, Estética y Reparadora y por el Servicio de Oncología de nuestro centro para el control del neurofibroma en miembro superior derecho anteriormente descrito, siendo diagnosticada por biopsia con aguja gruesa de sarcoma con rasgos morfológicos e inmunohistoquímicos de tumor maligno de vaina nerviosa periférica de alto grado, grado 3 del sistema "FNCLCC" (French Fédération Nationale des Centres de Lutte Contre le Cancer). Se realizó una exéresis oncológica amplia de la tumoración y reconstrucción microquirúrgica con

colgajo anterolateral de muslo izquierdo (ALT), sin complicaciones. Postoperatorio sin incidencias. Alivio sintomático prácticamente completo tras el tratamiento quirúrgico de la lesión. Se consensuó con la paciente tratamiento quimioterapéutico adyuvante y posterior radioterapia.

DISCUSIÓN

La evidencia científica más actual en relación a Neurofibromatosis tipo 1 y gestación, describen que las gestantes con Neurofibromatosis tipo 1 tienen mayor riesgo de complicaciones hipertensivas y vasculares, sin aumentar su mortalidad durante la gestación (3). De la misma manera que ocurrió en el caso clínico que presentamos.

Un estudio de cohortes poblacional retrospectivo realizado en el 2013 (4) en el que se incluyeron 1553 gestantes afectas de Neurofibromatosis tipo 1, se encontró que esta enfermedad se asociaba, comparado con la población obstétrica general, a un mayor riesgo de: hipertensión gestacional, preeclampsia, restricción del crecimiento intrauterino, enfermedad cerebrovascular, trabajo de parto prematuro y parto por cesárea.

No se ha demostrado un aumento del riesgo de mortalidad en estas pacientes, ni de mortinatos. Tampoco de sufrir trombosis venosa profunda, tromboembolismo pulmonar (TEP), o eventos cardíacos agudos.

Un estudio realizado por Dugoff y Sujasky encontró que en mujeres gestantes con Neurofibromatosis tipo 1 puede existir mayor tasa de cesáreas que en la población general (36%) (2). El 55 % de estas cesáreas fueron debidas a desproporciones pélvico-fetales o malposición fetal, que puede estar relacionado con neurofibromas localizados a nivel pélvico o cifoescoliosis en la columna lumbar, patología que se asocia a la Neurofibromatosis tipo 1 (2). La presencia de tumores cerebrales puede dar lugar a complicaciones durante el parto vaginal, principalmente debido al aumento de la presión intracraneal que se produce en el periodo expulsivo (6).

Se ha observado también, que puede existir un influjo hormonal en el crecimiento de los neurofibromas en estas mujeres (2). Durante la gestación puede existir un crecimiento de estas lesiones, con una disminución de estos durante el puerperio (2). Destacar que estas lesiones pueden ser potencialmente malignas, y debemos sospechar malignidad en lesiones con comportamientos y crecimiento anómalos. Durante la gestación se recomienda la resonancia magnética nuclear (RMN) para el seguimiento de estas lesiones.

En cuanto al tratamiento anestésico, se debe realizar un estudio exhaustivo de extensión de las lesiones de la paciente.



Imagen 3. Neurofibromas en mama izquierda.



Imagen 4. Neurofibroma en miembro superior derecho.



Imagen 5. Cicatriz de cesárea.

La afectación por Neurofibromatosis no contraindica el empleo de las técnicas anestésicas neuroaxiales, la anestesia peridural o raquídea puede emplearse en estas gestantes. Si bien, la cifoescoliosis debido a la presencia de tumores paravertebrales puede complicarla (6). Algunos autores (5) defienden que las técnicas regionales pueden ser usadas en aquellos casos en los que se haya descartado la presencia de tumores paravertebrales e intracraneales, tanto por clínica como por técnicas de imagen, de elección durante la gestación la RMN.

A destacar y a tener en cuenta, que debido al riesgo aumentado que presentan estas paciente de presentar trastornos hipertensivos, y la asociación de los mismos con riesgo de sangrado aumentado durante el trabajo de parto o cesárea, estas pacientes tienen riesgo aumentado de hemorragia periparto.

CONCLUSIONES

Las gestaciones de mujeres con NF 1 son embarazos de alto riesgo obstétrico, y por ello precisan de un control gestacional estricto, con vigilancia de patologías con mayor prevalencia como los estados hipertensivos de la gestación.

Es necesario llevar a cabo un estudio exhaustivo de los neurofibromas que presente la gestante, para determinar su evolución y sospechar malignidad en lesiones con comportamientos y crecimiento anómalos.

Debemos valorar la posibilidad de un asesoramiento pregestacional, donde se valore entre otras cosas el riesgo de transmisión a la descendencia, las opciones de diagnóstico prenatal y las potenciales complicaciones que se pueden presentar a lo largo de la gestación tanto para la madre como para el/la hijo/a.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bruce, R.; Korf, M. D.; PhD, Mina Lobbous, M. D.; Laura K. Metrock. Neurofibromatosis type 1 (NF1): Pathogenesis, clinical features, and diagnosis.
2. Chetty, S. P., Shaffer, B. L.; Norton, M. E. Management of pregnancy in women with genetic disorders: Part 2: Inborn errors of metabolism, cystic fibrosis, neurofibromatosis type 1, and Turner syndrome in pregnancy. *Obstet Gynecol Surv* 2011; 66:765.
3. Bruce, R.; Korf, M. D.; PhD, Mina Lobbous, M. D.; Laura K. Metrock (2022). Neurofibromatosis type 1 (NF1): Management and prognosis.
4. Terry, A. R.; Barker, F. G. 2nd; Leffert, L., et al. Neurofibromatosis type 1 and pregnancy complications: a population-based study. *Am J Obstet Gynecol* 2013; 209:46.e1.
5. López Rivero, Jaime; Paneque Pocio, María Elen; Fuentes Díaz, Zaily; Martínez Watson, Viviana; Guevara Tovaes, William. Anestesia en la neurofibromatosis tipo 1. A propósito de un caso. *Rev cuba anestesiología reanim.* 2011.
6. David, H.; Chestnut; Cynthia, A.; Wong; Lawrence, C.; Tsen; Warwick, D.; Ngan, Kee; Yaakov, Beilin; Jill, Mhyre; Brian, T.; Bateman; Naveen, Nathan. (2020). *Anestesia obstétrica. Principios y práctica.* Elsevier.
7. Sociedad Española de Ginecología y Obstetricia. Trastornos hipertensivos del embarazo. Guía práctica de asistencia. 2006.

EL ARCHIPIÉLAGO DIEGO RAMÍREZ

UN ACERCAMIENTO A LA FAUNA DE INVERTEBRADOS DE LA COSTA DE ESTAS IGNOTAS ISLAS DEL MAR DE HOCES (PROVINCIA ANTÁRTICA CHILENA)

Cristian Aldea^{1, 2}, Jesús S. Troncoso³, Andrés Mansilla^{1, 5}, Claudia Maturana^{4, 5}
& Sebastián Rosenfeld^{2, 4, 5}

¹ Dept^o. Ciencias y Recursos Naturales. Universidad de Magallanes. Punta Arenas. Chile.

² Centro de Investigación GAIA - Antártica. Universidad de Magallanes. Punta Arenas. Chile.

³ Dept^o. Ecología y Biología Animal, Facultad C. del Mar. Universidade de Vigo. Vigo. España.

⁴ Instituto Milenio Biodiversidad de Ecosistemas Antárticos y Sub. (BASE). Santiago. Chile.

⁵ (CHIC) Cape Horn International Center. Puerto Williams. Chile.

RESUMEN

El archipiélago Diego Ramírez se encuentra en el Mar de Hoces (Paso de Drake), al suroeste del Cabo de Hornos. Es considerado el punto más austral de la Provincia Magallánica y se caracteriza por su influencia oceánica y exposición al oleaje. Recientemente se estableció el Parque Marino Diego Ramírez-Paso de Drake para proteger la biodiversidad y los ecosistemas de la zona. A pesar de que se han realizado trabajos sobre el ambiente marino del archipiélago y su biota asociada, aún existe la necesidad de contar con mayor información sobre su fauna intermareal y sublitoral somera.

El objetivo de este trabajo ha sido recopilar y organizar la información existente sobre los invertebrados que habitan en el intermareal y la zona sublitoral somera de las islas Diego Ramírez. Se realizó una exhaustiva búsqueda de información en repositorios académicos, utilizando investigación previa sobre moluscos como punto de partida. Se recopilaron datos sobre especies de invertebrados y se elaboró un listado taxonómico acompañado de un análisis descriptivo. Además, se digitalizaron los registros de moluscos y se agregaron a la plataforma mundial de biodiversidad para completar los registros georeferenciados de especies en los ambientes costeros de las islas.

Los resultados muestran un total de 120 especies diferentes,

incluyendo moluscos, poliquetos, artrópodos y otros grupos. Los moluscos representan la mayor diversidad de especies, seguidos por los poliquetos y los artrópodos. Algunas especies representativas incluyen a los moluscos *Nacella magellanica*, *Tegula atra*, *Argobuccinum pustulosum* y al crustáceo *Halicarcinus planatus*. De este modo, se pretende proporcionar una visión general de la diversidad de especies y contribuir al conocimiento científico de esta área poco explorada. Junto con destacar la importancia de la conservación y protección del archipiélago, contextualizamos también, desde un punto de vista histórico, la gran hazaña que supuso la campaña cartográfica de la Expedición Nodal, que además de reconocer un nuevo paso a latitudes más altas que el Estrecho de Magallanes, supuso también colocar en el mapa unas islas tan remotas como son las Diego Ramírez.

INTRODUCCIÓN

El archipiélago Diego Ramírez se encuentra en el Mar de Hoces (Paso de Drake), a 111 km al suroeste del Cabo de Hornos y a 86 km al sureste del archipiélago Ildefonso (Fig. 1). Desde una perspectiva biogeográfica, el grupo de islas Diego Ramírez se considera el punto más austral de la Provincia Magallánica (Spalding *et al.*, 2007). Está ubicado en el borde de la plataforma continental (Pisano, 1972; Rozzi *et al.*, 2017) y

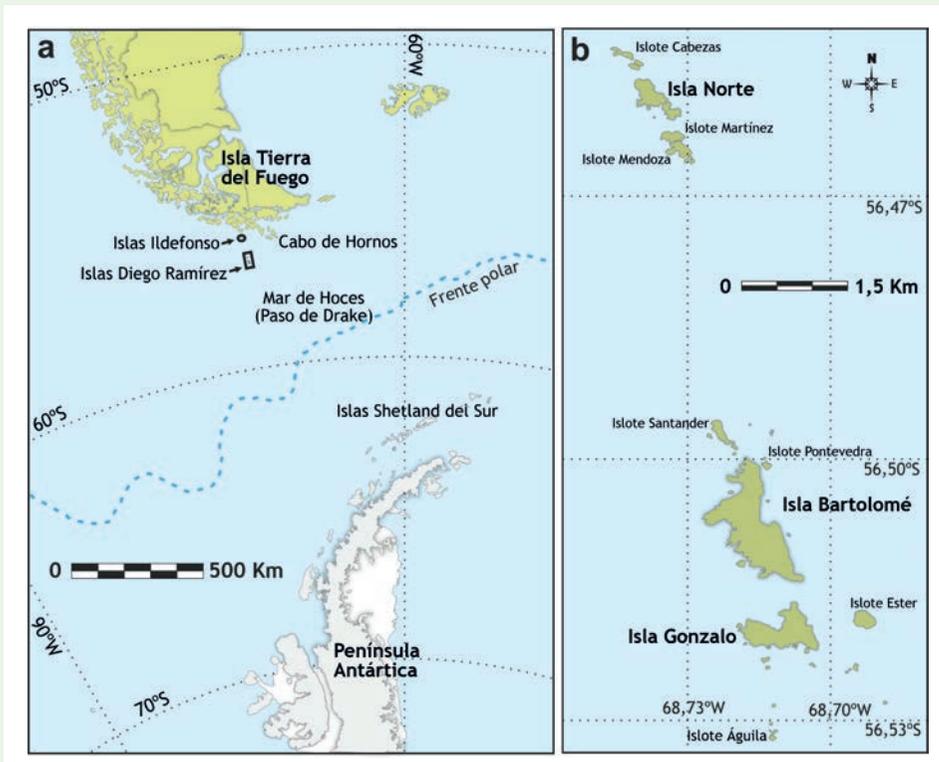


Figura 1. Mapa del archipiélago Diego Ramírez: (a) situación geográfica del archipiélago entre los continentes Antártico y Sudamericano; (b) islas e islotes que componen el archipiélago.

se caracteriza por su fuerte influencia oceánica y exposición al oleaje (Schlatter y Riveros, 1997; Rozzi *et al.*, 2020; Rosenfeld *et al.*, 2020).

Este archipiélago consta de dos grupos de islotes, rocas y arrecifes, separados por una distancia de 3,7 km (Fig. 1). El grupo principal incluye las islas más grandes, Bartolomé y Gonzalo (Fig. 2), las cuales están separadas por el canal Nodales. Las costas de ambas islas son escarpadas, con una pronunciada pendiente, y sufren una alta erosión debido a las constantes marejadas en la zona.



Figura 2. Vista de parte del archipiélago durante el paso de la campaña antártica en el Buque Oceanográfico Hespérides (marzo de 2017).

Rosenfeld *et al.* (2020) señalan que, a pesar de que el archipiélago se encuentra dentro del área de la provincia Magallánica, existe una escasez de información sobre la biota intermareal de las islas Diego Ramírez. Sin embargo, durante varias décadas se ha recopilado información más abundante sobre grupos taxonómicos marinos más prominentes, como aves (Aubert de la Rüe, 1959; Kirkwood *et al.*, 2007; Barroso *et al.*, 2020), mamíferos marinos (Cursach *et al.*, 2014a) y peces (Pequeño, 1986), aparte de los registros y descripciones de nuevas especies de aguas profundas en fondos marinos cercanos a la isla (Cairns *et al.*, 2005; Lopes *et al.*, 2011; Fernández *et al.*, 2016; Reyes, 2019). En este contexto, cabe también destacar la reciente descripción del rayadito subantártico (Rozzi *et al.*, 2022), un ave paseriforme que, aunque no es marina, es endémica de este archipiélago y habita en pastizales

no boscosos, a diferencia de otras especies de su género.

Centrándonos en la biota intermareal y en las zonas costeras de poca profundidad (menos de 10 m), que son áreas marinas de importancia ecológica y accesibles desde el punto de vista de la investigación, y que albergan una variedad de grupos faunísticos y florísticos, se pueden destacar, en orden cronológico, los siguientes estudios que han contribuido al conocimiento: Schlatter y Riveros (1997), Salinas-de-León *et al.* (2017), Friendlander *et al.* (2018), Marambio *et al.* (2020), Rosenfeld *et al.* (2020) y Friendlander *et al.* (2023).

El trabajo de Schlatter y Riveros (1997) representa la primera y más completa aproximación a la historia natural del archipiélago Diego Ramírez. En este estudio se detallan aspectos históricos, meteorológicos, geológicos, suelos, flora y fauna terrestres, así como la flora y fauna marina, con especial énfasis en las aves. Además, se aborda el tema de las especies introducidas en la isla.

Dos décadas más tarde, Salinas-de-León *et al.* (2017) publicaron un informe que se centró en la caracterización y evaluación del estado de conservación de las islas Diego Ramírez y

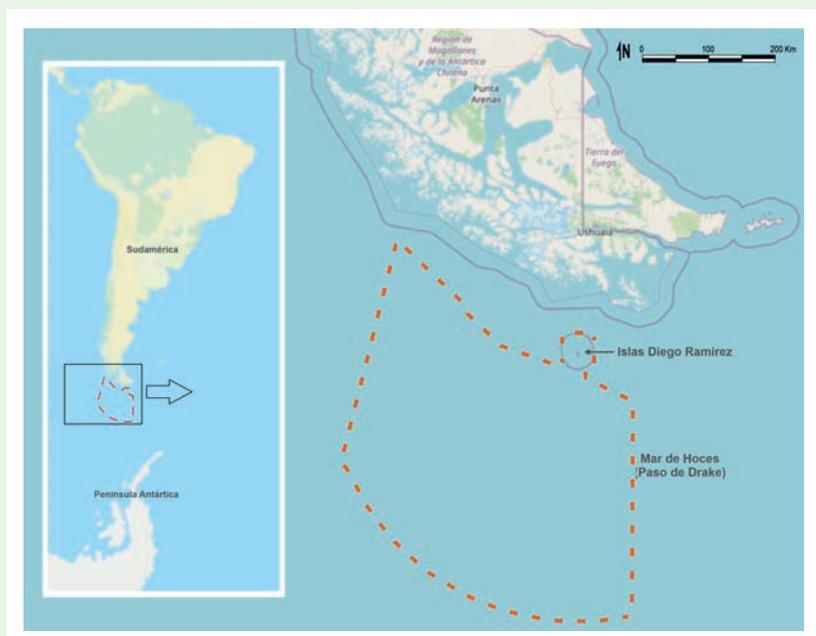


Figura 3. Parque Marino Diego Ramírez-Paso de Drake (en rojo punteado). Imagen modificada de openstreetmap.org.

del Cabo de Hornos, incluyendo comparativamente los fiordos adyacentes a la Isla Carlos III en el Estrecho de Magallanes. Este estudio abarcó la biota costera, los peces y la biota de los fondos marinos profundos. A raíz de este trabajo, Friedlander *et al.* (2018) realizaron una evaluación exhaustiva e integrada de los ecosistemas marinos de la región, que incluyó la primera evaluación ecológica marina de Diego Ramírez. Recientemente, Friedlander *et al.* (2023) estudiaron los patrones de invertebrados asociados a bosques de algas en diversas localidades de la Patagonia, incluyendo las islas Diego Ramírez, entregando una lista general de especies que no permite diferenciar aquellas que efectivamente registraron en el archipiélago.

Los trabajos de Marambio *et al.* (2020) y de Rosenfeld *et al.* (2020) representan las contribuciones más recientes enfocadas directamente en la diversidad de las zonas costeras del archipiélago. Marambio *et al.* (2020) dieron a conocer la diversidad de algas presentes en la zona, mientras que Rosenfeld *et al.* (2020) se enfocaron en la diversidad de moluscos. Estos dos últimos trabajos son resultado de los esfuerzos de investigación realizados por la Universidad de Magallanes (Punta Arenas, Chile), que ha estado trabajando durante varios años en el establecimiento de un área protegida en la zona (Rozzi *et al.*, 2017).

Tomando en consideración todo lo mencionado anteriormente, es importante destacar que, en el año 2019, el Gobierno de

Chile en base a la información generada por investigadores chilenos principalmente de la Universidad de Magallanes (Rozzi *et al.* 2017), estableció el Parque Marino Diego Ramírez-Paso de Drake con el propósito de proteger uno de los pocos archipiélagos que aún se mantienen libres de especies exóticas a nivel mundial (Rozzi *et al.*, 2017). Esta área protegida abarca tanto el archipiélago en sí como una extensa porción marina al sur de las islas, que se encuentra en pleno Mar de Hoces (Paso de Drake; Fig. 3). En total, el parque abarca una superficie protegida de más de 144 mil km² (Massardo, 2020). Esta iniciativa tiene como objetivo salvaguardar y conservar la rica biodiversidad y los ecosistemas marinos y terrestres únicos que se encuentran en esta área.

Por consiguiente, el objetivo principal de este trabajo ha sido recopilar y organizar la información existente sobre los invertebrados que habitan en el intermareal y la zona sublitoral somera (menos de 10 m de profundidad) de

las islas Diego Ramírez. Esto se llevó a cabo mediante la creación de un listado taxonómico de especies, acompañado de un análisis descriptivo. Además, se digitalizaron los registros de moluscos y se agregaron a la plataforma mundial de Biodiversidad (*Global Biodiversity Information Facilities*) para completar los registros georreferenciados de especies en los ambientes costeros de las islas.

Adicionalmente, este trabajo proporciona aspectos históricos del archipiélago en el contexto de su ubicación en un entorno prístino y remoto, en el Mar de Hoces (Paso de Drake), que separa el Continente Antártico y Sudamericano. Esta información contextual pretende ayudar a comprender mejor la importancia y singularidad de las islas Diego Ramírez en términos de su ubicación geográfica y su conservación.

CONTEXTO HISTÓRICO

El nombre de este archipiélago está dedicado a Diego Ramírez de Arellano, piloto y cartógrafo en la Expedición exploratoria García de Nodal. La expedición tenía como misión reconocer el nuevo paso Atlántico-Pacífico, más al sur del Estrecho de Magallanes. El nuevo paso descubierto en 1616 por comerciantes holandeses, el Estrecho de Le Maire, cambiaba la necesidad de cruzar el Estrecho de Magallanes en las rutas comerciales hacia oriente y este hecho bien justificaba una

expedición de reconocimiento, que fue auspiciada por Felipe III; la expedición ha salido de Lisboa, ya que en aquel entonces la corona portuguesa y la española estaban unidas. Los hermanos García Nodal, Bartolomé y Gonzalo, navegantes y exploradores españoles, eran naturales de Pontevedra (Galicia), capitanearon dos carabelas, la *Nuestra Señora de Atocha* y *Nuestra Señora del Buen Suceso*. Las carabelas son un tipo de embarcación muy versátil, han sido muy utilizadas en los siglos XV y XVI por los navegantes portugueses y españoles, ya que podían navegar en contra de los vientos dominantes, y esta característica es muy importante para la navegación en el Mar de Hoces.

La Expedición García de Nodal, desarrollada en el año 1619, que dio origen al descubrimiento del archipiélago Diego Ramírez fue detalladamente analizada por Rodríguez Couto (2018) como una aproximación al significado que tuvo en el contexto político de aquel tiempo que gira entorno a una idea: el dominio de los mares. A continuación, se puede leer la trans-

cripción del manuscrito de viaje del piloto y cosmógrafo Diego Ramírez en que consta el descubrimiento de las islas el 10 de febrero de 1619 (Ramírez de Arellano, 1621; Fig. 4), tomada y modificada sutilmente de Díaz Hernández (2010):

10 (febrero). Por la mañana apareció la tierra, a partes cerrada de nubes y otras, descubierta. Hubo bravas disputas sobre qué tierra era, y despejando la neblina la tierra se descubrió el cabo de San Ilifonso, y por tenerle pintado de los días atrás le reconocí y se acabaron las disputas. Nos demoramos al Noroeste, escarceó el viento y se fue haciendo el camino del Oeste una 4ª al Noroeste algunas 12 leguas. No hubo Sol, y en la tarde se descubrió al Sudoeste una 4ª al Sur, cosa de 6 leguas una isla, a la cual llamé I. de Diego Ramírez de mi nombre, nos demoramos entonces al cabo de San Ilifonso algunas 7 o 8 leguas al Nordeste cuarta al Leste. Aparecía la isla en la forma siguiente: Isla de Diego Ramírez vista al Sudoeste. Y demorándome el cabo de San Ilifonso al Nordeste algunas 6 leguas, tenía la vista siguiente: Cabo de San Ilifonso mirado al Nordeste.

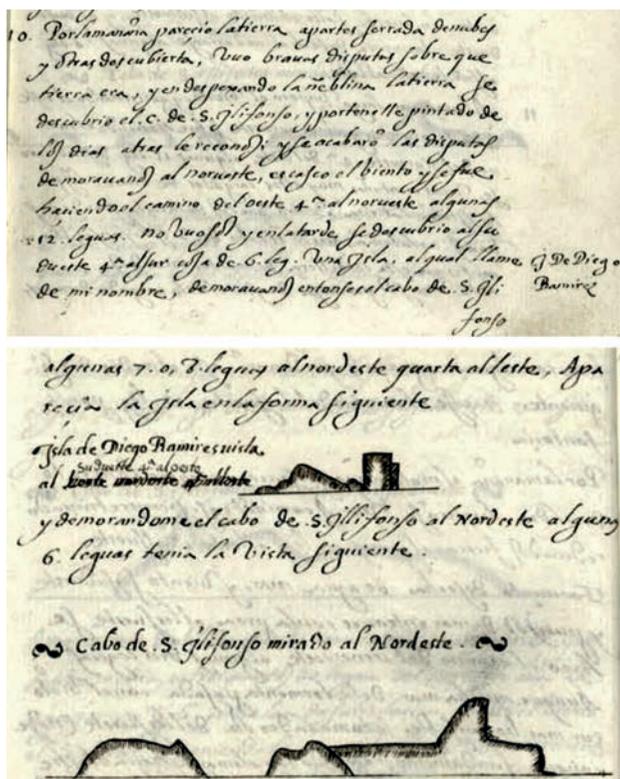


Figura 4. Captura del manuscrito donde se relata el descubrimiento del archipiélago por Ramírez de Arellano (1621). Imagen procedente de los fondos de la Biblioteca Nacional de España.

Domíngio diez de Hebrero, amanecimos a varlouento del dicho cabo, con las corriétes que fueron muy grandes para el Suduef te, respeto del mucho camino que se anduuo con poco viento y contrario, que no se ha podido gouernar fino a Loeste, y a la quarta del Suduef te.

Viose despues de medio dia vna Isla al Sur, y quarta al Suduef te, y cabo de S. Ilifonso al Nordeste y quarta de Leste, fue pareciendo la costa para Loeste, lo que se pudo alcançar y ver, dõde quedamos fatifsechos que la tierra que auiamos visto a la mar era Isla, y jûto dilla tiene otros dos farillones pe queños. Fue se trincando esta noche con poco viento, para el otro dia verlo mejor.

Figura 5. Captura del manuscrito donde se relata el descubrimiento del archipiélago por los hermanos líderes de la expedición (García de Nodal y García de Nodal 1621). Imagen procedente de los fondos de la Biblioteca Nacional de España.

Asimismo, el descubrimiento de las islas Diego Ramírez, consta en el relato de los líderes de la expedición (García de Nodal y García de Nodal 1621; Fig. 5), donde señalan que el domingo diez de febrero después del medio día avistan las islas y sus farallones.

La Expedición García de Nodal duró menos de un año (27/09/1618 - 07/07/1619) y ha sido muy exitosa, ya que no supuso la pérdida ni de vidas humanas ni de medios materiales, el regreso a España se hizo cruzando el Estrecho de Magallanes desde el oeste.

Sin embargo, el final de los descubridores de las Diego Ramírez no ha sido tan afortunado ya que Bartolomé ha perecido en el Caribe en septiembre 1622 a bordo de la carabela *Nuestra Señora de Atocha* y su hermano Gonzalo, que había zarpado este mismo año hacia el Atlántico Sur, ha naufragado en las inmediaciones del Estrecho de Le Maire en ruta hacia el Pacífico, sin conocerse la fecha exacta de este suceso. Diego Ramírez de Arellano ha tenido un final menos dramático, fue nombrado piloto mayor de la Casa de Contratación de Sevilla (Lonja) en 1620; estos centros de negocios de la época regulaban las transacciones comerciales y tránsito de personas entre Europa y América, la fecha exacta de su muerte no es conocida siendo los años 1624, 1627 ó 1633 los que aparecen en varios relatos.

METODOLOGÍA

Se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda de información sobre los invertebrados intermareales y sublitorales del archipiélago Diego Ramírez. Esta búsqueda se realizó mediante investigaciones sistemáticas utilizando palabras clave y combinaciones correspondientes en los repositorios académicos. Como punto de partida, se utilizó la investigación de Rosenfeld *et al.* (2020) y su correspondiente revisión bibliográfica. Todos los trabajos que contenían información relevante sobre la fauna marina de las islas Diego Ramírez se registraron en un gestor de literatura y se organizaron de acuerdo con la temática.

A partir de este proceso, se logró identificar las siguientes fuentes de información sobre los invertebrados intermareales y sublitorales del archipiélago: Schlatter y Riveros (1997), Valdovinos y Rùth (2005), Rosenfeld *et al.* (2014), Salinas-de-León *et al.* (2017), Friedlander *et al.* (2018) y Rosenfeld *et al.* (2020). Estas fuentes proporcionan una base de información para llevar a cabo el análisis descriptivo y la elaboración

del listado taxonómico de especies de invertebrados en el intermareal y la zona sublitoral somera de las islas Diego Ramírez.

Además de la recopilación de información de las fuentes mencionadas anteriormente, se llevó a cabo una descarga de datos en la plataforma *Global Biodiversity Information Facilities* (GBIF). Se utilizó un polígono geográfico que engloba el archipiélago Diego Ramírez para incorporar en este trabajo las especies previamente registradas en dicha plataforma. La descarga de información en GBIF se realizó en dos niveles: el primero fue la obtención de la lista de especies propiamente dicha (GBIF.org, 2023a), que proporciona un inventario de las especies reportadas en la zona del archipiélago. El segundo nivel consistió en obtener las ocurrencias (GBIF.org, 2023b), que representan los registros de especies en puntos geográficos específicos.

Con base en la información recopilada y las fuentes mencionadas anteriormente, se elaboró una base de datos taxonómica que se presenta como un listado de especies de invertebrados intermareales y sublitorales. Esta base de datos incluye la taxonomía de cada especie y la fuente de información correspondiente. Posteriormente, se realizó un análisis descriptivo de estos datos para obtener una comprensión más detallada de la composición taxonómica de las especies y otros aspectos derivados de la información recopilada, como las especies más reportadas y los registros por trabajos, entre otros. Este análisis descriptivo permite obtener una visión general de la diversidad y distribución de los invertebrados intermareales y sublitorales en el archipiélago Diego Ramírez, así como identificar posibles patrones o tendencias en los registros y en la información taxonómica recopilada.

Basándose en los registros obtenidos de los muestreos y el levantamiento de información de moluscos en Diego Ramírez, llevadas a cabo por Sebastián Rosenfeld *et al.* (2014, 2020), que incluyen especies de tres clases taxonómicas de moluscos (poliplacóforos, gasterópodos y bivalvos) con información geográfica precisa de colecta, se procedió a preparar una base de datos siguiendo los estándares Darwin Core (Wieczorek *et al.*, 2012). El objetivo de esto es cargar dicha base de datos en la plataforma *Global Biodiversity Information Facilities* (GBIF) y así poner a disposición de un amplio público estos registros de moluscos intermareales del archipiélago. La preparación de la base de datos siguió las pautas y estándares establecidos por Darwin Core, que es un conjunto de términos y definiciones utilizado para describir y compartir información sobre la

biodiversidad. Esto asegura que los registros de moluscos intermareales del archipiélago Diego Ramírez estén estructurados de manera coherente y se puedan integrar en la plataforma GBIF.

RESULTADOS

La revisión y sistematización de la información, entregó un total de 120 taxones, que pueden ser considerados especies diferentes. Esto incluye 69 especies como tal, 32 morfoespecies identificadas a nivel taxonómico de géneros y 19 a nivel de familia o superior (Tabla 1). Las fuentes de información que entregaron mayor número de especies fueron Schlatter y Riveros (1997) y Rosenfeld *et al.* (2020), con 63 y 50 especies, respectivamente (Tabla 1). Cabe destacar que el último trabajo mencionado corresponde a un estudio intensivo de los moluscos litorales de isla Gonzalo, la más meridional del archipiélago.

En términos de diversidad de especies, los moluscos representan el mayor porcentaje, con 62 especies, lo que equivale al 51% del total (Fig. 6). Dentro de los moluscos, los gasterópodos son destacables, con 40 especies (33% del total), seguidos por los bivalvos con 16 especies (13% del total) (Fig. 6, Tabla 1). En segundo lugar, se encuentran los poliquetos, con 15 especies (13% del total), todas ellas identificadas como morfoespecies a nivel de familia (Tabla 1). En tercer lugar, se encuentran los artrópodos, con 14 especies, lo que representa el 12% del total (Fig. 6). Este grupo incluye principalmente crustáceos malacostráceos, como anfípodos, isópodos y decápodos, con 11 especies (9% del total) (Fig. 6, Tabla 1). Otros grupos como briozoos, equinodermos y otros, presentan un número ligeramente inferior de especies en comparación con los grupos anteriores (Fig. 6).

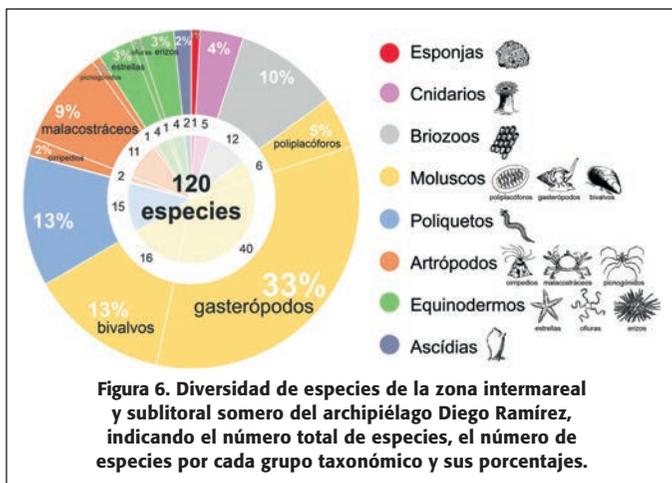


TABLA 1. ESPECIES DE INVERTEBRADOS INTERMAREALES Y SUBLITORALES COSTEROS REGISTRADOS EN EL ARCHIPIÉLAGO DIEGO RAMÍREZ.		
LAS FUENTES DE INFORMACIÓN DE REGISTROS DE ESPECIES SON: A (SCHLATTER Y RIVEROS, 1997), B (VALDOVINOS Y RÜTH, 2005), C (ROSENFELD <i>ET AL.</i> , 2014), D (SALINAS-DE-LEÓN <i>ET AL.</i> , 2017), E (FRIEDLANDER <i>ET AL.</i> , 2018), F (ROSENFELD <i>ET AL.</i> , 2020) Y G (GBIF. ORG, 2023 A).		
CATEGORÍA TAXONÓMICA	ESPECIE O TAXÓN MENOR	FUENTE DE INFORMACIÓN
Phylum Porifera (esponjas)		
Clase Demospongiae (demosponjas)		
Familia Scopalinidae	<i>Scopalina</i> sp.	d, e
Phylum Cnidaria		
Clase Anthozoa (anémonas)		
Familia Actiniidae	<i>Bunodactis</i> sp. <i>Condylactis</i> sp. <i>Parantheopsis</i> sp.	a a a
Familia Actinostolidae	<i>Antholoba achates</i>	a
Familia Andvakiidae	<i>Epiphellia</i> sp.	a
Phylum Bryozoa (briozoos)		
Clase Gymnolaemata (gimnolemados)		
Familia Arachnopusiidae	<i>Arachnopusia</i> sp.	a
Familia Beaniidae	<i>Beania magellanica</i> <i>Beania</i> sp.	e a
Familia Bryocryptellidae	<i>Porella</i> sp.	a
Familia Buffonellidae	<i>Aimulosia</i> sp.	a
Familia Bugulidae	<i>Bugula</i> sp.	d, e
Familia Celleporidae	<i>Osthimosia</i> sp.	a
Familia Ellisinidae	<i>Ellisina</i> sp.	a
Familia Fenestulinidae	<i>Fenestulina</i> sp.	a
Familia Hippothoidae	<i>Celleporella</i> sp.	a
Familia Microporellidae	<i>Microporella</i> sp.	a
Familia Smittinidae	<i>Smittina</i> sp.	a
Phylum Mollusca (moluscos)		
Clase Polyplacophora (chitones)		
Familia Callochitonidae	<i>Callochiton puniceus</i>	f
Familia Chitonidae	<i>Tonicia chilensis</i> <i>Tonicia lebruni</i>	a c, f
Familia Hemiarthridae	<i>Hemiarthrum setulosum</i>	f
Familia Ischnochitonidae	<i>Ischnochiton stramineus</i>	a, f
Familia Mopaliidae	<i>Plaxiphora aurata</i>	a, c, f
Clase Gastropoda (gasterópodos)		
Familia Anatomidae	<i>Anatoma conica</i>	f

Familia Fissurellidae	<i>Fissurella oriens</i>	f
	<i>Fissurella picta</i>	f
	<i>Fissurella radiosa</i>	c
	<i>Fissurella</i> sp.	a
Familia Nacellidae	<i>Nacella deaurata</i>	b, c, f
	<i>Nacella flammea</i>	c, f
	<i>Nacella magellanica</i>	b, c, f, g
	<i>Nacella mytilina</i>	f
	<i>Nacella</i> sp.	a, g
Familia Lottiidae	<i>Scurria ceciliana</i>	c, f
	Lottiidae sp.	g
Familia Calliostomatidae	<i>Calliostoma irisans</i>	f
	<i>Calliostoma nudum</i>	f
	<i>Margarella expansa</i>	c
	<i>Margarella</i> sp.	a
	<i>Margarella violacea</i>	f
Familia Tegulidae	<i>Tegula atra</i>	c, d, e, f
Familia Calyptraeidae	<i>Crepipatella dilatata</i>	f
Familia Cymatiidae	<i>Argobuccinum pustulosum</i>	a, c, d, f
	<i>Fusitriton magellanicus</i>	f
Familia Eatoniellidae	<i>Eatoniella ebenina</i>	f
	<i>Eatoniella nigra</i>	f
	<i>Eatoniella picea</i>	f
Familia Littorinidae	<i>Laevilittorina caliginosa</i>	c, f, g
Familia Rissoidae	<i>Onoba</i> sp.	f
Familia Newtoniellidae	<i>Eumetula pulla</i>	f
Familia Cominellidae	<i>Pareuthria atrata</i>	f
	<i>Pareuthria fuscata</i>	c, f
	<i>Pareuthria</i> sp.	a
	<i>Acanthina monodon</i>	a, f
Familia Muricidae	<i>Concholepas concholepas</i>	c, f
	<i>Xymenopsis muriciformis</i>	f
Familia Mathildidae	<i>Mathilda magellanica</i>	f
Familia Pyramidellidae	<i>Turbonilla strebeli</i>	f
Familia Cylichnidae	<i>Toledonia limnaeaeformis</i>	f
Familia Plakobranchidae	<i>Elysia patagonica</i>	f
	<i>Siphonaria fuengiensis</i>	f
Familia Siphonariidae	<i>Siphonaria lateralis</i>	c, f
	<i>Siphonaria</i> sp.	g
	<i>Lissarca miliaris</i>	f
Familia Philobryidae	<i>Philobrya</i> sp.	f
	<i>Limea pygmaea</i>	f
Familia Pectinidae	<i>Zygochlamys patagonica</i>	f, g
Familia Mytilidae	<i>Aulacomya atra</i>	a, f
	<i>Brachidontes</i> sp.	g

Familia Lasaeidae	<i>Mytilus chilensis</i>	a, c, f
	<i>Perumytilus purpuratus</i>	a, c, f
	<i>Lasaea adansoni</i>	c, f
	<i>Lasaea</i> sp.	g
Familia Neoleptonidae	<i>Mysella</i> sp.	f
	<i>Mysella subquadrata</i>	c
Familia Gaimardiidae	<i>Neolepton</i> sp.	f
Familia Gaimardiidae	<i>Gaimardia</i> sp.	f, g
	<i>Gaimardia trapesina</i>	a, e, f
	<i>Kidderia pusilla</i>	f
Phylum Annelida (anélidos)		
Clase Polychaeta (poliquetos)		
Familia Eunicidae	Eunicidae indet.	a
Familia Lumbrineridae	Lumbrineridae indet.	a
Familia Oeonidae	Oeonidae indet.	a
Familia Chrysopetalidae	Chrysopetalidae indet.	a
Familia Nereididae	Nereididae indet. 1	a
	Nereididae indet. 2	a
	Nereididae indet. 3	a
Familia Polynoidae	Polynoidae indet. 1	a
	Polynoidae indet. 2	a
Familia Syllidae	Syllidae indet.	a
Familia Sabellidae	Sabellidae indet.	a
Familia Spionidae	Spionidae indet.	a
Familia Cirratulidae	Cirratulidae indet.	a, g
Familia Flabelligeridae	Flabelligeridae indet.	a
Familia Terebellidae	Terebellidae indet.	a
Phylum Arthropoda (artrópodos)		
Clase Thecostraca (cirripedios y afines)		
Familia Chthamalidae	<i>Chthamalus</i> sp.	a
	Chthamalidae indet.	g
Clase Malacostraca (malacostráceos)		
Orden Amphipoda (anfípodos, "pulgas de mar")		
Familia Caprellidae	Caprellidae indet.	a
Orden Isopoda (isópodos)		
Familia Cirolanidae	<i>Cirolana aff. urostylis</i>	a
Familia Janiridae	<i>lais</i> sp.	a
	<i>Iathrippa multidentis</i>	a
Familia Joeropsididae	<i>Joeropsis curvicornis</i>	a
Familia Sphaeromatidae	<i>Amphoroidea typa</i>	a
	<i>Exosphaeroma gigas</i>	a, g
	<i>Ischyromene eatoni</i>	a
(superfamilia)	Oniscoidea indet.	a

Orden Decapoda (decápodos, cangrejos y afines)		
Familia Epialtidae	<i>Pisoides edwardsii</i>	a
Familia Hymenosomatidae	<i>Haliscarcinus planatus</i>	a, g
Clase Pycnogonida (arañas de mar)		
	Pycnogonida indet.	a
Phylum Echinodermata (equinodermos)		
Clase Asteroidea (estrellas de mar)		
Familia Asteriidae	<i>Anasterias antarctica</i>	a
Familia Stichasteridae	<i>Cosmasterias lurida</i>	e
Familia Echinasteridae	<i>Henricia obesa</i>	a
Familia Asterinidae	<i>Asterina fimbriata</i>	a
Clase Ophiuroidea (ofiuras o estrellas quebradizas)		
Familia Ophiactidae	<i>Ophiactis asperula</i>	a
Clase Echinoidea (erizos de mar)		
Familia Cidaridae	<i>Austrocidaris canaliculata</i>	e
Familia Arbaciidae	<i>Arbacia dufresnii</i>	a, e
Familia Parechinidae	<i>Loxechinus albus</i>	a, d, e
Familia Temnopleuridae	<i>Pseudechinus magellanicus</i>	a, e
Phylum Chordata (cordados)		
Clase Ascidiacea (ascidias)		
Familia Didemnidae	<i>Didemnum studeri</i>	e
Familia Polyclinidae	<i>Aplidium</i> sp.	d, e

Entre las especies más registradas a lo largo del tiempo se encuentran los moluscos gasterópodos *Nacella magellanica*, *Tegula atra* y *Argobuccinum pustulosum*, que han sido registrados en cuatro investigaciones diferentes (ver Tabla 1; Figs. 7 a 11). Les siguen, con tres registros distintos, el molusco poliplacóforo *Plaxiphora aurata*, los gasterópodos *Nacella deaurata*, *Laevilitorina caliginosa*, los bivalvos *Mytilus chilensis*, *Perumytilus purpuratus* y *Gaimardia trapesina* (ver Tabla 1; Figs. 7 a 11), así como el equinodermo *Loxechinus albus* (ver Tabla 1; Fig. 12). Cabe también destacar al crustáceo *Haliscarcinus planatus* (Fig. 12), el cual, a pesar de estar registrada en solo dos fuentes de literatura (ver Tabla 1), presenta un total de 30 ocurrencias en el archipiélago, registradas en la plataforma mundial de Biodiversidad (GBIF.org, 2023b).

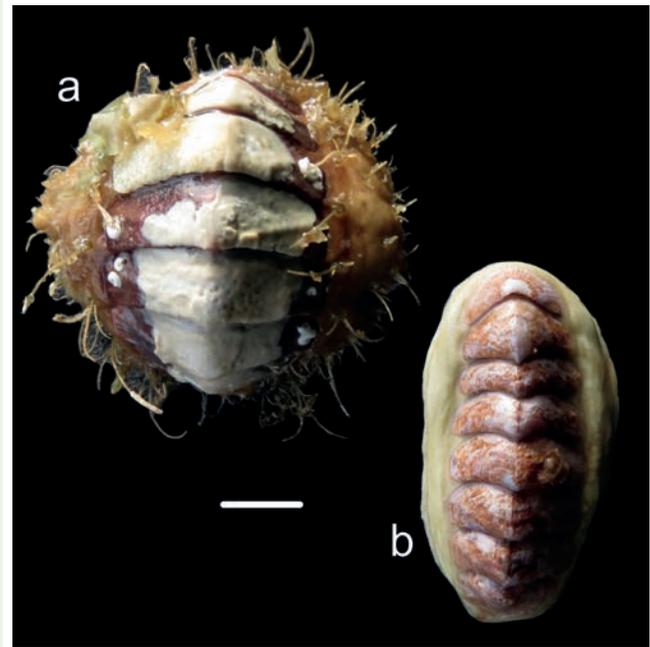


Figura 7. Poliplacóforos registrados en Isla Gonzalo, Diego Ramírez, por Rosenfeld et al. (2014, 2020): (a) *Plaxiphora aurata* y (b) *Tonicia lebruni*. Barra de escala: 1 cm.

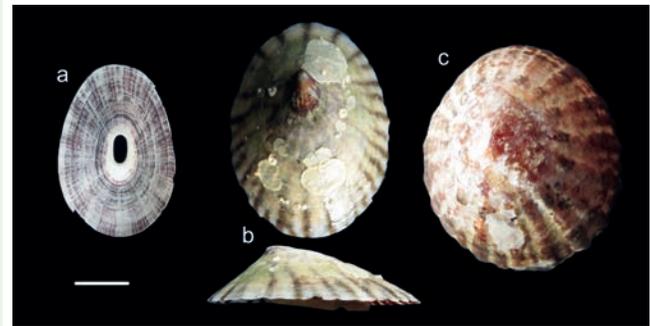


Figura 8. Gasterópodos (lapas) registrados en Isla Gonzalo, Diego Ramírez, por Rosenfeld et al. (2014, 2020): (a) *Fissurella radiosa*, (b) *Nacella flammea* y, (c) *Nacella magellanica*. Barra de escala: 1 cm.

La base de datos que contiene los registros propios de especies y que ha sido cargada en la plataforma *Global Biodiversity Information Facilities* (Aldea et al., 2023) proporciona acceso amplio a la información recolectada durante los muestreos realizados en primavera de los años 2012 y 2016 en el archipiélago Diego Ramírez (Rosenfeld et al., 2014, 2020; Fig. 13). Específicamente, se han registrado dos puntos de muestreo en la zona intermareal y la zona sublitoral somera (hasta aproximadamente 1 metro de profundidad) en la isla Gonzalo, obteniéndose un total de 68 ocurrencias que corresponden a 53 especies de moluscos (Fig. 14).

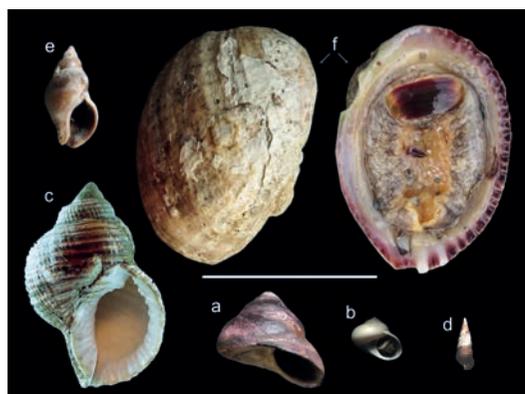


Figura 9. Gasterópodos (caracoles) registrados en Isla Gonzalo, Diego Ramírez, por Rosenfeld et al. (2014, 2020): (a) *Tegula atra*, (b) *Margarella expansa*, (c) *Argobuccinum pustulosum* (imagen referencial, tomada de otros muestreos), (d) *Eumetula pulla*, (e) *Pareuthria fuscata* y (f) *Concholepas concholepas*. Barra de escala: 5 cm.

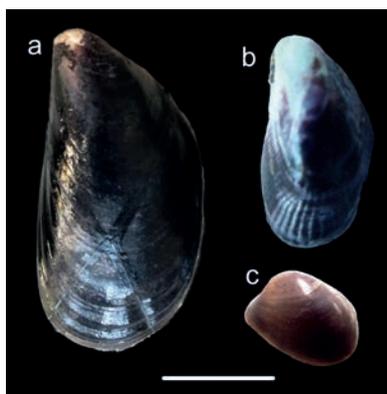


Figura 10. Bivalvos registrados en Isla Gonzalo, Diego Ramírez, por Rosenfeld et al. (2014, 2020): (a) *Mytilus chilensis*, (b) *Perumytilus purpuratus* (imagen referencial, tomada de otros muestreos) y (c) *Gaimardia trapesina* (imagen referencial, tomada de otros muestreos). Barra de escala: 2 cm.

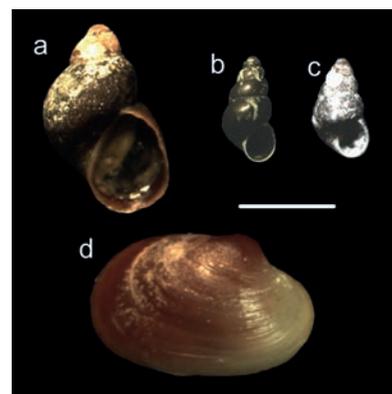


Figura 11. Micromoluscos registrados en Isla Gonzalo, Diego Ramírez, por Rosenfeld et al. (2014, 2020): (a) *Laevilitorina caliginosa*, (b) *Eatoniella picea*, (c) *Eatoniella nigra* y (d) *Mysella subquadrata*. Barra de escala: 2 mm.

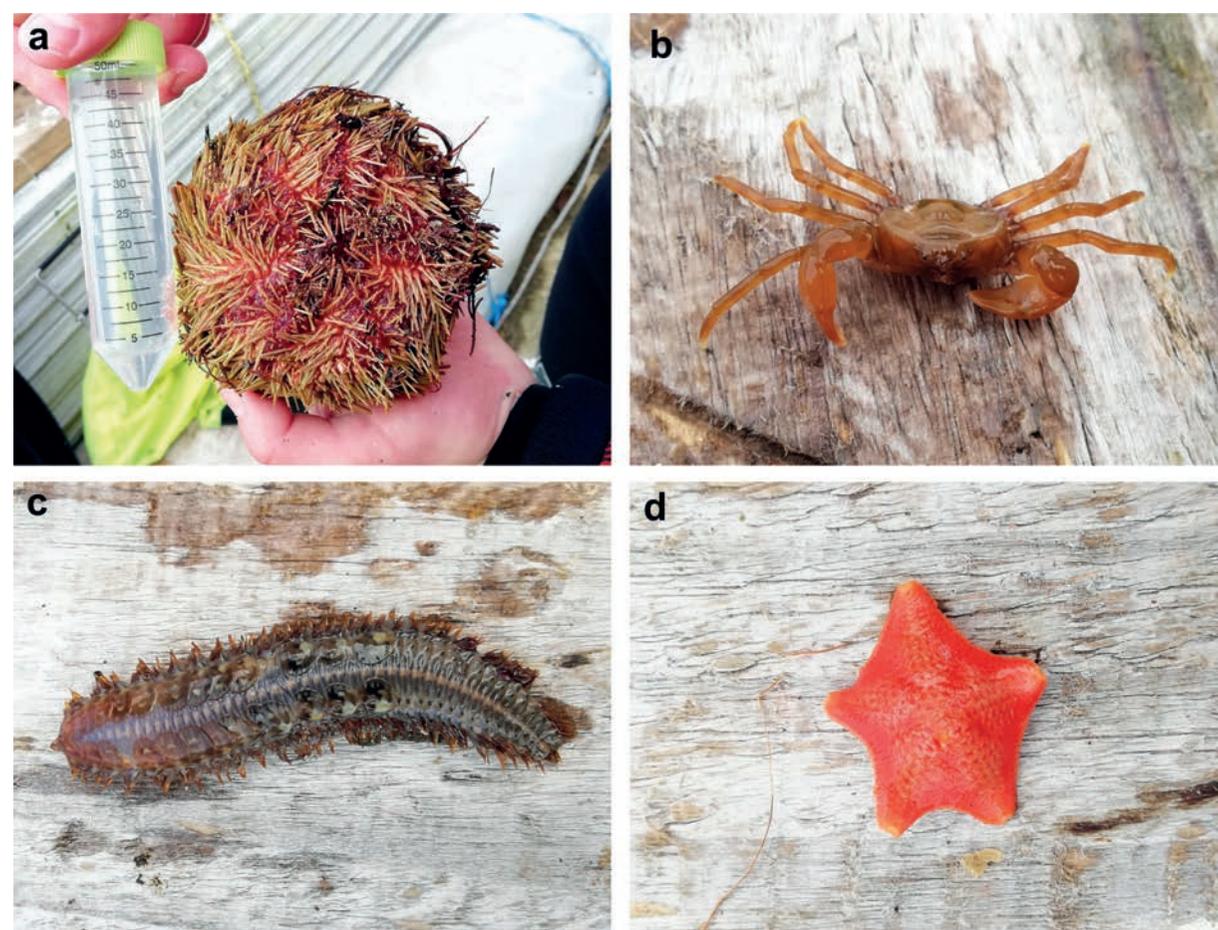


Figura 12. Otros invertebrados de las islas Diego Ramírez, recolectados por S. Rosenfeld durante los muestreos de 2012 y 2016: (a) erizo *Loxechinus albus*, (b) cangrejo *Halicarcinus planatus* (aprox. 4 cm), (c) poliqueto de la familia Polynoidae (aprox. 5 cm), (d) estrella *Asterina fimbriata* (aprox. <2 cm).

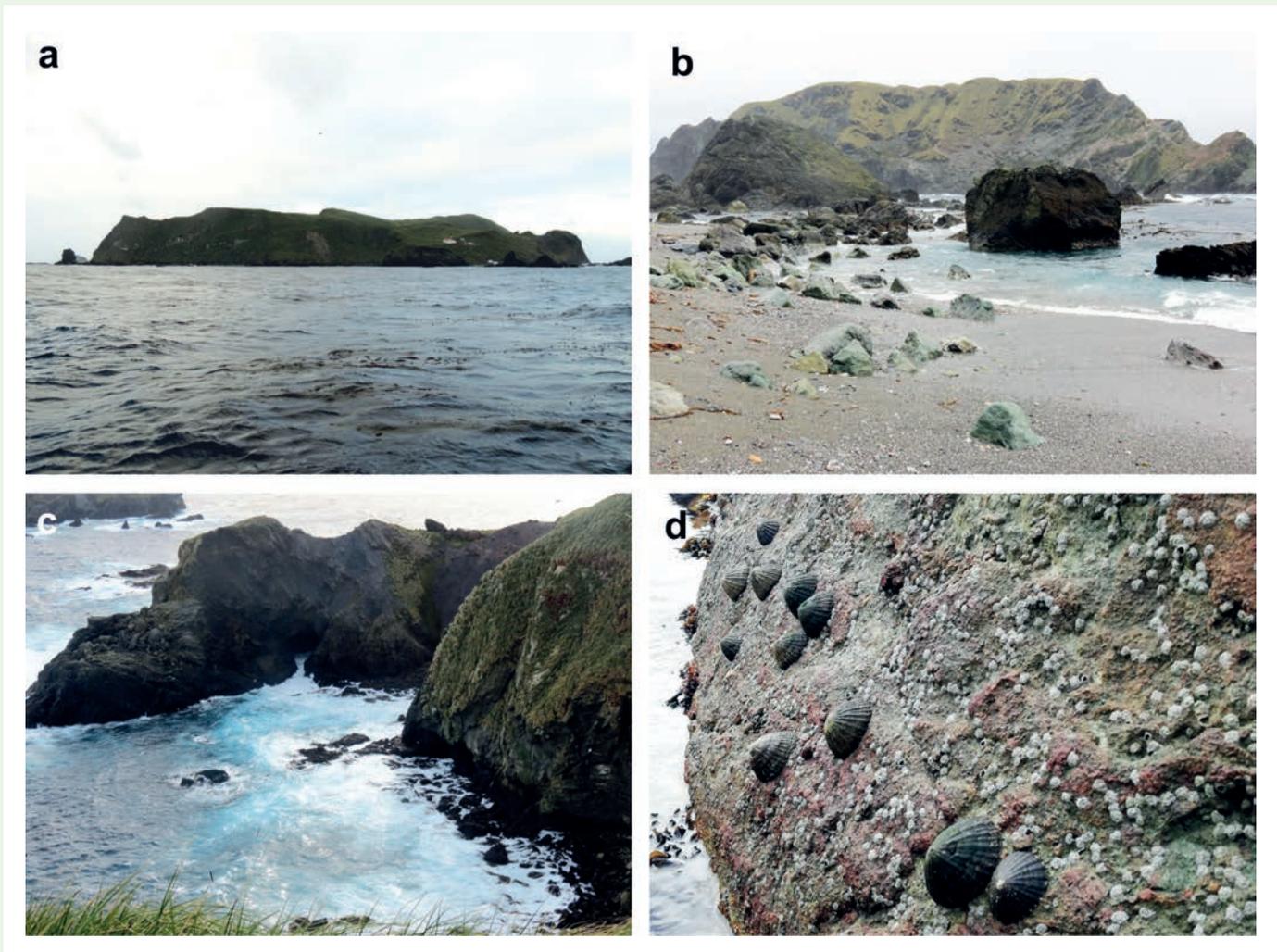


Figura 13. Isla Gonzalo visitada durante los muestreos de 2012 y 2016: (a) Vista general de la isla, (b) Vista de uno de los intermareales muestreados, (c) vista hacia la costa desde uno de los puntos más altos, (d) lapas de la especie *Nacella magellanica*, conocidas localmente en Magallanes como “mauchos” (Fotografía de Roy Mackenzie).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Al día de hoy no se contaba con un trabajo recopilatorio sobre los invertebrados litorales del archipiélago Diego Ramírez. Asimismo, tampoco se contaba con una lista actualizada de especies. Adicionalmente, la escasa literatura para el archipiélago sobre esta temática está más bien dispersa y algunas fuentes con accesibilidad limitada. Contrariamente, como se mencionó al comienzo, la información sobre aves y, en menor medida, sobre peces, es más considerable (ej. Cursach *et al.*, 2014b; Robertson *et al.*, 2017; Salinas-de-León *et al.*, 2017; Barroso *et al.*, 2020). Esto también se refleja en las bases de datos que estaban disponibles en la plataforma *Global Biodiversity Information Facilities*, de la

que se descargaron registros de 38 especies de animales marinos, las cuales 24 correspondían a aves (incluyendo aves costeras) y solo 13 de invertebrados (GBIF.org, 2023a). Por consiguiente, a través de este trabajo, con la base de datos presentada (Aldea *et al.*, 2023), se aumentan a 87 especies marinas registradas en el archipiélago, perteneciendo más de un 65% al filo moluscos. Esto resalta la importancia de este grupo en la fauna marina del archipiélago. Esta base de datos actualizada tiene por objeto ser una herramienta para futuras investigaciones y esfuerzos de conservación en el archipiélago Diego Ramírez, llenando un vacío de conocimiento previo en cuanto a la fauna de invertebrados litorales.



Figura 14. Conjunto de datos con especies de moluscos registrado en la plataforma *Global Biodiversity Information Facilities*. Se ha incluido un código QR para su enlace directo.

Teniendo en cuenta lo anterior y la diversidad de las especies, aún sería necesario precisar o intensificar más la investigación en el área. Esto, considerando su carácter de área protegida, así como la presencia de numerosas morfoespecies que aún no han sido identificadas a nivel específico (ver Tabla 1). Esto, por ejemplo, es particularmente notorio en briozoos y poliquetos (Schlatter y Riveros, 1997). Asimismo, se echan de menos listados concretos de especies, con ubicación geográfica precisa (ver Salinas-de-León *et al.*, 2017; Friendlander *et al.*, 2018, 2023).

Estos avances investigativos, se tornan más imperiosos si se toman en cuenta otras características propias del archipiélago, como su carácter de refugio glaciar, habiendo quedado libre o poco influida por el último máximo glaciar (Hulton *et al.*,

2002), no contándose aún con información precisa sobre ello (Hodgson *et al.*, 2014). En este contexto, al realizar una sencilla aproximación biogeográfica de las especies asociadas a algas coralinas y laminarias, se tiene que el 100% de las especies registradas comparten distribución con áreas de Sudamérica, mientras que menos del 10% con zonas antárticas o del Arco de Scotia (Fig. 15). Por otra parte, se ha reportado el aumento de diversidad hacia altas latitudes en algunos grupos faunísticos (ej. Valdovinos *et al.*, 2003). Adicionalmente, algunas de las especies registradas constituyen recursos de alta importancia económica, como *Concholepas concholepas* (nombre común, "loco") o *Loxechinus albus* (erizo rojo).

Para concluir, desde un punto de vista histórico podemos añadir que la hegemonía de los mares era una tarea de vital

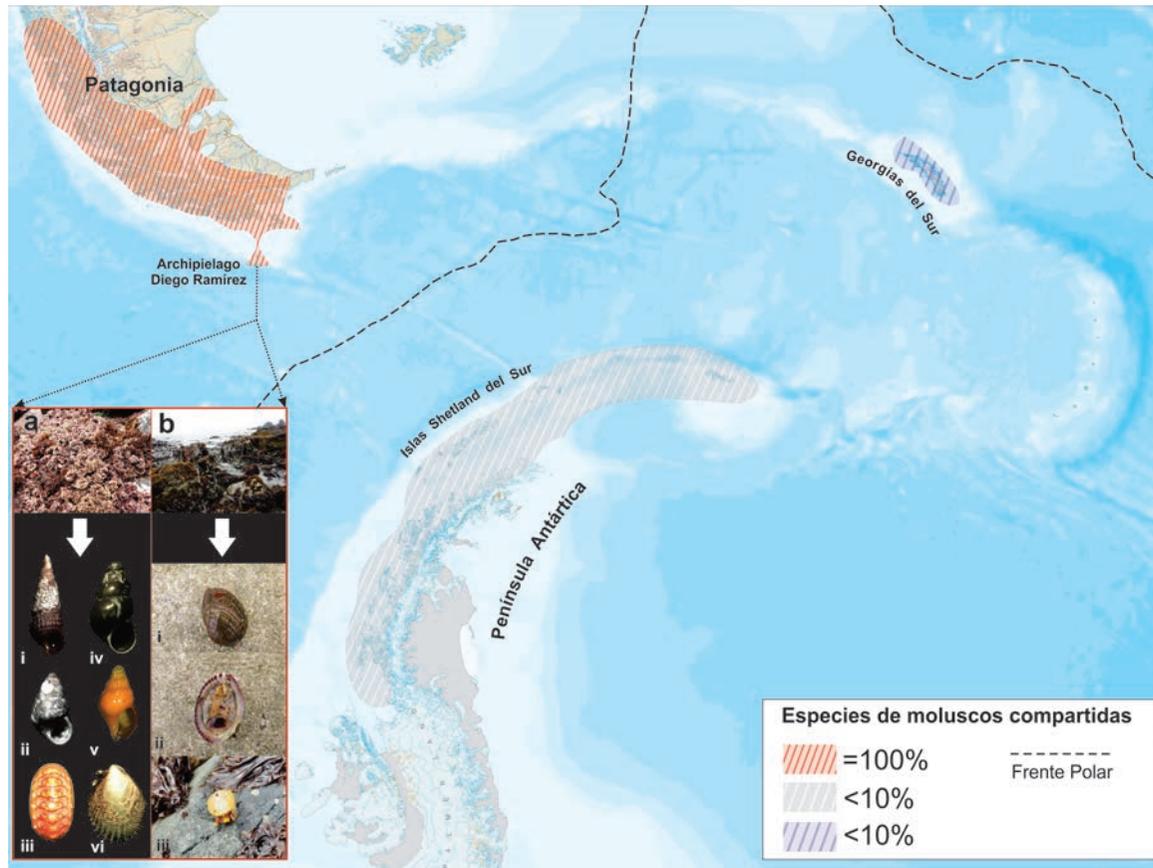


Figura 15. Especies de moluscos que se comparten entre el archipiélago Diego Ramírez y otras regiones del Océano Austral y Sudamérica. El área achurada roja señala un 100% de especies compartidas, el área achurada azul corresponde a las Islas Georgia del Sur y el área achurada gris a la Península Antártica, estas dos últimas representan menos de un 10% de especies compartidas. En el inserto se muestran dos hábitats representativos del intermareal de Isla Gonzalo: a) Poblaciones de algas coralináceas erectas y los micro-moluscos asociados a ellas: i) *Eumetula pulla*, ii) *Eatoniella nigra*, iii) *Hemiarthrum setulosum*, iv) *Eatoniella picea*, v) *Argenuthria cerealis* y vi) *Philobrya* sp. b) Típico intermareal rocoso cubierto de macroalgas como *Durvillaea antarctica* (cochayuyo) y macro-moluscos asociados a ellas: i-ii) *Concholepas concholepas* (loco) y iii) *Fisurella oriens* (lapa). Figura realizada sobre el mapa confeccionado por Laura Gerrish (British Antarctic Survey).

importancia para las naciones europeas que intensificaron sus viajes de exploración en los siglos XV y XVI, abriendo nuevas rutas comerciales y así, de esta manera, aumentando su área de influencia y viceversa. Indudablemente las campañas de exploración cartográfica han supuesto grandes gestas, y una de ellas ha sido colocar en el mapa un archipiélago situado más al sur y cerca del continente americano, las islas Diego Ramírez.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen y agradecen el esfuerzo de todos los colegas que ejecutaron los muestreos en las islas Diego Ramírez, que permitieron el desarrollo de este trabajo, así como los

proyectos que permitieron esas campañas (Fondecyt 1110875, 1161358, 1180433, PIA CONICYT ACT172065, ANID-Millennium Science Initiative Program-ICN2021_002 y Financiamiento Basal CONICYT AFB170008); del mismo modo, se expresa el reconocimiento a la Armada de Chile y a las dotaciones de sus embarcaciones, que permitieron el transporte y logística para los muestreos. Finalmente, se agradece a la Biblioteca del Instituto Antártico Chileno (Sra. Verónica Canobra), por la proporción de literatura. Este trabajo se escribió con el apoyo de la Beca Santander-Movilidad Académica Internacional (1112/2022-VRAC, UMAG) otorgada al primer autor, y los proyectos Red de Colaboración IBERCHILE (ANID-FOVI 220159) y RISUE (IES-RED21992 CUECH). Además, Sebastián Rosenfeld agradece al Proyecto INACH DG_10-22.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aldea, C.; Rosenfeld, S.; Troncoso, J. S.; Mansilla, A.; Maturana, C. S. (2023). Moluscos intermareales de Islas Diego Ramírez. Universidad de Magallanes. Occurrence dataset. <https://doi.org/10.15468/93qxyg>
2. Aubert de La Rüe, E. (1959). Quelques observations faites aux îles Diego Ramírez (Chili). Bulletin Museum National d'Histoire Naturelle 2e series 31: 387-391.
3. Barroso, O.; Crego, R. D.; Mella, J.; Rosenfeld, S.; Contador, T.; Mackenzie, R.; Vásquez, R. A.; Rozzi, R. (2020). Colaboración científica con la Armada de Chile en estudios ornitológicos a largo plazo en el archipiélago Diego Ramírez: Primer monitoreo del ciclo anual del ensamble de aves en la isla Gonzalo. Anales Instituto Patagonia (Chile) 48: 149-168. doi: 10.4067/S0718-686X2020000300149
4. Cairns, S. D.; Häussermann, V.; Försterra, G. (2005). A review of the Scleractinia (Cnidaria: Anthozoa) of Chile, with the description of two new species. Zootaxa 1018:15. doi: 10.11646/zootaxa.1018.1.2
5. Cursach, J. A.; Suazo, C. G.; Rau, J. R. (2014a). Depredación del lobo marino común *Otaria flavescens* sobre el pingüino de penacho amarillo *Eudyptes chrysocome* en isla Gonzalo, Diego Ramírez, sur de Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía 49: 373-377. doi: 10.4067/S0718-19572014000200016
6. Cursach, J. A.; Suazo, C. G.; Rau, J. R.; Niklitschek, E.; Vilugrón, J. (2014b). Observaciones sobre el pingüino de penacho amarillo *Eudyptes c. chrysocome* en isla Gonzalo, archipiélago Diego Ramírez, Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía 49:361-366. doi: 10.4067/S0718-19572014000200014
7. Díaz Hernández, I. (2010). Estudio preliminar y transcripción del manuscrito de Diego Ramírez de Arellano "Reconocimiento de los estrechos de Magallanes y San Vicente, con algunas cosas curiosas de navegación" (1621). Universitat de València, Servei de Publicacions. València.
8. Fernandez, J. C. C.; Cárdenas, C. A.; Bravo, A.; Lóbo-Hajdu, G.; Willenz, P.; Hajdu, E. (2016). *Lissodendoryx (Ectyodoryx)* Lundbeck, 1909 (Coelospaeridae, Poecilosclerida, Demospongiae) from Southern Chile: new species and a discussion of morphologic characters in the subgenus. Zootaxa 4092:69. doi: 10.11646/zootaxa.4092.1.4
9. Friedlander, A. M.; Ballesteros, E.; Bell, T. W.; Giddens, J.; Henning, B.; Hüne, M.; Muñoz, A.; Salinas-de-León, P.; Sala, E. (2018). Marine biodiversity at the end of the world: Cape Horn and Diego Ramírez islands. PLoS ONE 13: e0189930. doi: 10.1371/journal.pone.0189930
10. Friedlander, A. M.; Ballesteros, E.; Caselle, J. E.; Hüne, M.; Adler, A. M.; Sala, E. (2023). Patterns and drivers of benthic macro invertebrate assemblages in the kelp forests of southern Patagonia. PLoS ONE 18:e0279200. doi: 10.1371/journal.pone.0279200
11. García de Nodal, B.; García de Nodal, G. (1621). Relación del viaje que por orden de su Majestad y acuerdo del Real Consejo de Indias hicieron los capitanes Bartolomé García de Nodal y Gonzalo García de Nodal, hermanos naturales de Pontevedra, al descubrimiento del estrecho nuevo de San Vicente y reconocimiento del de Magallanes. Madrid: por Fernando Correa de Montenegro.
12. GBIF.org (2023a). GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.kc5u7x>. Downloaded, 05 June 2023.
13. GBIF.org (2023b). GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.2k98eq>. Downloaded, 05 June 2023.
14. Hulton, N. R. J.; Purves, R. S.; McCulloch, R. D.; Sugden, D. E.; Bentley, M. J. (2002). The Last Glacial Maximum and deglaciation in southern South America. Quaternary Science Reviews 21: 233-241. doi: 10.1016/S0277-3791(01)00103-2
15. Hodgson, D. A.; Graham, A. G. C.; Roberts, S. J.; Bentley, M. J.; Cofaigh, C. Ó.; Verleyen, E.; Vyverman, W.; Jomelli, V.; Favier, V.; Brunstein, D.; Verfallie, D.; Colhoun, E. A.; Saunders, K. M.; Selkirk, P. M.; Mackintosh, A.; Hedding, D. W.; Ne, W.; Hall, K.; McGlone, M. S.; Van Der Putten, N.; Dickens, W. A.; Smith, J. A. (2014). Terrestrial and submarine evidence for the extent and timing of the Last Glacial Maximum and the onset of deglaciation on the maritime-Antarctic and sub-Antarctic islands. Quaternary Science Reviews 100:137-158. doi: 10.1016/j.quascirev.2013.12.001
16. Kirkwood, R.; Lawton, K.; Moreno, C.; Valencia, J.; Schlatter, R.; Robertson, G. (2007). Estimates of Southern Rockhopper and Macaroni Penguin Numbers at the Ildefonso and Diego Ramírez Archipelagos, Chile, Using Quadrat and Distance-sampling Techniques. Waterbirds 30: 259-267. doi: 10.1675/1524-4695(2007)30[259:EOSRAM]2.0.CO;2
17. Lopes, D. A.; Bravo, A.; Hajdu, E. (2011). New carnivorous sponges (Cladorhizidae: Poecilosclerida: Demospongiae) from off Diego Ramírez Archipelago (south Chile), with comments on taxonomy and biogeography of the family. Invert Systematics 25:407. doi: 10.1071/IS11015
18. Marambio, J.; Rosenfeld, S.; Rodríguez, J. P.; Méndez, F.; Contador, T.; Mackenzie, R.; Goffinet, B.; Rozzi, R.; Mansilla, A. (2020). Siete nuevos registros de macroalgas para el archipiélago Diego Ramírez (56°31' S): El valor del nuevo parque marino como sumidero de carbono y conservación de la biodiversidad subantártica. Anales Instituto Patagonia (Chile) 48: 99-111. doi: 10.4067/S0718-686X2020000300099
19. Massardo, F. (2020). Reserva de la Biosfera Cabo de Hornos y Parque Marino Islas Diego Ramírez-Paso Drake. Anales Instituto Patagonia (Chile) 48: 39-44. doi: 10.4067/S0718-686X2020000300039
20. Pequeño, G. (1986). Comments on fishes from the Diego Ramirez Islands, Chile. Japanese Journal of Ichthyology 32(4): 440-442.
21. Pisano, E. (1972). Observaciones Fito-ecológicas en las islas Diego Ramírez. Anales del Instituto de la Patagonia 1-2: 161-169.
22. Ramírez de Arellano, D. (1621). Reconocimiento de los estrechos de Magallanes y San Vicente, con algunas cosas curiosas de navegación.
23. Reyes, P. R. (2019). Presencia de corales de aguas frías (Cnidaria: Anthozoa & Hydrozoa) en aguas profundas (306-2.250 m) de la región de Magallanes, Chile. Anales Instituto Patagonia (Chile) 47:7-16. doi: 10.4067/S0718-686X2019000100007
24. Robertson, G.; Wienecke, B.; Suazo, C. G.; Lawton, K.; Arata, J. A.; Moreno, C. (2017). Continued increase in the number of black-browed albatrosses (*Thalassarche melanophris*) at Diego Ramírez, Chile. Polar Biol 40: 1035-1042. doi: 10.1007/s00300-016-2028-5
25. Rodríguez Couto, D. (2018). "El poder está en el mar". La expedición de los hermanos Nodal (1618-1619). Ohm. doi: 10.15304/ohm.27.5048
26. Rosenfeld, S.; Aldea, C.; Troncoso, J. S. (2014). Moluscos litorales de islas Diego Ramírez, Paso Drake. MOLLUSCA-2014. Mexico City, Mexico (22-27 de junio, 2014), pp. 191-192 (impreso); 189 (digital).
27. Rosenfeld, S.; Marambio, J.; Aldea, C.; Rodríguez, J. P.; Méndez, F.; González-Wevar, C.; Gerard, K.; Contador, T.; Mackenzie, R.; Rozzi, R.; Mansilla, A. (2020) Actualización del catastro de ensamble de moluscos costero-marinos del archipiélago Diego Ramírez (56°31' S), Chile: Un refugio para la economía sustentable y conservación subantártica. Anales Instituto Patagonia (Chile) 48: 113-125. doi: 10.4067/S0718-686X2020000300113
28. Rozzi, R.; Massardo, F.; Mansilla, A.; Squeo, F.; Barros, E.; Contador, T.; Frangopulos, M.; Poulin, E.; Rosenfeld, S.; Goffinet, B., others (2017). Parque Marino Cabo de Hornos-Diego Ramírez, Informe Técnico para

- la Propuesta de Creación. Ediciones Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile
29. Rozzi, R.; Crego, R. D.; Contador, T.; Schüttler, E.; Rosenfeld, S.; Mackenzie, R.; Barroso, O.; Silva-Rodríguez, E. A.; Álvarez-Bustos, X.; Silva, A.; Ramírez, I.; Mella, J.; Herreros, J.; Rendoll-Cárcamo, J.; Marambio, J.; Ojeda, J.; Méndez, F.; Moses, K.-P.; Kennedy, J.; Russell, S.; Goffinet, B.; Sancho, L.-G.; Berchez, F.; Buma, B.; Aguirre F, Sánchez-Jardón L, Barros E, Vásquez RA, Arroyo MTK, Poulin E, Squeo F, Armesto JJ, Mansilla A, Massardo F (2020) Un centinela para el monitoreo del cambio climático y su impacto sobre la biodiversidad en la cumbre austral de América: La nueva red de estudios a largo Plazo Cabo de Hornos. *Anales Instituto Patagonia (Chile)* 48: 45-81. doi: 10.4067/S0718-686X2020000300045
 30. Rozzi, R.; Quilodrán, C. S.; Botero-Delgado, E.; Napolitano, C.; Torres-Mura, J. C.; Barroso, O.; Crego, R. D.; Bravo, C.; Ippi, S.; Quirici, V.; Mackenzie, R.; Suazo, C. G.; Rivero-de-Aguilar, J.; Goffinet, B.; Kempenaers, B.; Poulin, E.; Vásquez, R. A. (2022). The Subantarctic Rayadito (*Aphrastura subantarctica*), a new bird species on the southernmost islands of the Americas. *Scientific Reports* 12: 13957. doi: 10.1038/s41598-022-17985-4
 31. Salinas-de-León, P.; Friedlander, A.; Ballesteros, E.; Henning, B.; Hune, M.; Sala, E. 2017. Cabo de Horn-Diego Ramírez. Biodiversidad y propuesta de conservación. Informe técnico para el Gobierno de Chile. National Geographic Pristine Seas, Washington, D.C. 79pp
 32. Schlatter, R. P.; Riveros, G. M. (1997). Historia natural del Archipiélago Diego Ramírez, Chile. *Serie Científica INACH*, 47: 87-112.
 33. Spalding, M. D.; Fox, H. E.; Allen, G. R.; Davidson, N.; Ferdaña, Z. A.; Finlayson, M.; Halpern, B. S.; Jorge, M. A.; Lombana, A.; Lourie, S. A.; Martin, K. D.; McManus, E.; Molnar, J.; Recchia, C. A.; Robertson, J. (2007). Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas. *Bio Science* 57: 573-583. doi: 10.1641/B570707
 34. Valdovinos, C.; Rùth, M. (2005). Nacellidae limpets of the southern end of South America: taxonomy and distribution. *Revista Chilena de Historia Natural* 78: 497-517.
 35. Valdovinos, C.; Navarrete, S. A.; Marquet, P. A. (2003). Mollusk species diversity in the Southeastern Pacific: why are there more species towards the pole? *Ecography* 26: 139-144. doi: 10.1034/j.1600-0587.2003.03349.x
 36. Wiczorek, J.; Bloom, D.; Guralnick, R.; Blum, S.; Döring, M.; Giovanni, R.; Robertson, T.; Vieglais, D. (2012). Darwin Core: An evolving community-developed biodiversity data standard. *PLoS ONE* 7:e29715. doi: 10.1371/journal.pone.0029715

ADENDA

Recientemente se logró acceder a las bases de datos utilizadas como insumos en los trabajos de Friedlander *et al.* (2018, 2023), publicadas en el repositorio Dryad (Friedlander *et al.*, 2018; Friedlander, 2023). Estos conjuntos de datos permitieron la actualización de la lista de especies de invertebrados intermareales y sublitorales costeros registrados en el archipiélago Diego Ramírez, aumentando de 120 a 161 el total de taxones que pueden ser considerados especies diferentes, es decir, 41 adicionales (26 especies como tal, 8 morfoespecies identificadas a nivel taxonómico de género y 7 a nivel de familia o superior).

Esto también permitió la actualización de las proporciones de diversidad de especies de los distintos grupos taxonómicos.

Los 41 nuevos taxones añadidos son los siguientes: 7 esponjas: (Porifera indet. 1, indet. 2, indet. 3, *Mycale magellanica*, *Amphimedon maresi*, *Polymastia* sp., *Clathrina fjordica*), 6 cnidarios (*Bunodactis octoradiata*, *Anthothoe chilensis*, *Anthothoe* sp., *Acontiarina* indet., *Actiniaria* indet., *Alcyonium yepayek*), 6 briozoos (Bryozoa indet., *Schizomavella* sp., *Cellaria malvinensis*, *Schizobrachiella* sp., *Crisia* sp., *Entalophora* sp.), 3 moluscos polioplacóforos (*Chiton magnificus*, *Tonicia* spp., *Leptochiton* cf. *medinae*), 2 moluscos gasterópodos (*Cadlina sparsa*, *Myrella challengeriana*), 1 poliqueto (*Chaetopterus variopedatus*), 1 cirripedio (*Austromegabalanus psittacus*) 1 araña de mar (Pycnogonidae indet.), 5 estrellas de mar (*Stichaster striatus*, *Henricia studeri*, *Cycethra verrucosa*, *Odonotaster penicillatus*, *Glabraster antarctica*), 1 ofiura (*Ophiomyxa vivipara*), 2 pepinos de mar (*Pentactella leonina*, *Pseudocnus dubiosus*) y 6 ascidias (*Sycozoa gaimardi*, *Aplidium fuegiense*, *Aplidium magellanicum*, *Aplidium* sp. 2, *Synoicum georgianum*, *Polyzoa opuntia*).

Adicionalmente, se constata el registro de las siguientes 26 especies ya reportadas por los trabajos señalados en las publicaciones revisadas (ver Tabla 1): *Anasterias antarctica*, *Antholoba achates*, *Aplidium* sp., *Arbacia dufresnii*, *Argobuccinum pustulosum*, *Asterina fimbriata*, *Austrocidaris canaliculata*, *Beania magellanica*, *Bugula* sp., *Callochiton puniceus*, *Cosmasterias lurida*, *Didemnum studeri*, *Fissurella oriens*, *Fissurella picta*, *Gaimardia trapesina*, *Henricia obesa*, *Loxechinus albus*, *Margarella violacea*, *Nacella deaurata*, *Nacella flammea*, *Nacella magellanica*, *Pareuthria fuscata*, *Pseudechinus magellanicus*, *Scopalina* sp., *Tegula atra* y *Tonicia chilensis*.

No obstante, se deja constancia que todos estos datos corresponden a muestreos de hasta 15 m de profundidad y que ambos conjuntos de datos (i.e. 2018 y 2023), corresponden a los mismos eventos de muestreos, con variaciones sutiles en las identificaciones taxonómicas.

REFERENCIAS

1. Friedlander, A. M.; Ballesteros, E.; Bell, T. W.; Giddens, J.; Henning, B.; Hüne M.; Muñoz, A.; Salinas-De-León, P.; Sala, E. (2018). Data from: Marine biodiversity at the end of the world: Cape Horn and Diego Ramírez islands: 123510 bytes. <https://doi.org/10.5061/DRYAD.JF36B>
2. Friedlander, A. (2023). Patagonia invertebrate densities: 3273264 bytes. <https://doi.org/10.5061/DRYAD.931ZCRJPX>

LA DESCONEXIÓN DIGITAL EN ESPAÑA: ¿UN NUEVO DERECHO LABORAL?

Raquel María Vázquez Jiménez

Graduada en Relaciones Laborales y Recursos Humanos. Universidad de Murcia. España.

Miembro de Alumni. Universidade de Vigo. España.

Técnico en Orientación Laboral. Universidad de Comilla. España.

RESUMEN

La desconexión digital es un derecho laboral que tienen todos los empleados en España. Para mantener la comunicación con responsables, compañeros u otros departamentos, se utilizan herramientas online como Slack o MS Teams, por ejemplo. ¿Qué ocurre si cualquier otro empleado o jefe usa estos canales fuera del horario laboral y aparece una notificación en el móvil? ¿Está obligado el trabajador a contestar? El derecho a la desconexión digital trata de asegurar que las empresas limiten su actividad y contacto con sus empleados única y exclusivamente al horario laboral. Podría decirse que consiste en no tener que “conectarse” durante su período de descanso, vacaciones o fuera del horario laboral.

Se entiende por “conectarse” utilizar cualquier herramienta digital, como mensajes de WhatsApp, Slack, Teams, correo electrónico, uso del ordenador o de la tablet para cuestiones de trabajo. Por ejemplo, si un empleado trabaja desde casa y tiene una jornada de 8:00 a 16:00, desde que termina y hasta que empieza al día siguiente no tiene que atender ninguna comunicación que esté relacionada con el trabajo. Aunque se ha relacionado con el trabajo a distancia, también afecta a empleados que desempeñan sus funciones en oficina. Si al salir de ella por haber finalizado su jornada se contacta con ellos por medios electrónicos, también se estaría vulnerando ese derecho a la desconexión digital.

Las empresas son las encargadas de garantizar la desconexión digital de los empleados. Para ello, debe crearse un plan de desconexión, crear una política interna y también deben tenerse en cuenta las posibles consecuencias ante una inspec-

ción de trabajo, puesto que no cumplir con la desconexión digital implica sanciones para la empresa.

La revolución digital y los procesos de automatización y globalización han dado lugar a un fenómeno de conectividad permanente que está afectando a todos los ámbitos de la actividad humana, incluido el laboral, donde las fronteras entre tiempo de trabajo y descanso se están diluyendo cada vez más. En un contexto de cambios tecnológicos, organizativos y culturales en el mundo laboral, adquiere una gran importancia el trabajo online, utilizando dispositivos y herramientas digitales en detrimento del trabajo presencial, como consecuencia de la digitalización de la economía y de la pandemia provocada por la Covid-19. Para dar respuesta a las nuevas formas de organización del trabajo, se ha aprobado la Ley 10/2021, de 9 de julio, de trabajo a distancia (anterior RD-Ley 28/2020). Hay un derecho a la desconexión digital en el régimen jurídico actual, como herramienta para prevenir los riesgos laborales derivados del teletrabajo o trabajo a distancia en un momento de máxima hiperconectividad por el uso de tecnologías digitales, y como garantía de seguridad y salud laboral.

Aunque es un derecho reconocido directamente por el legislador, son los acuerdos con los propios trabajadores los que ayudarían a perfilar su concreto alcance y a evitar gran parte de los conflictos prácticos que este tema va a suscitar en la práctica. Todavía la negociación colectiva de nuestro país no le ha conferido a este tema la importancia que merece. Y es que para que este derecho sea plenamente efectivo, todos los sujetos implicados (empresarios y trabajadores de la empresa,

sea cual sea su nivel, categoría y puesto de trabajo), deben comprometerse a respetarlo.

INTRODUCCIÓN

El empleo de dispositivos tecnológicos como herramientas para el desarrollo de la prestación de servicios laborales, propicia que muchos trabajadores se encuentren permanentemente “enganchados” al trabajo. A su vez, las tecnologías móviles se han convertido en herramientas de progreso para las empresas, en la medida que pueden contribuir a aumentar la productividad de sus empleados y de sus ingresos. Sin embargo, también hay que mencionar los aspectos negativos, fundamentalmente, en lo relativo a la seguridad, a la privacidad de las personas, a la dificultad de desdibujar la línea divisoria entre la vida personal y laboral del trabajador y en consecuencia, a la eliminación de la frontera entre tiempo de trabajo y descanso, lo que podría conllevar no solo riesgos físicos sino riesgos psicosociales como el tecnoestrés (sobreeposición a las tecnologías). Este puede venir provocado por las llamadas, correos y mensajes que el empresario manda al trabajador durante sus horas de descanso, permisos o vacaciones. Hay un derecho a la desconexión digital aplicable tanto para los trabajadores que prestan sus servicios en el ámbito privado como en la Administración Pública.

El empresario tiene el deber de proteger la salud de los trabajadores y en consecuencia, debe respetar de manera efectiva su derecho al descanso.

Se ha abierto un gran debate acerca de la necesidad de regular el denominado derecho a la desconexión digital, que finalmente, se ha materializado en la Ley 3/2018, de 5 de diciembre de protección de datos y garantía de derechos digitales (LOPD GDD). La reciente ley 3/2018, de 5 de diciembre, regula por primera vez en nuestro país la desconexión digital.

Hay una necesidad de un desarrollo normativo que concrete las medidas específicas que deben implementar las empresas, así como un sistema efectivo de control del tiempo de trabajo que permita examinar con rigor el tiempo de trabajo empleado por los trabajadores desde los distintos medios electrónicos. De lo contrario, el derecho a la desconexión no será ninguna novedad, sino una simple anécdota que correría el riesgo de quedar en papel mojado.

HIPERCONECTIVIDAD Y CONCILIACIÓN

Aunque las nuevas tecnologías promuevan una mayor conexión entre familiares, amigos, compañeros de trabajo, etc, las personas experimentan cada vez una mayor sensación de

soledad. Todo ello, a pesar del gran éxito de las redes sociales, las que han propiciado que se entremezclen la intimidad de la vida personal y familiar con lo mostrado al relacionarse en público. Así, en un mundo globalizado e hiperconectado cada vez nos sentimos más solos.

De la misma manera que en el entorno social se entremezcla lo privado con lo público, en el entorno laboral se desdibujan los horarios, mezclándose el tiempo dedicado a la realización del propio trabajo con el tiempo dedicado a la vida personal y familiar.

En el mundo laboral ya hay señales de alerta de los riesgos que conlleva esta conectividad constante. Según el Dictamen del Comité Económico y Social Europeo sobre "Papel y perspectivas de los interlocutores sociales y otras organizaciones de la sociedad civil en el contexto de las nuevas formas de trabajo": "El aumento del número de trabajadores que sufren estrés y síndrome de desgaste profesional es una realidad preocupante y costosa".

Han denominado a la sociedad actual como la “sociedad del cansancio” y la caracteriza por padecer tres tipos de “enfermedades neuronales” a saber: el déficit de atención con hiperactividad, el trastorno límite de la personalidad y el síndrome del desgaste ocupacional.

Todas estas conductas de uso intensivo y permanente de las NTICs en el entorno laboral pueden llegar a desencadenar en comportamientos adictivos entre los trabajadores, por ello, es importante que, a través de la negociación colectiva se acuerden mecanismos que garanticen la desconexión digital de los trabajadores, además de facilitar medios para tratar las adicciones de aquellos trabajadores que lleguen a padecerlas por el uso intensivo de las NTICs.

La evaluación de los riesgos laborales cobra especial importancia para detectar y evitar que se materialicen los riesgos derivados del uso de las NTICs.

El uso de las NTICs y la digitalización en el entorno laboral ha provocado cambios en las relaciones laborales, tecnológicos y de flexibilidad, principalmente en lo que a organización del trabajo se refiere, respecto a horarios, métodos y de trabajo y lugares de trabajo. El mundo del trabajo está sufriendo la cuarta revolución industrial, impulsada por la digitalización y las NTICs y está caracterizada por la rapidez de los cambios.

Una inadecuada gestión y uso por la parte empresarial de las nuevas tecnologías de la información, ha derivado en la aparición de consecuencias negativas para la seguridad y salud de los trabajadores debido al incremento del ritmo de trabajo, la prolongación de las jornadas laborales, tecnoestrés derivado

de la constante disponibilidad, fatiga digital, fatiga muscular. Es importante resaltar entre otros, la carga mental derivada de la rapidez necesaria en las respuestas, la gran cantidad de información que se debe procesar o las constantes interrupciones tanto en el desarrollo de las diferentes tareas como del tiempo de descanso.

Una incorrecta organización del tiempo de trabajo puede acarrear riesgos para los trabajadores como por ejemplo: tecnofobia, tecnoadicción, tecnofatiga, tecnoansiedad o tecnoestrés, pudiendo derivarse en *bum out* o adicción al trabajo, si se cronifica.

Las nuevas formas de organización del trabajo permitidas por el uso de las NTICs en el entorno laboral están provocando que se desdibujen las fronteras entre el tiempo de trabajo y la vida personal. Se tiende al “trabajador disponible continuamente” para el que los tiempos de descanso, son interrumpidos por tiempo de trabajo facilitado por el uso de las NTICs.

- Intromisión en los tiempos de descanso.
- Extensión de la jornada laboral. La conectividad constante permitida por el uso de internet, smartphones, tablets, etc, no permite que los trabajadores puedan desconectar mentalmente del trabajo.
- Problemas de conciliación de la vida personal y laboral.
- Aumento del control del trabajador. Mediante programas o aplicaciones digitales, sistemas de GPS, etc “esto puede reducir la privacidad de los trabajadores y su capacidad para proteger su tiempo privado y vida personal, puede provocar mayor estrés y riesgos psicosociales”.
- Tecnoestrés, tecnoansiedad, tecnofatiga y tecnoadicción.

EL DERECHO A LA DESCONEXIÓN DIGITAL

La utilización de dispositivos electrónicos se está tornando imprescindible para el desempeño del trabajo. Este tipo de tecnología permite una conectividad permanente del trabajador y ello ha generado la confusión entre dos términos, conectividad y disponibilidad. Se deben respetar los derechos de los trabajadores a la intimidad, a la protección de datos y a la desconexión. En nuestro país, el derecho a la desconexión se ha regulado a través de la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y Garantía de los Derechos Digitales, en sus artículos 87 y siguiente. El derecho a la desconexión va ligado al derecho de conciliación de la vida laboral y personal, así como al de intimidad.

Artículo 87: Derecho a la intimidad y uso de dispositivos digitales en el ámbito laboral.

Artículo 88: Derecho a la desconexión digital en el ámbito laboral.

La actual regulación del derecho a la desconexión no incide en el origen del riesgo laboral, es decir, que la empresa respete o no, el tiempo de descanso de sus trabajadores y se abstenga de establecer comunicación con ellos durante estos períodos, por el contrario, desplaza la presión al propio trabajador, que tiene que decidir si responde o no a los requerimientos de la empresa.

Sería recomendable incluir criterios consensuados para un uso no abusivo de las TICs en el entorno laboral, que fueran de aplicación a todo el personal, incluyendo mandos intermedios y directivos. Podrían delimitarse los horarios en los que no se pueden enviar correos electrónicos de carácter profesional, establecer días de encuentro en las instalaciones de la empresa para fomentar las relaciones entre compañeros y superiores y así evitar el aislamiento de los teletrabajadores, reservar tiempo “libre de tecnologías” por ejemplo durante las comidas y descansos, al terminar la jornada laboral y los fines de semana.

EL WORKSHIFTING: LA IMPLEMENTACIÓN DEL TRABAJO MÓVIL Y EL ADIÓS A LA OFICINA

Es la posibilidad de alternar el lugar del trabajo. Este modelo de organización se basa en la adaptación al teletrabajo, dando la opción a los empleados de elegir el dispositivo desde el que trabajar y el lugar desde donde hacerlo.

El workshifting hace posible que puedan acceder a datos de la empresa desde diferentes ubicaciones, ya sea desde su ordenador portátil, tablet o smartphone. Los principales motivos para implementar políticas de workshifting son la reducción de costes y la flexibilidad que supone para los empleados. Las principales razones para apostar por él giran en torno a las nuevas características del mercado. Si todos leemos el correo desde nuestros smartphones y estamos acostumbrados a su uso, será beneficioso para la empresa que los empleados trabajen también desde ellos y lo compaginen si lo desean con otros dispositivos. Las ventajas serían:

- Mayor productividad: Los empleados pueden planificar mejor su jornada laboral y marcarse ellos mismos sus metas y objetivos. Ganan en organización y se vuelven más productivos.
- Impulsar el crecimiento del negocio: Da la capacidad a la empresa de abrir nuevas sucursales o expandir oficinas existentes de manera rápida y eficiente. Un edificio de oficinas tradicional puede quitar a la organización agilidad para crecer fácilmente. Esto se debe básicamente a que se suele

requerir la compra de un nuevo hardware y la instalación y configuración de este trabajador por trabajador. Una infraestructura informática conectada, permite a la empresa poner en línea nuevas ubicaciones en cuestión de segundos. Los profesionales pueden compartir archivos con el resto de compañeros solo con tener acceso a internet.

- Conciliación de la vida laboral y personal. Flexibilidad horaria.
- Facilita las fusiones y adquisiciones: Una fusión o adquisición es solo el comienzo de un proceso complejo para integrar nuevas oficinas y trabajadores en una organización. Además de unificar sus operaciones comerciales, la nueva empresa deberá disponer de una base común de recursos de IT, incluidos datos y aplicaciones. La informática virtual proporciona una forma de integrar organizaciones de una manera rápida y rentable. Se le podrá proporcionar un sistema conectado a todos los trabajadores.
- Reclutar a los mejores estén donde estén: Amplía el reclutamiento más allá de las limitaciones geográficas tradicionales. Cuando el trabajo se vuelve totalmente móvil la contratación ya no necesita depender de donde viva actualmente el candidato.
- Reducción de costes: La organización ahorra un 45% en costes relacionados con recursos humanos y reclutamiento o viajes. Esto a su vez permite contribuir con la sostenibilidad ambiental un 26%. Además, los costes inmobiliarios suelen suponer la segunda partida más elevada del presupuesto. El workshifting promueve que no haya oficinas, o que ya no se requieran grandes edificios ni infraestructuras.

USO DEL MÓVIL EN EL TRABAJO

¿Puedo limitar el uso del móvil del trabajo para temas personales en mi empresa? Según el art. 87 de la Ley Orgánica de Protección de Datos (LOPD) establece que “Los trabajadores y los empleados públicos tendrán derecho a la protección de su intimidad en el uso de los dispositivos digitales puestos a su disposición por su empleador”. “El empleador podrá acceder a los contenidos derivados del uso de los medios digitales facilitados a los trabajadores a los solos efectos de controlar el cumplimiento de las obligaciones laborales o estatutarias y de garantizar la integridad de dichos dispositivos”. Los empleadores deberán establecer criterios de utilización de los dispositivos digitales respetando en todo caso los estándares mínimos de protección de su intimidad de acuerdo con los usos sociales y los derechos reconocidos constitucional y legalmente. En su elaboración deberán participar los representantes de los trabajadores. La conclusión que sacamos de este artículo 87, es que el uso del móvil como tal (siempre y cuando no sea para fines delictivos

o contrarios a la ley), no se puede prohibir en el trabajo. Pero sí que se podrán establecer unos límites o criterios de uso.

Según el art. 58 de la Ley del Estatuto de los Trabajadores, el empresario sí que podrá restringir el uso del teléfono móvil o de determinadas aplicaciones si se está realizando un uso abusivo de las mismas. Lo deberá hacer mediante una comunicación previa que se debe de llevar a cabo de dos maneras diferentes:

1. A través de una circular interna en la que se anuncien tanto la prohibición como las sanciones.
2. Esto mismo también se deberá incluir en una cláusula en el contrato de trabajo que el empresario tenga con el empleado.

¿Y en el caso del uso del móvil personal para temas laborales?

Una sentencia de la Audiencia Nacional declara como abuso de derecho empresarial el que el trabajador tenga que aportar su propio móvil para la realización de su trabajo. De esta manera, se estaría quebrando la ajenidad de los medios, una de las características más fundamentales del contrato de trabajo. En otra sentencia del Tribunal Supremo llega a afirmar que el empleado, si así lo desea, no está obligado a darle ni su correo electrónico ni su número de teléfono a la empresa contratante.

Uso del móvil en el trabajo, el Derecho a la Intimidad

La Ley que ampara este derecho es la Ley Orgánica 1/1982, de 5 de mayo, de protección civil del derecho al honor, a la intimidad personal y familiar y a la propia imagen.

Debido a lo expuesto en esta Ley Orgánica, con el paso de los años se ha venido creando jurisprudencia en la que cualquier dispositivo tecnológico en la que se desarrolle la vida familiar o personal de cualquier persona se encuentra protegido por el derecho a la intimidad.

CONFLICTOS LEGALES EN EL USO DE DISPOSITIVOS MÓVILES EN EL TRABAJO

1. Intereses en conflicto: derecho a la intimidad del trabajador y derecho de supervisión del empresario

El derecho de supervisión laboral del empresario. Dispone el artículo 20.3 del Estatuto de los Trabajadores que el empresario podrá adoptar todas las medidas que estime oportunas para la vigilancia y control de las funciones y encargos laborales realizados al trabajador, para verificar que cumple con sus deberes y obligaciones.

El derecho a la intimidad de los trabajadores. Se encuentra protegido por la ley Orgánica 1/1982, de 5 de mayo, de protección civil del derecho al honor, a la intimidad personal y familiar y a la propia imagen.

Los tribunales tienen ya reconocido desde hace años, que todos los dispositivos tecnológicos, sean móviles o fijos, están protegidos por el derecho a la intimidad. Por el uso que hoy día damos a ordenadores, tablets y móviles, donde desarrollamos nuestra vida personal y familiar (redes sociales, webs de contactos...), financiera (acceso a banca on-line, inversiones on-line, criptomonedas...) e incluso las costumbres, gustos, aficiones (consultando webs, leyendo la prensa...), por todas estas cosas que hacemos a través de internet, y que quedan grabadas en los dispositivos móviles, cuentas de correo electrónico o redes sociales, es por lo que los Tribunales hacen extensivo el derecho a la intimidad a esta esfera, sea el ordenador o dispositivo, de la empresa o del trabajador, sea móvil o fijo.

La Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y Garantía de los Derechos Digitales viene a introducir modificaciones importantes tanto en el Estatuto de los Trabajadores (incorporando el artículo 20 bis), como en el Estatuto Básico del Empleado Público, incorporando dentro del listado de derechos individuales del empleado público el j bis).

Art. 20 Bis Estatuto de los Trabajadores: Los trabajadores tienen derecho a la intimidad en el uso de los dispositivos digitales puestos a su disposición por el empleador, a la desconexión digital y a la intimidad frente al uso de dispositivos de videovigilancia y geolocalización en los términos establecidos en la legislación vigente en materia de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales.

Art j bis) del Estatuto Básico del Empleado Público. A la intimidad en el uso de dispositivos digitales puestos a su disposición y frente al uso de dispositivos de videovigilancia y geolocalización, así como a la desconexión digital en los términos establecidos en la legislación vigente en materia de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales.

Cómo puede usar el trabajador dispositivos tecnológicos de la empresa, y los límites de control y supervisión por parte del empresario

El trabajador podrá usar para cualquier finalidad (que no sea delictiva o contraria a la ley) todos los dispositivos tecnológicos de la empresa para fines personales, siempre y cuando, no se haya prohibido o limitado expresamente por el empresario.

La ley no obliga a establecer unas normas y protocolos concretos sobre el uso de los dispositivos móviles en el trabajo, a qué

webs se puede entrar, en qué horario, a qué redes sociales, qué correos electrónicos se pueden usar, en cualquier caso, es fundamental que se configuren estas normas y que todos los empleados las conozcan desde el primer momento y cuenten con una copia escrita.

Otra cuestión es hasta donde puede supervisar y controlar el empresario. Para que el empresario pueda acceder a los dispositivos digitales que usa el trabajador, debe cumplir dos requisitos:

- Haber informado al trabajador previamente de que puede acceder a esos dispositivos para controlar: el acceso a internet, el uso que se le da, que puede acceder con control remoto, etc. Se deben configurar todos esos detalles de acceso y control, y el trabajador tiene que conocerlo.
- El empresario puede acceder pero con proporcionalidad. Por ejemplo, no sería proporcional que el empresario grabara todas las llamadas que hace el trabajador. Aunque sí lo sería el acceder a los correos electrónicos profesionales que usara el trabajador. En cualquier caso, no puede ser de forma indiscriminada.

Cómo puede usar el trabajador dispositivos tecnológicos personales para cuestiones laborales, y la capacidad de control sobre el mismo del empresario

En muchas ocasiones, los trabajadores utilizan sus propios dispositivos digitales para desarrollar su trabajo o parte de él. Ello, supone una serie de peligros para la empresa:

- Sacar del trabajo cuestiones confidenciales como secretos empresariales, ideas de negocios o datos personales de clientes.
- Acceso por parte de familiares.
- Pérdida o robo del dispositivo.

El uso de un dispositivo personal para cuestiones laborales no ha sido regulado por el legislador, por tanto, deben ser empresario y trabajador quienes acuerden ese uso, sea de forma individual en el contrato de trabajo, o sea, a través de la política corporativa y normas de uso de dispositivos digitales que se acuerden a nivel colectivo.

Si no regulamos nada, y el trabajador usa el teléfono móvil personal para cuestiones empresariales, con conocimiento del empresario, ¿podrá éste acceder al dispositivo del trabajador para supervisar su trabajo?

Se entiende que no. Y solo podría acceder con una autorización judicial. En caso de que lo hiciera, con algún software, accediendo al teléfono del trabajador sin su consentimiento,

no solo dicha prueba sería nula en juicio, sino que podría estar cometiendo un delito contra la intimidad del trabajador.

En el uso de dispositivos para cuestiones personales durante la jornada laboral, nada se ha regulado al respecto. Se trata más bien de una capacidad de organización y control por parte del empresario. Será la empresa la que deba configurar unas normas de uso de dispositivos móviles en el trabajo.

Desconexión digital de los trabajadores

Se aplica tanto al uso de dispositivos propios como empresariales. La empresa, de acuerdo con la representación de los trabajadores, debe regular los detalles, situaciones, excepciones, formas y personas para delimitar la forma de desconexión digital.

Normas de uso de dispositivos móviles en el trabajo

Son fundamentales para el buen funcionamiento de la empresa y necesario para que todo trabajador sepa que puede o no hacer con los dispositivos electrónicos. En ocasiones, se va a amonestar a un trabajador por uso excesivo del teléfono personal o uso personal de los dispositivos de la empresa y el conocimiento y existencia de estas normas puede suponer la procedencia o improcedencia de un despido. Todo trabajador al iniciar el trabajo debe conocer estas normas de uso, firmarlas y tener copia.

Se considera fundamental desarrollar como normativa interna de la empresa, unos protocolos y normas de uso de dispositivos móviles en el trabajo. Cuestiones tan básicas como prohibir el uso del móvil personal durante la jornada laboral o ceñir su uso a determinados momentos del día. Prohibir la instalación y uso de redes sociales en dispositivos digitales de la empresa, o no usar el móvil personal para ninguna cuestión laboral, etc.

Estas normas internas de uso y supervisión de dispositivos digitales en el trabajo, deben ser accesibles en todo momento para los trabajadores, con entrega de una copia desde el primer día que empiecen a trabajar. Tratándose de una empresa grande, se deben elaborar en colaboración con los representantes de los trabajadores. Y su contenido mínimo debería ser el siguiente:

- Tipos de dispositivos permitidos.
- Situación consentidas y no consentidas.
- Usos permitidos y no permitidos.
- Limitaciones y prohibiciones de uso.
- Alcance, límites y prohibiciones de la desconexión digital.
- Control por parte del empresario.
- Excepciones según los puestos de trabajo.
- No discriminación en la aplicación de las normas.

- Apercebimientos verbales.
- Qué se considera infracción y cuáles son las sanciones.
- Procedimiento sancionador si lo fuera específico.

EL PELIGRO DEL SMARTPHONE EN LA CONCILIACIÓN

En varios países ya están teniendo en cuenta este problema, un informe del centro de investigación Pew establece que en Estados Unidos alrededor del 44% de los usuarios de internet hizo con regularidad tareas laborales fuera de su lugar de trabajo el año pasado, a través de tecnologías como los teléfonos inteligentes. Aunque casi la mitad de los trabajadores encuestados dijo que la tecnología digital les ayudaba a hacer mejor su trabajo, el 35% señaló que aumentó el número de horas que trabajan. Por ello en el país indicado, ya se están produciendo demandas judiciales ante la falta de normativa, como la entablada por vendedores de las tiendas de la empresa de telefonía móvil T-Mobile USA, los empleados dijeron que se les había dado BlackBerrys y otros dispositivos con la expectativa de que trabajaran entre 10 y 15 horas adicionales a la semana, contestando correos electrónicos y mensajes de texto de los clientes y otros empleados. Los demandantes alegaron que **T-Mobile los obligaba a repartir tarjetas de presentación con sus números de celular para que los clientes pudieran ponerse en contacto con ellos en todo momento**. T-Mobile pagó una suma para resolver la demanda. En otro caso, instaladores de antenas satelitales demandaron a su empleador diciendo que no les pagaba por el tiempo que pasaban llamando a la oficina de despacho o descargando de internet las órdenes de trabajo del día. El caso fue presentado como acción colectiva.

Qué dicen las leyes sobre la flexibilidad horaria

En los países de nuestro entorno, **Francia prohíbe enviar emails fuera de la jornada laboral**, así consta en un acuerdo alcanzado entre dos grandes sindicatos, la Confederación Francesa Democrática del Trabajo (CFDT) y la Confederación Francesa de Cuadros Directivos (CFE-CGC), y dos patronales del sector de asesoría técnica, ingeniería, servicios informáticos, recursos humanos y consultoría. Por tanto, los trabajadores deberán apagar el móvil y el ordenador del trabajo durante once horas y tendrán el derecho de ignorar los correos electrónicos de trabajo que se envíen fuera de horas de oficina. Por su parte, las empresas tendrán la obligación de asegurar que esta medida se cumpla. En Alemania, los sindicatos están solicitando que se ponga freno a esta situación porque en muchas empresas presionan a sus trabajadores que han aumentado considerablemente las bajas laborales achacables directamente al estrés. En España,

mediante la vía de la negociación colectiva se deben establecer unos límites en el uso de los smartphones de empresa fuera de las horas de trabajo, y de esta manera, **establecerlo en los convenios colectivos**.

Por otro lado, en Trabajo y derecho: nueva revista de actualidad y relaciones laborales, en **Geolocalización, dispositivos móviles y trabajo ubicuo**, se hace un estudio en el cual se efectúa un análisis integrado en torno a la actual tendencia a la disolución de las unidades de lugar y tiempo de trabajo derivadas de los procesos de digitalización, desde el punto de vista de la incidencia de la normativa de protección de datos personales. Se efectúa así un estudio del régimen jurídico del trabajo prestado en régimen de geolocalización (artículo 90 LOPDP-GDD). También se abordan determinadas manifestaciones de lo que podría denominarse “entorno laboral ubicuo”: el teletrabajo y el trabajo remoto; los sistemas BYOD (Bring your Own Device); los sistemas de manejo remoto de los dispositivos, o los dispositivos digitales incorporados a la indumentaria o revestimiento de los trabajadores (Wearable Devices).

En esa misma revista, otro estudio trata del Uso de los dispositivos digitales en el ámbito laboral. Característica esencial de los dispositivos digitales puestos a disposición del trabajador por la empresa, en particular las TIC, es que, con independencia de la existencia de una política de usos aceptables permiten tanto el uso personal como el uso profesional. La obtención inseparable de datos profesionales y personales a través de los dispositivos digitales obliga a la empresa, a realizar una ponderación de los principios de protección de datos a fin de hacer compatible el poder de control empresarial con la garantía de tutela de la intimidad del trabajador.

EL USO DEL TELÉFONO DE EMPRESA Y SU EFECTO SOBRE EL BIENESTAR DE LOS TRABAJADORES: UN ESTUDIO DE DIARIO

Se comenzó a analizar el efecto que tiene sobre los trabajadores el uso del teléfono móvil inteligente de la empresa fuera del horario laboral. Para ello, se empleó una muestra de 104 trabajadores de diversos sectores, a través de un estudio de diario con dos niveles de análisis (Nivel 1: Día; Nivel 2: Persona). Los resultados de los análisis multinivel mostraron que el uso diario del teléfono móvil fuera del horario laboral se relacionaba positivamente con el nivel de conflicto trabajo-familia diario en casa. También, se halló una relación significativa entre el uso del teléfono y mayores niveles de *burnout* (ago-

tamiento), así como menores puntuaciones de *engagement* (compromiso). Por último, se observó que el conflicto trabajo-familia medió la relación existente entre el teléfono móvil y los niveles de *engagement* y *burnout* al día siguiente.

PRINCIPALES CONSECUENCIAS PARA LA SALUD DERIVADAS DEL USO CONTINUADO DE NUEVOS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS CON PVD

Se ha hecho un estudio cuyo objetivo ha sido analizar los nuevos dispositivos electrónicos (NDE). Los beneficios derivados pueden llegar a enmascarar los posibles riesgos e impactos para la salud respecto a un uso “no responsable”. Se ha observado que en entornos de trabajo móvil los ordenadores portátiles y los teléfonos inteligentes (smartphones) se posicionan por delante del ordenador de sobremesa. Los problemas de salud emergentes detectados se asociaron principalmente a trastornos musculoesqueléticos, visuales y psicosociales.

CONTROL EMPRESARIAL DEL USO DE DISPOSITIVOS DIGITALES EN EL AMBITO LABORAL DESDE LA PERSPECTIVA DEL DERECHO A LA PROTECCIÓN DE DATOS Y A LA INTIMIDAD

Es precisamente el recurso a las nuevas tecnologías como herramientas de control de la actividad laboral lo que ha propiciado mayores conflictos en sede judicial. Conflictividad que en parte responde a la ausencia de una normativa específica que regulase la facultad de control empresarial. Hasta fechas relativamente recientes, la única previsión a este respecto era el art 20 ET. Esta situación de déficit normativo ha propiciado la creación de una elaborada doctrina jurisprudencial tanto del Tribunal Supremo como del Tribunal Constitucional -interpretada y en ocasiones modificada por la doctrina del Tribunal Europeo de Derechos Humanos de la que es posible extraer las reglas y parámetros interpretativos a tener en cuenta a la hora de valorar si existe un adecuado equilibrio entre el control de la actividad laboral y el respeto al derecho a la intimidad y a la protección de datos del trabajador-. El panorama descrito ha cambiado en parte con la aprobación de la vigente Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. Ello es debido, de un lado, a que la citada norma

ha incluido determinados preceptos que regulan de forma específica el uso de dispositivos digitales en el ámbito laboral, imponiendo límites explícitos al ejercicio del poder de control empresarial y de otro, a la introducción de un nuevo artículo 20 bis al ET rubricado: "derechos de los trabajadores a la intimidad en relación con el entorno digital y a la desconexión".

EFFECTOS DEL USO DE LA APLICACIÓN "WHATSAPP" EN EL MARCO DE LAS RELACIONES LABORALES

Se trata de reflexionar sobre el hecho de que la generalización en el uso de canales de comunicación cada vez más informales entre el empresario y los trabajadores y entre estos entre sí, no puede suponer la creación de una vía para transgredir la buena fe contractual, tanto por parte del empresario como por parte de los trabajadores.

Los factores esenciales en la problemática que el whatsapp puede presentar se encuentran en estos elementos que lo caracterizan:

La facilidad en el acceso, la propiedad del teléfono puede ser de la empresa o del trabajador, el hecho de que se deja constancia escrita de lo transmitido, lo cual implica que puede probarse lo manifestado por el trabajador o el empresario a través de este medio, de forma fehaciente y también la posibilidad de que la información transmitida llegue en el mismo momento a un colectivo de personas integradas en un "chat", lo cual multiplica el impacto que pueda tener el contenido del mensaje y repercute en la posibilidad de que se pueda atentar contra derechos como la intimidad o el honor de forma pública.

Si el móvil es propiedad de la empresa, es posible que el empresario prohíba instalar en él la aplicación puesto que está legitimado para delimitar las funcionalidades del teléfono. Aún cuando exista una prohibición expresa de uso de esta aplicación durante el tiempo de trabajo, es posible que se produzcan incumplimientos laborales, sobre todo, relacionados con la transgresión de la buena fe contractual.

En Economist&Jurist, hay jurisprudencia sobre un despido disciplinariamente por usar el móvil trabajando (STSJ Navarra 230/2020, de 8 de octubre).

En Tiempo de trabajo y bienestar de los trabajadores: Una renovada relación de conflicto en la sociedad digital, también se habla del derecho a la desconexión digital como garantía de efectividad del derecho al descanso.

MULTAS POR LLAMAR A EMPLEADOS FUERA DE SU JORNADA

Las multas se producirían cuando este hecho de contactar con el empleado se realice de manera reiterada exigiendo al trabajador hacer unas tareas determinadas en su horario de descanso.

Además, los empresarios no podrán exigir e imponer represalias si el trabajador no responde fuera de su horario. No podrán acceder a la ubicación de sus trabajadores cuando estén disfrutando de su derecho a la desconexión digital. No respetar el derecho a la desconexión digital podría encuadrarse dentro de la Ley de Infracciones y Sanciones en el Orden Social como infracción grave. Por tanto, las sanciones podrían oscilar entre 751 euros y 7.500 euros.

UTILIZAR LOS DISPOSITIVOS MÓVILES PERSONALES PARA TRABAJAR PODRÍA TENER GRAVES CONSECUENCIAS

Muchas personas utilizan sus dispositivos móviles personales para el trabajo sin ser conscientes de sus posibles consecuencias. Compartir datos empresariales en los dispositivos móviles personales puede suponer un riesgo para las empresas, ocasionar brechas de seguridad, virus, pérdida de información. Esta práctica puede implicar múltiples vulneraciones de los derechos de los trabajadores. Un claro ejemplo lo encontramos en una sentencia reciente de la Audiencia Nacional que aborda el caso de Telepizza que obligó a que parte de sus empleados estuviesen geolocalizables. Obligó a sus repartidores a utilizar sus teléfonos móviles personales para geolocalizarlos mientras efectuaban las entregas a domicilio. El tribunal fue muy claro en su sentencia: la medida atentó contra el derecho a la intimidad de los trabajadores, vulneró la normativa de protección de datos, constituyó un abuso de derecho, generándose enriquecimiento injusto del empleador.

Por otro lado, utilizar el teléfono móvil personal para trabajar sin que lo sepa la empresa también puede poner en peligro todo el sistema de seguridad de la empresa. Compartir datos empresariales en los dispositivos móviles personales puede suponer un riesgo para las empresas. Por ejemplo, una empresa podría sospechar que un empleado suyo está utilizando su dispositivo móvil personal para transferir información a sus competidores. Si el trabajador utiliza un dispositivo de la empresa, el empleador tendría derecho a acceder a dicho dispositivo en caso de sospecha (debiendo cumplir, en todo caso, con la normativa aplicable y tener en cuenta los criterios jurisprudenciales).

Pero si se trata de dispositivos personales, la cuestión no sería tan fácil porque el riesgo de vulnerar derechos fundamentales del empleado se incrementa exponencialmente, especialmente el derecho a la intimidad, a la protección de datos y al secreto de las comunicaciones.

En el caso de que el empleador quisiera acceder a un dispositivo móvil, el trabajador tendría que estar debidamente informado de potenciales controles con anterioridad, y la empresa solo podría inspeccionarlo si existen suficientes indicios de sospecha y aún así debería proceder con mucha cautela y sus indagaciones deberían ser limitadas y proporcionadas.

EN REVISTA DE JURISPRUDENCIA LABORAL - NÚMERO 1/2021

En ella se habla de que el derecho a la desconexión digital no se aplica en la realización de un curso de formación online obligatorio que, conforme al convenio colectivo, computa como tiempo de trabajo efectivo. La negativa del trabajador (controlador aéreo) a cumplir, tempestivamente, la orden empresarial de realizar dicho curso de formación, sin que quede acreditado que se haya vulnerado su derecho al descanso, no está justificada.

En REVISTA DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL: Viejas y nuevas obligaciones en materia de control del tiempo de trabajo

El estudio realizado en ella concluye que ya había una obligación de control del tiempo de trabajo fundamentada en la obligación empresarial de prevención de riesgos laborales, de respetar los límites legales sobre el tiempo de trabajo y de retribuir adecuadamente en atención al tiempo de trabajo. Por tanto, la obligación de registro horario y el derecho a la desconexión digital van más allá de esta obligación genérica de control de tiempo de trabajo, introduciendo nuevas obligaciones de documentación de la jornada diaria efectiva realizada y de adopción de políticas que prohíban el contacto fuera de tiempo de trabajo para garantizar la desconexión digital.

CONCLUSIONES

La necesidad de delimitar tiempo de trabajo y descanso tiene un objetivo bidireccional, por un lado, se constituye en garantía de seguridad y salud de los trabajadores y por otro lado beneficia el interés productivo de la empresa, toda vez que el cansancio del trabajador disminuye la motivación, au-

mentando los errores por fatiga y por tanto en detrimento de la productividad.

Ante esta situación la pregunta que debiéramos formularnos sería ¿nos resulta fácil desconectar o somos capaces de hacerlo, es decir, de no contestar o ignorar un correo o un what-sapp? ¿Por qué nos vemos obligados a responder o atender a eso lo más rápidamente posible?

Según estudios de mercado realizados, entre los principales motivos por los que los españoles no desconectan del trabajo, se encuentran: el sentimiento de culpabilidad si no permanecen atentos al trabajo; la necesidad de estar al día de lo que ocurre en el trabajo, durante las vacaciones; las llamadas de compañeros o jefes, e incluso, el tener herramientas o útiles de la empresa tales como un teléfono móvil no parece ser la mejor receta para revertir este hábito de estar permanentemente conectados.

Ante el panorama descrito, conviene precisar también que los efectos de la hiperconexión son diferentes en función del tipo de trabajador y de la naturaleza del puesto que ocupa, a mayor responsabilidad mayor nivel de conectividad.

La digitalización exigirá tener una fuerte disciplina por parte del trabajador para ejercitar ese derecho de desconexión. La tecnología debería mejorar la vida de las personas, de ahí que resulte imprescindible que los trabajadores puedan desconectarse cuando es necesario y crear hábitos saludables al respecto.

En consecuencia, la regulación de este derecho parece ser necesaria, cuestión distinta es el instrumento normativo que desarrolle la protección del trabajador.

BIBLIOGRAFÍA

1. Geolocalización, dispositivos móviles y trabajo ubicuo. Trabajo y derecho: nueva revista de actualidad y relaciones laborales, ISSN 2386-8090, Nº Extra 11, 2020.
2. Uso de los dispositivos digitales en el ámbito laboral. Goñi, S. J. L. Trabajo y derecho: nueva revista de actualidad y relaciones laborales. Número extraordinario 11. Año 2020.
3. Rodríguez Muñoz, A. (2019). El uso del teléfono de empresa y su efecto sobre el bienestar de los trabajadores: un estudio de diario. Revista de Trabajo y Seguridad Social, CEF (439), 215-241.
4. Principales consecuencias para la salud derivadas del uso continuado de nuevos dispositivos electrónicos con PVD. Rev. Esp. Salud Pública vol.93 Madrid 2019 E pub 07-Sep 2020.
5. Control empresarial del uso de dispositivos digitales en el ámbito laboral desde la perspectiva del derecho a la protección de datos y a la intimidad. Mercedes López Balaguer, Francisco Ramos Moragues. Departamento de Derecho del Trabajo y de la Seguridad Social. Universitat de Valencia 2023.
6. Efectos del uso de la aplicación "whatsapp" en el marco de las relaciones laborales. Cervilla, G. M. J. TEMAS LABORALES núm. 136/2017. Págs.72-98.
7. Despedido disciplinario por usar el móvil trabajando / E & J . Economist & Jurist. Despedido disciplinariamente por usar el móvil trabajando (STSJ Navarra 230/2020, de 8 de octubre).
8. Casa Quesada, S., de la. (2019). Tiempo de trabajo y bienestar de los trabajadores: Una renovada relación de conflicto en la sociedad digital. Revista de Trabajo y Seguridad Social. CEF, número extraordinario 2019, 113-145.
9. El derecho a la desconexión digital en el ámbito laboral. Ruz, L. J. M. Universidad Isabel I. ISSN 2697-2271.
10. Multas de 7500 euros por llamar a empleados fuera de su jornada. Olga Agea. 15 diciembre 2022 grupo 2000.es.
11. Control tecnológico de la prestación laboral y derecho a la desconexión de los empleados. Notas a propósito de la Ley 3/2018, de 5 de diciembre. Miguel Ángel Purcalla Bonilla. Revista Española de Derecho del Trabajo num. 218/2019. Editorial Aranzadi, S.A.U.
12. La desconexión digital en España ¿un nuevo derecho laboral? AJEE, LII (2019) 101-124/ISSN 1133-3677.
13. Utilizar los dispositivos móviles personales para trabajar podría tener graves consecuencias. dobetter.esade.edu
14. El derecho a la desconexión digital desde un punto de vista de la prevención de riesgos laborales. Ayerra Duesca, Nuria. Lan harremanak: Revista de relaciones laborales, ISSN 1575-7048, Nº 47, 2022. (Ejemplar dedicado a Aprendizajes de la pandemia) págs., 41-71.
15. El derecho a la desconexión digital en el ámbito laboral. Eduardo Enrique Talens Visconti. Pertsonak eta Antolakunde Publikoak kudeatzeko Euskal Aldizkaria=Revista Vasca de Gestión de Personas y Organizaciones Públicas ISSN 2173-6405, Nº 17, 2019, págs. 150-161.
16. Desconexión digital ¿novedad o anécdota? Santiago Zamora. Diario La Ley, ISSN 1989-6913, Nº 9363, 2019.
17. Desconexión digital. Protocolo de actuación. Alejandra Selma Peña, Revista Aranzadi de derecho y nuevas tecnologías. ISSN 1696-0351, Nº 59, 2022.
18. Revista de Jurisprudencia Laboral. Número 1/2021. El derecho a la desconexión digital: contenido, límites y limitaciones. Confirmación judicial de sanción impuesta a un controlador aéreo por negarse a realizar un curso de formación online.
19. Revista de Trabajo y Seguridad Social CEF Nº 451. Octubre 2020. Viejas y nuevas obligaciones en materia de control del tiempo de trabajo. Anna Gines i Fabrellas. Juan Peña Moncho.
20. Hiperconectividad y conciliación. Ministerio de trabajo, migraciones y seguridad social. Fundación Estatal para la Prevención de Riesgos Laborales. F.S.P.
21. El workshifting o trabajo móvil y sus ventajas para empresas. IEBS.
22. Uso del móvil en el trabajo, casos y respuestas.www.carrilloasesores.com.
23. Conflictos legales en el uso de dispositivos móviles en el trabajo.www.mctabogados.com
24. El peligro del smartphone en la conciliación.
25. blogs.imf-formacion.com

MEJORA GENÉTICA EN ACUICULTURA: ENFOQUE GENÓMICO PARA UN FUTURO SOSTENIBLE

María Saura¹, Silvia García-Ballesteros², Almudena Fernández², Elisabeth Morales-González², Jesús Fernández², Beatriz Villanueva²

¹ Departamento de Biotecnología y Acuicultura. Instituto de Investigaciones Marinas (IIM-CSIC). Vigo. España.

² Departamento de Mejora Genética Animal. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA-CSIC). Madrid. España.

IMPORTANCIA Y EVOLUCIÓN DE LA ACUICULTURA

La acuicultura se define, según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), como el cultivo en condiciones controladas de especies que se desarrollan en el medio acuático (peces, moluscos, crustáceos y algas, fundamentalmente) y que son útiles para el hombre.

La acuicultura comenzó a practicarse hace 3000-4000 años en China con el cultivo de carpa común (*Cyprinus carpio*) en estanques de tierra, y de manera independiente, en la Europa medieval entre los siglos XII y XIV. Sin embargo, la domesticación de la mayoría de especies acuáticas no se ha desarrollado hasta el último cuarto del siglo XX. La acuicultura moderna es por tanto una actividad relativamente reciente, pero es el sector de producción de alimentos de más rápido crecimiento, a un ritmo aproximado del 7% anual desde 1960. Este incremento responde tanto al aumento de la población mundial como a los límites de las pesquerías en océanos y ríos.

Actualmente, la acuicultura supone ya el 50% del mercado internacional de animales acuáticos (acuicultura y pesquerías, Figura 1), y produce en torno a unos 82 millones de toneladas, que en 2020 alcanzó un valor de 250.000 millones de dólares. En España, la producción se elevó a más de 327.000 toneladas en 2021, que se tradujo en 629 millones de euros y 12.500 puestos de trabajo (Apromar, 2022). España es el segundo productor mundial de mejillón y el primero en Europa, donde es también líder en la producción de rodaballo. Otras especies importantes que se producen en España son la trucha arcoíris, la lubina y la dorada, aunque la diversificación hacia otras especies (p. ej., lenguado, corvina, pulpo) es cada vez mayor.

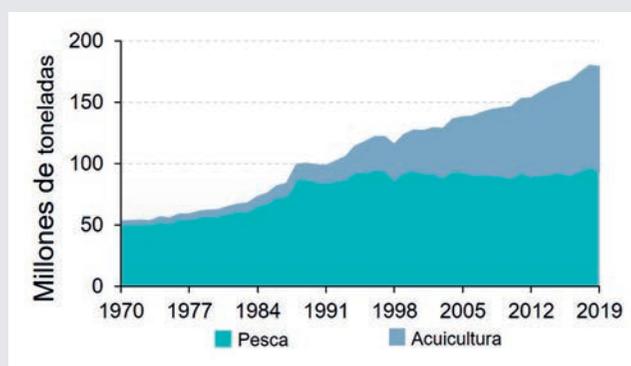


Figura 1. Evolución de la producción mundial de acuicultura y pesquerías (FAO, 2022).

Según los índices de crecimiento de la FAO, en el año 2050 la población humana ascenderá a unos 10.000 millones de personas, un 20% más que en la actualidad. Por tanto, uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad en los próximos 30 años es aumentar la producción de alimentos para satisfacer a una población mundial en continuo crecimiento con recursos naturales limitados y minimizando en lo posible el impacto ambiental.

En este contexto, la acuicultura se postula como una actividad de gran potencial. En términos de seguridad alimentaria y nutrición, los alimentos acuáticos contribuyen a las dietas saludables de millones de personas y son una de las fuentes más importantes de proteína animal. Los productos acuáticos no solo contienen proteínas de alta calidad y fácil digestión, sino que también son ricos en vitaminas (A, B y D), aminoácidos y ácidos grasos esenciales (omega 3 y 6), y ofrecen múltiples

efectos beneficiosos para la salud. Por su parte, en términos de sostenibilidad y productividad, los animales acuáticos son más eficientes para convertir el alimento ingerido en masa corporal (es decir, requieren menos recursos para producir alimento) en comparación con los animales de granja terrestres, y presentan una huella de carbono mucho más reducida.

PROGRAMAS DE MEJORA GENÉTICA EN ACUICULTURA

En general, el desarrollo sostenible de la acuicultura enfrenta muchos desafíos dadas las crecientes preocupaciones sobre el impacto ambiental, la competencia por los recursos hídricos y la mayor demanda de productos acuícolas. Las iniciativas encaminadas a mejorar la eficiencia productiva y la competitividad son, por tanto, de vital importancia para afrontar con éxito estos retos. Uno de los factores clave para aumentar la eficiencia y la sostenibilidad de la industria acuícola es la aplicación de programas de mejora genética.

Dentro de los programas de mejora genética, los programas de selección explotan la variación genética presente en características de importancia económica (crecimiento, eficiencia alimentaria, resistencia a enfermedades, entre otras) para mejorarlas. Así, se basan en la selección de los animales con mayor mérito genético para esas características, que serán los padres de la siguiente generación (Figura 2). Esto implica que la mejora de los caracteres de interés obtenida con estos programas es permanente (a diferencia de la obtenida mejorando las condiciones ambientales o de gestión) y acumulativa (las

mejoras obtenidas en una generación se suman a las obtenidas en generaciones anteriores).

Dependiendo del carácter a mejorar y del sistema de producción, los fenotipos se pueden obtener: bien (i) en los candidatos a la selección (para caracteres que no implican la integridad del animal), o bien (ii) en los hermanos de los candidatos (para aquellos caracteres que no se pueden medir en los candidatos porque o bien implican el sacrificio del animal o bien no es posible utilizarlos por cuestiones de bioseguridad, como en el caso de las pruebas de infección).

Para estimar el mérito genético de los candidatos a la selección es necesario conocer sus relaciones de parentesco, que tradicionalmente se obtienen a partir de registros genealógicos. Sin embargo, la información genealógica otorga el mismo valor a individuos con el mismo grado de parentesco. Los grandes avances en las tecnologías de secuenciación de genomas completos y genotipado masivo experimentados en los últimos años, han facilitado el desarrollo de herramientas genómicas que contienen información de miles de marcadores SNPs (variantes de ADN de un único nucleótido) de coste asequible. La información genómica tiene la ventaja de que es capaz de discriminar entre individuos con el mismo grado de parentesco (por ejemplo, entre hermanos completos). Esto hace posible aumentar la precisión de la selección tanto a través de (i) la selección genómica (Meuwissen *et al.*, 2001), al estimar de manera más precisa el parentesco entre individuos de la misma o diferentes familias y facilitando la utilización de la información dentro de familias, como a través de (ii) la detección de genes diagnóstico mediante análisis de asociación de genoma completo (GWAS, Genome-Wide Association Studies).

La selección genómica se basa en estimar el efecto de los marcadores en una población que se utiliza como referencia, de la cual se conocen los genotipos y los fenotipos, y predecir el mérito genético en la población problema o de validación genotipada, sin necesidad de disponer de los fenotipos. Una vez estimado el mérito genético en los candidatos, los animales con los valores más altos se seleccionan y se aparean para producir la próxima generación. Este método de selección está ya muy consolidado en ganadería y tiene un gran potencial en acuicultura, donde ya se aplica, por ejemplo, para la resistencia a enfermedades en salmón atlántico (revisado en Yáñez *et al.*, 2022).

Por su parte, la metodología GWAS ha permitido identificar genes o regiones genómicas responsables de caracteres de interés en acuicultura, como es el caso de la resistencia a la necrosis pancreática infecciosa en salmón atlántico, donde se ha identificado una región que explica el 83% de la variación genética para esta enfermedad (Houston *et al.*, 2008; Moen

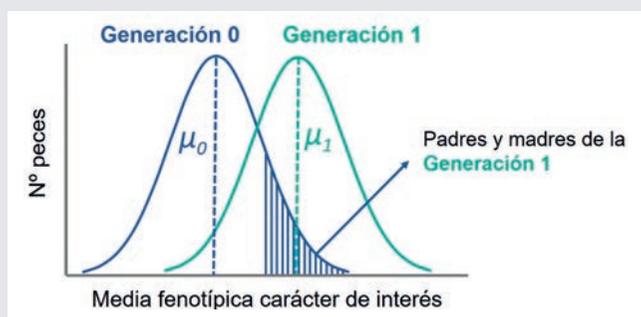


Figura 2. Gráfica representativa de la respuesta a la selección. La curva azul representa la distribución de un carácter cuantitativo, por ejemplo, el peso. La intensidad de selección se refiere al porcentaje de individuos seleccionados (en este caso, los individuos con mayor mérito genético para peso, área de la curva sombreada en azul). Tras una generación (Generación 1, verde), la descendencia de esos individuos seleccionados tendrá un peso medio superior al de la generación anterior (Generación 0). Este desplazamiento de la media del peso de los hijos (μ_1) con respecto al peso medio la generación anterior (μ_0) es la respuesta a la selección.

et al., 2009). La cría de peces genéticamente resistentes a esta patología ha sido uno de los hitos más exitosos en la historia de la acuicultura y se ha demostrado que los peces con variaciones genéticas específicas en un solo gen pueden ser muy resistentes a este virus. Esto reduce la necesidad de tratamientos químicos y mejora la salud general de los peces, lo que a su vez aumenta la productividad y reduce las pérdidas económicas. Además, las herramientas genómicas se pueden aplicar para caracterizar, utilizar y conservar los recursos genéticos acuáticos salvajes, así como para detectar y corregir la interacción entre los animales acuáticos salvajes y de acuicultura.

En comparación con la industria agrícola y ganadera, la acuicultura es un sector todavía joven, por lo que la domesticación y la mejora son más recientes y se limitan a relativamente pocas especies. Así, se ha estimado que solo alrededor del 10% de la producción acuícola mundial se basa en poblaciones provenientes de programas de selección genética, aunque esta proporción varía mucho entre continentes. En el caso de Europa, alrededor del 80 % de la producción acuícola se basa ya en poblaciones mejoradas genéticamente (Janssen *et al.*, 2017). Aunque el desarrollo de nuevos programas de mejora genética en acuicultura ha sido lento, su potencial es indiscutible, lo que se deduce de las ganancias genéticas típicamente altas obtenidas en especies acuícolas en comparación con especies ganaderas. Como ejemplo, el programa noruego para la mejora del salmón atlántico, una de las especies con los programas de mejora más desarrollados en acuicultura, ha conseguido un incremento del 14% por generación para crecimiento, lo que ha supuesto un incremento del peso en un 115% después de cinco generaciones de selección (Gjedrem, 1997). El gran potencial de los programas de mejora genética en acuicultura se debe en parte a la alta fecundidad de los organismos acuáticos, que permite una selección intensa (gran número de candidatos y bajo número de progenitores seleccionados) y, por tanto, ganancias genéticas rápidas. Sin embargo, imponer altas intensidades de selección también puede conducir a grandes reducciones de la variabilidad genética y elevadas tasas de consanguinidad, con el consiguiente aumento del riesgo de depresión consanguínea (la disminución del rendimiento o condición de los animales como consecuencia de la consanguinidad). Por lo tanto, controlar la tasa de consanguinidad y la pérdida de variación genética es especialmente importante en acuicultura.

MEJORA GENÉTICA DE LA RESISTENCIA A ENFERMEDADES

El principal objetivo de los programas de mejora genética en acuicultura es aumentar la tasa de crecimiento. Sin embargo,

conforme la tasa de crecimiento aumenta y la producción se intensifica, otras características más complejas y esenciales para maximizar la productividad, empiezan a cobrar importancia. Estas características incluyen la resistencia a enfermedades, la eficiencia alimentaria, el rendimiento de filete, la calidad de la carne y la adaptación a dietas de origen vegetal, entre otras (Houston *et al.*, 2020).

En particular, la resistencia a enfermedades es de crucial importancia, ya que las enfermedades representan una gran amenaza para la sostenibilidad económica y ambiental del sector. Como ejemplo, se ha estimado en aproximadamente 7 millones de euros el coste de un brote de la enfermedad del páncreas en una granja noruega de salmón atlántico integrada por 1 millón de esguines (Pettersen *et al.*, 2015). Las condiciones específicas de la producción acuícola, donde se comparte un ambiente común en tanques o jaulas, así como el flujo de agua, facilitan la transmisión de las enfermedades infecciosas y aumentan la dificultad de controlarlas en comparación con las especies terrestres. Es por ello que la mejora genética para la resistencia a enfermedades podría reducir los costes económicos y ambientales de los brotes y, al mismo tiempo, mejorar el bienestar animal (Bishop y Woolliams, 2014; Houston *et al.*, 2020). Además, los consumidores demandan cada vez más prácticas de acuicultura sostenibles y amigables con el medio ambiente, en las que se reduzca al mínimo el uso de químicos y se fomente el empleo de métodos alternativos de control de enfermedades.

En la actualidad, la mayoría de los programas de mejora genética para especies más consolidadas, como el salmón atlántico, ya han incluido la resistencia a diversas enfermedades en sus programas de mejora. Estudios recientes, particularmente en salmónidos y langostinos, han demostrado que la resistencia a enfermedades específicas tiene un claro potencial para la mejora genética (Ødegård *et al.*, 2011; Gjedrem, 2015). La selección para resistencia a la necrosis pancreática infecciosa y la enfermedad pancreática en salmónidos ha demostrado ser muy eficiente, reduciendo la incidencia de brotes hasta niveles casi nulos en el caso de la necrosis pancreática infecciosa (Gjedrem, 2015; Houston *et al.*, 2020).

En los últimos años, ha habido un aumento de los estudios que investigan la resistencia a enfermedades en otras especies utilizando herramientas genómicas. Algunos ejemplos son la enfermedad del herpes viruskoi en la carpa (Zao *et al.*, 2020), la necrosis nerviosa viral en la lubina (Palaikostas *et al.*, 2018), la fotobacteriosis y la parasitosis por *Sparicotyle chrysophrii* en la dorada (Aslam *et al.*, 2020) y la escuticociliatosis en rodaballo (Saura *et al.*, 2019). Estos son los primeros casos en acuicultura que prueban cómo la tecnología genómica se ha vuelto

rápida y debe aplicarse desde el principio de los programas de domesticación y posterior mejora genética.

El principal fenotipo considerado para medir la resistencia a enfermedades es la mortalidad individual registrada como rasgo binario (vivo/muerto) o como tiempo de supervivencia (Ødegård *et al.*, 2011; Doeschl-Wilson *et al.*, 2021). Esto implica exponer o inocular el patógeno que causa una enfermedad específica a los animales en pruebas de desafío. Por motivos de bioseguridad, la mortalidad no se puede medir en los candidatos a la selección, por lo que la resistencia a enfermedades es un carácter que se puede ver muy beneficiado por la aplicación de la selección genómica, como ya se ha comentado.

Asimismo, estudios (teóricos y empíricos) recientes en peces han demostrado que los animales varían no solo en su resistencia individual a las enfermedades, sino también en aquellos rasgos epidemiológicos relacionados con la carga de patógenos (Doeschl-Wilson *et al.*, 2021). Estos rasgos no se pueden observar ni medir directamente, pero son clave para el control sostenible de la enfermedad, e incluyen: (i) susceptibilidad, o propensión de un individuo sano a infectarse cuando se expone a la infección, (ii) infectividad, o capacidad de un individuo infectado de transmitir la enfermedad, y (iii) tolerancia o mortalidad inducida por infección, definida como la propensión de un individuo infectado a morir (Anacleto *et al.*, 2019; Saura *et al.*, 2019).

Por todo ello, reducir la incidencia y la prevalencia de una enfermedad infecciosa, y no solo la mortalidad (al mejorar la resistencia a las enfermedades), es un objetivo importante en la acuicultura comercial.

EL CONTROL DE LA CONSANGUINIDAD

La alta fecundidad típica de las especies acuícolas hace posible que las poblaciones base, a partir de las cuales se iniciarán los programas de mejora genética, se creen a partir de un número muy reducido de reproductores y que se apliquen altas intensidades de selección una vez que se inician estos programas. Esto puede conducir a altas tasas de consanguinidad y pérdidas en la variabilidad genética, o lo que es equivalente, a censos efectivos bajos (Caballero, 1994). Por tanto, garantizar unos niveles apropiados de variabilidad genética a la hora de establecer y manejar las poblaciones base, es fundamental para asegurar la viabilidad de estos programas a largo plazo (Villanueva *et al.*, 1996; Fernández *et al.*, 2014).

La consanguinidad hace referencia al apareamiento entre individuos que están emparentados y da como resultado un

aumento de la homocigosis. En consecuencia, aumenta la incidencia de defectos recesivos, que solo se expresan en los homocigotos, disminuyendo la eficacia biológica de los individuos (su capacidad para sobrevivir y transmitir sus genes a la siguiente generación), que puede llevar a la extinción de la población.

El método de referencia para controlar la pérdida de variabilidad genética y el aumento en consanguinidad es el método de contribuciones óptimas (Meuwissen, 1997; Grundy *et al.*, 1998), que se basa en restringir el parentesco promedio en los hijos a través de las contribuciones de sus padres (cabe mencionar que la consanguinidad de un individuo es igual al parentesco entre sus padres). Aunque tradicionalmente el parentesco entre los individuos se ha obtenido a partir de registros genealógicos, el desarrollo de herramientas genómicas ha posibilitado evaluar la diversidad genética de las poblaciones de manera más precisa y diseñar estrategias de gestión que minimicen la consanguinidad y mantengan una base genética saludable, al poder calcular parentescos a partir de información molecular. Los coeficientes de parentesco y consanguinidad genómicos pueden ser más precisos que las medidas basadas en la genealogía porque, como ya se ha mencionado, pueden diferenciar entre individuos con el mismo grado de parentesco genealógico. Las medidas genómicas también permiten diferenciar el parentesco y la consanguinidad en regiones específicas del genoma, lo que no es posible con los coeficientes basados en la información genealógica.

En los últimos años, se han propuesto varios métodos para calcular los coeficientes de consanguinidad utilizando datos genómicos, incluyendo los métodos basados en cuantificar la homocigosis marcador a marcador (Li y Horvitz, 1953; Nejat-Javaremi *et al.*, 1997; Van Raden, 2008; Yang *et al.*, 2010) y los métodos basados en segmentos contiguos de homocigosis (ROH, runs of homozygosity) (McQuillan *et al.*, 2008). Todas estas medidas proporcionan distinta información ya que, entre otras diferencias, asumen diferentes poblaciones base, por lo que su eficiencia para medir la pérdida de variabilidad genética es también diferente (Villanueva *et al.*, 2021). Entender los principios que justifican la utilización de los distintos coeficientes genómicos en la gestión de la diversidad genética constituye por tanto un objetivo fundamental (Figura 3).

Otro parámetro importante para evaluar el estado genético de las poblaciones es el censo efectivo (N_e). Este parámetro se puede estimar a partir de la tasa a la cual aumenta la consanguinidad, y es equivalente al tamaño que tendría una población ideal con la misma evolución de la consanguinidad o de pérdida de la variabilidad genética. Asimismo, el desarrollo de

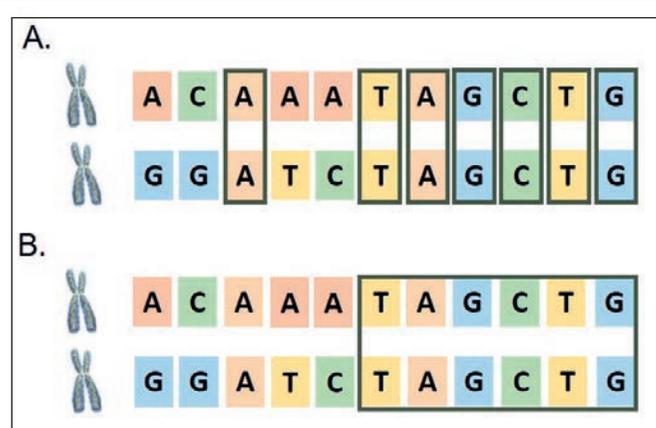


Figura 3. Representación visual de los coeficientes de consanguinidad genómicos basados en la información SNP a SNP (A) y en ROH (B). Los alelos homocigotos utilizados para el cálculo del coeficiente de consanguinidad en cada caso se identifican con recuadros.

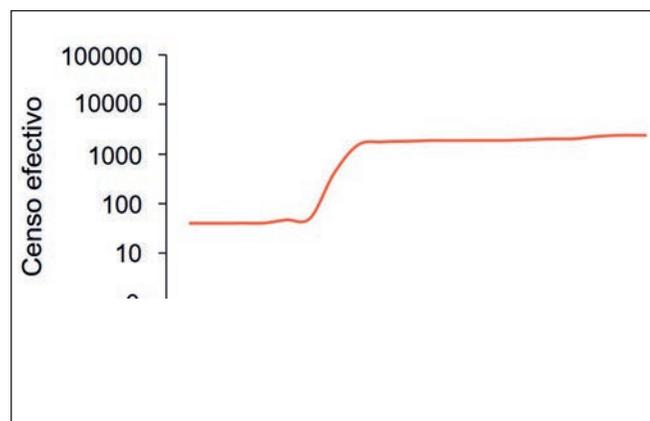


Figura 4. Estimaciones de Ne a partir del método de DL (escala logarítmica) en las últimas 20 generaciones para una población comercial de lubina (Saura et al., 2021).

la genómica ha permitido el resurgimiento de los métodos genéticos para estimar el N_e , en particular, el método basado en medidas genómicas de desequilibrio de ligamiento (DL). El DL es la combinación no aleatoria de alelos de diferentes loci en cada uno de los homólogos de un cromosoma. Este parámetro se modifica por el efecto combinado de la deriva genética (que lo aumenta) y la recombinación (que lo reduce), y se relaciona de manera inversa con el N_e . Una de las mayores ventajas de este método, además de su precisión, es que permite estimar no solo el N_e actual, sino también eventos demográficos (reducciones o expansiones) ocurridos en el pasado (Figura 4). En particular, el método recientemente desarrollado por Santiago *et al.* (2020), tiene en cuenta que la historia demográfica a lo largo de las generaciones no es independiente, lo cual es de gran utilidad para interpretar el estado genético de las poblaciones actuales y diseñar programas de gestión óptimos (Villanueva *et al.*, 2022).

MICROBIOTA, SALUD Y METAGENÓMICA

En paralelo al avance de la genómica se han desarrollado otras innovaciones tecnológicas como la transcriptómica, la proteómica, la epigenómica, la metagenómica o incluso la metabolómica. Dentro de estas disciplinas, que proporcionan información intermedia entre el genotipo y el fenotipo final, la metagenómica se ha consolidado en los últimos años como la técnica de referencia para analizar directamente los genomas contenidos en una muestra ambiental, lo que ha abierto un importante campo de investigación para determinar el papel

del microbioma en diferentes procesos fisiológicos de los organismos.

El estudio de la microbiota es un campo muy relevante para la investigación de caracteres de importancia en producción, ya que se sabe que las comunidades microbianas afectan directamente a la fisiología y al estado de salud de los individuos. Estudios recientes en peces (Legrand *et al.*, 2019) y moluscos (Diwan *et al.*, 2020) han asociado la alteración del balance normal de la microbiota (disbiosis) con condiciones de estrés y el desarrollo de enfermedades, por lo que la caracterización taxonómica y funcional de estos microorganismos representa una nueva oportunidad para profundizar en el estudio de la resistencia a enfermedades y el bienestar animal. Los enfoques tradicionales para caracterizar la microbiota se basaban en técnicas clásicas de cultivo y posterior caracterización fenotípica, pero estas técnicas son exitosas tan solo para el 1% de estos microorganismos. En la actualidad, y gracias al desarrollo de nuevas aproximaciones -ómicas tales como la metagenómica, es posible analizar la diversidad taxonómica y funcional de estas comunidades a través de la secuenciación completa o parcial de sus genomas. Estas técnicas abren nuevas posibilidades que suponen una revolución en el campo de la acuicultura, permitiendo llevar a cabo estudios para analizar el efecto de diferentes tipos de dieta sobre la eficiencia alimentaria, profundizar en el estudio de la resistencia a enfermedades o evaluar la existencia de estrés debido a las condiciones de cultivo (Luan *et al.*, 2023), y diseñar así programas eficientes, sostenibles y que garanticen el bienestar animal.

La colonización y el desarrollo de comunidades microbianas son esenciales para la función inmunitaria y están influenciados tanto por la fisiología del hospedador como por la respuesta inmune. Estudios previos en especies marinas han observado que la composición microbiana del hospedador es heredable en cierta proporción (p.ej. Li *et al.*, 2018). También se han observado diferencias en la microbiota de individuos cultivados y salvajes, por ejemplo, en el salmón atlántico (Webster *et al.*, 2018) o en el langostino del Pacífico (Cornejo-Granados *et al.*, 2017). Actualmente, la investigación del microbioma en organismos acuícolas se centra principalmente en comprender su composición en varias especies. La secuenciación del microbioma también puede ser útil cuando se combina con el genotipado del hospedador, para la predicción de caracteres de producción. Un ejemplo ilustrativo son las dietas alternativas basadas en plantas para reemplazar los aceites de pescado. La interacción entre el tipo de dieta y la microbiota digestiva permite tolerar a los peces dietas con mayor proporción de productos vegetarios, como ya ocurre en salmón atlántico (Naylor *et al.*, 2009). La composición del microbioma se puede considerar en este caso como un fenotipo intermedio que resulta de las influencias ambientales y genéticas del hospedador, y tiene un valor potencial en la predicción de la condición de los caracteres a lo largo de la vida del individuo.

CONCLUSIONES

La mejora genética en acuicultura, respaldada por el uso de la información genómica, permite llevar a cabo una selección precisa de los caracteres de interés en las especies acuícolas, como la tasa de crecimiento, la resistencia a enfermedades, la eficiencia alimentaria, el rendimiento del filete, la calidad de la carne y la adaptación a dietas de origen vegetal. Esto conduce a una mayor eficiencia productiva y una reducción del impacto ambiental, ya que se pueden criar peces más resistentes y adaptados a su entorno, reduciendo la necesidad de medicamentos y productos químicos. Asimismo, la información genómica permite una gestión más precisa de la diversidad genética, que garantiza la viabilidad de los programas de mejora genética a largo plazo. En definitiva, el avance en el desarrollo de herramientas genómicas ha llevado a un aumento en la productividad, la eficiencia y la sostenibilidad de la acuicultura, al tiempo que se reducen los impactos ambientales negativos. La genómica continuará desempeñando un papel crucial en el futuro de la acuicultura, impulsando aún más la innovación y el desarrollo en esta industria, contribuyendo al mismo tiempo a los objetivos de desarrollo sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

1. Apromar, 2022. La Acuicultura en España 2022.
2. Anacleto, O.; Cabaleiro, S.; Villanueva, B.; Saura, M.; Houston, R.D., *et al.* Genetic differences in host infectivity affect disease spread and survival in epidemics. *Sci. Rep.* 2019; 9(1), 1-12.
3. Aslam, M. L.; Carraro, R.; Sonesson, A. K.; Meuwissen, T.; Tsigenopoulos, C. S., *et al.* Genetic variation, GWAS and accuracy of prediction for host resistance to *Sparicotyle chrysophrii* in farmed Gilthead Sea bream (*Sparus aurata*). *Front. Genet.* 2020; 11: 1652.
4. Bishop, S. C.; Woolliams, J. A. Genomics and disease resistance studies in livestock. *Livest. Sci.* 2014; 166, 190-198.
5. Caballero, A. Developments in the prediction of effective population size. *Heredity* 1994; 73: 657-679.
6. Cornejo-Granados, F., *et al.* Microbiome of Pacific Whiteleg shrimp reveals differential bacterial community composition between wild, aquacultured and AHPND/EMS outbreak conditions. *Sci. Rep.* 7, 11783 (2017).
7. Diwan, A. D.; Harke, S. N.; Gopalkrishna, P. A. N. J. Aquaculture industry prospective from gut microbiome of fish and shellfish: An overview. *Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2022; 106:441-469.
8. Doeschl-Wilson, A.; Knap, P.W.; Opriessnig, T., and More, S.J. (2021). Livestock disease resilience: from individual to herd level. *Animal*; 15: 100286.
9. FAO 2020. The state of world fisheries and aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome.
10. Fernández, J.; Toro, M. A.; Sonesson, A. K.; Villanueva, B. Optimizing the creation of base populations for aquaculture breeding programs using phenotypic and genomic data and its consequences on genetic progress. *Front. Genet.* 2014; 15: 414.
11. Gjedrem, T. Selective breeding to improve aquaculture production. *World Aquac.* 1997: 33-45.
12. Gjedrem, T. Disease resistant fish and shellfish are within reach: a review. *J. Mar. Sci. and Engineer.* 2015; 3(1): 146-153.
13. Grundy, B.; Villanueva, B.; Woolliams, J. A. Dynamic selection procedures for constrained inbreeding and their consequences for pedigree development. *Genetics Res.* 1998; 72(2): 159-168.
14. Houston, R. D.; Bean, T. P.; Macqueen, D. J.; Gundappa, M. K.; Jin, Y. H., *et al.* Harnessing genomics to fast-track genetic improvement in aquaculture. *Nat. Rev. Genetics* 2020; 21(7), 389-409.
15. Houston, R. D.; Haley, C. S.; Hamilton, A.; Guy, D. R.; Tinch, A. E., *et al.* Major quantitative trait loci affect resistance to infectious pancreatic necrosis in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Genetics* 2008; 178(2): 1109-1115.
16. Janssen, K.; Chavanne, H.; Berentsen, P., and Komen, H. Impact of selective breeding on European aquaculture. *Aquaculture* 2017; 472, 8-16.
17. Legrand, P. R. A.; Wynne, J. W.; Weyrich, L. S.; Oxley, A. P. A. A microbial sea of possibilities: current knowledge and prospects for an improved understanding of the fish microbiome. *Rev. Aquac.* 2020; 12: 1101-1134.
18. Li, C. C.; Horvitz, D. G. Some methods of estimating the inbreeding coefficient. *Am. J. Hum Genet.* 1953; 5:107-17.
19. Li, W.; Liu, J.; Tan, H.; Yang, C.; Ren, Li.; Liu, Q. Genetic effects on the gut microbiota assemblages of hybrid fish from parents with different feeding habits. *Front. Microbiol.* 2018; 9: 2972.
20. Luan, Y.; Li, M.; Zhou, W.; Yao, Y.; Yang, Y.; Zhang, Z., *et al.* The fish microbiota: research progress and potential applications. *Engineering.* 2023; <https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.12.011>

21. McQuillan, R.; Leutenegger, A.-L.; Abdel-Rhman, R.; Franklin, C. S.; Pericic, M.; Barac-Lauc, L. Runs of homozygosity in European populations. *Am. J. Hum. Genet.* 2008; 83(3): 359-72.
22. Meuwissen, T. H. E. Maximizing the response of selection with a predefined rate of inbreeding. *J. Anim. Sci.* 1997; 75(4), 934-940.
23. Meuwissen, T. H. E.; Hayes, B. J.; Goddard, M. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics* 2001; 157(4): 1819-1829.
24. Moen, T.; Baranski, M.; Sonesson, A.K.; Kjøglum, S. Confirmation and fine-mapping of a major QTL for resistance to infectious pancreatic necrosis in Atlantic salmon (*Salmo salar*): population-level associations between markers and trait. *BMC Genomics* 2009; 10(1): 1-14.
25. Naylor, R. L.; Hardy, R. W.; Bureau, D. P.; Nichols, P. D. Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proc. Natl Acad. Sci.* 2009; 106: 15103-15110.
26. Nejati-Javaremi, A.; Smith, C.; Gibson, J. P. Effect of total allelic relationship on accuracy of evaluation and response to selection. *J. Anim. Sci.* 1997; 75: 1738-45.
27. Ødegård, J.; Baranski, M.; Gjerde, B., and Gjedrem, T. Methodology for genetic evaluation of disease resistance in aquaculture species: challenges and future prospects. *Aquac. Res.* 2011; 2: 103-114.
28. Palaiokostas, C.; Cariou, S.; Bestin, A.; Bruant, J.S.; Haffray, P., *et al.* Genome-wide association and genomic prediction of resistance to viral nervous necrosis in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) using RAD sequencing. *Genet. Sel. Evol.* 2018; 50(1): 1-11.
29. Petterson, E.; Guo, T.C.; Evensen, Ø.; Haugland, Ø., and Mikalsen, A. B. In vitro adaptation of SAV3 in cell culture correlates with reduced in vivo replication capacity and virulence to Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *J. General Virol.* 2015; 96(10): 3023-3034.
30. Santiago, E.; Novo, I.; Pardiñas, A. F.; Saura, M.; Wang, J.; Caballero, A. Recent Demographic History Inferred by High-Resolution Analysis of Linkage Disequilibrium. *Mol. Biol. Evol.* 2020; 37(12): 3642-3653.
31. Saura, M.; Caballero, A.; Santiago, E.; Fernández, A.; Morales-González, E., *et al.* Estimates of recent and historical effective population size in turbot, seabream, seabass and carp selective breeding programmes. *Genet. Sel. Evol.* 2021; 53(1), 1-8.
32. Saura, M.; Carabaño, M.J.; Fernández, A.; Cabaleiro, S.; Doeschl-Wilson, A. B., *et al.* Disentangling genetic variation for resistance and endurance to scuticociliatosis in turbot using pedigree and genomic information. *Front. Genet.* 2019; 10: 539.
33. Van Raden, P. M. Efficient methods to compute genomic predictions. *J. Dairy Sci.* 2008; 91:4414-23.
34. Villanueva, B.; Woolliams, J. A., and Gjerde, B. Optimum designs for breeding programmes under mass selection with an application in fish breeding. *Anim. Sci.* 1996; 63(3): 563-576.
35. Villanueva, B.; Fernández, A.; Saura, M.; Caballero, A.; Fernández, J.; Morales-González, E., *et al.* The value of genomic relationship matrices to estimate levels of inbreeding. *Genet. Sel. Evol.* 2021; 53(1): 42.
36. Villanueva, B.; Fernández, A.; Peiró-Pastor, R.; Peñaloza, C.; Houston, R.D., *et al.* Population structure and genetic variability in wild and farmed Mediterranean populations of gilthead seabream and European seabass inferred from a 60K combined species SNP array. *Aquac. Rep.* 2022; 24: 101145.
37. Webster, U. T. M.; Consuegra, S.; Hitchings, M., & Garcia de Leaniz, C. Interpopulation variation in the Atlantic salmon microbiome reflects environmental and genetic diversity. *Appl. Environ. Microbiol.* 2018; 84: e00691-18.
38. Yang, J.; Benyamin, B.; McEvoy, B. P.; Gordon, S.; Henders, A. K.; Nyholt, D. R., *et al.* Common SNPs explain a large proportion of the heritability for human height. *Nat. Genet.* 2010; 42:565-9.
39. Yáñez, J. M.; Xu, P.; Carneiro, R.; Hayes, B. Genomics applied to livestock and aquaculture breeding. *Evol. Appl.* 2022; 15:517-522.
40. Zao, J.; Prchal, M.; Palaiokostas, C.; Houston, R. D.; Kauser, A.; Vandeputte, M., *et al.* Genetic relationship between koi herpesvirus disease resistance and production traits inferred from sibling performance in Amur mirror carp. *Aquaculture* 2020; 520: 734986.

EL CURRÍCULO DE PRIMARIA DESDE LA LOMLOE

ANÁLISIS DE LAS RELACIONES ENTRE SUS ELEMENTOS

THE PRIMARY SCHOOL CURRICULUM FROM THE LOMLOE

ANALYSIS OF THE RELATIONSHIPS BETWEEN ITS ELEMENTS

José A. Sarmiento Campos¹, Enzo Sarmiento Soto²

¹ Doctor en Psicopedagogía por la Universidad de Vigo. España.

² Graduado en Comunicación audiovisual por la Universidad de Vigo. España.

RESUMEN

El Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, que deriva de la aplicación de la Ley Orgánica 3/2020 por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006 de Educación (LOMLOE), establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria. Esta norma hace explícitas las relaciones entre las competencias clave y las áreas de conocimiento a través de las competencias específicas y los descriptores operativos de las competencias clave. La posibilidad de visibilizar las citadas relaciones, así como la identificación de posibles agrupamientos entre ellas y la determinación de la importancia de cada uno de los elementos que componen esa red, son los objetivos que guían este trabajo. A través de un software que permite visualizar y explorar redes y sistemas complejos se ha podido dar respuesta a las cuestiones anteriores. Por un lado, se han identificado cinco grupos que relacionan áreas de conocimiento y competencias clave entre sí y, por otro, se ha determinado una mayor importancia de nueve descriptores operativos de las competencias clave sobre el resto de los elementos que componen la red estudiada. Con el fin de determinar el contenido semántico de los nueve descriptores se han añadido a los procesos cognitivos tres componentes: social, de correlato emocional y axiológico.

Palabras clave: Currículo, competencias clave, análisis de redes, taxonomía.

ABSTRACT

Royal Decree 157/2022 of 1 March, which derives from the application of Organic Law 3/2020 amending Organic Law 2/2006 on Education (LOMLOE), establishes the organization and minimum teaching of Primary Education. This regulation makes explicit the relationships between Key competencies and the areas of knowledge through the specific competencies and Key competencies' operational descriptors. The objectives of this work are to make visible these relationships and identify possible groupings between them and set the importance of each of the elements that make up this network. Employing software that allows us to visualize and explore complex networks and systems, we have been able to answer the above questions. On the one hand, five groups have been identified that relate areas of knowledge and key competencies to each other. On the other, the greater importance of nine operational descriptors of key competencies has been determined over the rest of the elements that make up the network studied. Three components were added to the cognitive processes to determine the semantic content of the nine descriptors: social, emotional and axiological correlations.

Keywords: Curriculum, key competences, network analysis, taxonomy.

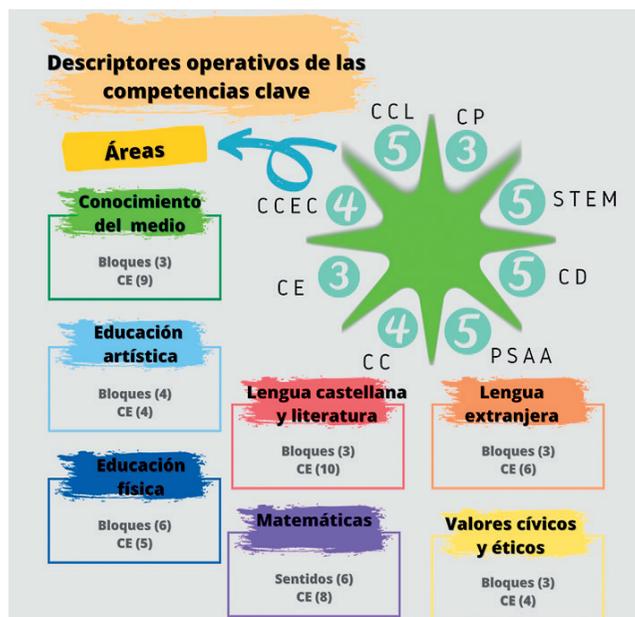


Figura 1. Estructura del currículo de la etapa de primaria según el RD 157/2022.

1. INTRODUCCIÓN

El artículo 149.1.30.^a de la Constitución Española le atribuye al Estado la competencia exclusiva para la regulación de las condiciones de obtención, expedición y homologación de los títulos académicos y profesionales y normas básicas para el desarrollo del artículo 27 de la Constitución. Al amparo de aquel artículo se publica el Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria. A lo largo de dicha norma se desarrolla el nuevo currículo, de aplicación obligatoria en todo el territorio español, tal y como se recoge en el artículo 6 de la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación.

En el preámbulo del Real Decreto 157/2022 se justifican los cambios introducidos por esta nueva norma como respuesta "...a los retos y desafíos del siglo XXI, de acuerdo con los objetivos fijados por la Unión Europea y la UNESCO para la década 2020-2030". Y en el artículo 9. define los perfiles de salida del alumnado al término de la enseñanza primaria, así como de la básica, y establece que dicho perfil "identifica y define, en conexión con los retos del siglo XXI, las competencias clave que el alumnado debe haber desarrollado al finalizar la educación básica, e introduce orientaciones sobre el nivel de desempeño esperado al término de la Educación Primaria".

La estructura curricular que establece la normativa se diferencia de la anterior tanto en su nomenclatura como en las relaciones que se establecen entre sus elementos. En la figura 1 aparecen los descriptores operativos de cada una de las ocho competencias clave. Cada una de las siete áreas comprende varios bloques que agrupan los saberes básicos de cada materia y, además, las competencias específicas propias de cada área. Existe una vinculación explícita entre descriptores operativos y competencias específicas, comunes para todos los ciclos, lo que "...propicia que de la evaluación de estas últimas pueda colegirse el grado de adquisición de las competencias clave definidas en el Perfil de salida y, por tanto, la consecución de las competencias y objetivos previstos para la etapa" (Real Decreto 157/2022).

Llegados a este punto se puede identificar la estructura relacional del currículo definido por la LOMLOE: cada materia presenta cierto número de competencias específicas, las cuales, a su vez, están vinculadas a descriptores operativos de las competencias clave. En esta ordenación no existe relación manifiesta entre competencias y materias con los objetivos de la etapa más allá de la vinculación difusa con las competencias clave expresada por la norma: "Objetivos: logros que se espera que el alumnado haya alcanzado al finalizar la etapa y cuya consecución está vinculada a la adquisición de las competencias clave" (artículo 2, Real Decreto 157/2022).

1.1. Objetivos

Sabiendo que el Real Decreto 157/2022 ordena el currículo de Educación Primaria como una red compleja que relaciona elementos, como ya se ha visto, surgen varias cuestiones:

1. ¿Se pueden hacer visibles las relaciones entre elementos curriculares, tal y como aparecen en el RD?
2. ¿Se puede medir la importancia que el RD le otorga a cada uno de los elementos a través de las relaciones que establecen entre ellos?
3. Dentro de la red curricular ¿se pueden identificar agrupamientos?

Se establece como objetivo de este trabajo el dar respuesta a las cuestiones anteriores.

2. MÉTODO

El concepto de grafo hace referencia a una forma, habitualmente en dos o tres dimensiones, compuesta de dos elementos: puntos o nodos y líneas o arcos. Mientras que los primeros representan elementos, los segundos indican las relaciones entre dichos elementos. Los grafos se usan principalmente para resolver problemas lógicos, topológicos

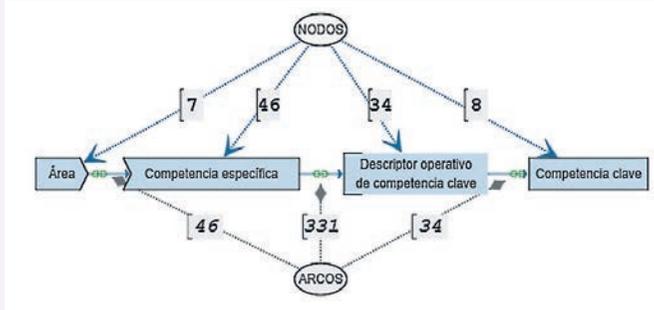


Figura 2. Número de nodos y arcos que forman la estructura de grafo de los elementos curriculares.

y de cálculo combinatorio (RAE). Aquí se usarán para dar respuesta al primer objetivo, visibilizando las relaciones entre los diferentes elementos curriculares que aparecen en el RD 157/2022.

En la Figura 2 se muestra el número de nodos y arcos presentes en la normativa estudiada. Los nodos están formados por 7 áreas, 46 competencias específicas de dichas áreas, 8 competencia clave y 34 descriptores operativos de esas competencias. En cuanto a los arcos o relaciones entre elementos se identifican 46 entre las áreas y sus competencias específicas, 331 entre las competencias específicas y los descriptores operativos y 34 entre estos descriptores y sus competencias clave.

Para hacer visible el grafo formado por los nodos y arcos de la Figura 2 se ha utilizado el programa Gephi 0.9.3, que sus creadores definen como una plataforma interactiva de visualización y exploración de todo tipo de redes y sistemas complejos, gráficos dinámicos y jerárquicos (Bastian, Heymann & Jacomy, 2009). Del citado programa también destaca la utilidad para mostrar redes en tiempo real y explorarlas de manera interactiva (Soto_Ardila *et al.*, 2020). Gephi está disponible en <https://gephi.org/>

El grafo creado con Gephi está compuesto por 96 nodos y 411 aristas. Para distribuir los elementos que componen el grafo se ha optado por emplear, por su sencillez, el algoritmo de disposición Fruchterman-Reingold (1991) que simula un sistema de masa de partículas donde los nodos son las partículas y los arcos las fuerzas entre las partículas. El algoritmo intenta minimizar la energía de este sistema físico.

Con el fin de dar respuesta a la segunda cuestión planteada, la importancia que el RD 157/2022 otorga a cada elemento, se ha calculado el número de aristas de entrada y salida de cada nodo, el cual se ha vinculado al tamaño de la fuente de su etiqueta. Cuanto mayor sea el valor de las entradas y salidas, denominado grado del nodo, mayor será su etiqueta en el grafo.

El algoritmo de Blondel *et al.* (2008) que incorpora Gephi permite hallar la modularidad del grafo, el número de comunidades subyacentes, lo que puede dar respuesta al tercer objetivo del trabajo.

3. RESULTADOS

La figura 3 muestra el grafo resultado de aplicar los algoritmos citados con anterioridad. Se puede observar la diferencia de tamaños en las etiquetas de los elementos, proporcional al grado de los mismos. También se identifican, por colores, cinco grupos diferentes. Los diferentes colores muestran los grupos identificados y el tamaño de las etiquetas es proporcional al grado del elemento curricular que representan.

Visualmente se puede percibir con claridad que “STEM1” es

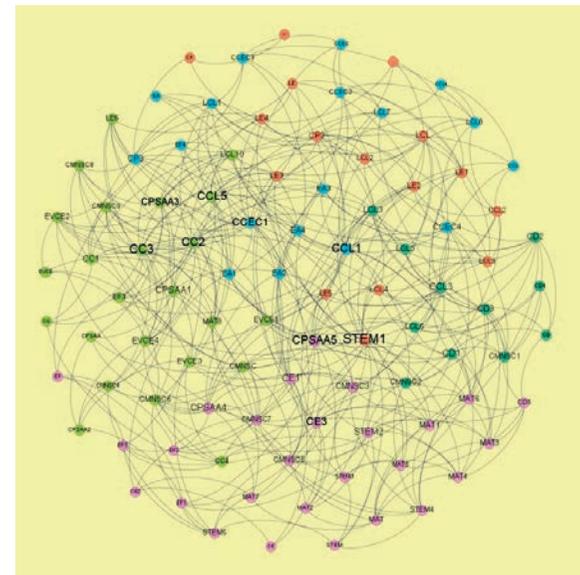


Figura 3. Grafo que representa las relaciones entre los elementos curriculares de la etapa de primaria



Figura 4. Elementos curriculares con sus respectivos valores de grado.

el elemento curricular con el grado más alto, no obstante, se hace difícil establecer un punto de corte que separe la categoría de “nodos con grados significativamente más altos” del resto de nodos. Para ello se ha optado por la representación de los valores del grado de cada uno de los nodos, tal y como parece en la figura 4, y tomar una decisión al respecto.

Una vez ordenados los elementos, de menor a mayor, según su grado se obtiene una línea con un buen ajuste ($R= 0.91$) a la función potencial $y=1.4603x0.4647$. Sin embargo este ajuste desaparece en los últimos nueve elementos. Dichos elementos son los siguientes descriptores de las competencia clave:

- STEM1. Utiliza, de manera guiada, algunos métodos inductivos y deductivos propios del razonamiento matemático en situaciones conocidas, y selecciona y emplea algunas estrategias para resolver problemas reflexionando sobre las soluciones obtenidas.
- CC3. Reflexiona y dialoga sobre valores y problemas éticos de actualidad, comprendiendo la necesidad de respetar diferentes culturas y creencias, de cuidar el entorno, de rechazar prejuicios y estereotipos, y de oponerse a cualquier forma de discriminación o violencia.
- CC2. Participa en actividades comunitarias, en la toma de decisiones y en la resolución de los conflictos de forma dialo-

gada y respetuosa con los procedimientos democráticos, los principios y valores de la Unión Europea y la Constitución española, los derechos humanos y de la infancia, el valor de la diversidad, y el logro de la igualdad de género, la cohesión social y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

- CPSAA5. Planea objetivos a corto plazo, utiliza estrategias de aprendizaje autorregulado y participa en procesos de auto y coevaluación, reconociendo sus limitaciones y sabiendo buscar ayuda en el proceso de construcción del conocimiento.
- CCL1. Expresa hechos, conceptos, pensamientos, opiniones o sentimientos de forma oral, escrita, signada o multimodal, con claridad y adecuación a diferentes contextos cotidianos de su entorno personal, social y educativo, y participa en interacciones comunicativas con actitud cooperativa y respetuosa, tanto para intercambiar información y crear conocimiento como para construir vínculos personales.
- CCL5. Pone sus prácticas comunicativas al servicio de la convivencia democrática, la gestión dialogada de los conflictos y la igualdad de derechos de todas las personas, detectando los usos discriminatorios, así como los abusos de poder, para favorecer la utilización no solo eficaz, sino también ética de los diferentes sistemas de comunicación.
- CCEC1. Reconoce y aprecia los aspectos fundamentales del patrimonio cultural y artístico, comprendiendo las diferencias entre distintas culturas y la necesidad de respetarlas.

TABLA 1. ASPECTOS COGNITIVOS, SOCIALES, EMOCIONALES Y AXIOLÓGICOS PRESENTEN EN LOS DESCRIPTORES CON MAYOR CONECTIVIDAD O GRADO

Descriptor	Taxonomía de Bloom						Social	Emocional	Axiológica
	Recordar	Comprender	Aplicar	Analizar	Evaluar	Crear			
STEM1			x	x					
CC3		x		x	x				x
CC2							x	x	x
CPSAA5			x		x	x	x		
CCL1		x			x	x		x	
CCL5			x				x		x
CCEC1	x							x	
CE3			x		x	x	x		
CPSAA3	x		x				x	x	

TABLA 2. AGRUPAMIENTOS IDENTIFICADOS EN EL GRAFO CURRICULAR

	GRUPO I	GRUPO II	GRUPO III	GRUPO IV	GRUPO V
ÁREAS	Educación Artística	Competencia digital	Matemáticas Educación Física	Conocimiento del Medio Natural, Social y Cultural Educación en Valores Cívicos y Éticos	Lengua Castellana y Literatura Lengua Extranjera
COMPETENCIAS CLAVE	Competencia en comunicación lingüística Competencia en conciencia y expresión culturales		Competencia matemática y competencia en ciencia, tecnología e ingeniería Competencia emprendedora	Competencia ciudadana Competencia personal, social y de aprender a aprender	Competencia plurilingüe

- CE3. Crea ideas y soluciones originales, planifica tareas, coopera con otros en equipo, valorando el proceso realizado y el resultado obtenido, para llevar a cabo una iniciativa emprendedora, considerando la experiencia como una oportunidad para aprender.
- CPSAA3. Reconoce y respeta las emociones y experiencias de las demás personas, participa activamente en el trabajo en grupo, asume las responsabilidades individuales asignadas y emplea estrategias cooperativas dirigidas a la consecución de objetivos compartidos.

Los nueve descriptores identificados son los que presentan un mayor impacto sobre las competencias específicas que se movilizan a través de las siete áreas presentes en el currículo recogido en el RD 157/2022.

Al intentar “vaciar” el significado de los nueve descriptores identificados en una estructura que categorice los aprendizajes, como la Taxonomía de Bloom, revisada por Anderson y Krathwohl (2001), surgen dos limitaciones. Al estar la taxonomía enfocada a los procesos cognitivos del individuo apenas tiene en cuenta su naturaleza social, muy presente en los descriptores. Por otra parte, los contenidos de naturaleza actitudinal y, en general, no cognitivos o mediados por emociones no tienen encaje en dicha taxonomía.

Para dar cuenta del contenido semántico de los nueve descriptores se han añadido a los procesos cognitivos, recogidos por Bloom, tres componentes: social, de correlato emocional y axiológico (tabla 1).

En la tabla 2 se recogen los cinco grupos identificados con las áreas y competencias clave integradas en cada uno de ellos.

4. CONCLUSIONES ABIERTAS. DISCUSIÓN

A través de un grafo (Figura 3) se pueden hacer visibles las relaciones que en el RD 157/2022 se establecen entre algunos de los elementos curriculares: áreas de conocimiento, competencias específicas de las áreas, descriptores operativos de las competencias clave y competencias clave. De esta forma se da cuenta del primer objetivo de este trabajo.

El citado grafo, y más específicamente el número de relaciones que los nodos establecen entre sí, da respuesta al segundo de los objetivos al facilitar la identificación de nueve nodos, en este caso todos ellos descriptores operativos de las competencias clave, que presentan una conectividad mayor que el resto de los que integran el grafo. Los citados descriptores operativos, según su grado o nivel de conectividad de mayor a menor, son los siguientes: STEM1, CC3, CC2, CPSAA5, CCL1, CCL5, CCEC1, CE3 Y CPSAA3.

La presencia de cada una de las competencias clave, en valor porcentual según su número de descriptores operativos, en el conjunto de los 9 descriptores es la siguiente: 40% CCL, 0% CP, 20% STEM, 0% CD, 40% CPSAA, 50% CC, 33,3% CE y 25% CCEC.

Los nueve descriptores identificados parecen cumplir con el principio de representatividad (Tabla 1) con respecto a ámbitos del aprendizaje como las dimensiones cognitiva, social, emocional y axiológica; pero no así con respecto a las competencias clave, pues no aparecen descriptores de dos de dichas competencias: competencia plurilingüe y competencia digital. También queda en el aire la cuestión sobre su suficiencia.

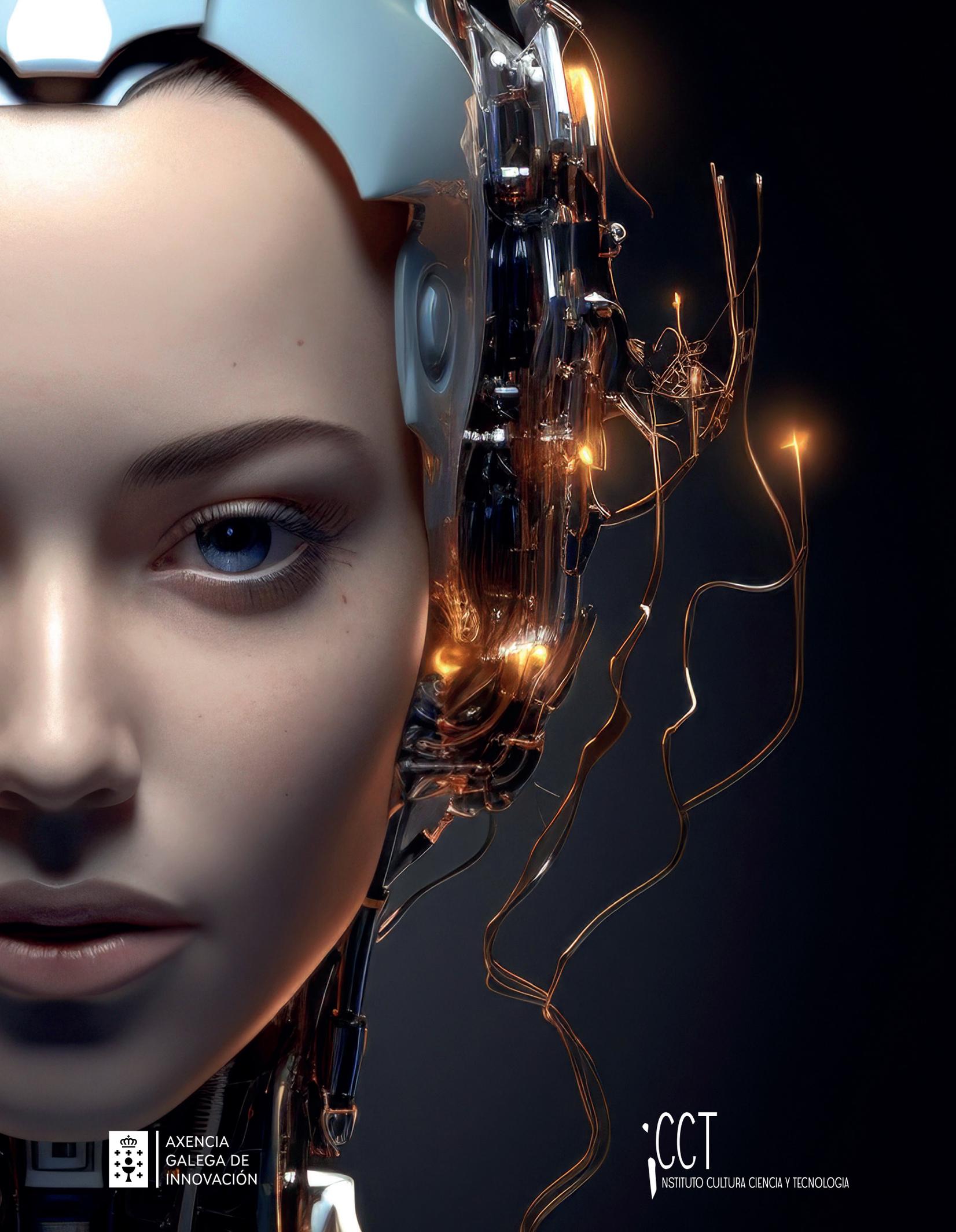
Se han podido identificar cinco agrupamientos en el grafo

curricular. Cada uno de ellos, excepto el segundo, agrupa áreas curriculares con competencias clave. El grupo I está compuesto por el área de educación artística y las competencias en comunicación lingüística y en conciencia y expresión culturales. La competencia digital, en solitario, forma el grupo II. Matemáticas junto con educación física y las competencias STEM y emprendedora constituyen el grupo III. Las áreas de conocimiento del medio natural, social y cultural y educación en valores cívicos y éticos con las competencias ciudadana y personal, social y de aprender a aprender se agrupan y forman el grupo IV. Por último, el grupo V está compuesto por las áreas de lengua castellana y literatura y lengua extranjera con la competencia plurilingüe.

Como ya se ha manifestado con anterioridad, los objetivos de este trabajo pretendían dar visibilidad a aquellas formas o patrones que, estando presentes en las relaciones de los elementos curriculares de una manera implícita, son difíciles de dilucidar. Este es, en fin, un trabajo que se centra en la forma, fundamentalmente en aquella forma que emerge del fondo curricular formado por la interrelación de sus elementos. Y así, surgen nuevos interrogantes cuyas respuestas van más allá de esta pequeña investigación descriptiva y abren nuevas vías de indagación. Entre los interrogantes apuntados se podrían destacar los siguientes: ¿Detrás de la importancia otorgada a cada competencia o descriptor existe algún tipo de motivación, plan o criterio o, por el contrario, deriva todo ello del azar? ¿Dónde estaría la relación explícita entre objetivos y competencias clave?

BIBLIOGRAFÍA

1. Anderson, L. W., & Krathwohl, D. (Eds.) (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: a Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. Longman, New York.
2. Bastian, M.; Heymann, S., & Jacomy, M. (2009). Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. *International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*.
3. Blondel, V. D.; Guillaume, J.-L.; Lambiotte, R., & Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *J Stat Mech Theory Exp* 2008(10). <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2008/10/P10008>
4. Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. BOE núm. 340, de 30 de diciembre de 2020. <https://www.boe.es/boe/dias/2020/12/30/pdfs/BOE-A-2020-17264.pdf>
5. Marcelo, C., & Marcelo, P. (2021). Educational influencers on Twitter. Analysis of hashtags and relationship structure. [Influencers educativos en Twitter. Análisis de hashtags y estructura relacional]. *Comunicar*, 68, 73-83. <https://doi.org/10.3916/C68-2021-06>.
6. Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria. BOE núm. 52, de 02/03/2022 <https://www.boe.es/buscar/pdf/2022/BOE-A-2022-3296-consolidado.pdf>
7. Soto-Ardila, L. M., Caballero Carrasco, A., Carvalho, J. L., & Casas García, L. M. (2020). Nuevo método de análisis cualitativo mediante software para el análisis de redes sociales de la percepción grupal hacia las Matemáticas. *Pixel-Bit. Revista De Medios y Educación*, 58, 27-50. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.73356>
8. Wajahat, A.; Nazir, A.; Akhtar, F.; Qureshi, S.; Ullah, F.; Razaque, F., & ShaKeel, A. (2020). Interactively Visualize and Analyze Social Network Gephi. *International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET) 1-9*, doi: 10.1109/iCoMET48670.2020.9073812.



AXENCIA
GALEGA DE
INNOVACIÓN

iCCT

INSTITUTO CULTURA CIENCIA Y TECNOLOGIA