



INVESTIGACION

CULTURA CIENCIA Y TECNOLOGIA

VOLUMEN 17

Nº 34

2025

ARTES Y HUMANIDADES · CIENCIAS · CIENCIAS DE LA SALUD · CIENCIAS SOCIALES Y JURIDICAS · INGENIERIA Y ARQUITECTURA

INVESTIGACION

CULTURA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Revista Nº 34
VOLUMEN 17 2025

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 Brieria

Comité Científico

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

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



XUNTA
DE GALICIA



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 publiquen 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: investigacion@galicia.com



índice

SUMARIO

VOLUMEN 17 Nº 34 2025

Editorial

6 L A TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO, UNA PRIORIDAD DE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE I+D+i DE GALICIA

Carmen Cotelo

Directora de la Agencia Gallega de Innovación de la Xunta de Galicia.

Estructuras Modulares

8 E DIFICACIONES DE EMERGENCIA PARA SITUACIONES DE CATÁSTROFE HUMANITARIA. EL PROYECTO CODEMOSCH

**Juan Pérez-Valcárcel, Manuel Muñoz Vidal, Manuel Freire-Tellado,
Isaac López César, Santiago Muñiz, Félix Suárez Riestra, Jorge Aragón Fitera, Emilio
Mosquera Rey**

E.T.S. Arquitectura. Universidade da Coruña. Campus da Zapateira. A Coruña. España.

Ciencias Biomédicas

20 C ÁNCER DE OVARIO: EL PODER DE LA TERAPIA COMBINADA

Miriam Sartages^{1,2}, Pablo Pedrosa^{1,2}, Anxo Vidal^{1,2}, Araceli Tobío^{1,2,3}

¹ Grupo de investigación Cell cycle and Oncology (CiCLOn), Centro Singular de Investigación en Medicina Molecular y Enfermedades Crónicas (CiMUS), Universidade de Santiago de Compostela, Campus Vida. Santiago de Compostela. España.

² Instituto de Investigación Sanitaria de Santiago de Compostela, Universidade de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela. A Coruña. España.

³ Departamento de Farmacología, Farmacia y Tecnología Farmacéutica, Facultad de Farmacia. Santiago de Compostela. España.

Medida de Parámetros Químicos

31 **S** ENSORES QUÍMICOS: PAPEL INDICADOR DE PH. ¿CÓMO SE FABRICA? ¿CÓMO FUNCIONA?

Javier M. González-Costas, Sara Caruncho-Pérez y Elisa González-Romero

Departamento de Química Analítica y Alimentaria, Facultad de Química, Universidade de Vigo, Campus Vigo. Vigo. España.

Gestión Sanitaria Sostenible

39 **S** OSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN EL SISTEMA SANITARIO: REVISIÓN NARRATIVA SOBRE DESAFÍOS Y ESTRATEGIAS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

M^a José Ferreira Díaz¹, Juan Francisco Insua Esmoris-Recamán²

¹ M^a José Ferreira Díaz PhD. Escuela de Enfermería, Universidad de Santiago de Compostela. Máster en Gestión Sanitaria. Profesora en Grado de Enfermería de Gestión Sanitaria. España.

² Juan Francisco Insua Esmoris-Recamán. Subdirector de Recursos Económicos da Área Sanitaria de Lugo, A Mariña e Monforte de Lemos. España.

Tecnologías aplicadas a la traducción Editorial y a su aprendizaje

47 **M** ARCANDO RUMBO AL “PLANETA TRADUCCIÓN”. TRADUCCIONES DE CALIDAD A TRAVÉS DE TECNOLOGÍAS PROFESIONALES APLICADAS A LA FORMACIÓN DEL ALUMNADO DEL GRADO EN TRADUCCIÓN E INTERPRETACIÓN

Liliana Valado

Universidade de Vigo.

Vocal en AEN / CTN 174 para “Servicios de Traducción”, Aenor-UNE/ISO ORCID: 0000-0002-4259-8819

Alimentos Marinos. Antioxidantes Naturales

54 **A** NÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS COMPUESTOS DE TIPO ANTOCIANINAS PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DE LOS ALIMENTOS MARINOS

Karla Hazel Ozuna-Valencia^{1*}, María de Jesús Moreno-Vásquez², Francisco Rodríguez-Félix¹, Enrique Márquez-Ríos¹, Miguel Ángel Robles-García³, Abril Zoraida Graciano-Verdugo², Santiago Pedro Aubourg-Martínez⁴

¹ Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos (DIPA), Universidad de Sonora. Sonora. México.

² Departamento de Ciencias Químico Biológicas, Universidad de Sonora. Hermosillo. Sonora. México.

³ Centro de Investigación en Biotecnología Microbiana y Alimentaria, Departamento de Ciencias Básicas, Centro Universitario de la Ciénega, Universidad de Guadalajara. Ocotlán. Jalisco. México.

⁴ Instituto de Investigaciones Marinas, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Vigo. España.

Didáctica de la Química Orgánica

63 **E** STRATEGIAS DIDÁCTICAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA ORGÁNICA A NIVEL UNIVERSITARIO DIDACTIC STRATEGIES FOR TEACHING ORGANIC CHEMISTRY AT THE UNIVERSITY LEVEL

Uxía Gómez-Bouzó¹

¹Universidade de Vigo. España.

editorial

LA TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO, UNA PRIORIDAD DE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE I+D+i DE GALICIA

Galicia cuenta con grandes capacidades en materia de investigación e innovación. Tenemos universidades de prestigio, centros de investigación y tecnológicos excelentes y un tejido empresarial muy diverso que basa cada vez más su crecimiento en la innovación. Este esfuerzo colectivo se plasma en unos indicadores de I+D+i que reflejan una evolución positiva tanto en gasto en I+D como en personas dedicadas a actividades de I+D+i.

No obstante, sigue existiendo una brecha que limita el impacto real de estos esfuerzos: la dificultad para transferir el conocimiento generado en los laboratorios y los centros de investigación al mercado y a la sociedad. Esta desconexión entre la ciencia y la industria no es un problema exclusivo de Galicia, pero sí es una barrera que nos hemos propuesto superar para asegurar un desarrollo sostenible y equitativo.

Impulsar esta cultura de la transferencia requiere un enfoque integral que fomente un entorno propicio para la colaboración entre los agentes que conforman el ecosistema de I+D+i. Este enfoque incluye desde medidas encaminadas a estimular la cooperación entre los distintos agentes hasta crear las condiciones normativas que favorezcan

la transferencia de conocimiento, pasando por habilitar mecanismos de financiación y soporte que den cobertura a todas las fases del proceso, impulsar la formación en transferencia, promover el desarrollo profesional del personal gestor o incentivar la cultura favorable al cambio y a la innovación en las empresas, entre otras.

Son muchos aspectos a abordar y muy complejos, pero ser ambiciosos en esto ahora es clave para el futuro. Así es como lo enfocamos en la Xunta de Galicia y por eso nuestro nuevo plan de investigación e innovación tiene en la transferencia y la valorización del conocimiento dos pilares básicos.

En él, la transferencia se concibe como un puente entre la investigación y su aplicación práctica, es decir, la vía para que los avances científicos se conviertan en productos, servicios y soluciones que mejoren la calidad de vida de las personas, generen empleo y fortalezcan nuestra economía. Entre las principales novedades figura un paquete de medidas para impulsar la valorización del conocimiento.

En primer lugar, se fomentará la creación de start-ups derivadas de resultados de investigación a través de la

aplicación del modelo *venture building*, que facilitará la identificación de ideas con alto potencial de mercado y su acompañamiento hasta la consolidación empresarial. El objetivo es capitalizar el potencial innovador de los centros de conocimiento gallegos y transformar los avances científicos y tecnológicos en oportunidades de negocio que impacten en la sociedad.

También en el ámbito innovador se creará, en colaboración con los agentes del ecosistema, una oficina piloto de valoración del conocimiento especializada en el sector de la biotecnología. Esta oficina estará destinada a optimizar los procesos de identificación, protección y aprovechamiento de los resultados de la investigación en este ámbito estratégico, contribuyendo a consolidar el ecosistema biotecnológico gallego como un referente a nivel internacional. Además, se fomentará el intercambio de información y la creación de sinergias entre los distintos agentes de este sector, favoreciendo la atracción de inversión y la generación de nuevas oportunidades de desarrollo.

Además, se reforzará la gestión y comercialización del conocimiento generado por los organismos públicos de investigación para impulsar su llegada al mercado y la difusión de sus resultados de I+D, se favorecerá la realización de proyectos piloto de colaboración entre universidades y centros tecnológicos y se prestará apoyo específico a proyectos de I+D+i empresarial que ayuden a escalar empresas, atraigan talento científico al sector privado e impulsen una economía basada en el conocimiento. Este último punto se materializará a través de instrumentos como la nueva convocatoria Nexos que promoverá la colaboración entre empresas y centros tecnológicos y de investigación.

A mayores, el plan 25-27 también contempla potenciar lo que ya se venía haciendo desde la Xunta de Galicia en este ámbito con resultados muy exitosos. Me refiero al programa de Unidades Mixtas de Investigación y, en especial, a Ignicia, un programa singular y pionero en España, que ha sido destacado como buena práctica por la OCDE y ha inspirado a otras regiones europeas. Ignicia está concebido desde una perspectiva global, ya que aborda todas las líneas de acción necesarias para impulsar la transferencia de los resultados de la investigación

realizada en los centros de conocimiento gallegos al tejido productivo para valorizar la inversión en ciencia, generando también impacto en la sociedad.

Se puso en marcha en el año 2016 y se desarrolla a través de cinco líneas de actuación: financiación y apoyo a los procesos de valorización a través de la convocatoria de Prueba de Concepto; formación y profesionalización; fortalecimiento de estructuras; interacción y promoción del Sistema Gallego de Innovación y monitorización del sistema de transferencia.

Uno de los principales indicadores asociados a la ejecución de este programa es el vinculado a la convocatoria Ignicia Prueba de Concepto, que ha dado apoyo hasta el momento a 32 proyectos, de los que 17 están en desarrollo y 14 se encuentran ya en el mercado, a través de la creación de 11 spin-offs y 3 acuerdos con la gran industria. Estos proyectos han supuesto la creación de más 150 empleos de alta cualificación y la captación de más de 26 millones de euros.

En el ámbito de la formación y capacitación, se realizaron 18 acciones formativas impartidas para personal de gestión de transferencia, en las que han participado más de 200 profesionales y 23 gestores han sido acreditados como *Registered Technology Transfer Professionals (RTTP)* por la *Alliance of Technology Transfer Professionals (ATTP)*, situando a Galicia como referente. Pero también el personal investigador necesita acercarse a los conceptos y características propias del proceso de transferencia, por eso se realizaron 11 acciones formativas para personal investigador, en las que participaron 190 investigadores e investigadoras y 5 encuentros de transferencia donde participaron más de 70 empresas y 32 grupos de investigación.

Estamos, pues, ante un reto que la Xunta de Galicia ha convertido en una cuestión de país, integrándolo como una prioridad en nuestras políticas públicas de investigación e innovación y alineando todos los instrumentos para que nuestra ciencia excelente se traduzca en valor.

Carmen Coteló

Directora de la Agencia Gallega de Innovación de la Xunta de Galicia.

EDIFICACIONES DE EMERGENCIA PARA SITUACIONES DE CATÁSTROFE HUMANITARIA. EL PROYECTO CODEMOSCH

Juan Pérez-Valcárcel, Manuel Muñoz Vidal, Manuel Freire-Tellado, Isaac López César, Santiago Muñiz, Félix Suárez Riestra, Jorge Aragón Fitera, Emilio Mosquera Rey

E.T.S. Arquitectura. Universidade da Coruña. Campus da Zapateira. A Coruña. España.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es el desarrollo de edificaciones que puedan estar disponibles para una situación de emergencia y ser implementadas de una forma rápida y eficaz en la zona afectada por dicha emergencia. La metodología adoptada consiste en el desarrollo de un sistema de módulos y estructuras desplegables de barras que puedan almacenarse ocupando el mínimo espacio posible, puedan ser utilizados de forma inmediata en una emergencia y cuando dejen de ser necesarios puedan ser reparados, almacenados y reutilizados en otras situaciones que necesiten su uso. Al producirse la emergencia, se transportan y se instalan donde sean necesarios, con una mínima preparación del terreno y utilizando medios auxiliares reducidos. En todos los casos se presentan soluciones novedosas que mejoran considerablemente algunas propuestas anteriores. Varios de los módulos citados han sido construidos en la ETS de Arquitectura de A Coruña, lo que ha permitido analizar su viabilidad en la práctica y detectar los puntos de mejora para sucesivas investigaciones en este campo. En el caso de las estructuras desplegables, se han construido modelos a escala que han sido ensayados en el laboratorio de Estructuras de la E.T.S. de Arquitectura de A Coruña.

1. INTRODUCCIÓN

Las sociedades contemporáneas, independientemente de su nivel de desarrollo, están expuestas a desastres naturales impredecibles, como terremotos, inundaciones o erupciones vol-

cánicas. Estos eventos representan uno de los mayores riesgos a escala global, debido a su capacidad de afectar extensas áreas y provocar impactos inmediatos y de gran magnitud. A diferencia de los conflictos armados, normalmente más dilata- dos en el tiempo y el espacio, los desastres naturales generan crisis humanitarias puntuales e impredecibles, que requieren respuestas integrales y coordinadas. Estas situaciones con- llevan la pérdida de viviendas, el colapso de infraestructuras básicas y graves riesgos sanitarios y sociales.

Paralelamente, el aumento de los flujos migratorios, particu- larmente en regiones como el sur de Europa y Norteamérica, plantea desafíos similares en cuanto a la necesidad de solucio- nes habitacionales urgentes, sostenibles y adaptables. En este contexto, la arquitectura adquiere un papel fundamental al ser capaz de proponer respuestas eficaces ante emergencias, mediante el diseño de espacios seguros, dignos y funcionales para poblaciones vulnerables o desplazadas.

Este artículo presenta los resultados de una investigación cen- trada en el desarrollo de soluciones arquitectónicas aplicables a situaciones de emergencia. El trabajo se ha estructurado en dos líneas principales: el diseño de sistemas modulares orientados a la provisión rápida de alojamiento temporal, y la investigación sobre estructuras desplegables destinadas a albergar funciones comunitarias esenciales, como centros de atención sanitaria, comedores colectivos, espacios de reunión, guarderías o lugares de culto, los cuales requieren estructuras de mayores dimensiones. Estas propuestas se fundamentan en principios de eficiencia constructiva, bajo coste, facilidad

de transporte, montaje rápido y reutilización, ante la previsible intensificación de los fenómenos extremos vinculados al cambio climático.

2. ALOJAMIENTOS PARA POBLACIONES EN SITUACIONES DE EMERGENCIA

El tema ha sido objeto de atención por parte de diversas organizaciones internacionales, entre las que se incluyen el Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR/UNHCR), la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja (IFRC), así como organizaciones no gubernamentales como Shelter Centre y Oxfam International. Estas entidades han concretado los resultados de sus investigaciones y experiencias en una serie de manuales de respuesta humanitaria¹, los cuales han constituido una fuente de referencia esencial durante el desarrollo de esta investigación.

Dichos manuales establecen una clasificación de las soluciones habitacionales post-desastre en función del tiempo transcurrido desde el inicio de la emergencia. Entre los modelos propuestos, se ha considerado particularmente adecuado el esquema desarrollado a partir del propuesto por Quarantelli, que distingue cuatro fases progresivas en la respuesta habitacional: refugio de emergencia, refugio temporal, vivienda temporal y vivienda permanente².

Inmediatamente sucedida la catástrofe, es necesario implementar la fase 1, correspondiente al refugio de emergencia, cuyo objetivo es proporcionar una solución habitacional inmediata a las personas afectadas. Este tipo de refugio consiste habitualmente en tiendas de campaña u otros sistemas ligeros, caracterizados por su bajo coste, facilidad de transporte e instalación. No obstante, su vida útil es limitada, presentando una durabilidad media de entre seis meses y un año. Por otra parte debe ser una solución provisional, por sus grandes carencias funcionales, de habitabilidad y de seguridad.

Superada esta etapa inicial, se procede a la implementación de refugios temporales (fase 2) o viviendas temporales (fase 3). El refugio temporal se define como una estructura básica destinada a alojar provisionalmente a una familia o grupo, con una funcionalidad centrada exclusivamente en proporcionar cobijo, mientras que los servicios básicos, como la alimentación, el agua y el saneamiento, se gestionan de manera comunitaria. Por su parte, la vivienda temporal se concibe como una unidad habi-

tacional mínima que permite la reanudación de las actividades domésticas e incluso laborales de sus ocupantes.

En los procesos de respuesta ante emergencias, se ha observado una reticencia generalizada hacia el uso de la construcción prefabricada, incluso con soluciones técnicamente avanzadas. Esta postura puede ser comprensible en contextos de países con bajo desarrollo tecnológico, limitaciones en el transporte y otros factores logísticos, en los que estas edificaciones supongan costes excesivos, imposibles de asumir. Sin embargo, en muchos casos, el rechazo a estas soluciones conduce a que los refugiados en campos de desplazados permanezcan alojados en tiendas de campaña durante años o en estructuras precarias construidas con materiales como plástico, sistemas de autoconstrucción, y otros similares, lo que conlleva una notable falta de confort y un alto grado de deshumanización. En este sentido, las estrategias diseñadas para países en desarrollo deben reconsiderarse en naciones con infraestructuras tecnológicas avanzadas, donde la disponibilidad de medios de transporte, capacidad de implantación rápida y tecnología de construcción permiten asegurar estándares adecuados de calidad y confort, mientras que las soluciones de autoconstrucción y otras consideradas idóneas por cierta bibliografía no parecen muy adecuadas para una población urbana que ha perdido las destrezas básicas necesarias para ponerlas en marcha.

Una de las barreras en la adopción de construcciones prefabricadas en el ámbito de la emergencia radica en la desconfianza de los organismos encargados de la respuesta humanitaria. Este escepticismo se debe, en parte, a factores culturales y de inercia organizativa, así como a la sobreabundancia de propuestas de diseños, muchas veces provenientes de fuentes dispares como técnicos independientes, universidades y organismos internacionales, lo que genera un exceso de oferta y, a veces, cierta confusión. Es común que se presenten críticas tanto por parte de activistas como de técnicos hacia estos prototipos³. No obstante, si se identifican disfunciones en alguno de estos modelos, lo lógico es abordar sus puntos débiles para optimizarlos, pero esto no debe implicar el rechazo de soluciones que podrían ser pertinentes y eficaces.

El proyecto desarrollado se centra el diseño con elementos prefabricados, con dos enfoques: prefabricación parcial, con componentes que se ensamblan en el lugar, y prefabricación total, produciendo unidades habitacionales completas, almacenables para su uso en emergencias. Se propone crear un banco de alojamientos temporales a nivel nacional o regional, que puedan trasladarse rápidamente a zonas afectadas, acompañados de sistemas y edificios de servicios necesarios en una crisis.

Existen diversos diseños innovadores para refugios temporales, usando materiales y sistemas como paneles, estructuras desplegables, tubos de cartón, entre otros⁴. Estos refugios son útiles en las primeras fases de una emergencia y también pueden alojar personal sanitario, bomberos y fuerzas militares.

Las viviendas transitorias se desarrollan en dos líneas: módulos rectangulares transportables que se pueden agrupar, y soluciones con contenedores reutilizables. También hay propuestas con módulos pequeños que se ensamblan en obra, algunos con paneles plegables que forman viviendas completas. La mayoría de estos módulos son de una sola planta, pero es conveniente diseñarlos de forma que permitan construcciones en altura, de dos o tres pisos, para aprovechar mejor el espacio, cuya escasez en muchos casos es un serio problema en los países desarrollados debido a la estructura de la propiedad de la tierra.

Un aspecto clave es que los módulos sean fáciles de almacenar y reutilizar, fabricados con anticipación y listos para responder rápidamente a emergencias. La tecnología BIM y maquinaria de control numérico también facilitan la fabricación rápida y adaptable de viviendas, permitiendo reubicarlas y actualizarlas según las necesidades específicas de cada situación.

3. EDIFICACIONES MODULARES DE EMERGENCIA PROPUESTAS EN EL PROYECTO CODEMOSCH

En el proyecto de investigación CODEMOSCH se han estudiado diversas soluciones centradas en las fases 2 y 3 según la clasificación anterior, los llamados T-shelters, es decir refugios temporales y viviendas temporales. Se han analizado seis viviendas para situaciones de emergencia de las cuales se construyeron tres. Los que se dejaron a nivel de proyecto se incluyen en el tipo de refugios de geometría variable según la clasificación de Tosum y Maden⁵. Son la vivienda Octógono⁶, yurtas desplegables de barras⁷ y un refugio de emergencia con módulos desplegables de aspas simples⁸.

Los tres módulos construidos (módulos transportables montados en taller, módulos transportables en piezas y módulos de paneles desplegables) se encuadran en el grupo de 'Structures with variable mobility' de los autores anteriores. Concretamente, el primer tipo se clasifica como "Portable partially relocatable", la segunda como "Demountable" y la tercera como "Relocatable".

La investigación se ha enfocado principalmente en viviendas

transitorias diseñadas para emergencias en países desarrollados, estableciendo ciertos condicionantes razonables. Los tres módulos construidos permiten formar un stock listo para su uso inmediato en emergencias, siendo fáciles de transportar y montar en el lugar. Sus dimensiones permiten su traslado sin vehículos especiales, y algunos pueden ser completamente montados o ensamblados en el sitio. Además, es recomendable que puedan agruparse tanto horizontal como verticalmente, incluso en varios niveles, para optimizar el espacio. La unidad básica tiene un ancho máximo de 2.80 metros, facilitando su transporte, y los módulos diseñados en el proyecto CODEMOSCH responden a diferentes estrategias de fabricación, adaptándose a estas necesidades.

3.1. MÓDULOS TRANSPORTABLES MONTADOS EN TALLER (PREFABRICACIÓN COMPLETA, CON REDUCCIÓN DE VOLUMEN)

Se basan en la idea de usar módulos prefabricados que se construyen completamente en taller y que se pueden transportar fácilmente al lugar donde sean necesarios. Esta estrategia permite montar un gran número de viviendas en pocos días, ya que salen del taller ya armadas y solo hay que conectarlas a las redes de servicios. Sin embargo, su principal inconveniente es que requieren mucho espacio para almacenarlas y que las dimensiones de transporte están limitadas por las normativas de gálibo. Normalmente, estos módulos son viviendas o partes de ellas construidas a nivel del suelo, lo que ocupa bastante terreno.

El modelo propuesto incluye un módulo con una cubierta plegable, que puede transportarse en forma más compacta y ajustada a las restricciones de tamaño. La empresa Emsamble, que colaboró en este proyecto, construyó de manera gratuita un edificio experimental diseñado para emergencias. Este edificio está formado por dos módulos que se montaron en taller con la cubierta plegada, facilitando su transporte sin necesidad de vehículos especiales. Su diseño busca superar la forma de tubo típica de estas viviendas, logrando un interior más amplio. Aunque no incluyó mobiliario por limitaciones presupuestarias, el módulo sirvió como expositor y permitió estudiar su comportamiento en términos higrotérmicos bajo diferentes condiciones de radiación solar, lo que le da una forma algo singular y diferente a las construcciones prismáticas tradicionales. Es importante reseñar que se trata de un módulo experimental, sin uso definido. Cuando se despliega en el lugar final, la cubierta permite crear un espacio habitable adicional en la planta superior, aumentando así la capacidad de alojamiento.

El edificio se instaló en 2018 en la universidad de A Coruña y su despliegue fue muy rápido, en solo un día. Con la experiencia obtenida, se propone un modelo mejorado que puede alojar a más personas en situaciones de emergencia: hasta seis en un módulo sencillo y hasta doce en dos módulos adosados, ayudando a responder mejor a las necesidades de alojamiento temporal⁹.

En el modelo propuesto la iluminación proviene de las fachadas anterior y posterior y de la cubierta. Las medianeras son ciegas, lo que permite agrupar los módulos de una forma compacta.

3.2. MÓDULOS TRANSPORTABLES EN PIEZAS (PREFABRICACIÓN DE ELEMENTOS COMPONENTES)

El sistema propuesto consiste en módulos desmontables en piezas prefabricadas de madera de peso reducido, que se ensamblan en obra con herramientas sencillas, como un destornillador eléctrico. Este método permite que dos personas puedan manipular las piezas y montar un módulo en solo un día, sin necesidad de medios auxiliares complejos, solo un pequeño andamio para seguridad. Además, las piezas se fabrican en fábricas con máquinas de control numérico, lo que facilita su producción rápida en zonas afectadas por emer-



Figura 1. Fases de instalación del módulo prefabricado.
Figura 2. Planta y sección de un módulo sencillo.



Figura 2. Planta del módulo.

Figura 3. Fases de instalación del módulo.

gencias. El montaje es muy sencillo, por lo que puede ser realizado incluso por los propios afectados.

El módulo de la figura fue instalado en la Universidad de A Coruña en enero de 2020. Fue ensamblado en un día y puede adaptarse a diferentes climas mediante varias configuraciones de envolvente¹⁰.

3.3. MÓDULOS DESPLEGABLES DE PANELES (PREFABRICACIÓN COMPLETA)

El tercer tipo de módulos analizados es un sistema de edificaciones desplegables. Nuestro equipo ha desarrollado una amplia investigación en estructuras desplegables de barras, pero también se han estudiado sistemas desplegables forma-

dos por chapas rígidas, que en este caso se han concretado en el diseño de un módulo para viviendas de emergencia. Estos módulos ofrecen ventajas como precisión en la construcción en taller, facilidad de almacenamiento y transporte gracias a su diseño plegable, y rápida instalación en el lugar de uso.

El sistema consiste en un contenedor cuyo techo, paredes y tabiques interiores se pliegan para facilitar el transporte. El módulo deja un pequeño espacio sobre el suelo que permite llevar plegadas las particiones interiores. Una vez en el sitio, se despliega en poco tiempo. El módulo fue instalado en una hora en septiembre de 2020 en el campus de A Zapateira. Su situación es muy expuesta y ha resistido sin daños varios fuertes temporales, incluido el huracán Alex en 2022¹¹.

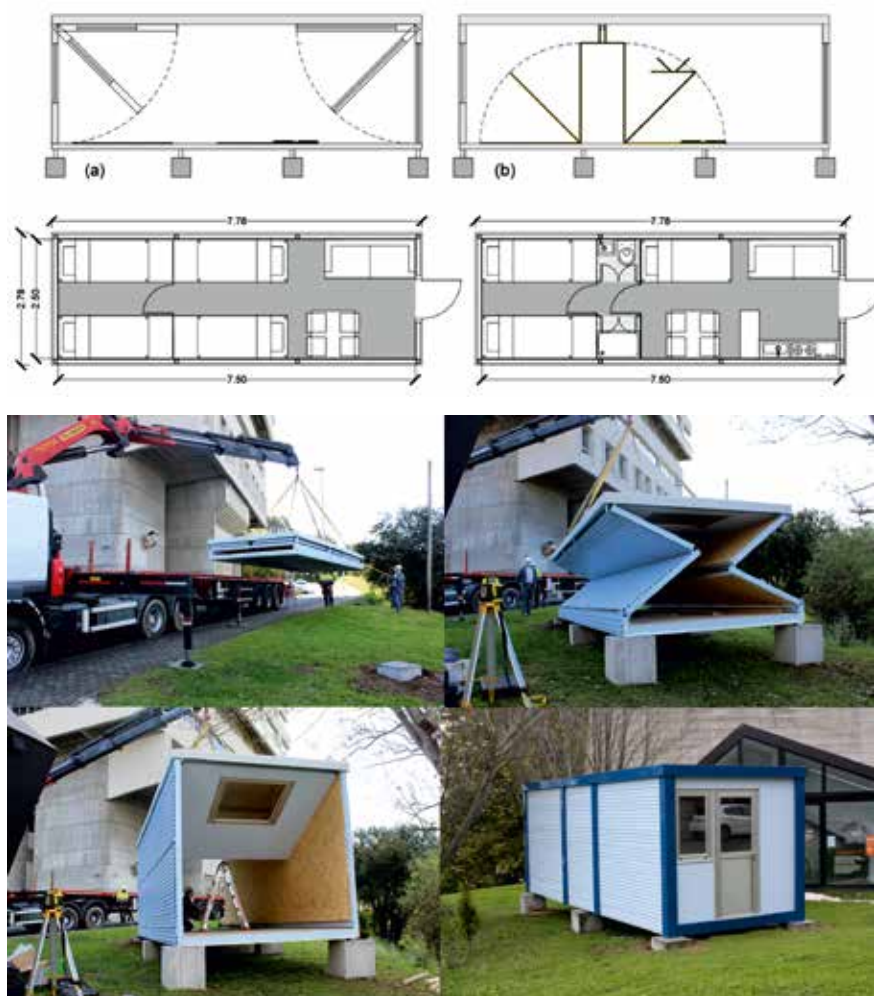


Figura 5. Planta y sección del módulo con el sistema de despliegue de las particiones interiores.
Figura 6. Fases de despliegue del módulo.

Este módulo puede ser agrupado en altura, permitiendo la creación de edificios de dos o tres plantas con acceso común. El montaje puede hacerse con grúas convencionales o mediante sistemas de gatos, lo que simplifica aún más el proceso.

3.4. AGRUPACIONES DE MÓDULOS

En todos los casos se ha previsto que los módulos puedan ser agrupados. Ya se ha comentado la importancia de reducir el espacio necesario para la instalación de viviendas de emergencia en el entorno previsto de países desarrollados, donde siempre existen graves problemas para la obtención de suelo adecuado para la instalación de un campo. En

todos los casos se ha recurrido a sistemas basados en módulos rectangulares en los que los huecos de iluminación y ventilación se sitúan en ambos testeros para permitir que los módulos se adosen a otros formando agrupaciones más compactas. En el primer caso estudiado, los módulos no permiten su agrupación en altura al tener cubierta inclinada (Figura 12). En cambio, en los otros dos casos los módulos pueden ser agrupados en dos o incluso tres niveles (Figuras 13 y 14). Los estudios realizados aconsejan que la agrupación se limite a tres niveles, puesto que mayores alturas serían de difícil acceso sin ascensores y por otra parte los efectos de viento penalizarían gravemente las cimentaciones. Lo más adecuado serían agrupaciones en dos niveles.



Figura 7. Agrupación de módulos de tipos 2 y 3 (Joel Cotardo).

4. EDIFICACIONES BASADAS EN ESTRUCTURAS DESPLEGABLES PROPUESTAS EN EL PROYECTO CODEMOSCH

En el campo de las estructuras desplegables de barras la experiencia previa de nuestro equipo es indiscutible. Se trata de una investigación desarrollada entre 1986 y 2005 en estrecha colaboración con el equipo de la universidad de Sevilla dirigido entonces por Félix Escrig y en la que se han obtenido resultados ampliamente difundidos y contrastados. De hecho, la realización más notable fue la cubierta para la piscina olímpica de San Pablo en Sevilla formada por dos módulos desplegables de 30x30 m según proyecto de Escrig, Sánchez y Valcárcel¹². Como consecuencia de ello

la IASS nos concedió el Tsuboi Award del año 1995 en el apartado de la mejor ponencia (<https://iass-structures.org/Tsuboi-Award-Recipients>).

En lo que sigue se mostrarán los principales avances en este campo obtenidos en el desarrollo del proyecto CODEMOSCH.

4.1. ESTRUCTURAS DESPLEGABLES DE BARRAS CURVAS

Un primer resultado fue el diseño de una cúpula desplegable aplicando un sistema de arcos cruzados múltiples. Se hicieron dos propuestas diferentes con articulaciones verticales y radiales y se construyó un modelo a escala 1:2 (figura 8). El modelo se sometió a ensayo en un banco de ensayos construido para este proyecto lo que permitió constatar su eficacia estructural. Los resultados se publicaron y el artículo fue premiado con el Tsuboi Award del año 2019, al mejor artículo publicado ese año¹³.

4.2. ESTRUCTURAS DESPLEGABLES DE BARRAS RECTAS CON APOYOS MÚLTIPLES

Con un esquema parecido, se han diseñado estructuras desplegables similares a las yurtas, pero totalmente plegables, que pueden agruparse en recintos amplios. La cubierta está formada por barras rectas con apoyos múltiples, lo que le propor-

ciona una gran solidez. En la figura 9 se observa uno de los conjuntos de módulos desarrollados¹⁴.

4.3. ESTRUCTURAS DESPLEGABLES DE BARRAS RECTAS CON NUDOS RECÍPROCOS

Todos los sistemas de estructuras desplegables de aspas se han basado en el uso de barras con una articulación central y articulaciones en ambos extremos. Sin embargo, en el desarrollo de este proyecto de investigación se ideó un nuevo tipo de nudos que permitían que las barras tuvieran un apoyo recíproco en sus extremos, lo que suponía a efectos prácticos dotarlos de una gran rigidez.



Figura 8. Cúpula desplegable de arcos recíprocos.



Figura 9. Yurtas desplegables de barras con apoyos múltiples.



Figura 10. Nudo recíproco sobre prisma cuadrado hueco.

La novedad del sistema consiste en el uso de nudos recíprocos formados por tres barras en mallas triangulares y cuatro en mallas cuadradas (figura 10). Las barras pivotan sobre ejes horizontales que salen del nudo que puede estar formado por un cilindro o un prisma, macizos o huecos. En los modelos utilizados en este artículo se emplearon nudos de cuatro barras sobre un prisma cuadrado hueco. En mallas reales se pueden utilizar tubos circulares, más resistentes, pero para los modelos reducidos es más simple y económico el uso de tubos cuadrados para los nudos. Sus prestaciones son similares en ambos casos, pero los nudos cuadrados proporcionan una cierta coacción lateral a las barras, que mejora la rigidez del conjunto.

Esto permite diseñar estructuras con menores secciones y que se deformen menos bajo carga. Es una aplicación de gran utilidad que ha sido objeto de patente y que puede ser aplicable a todo tipo de estructuras desplegables. Se realizó una completa experimentación que permitió comprobar la eficacia del nudo con ensayos a rotura¹⁵ y su deformación bajo carga¹⁶. También se han desarrollado los métodos teóricos de cálculo que permiten comprobar este tipo de estructuras con la condición de apoyo recíproco.

Este sistema se ha aplicado a diversos tipos de estructuras desplegables (figura 11)¹⁷. Se ha comprobado la

eficacia de estos nudos en estructuras con módulos de haces, que no se habían empleado desde los trabajos de Pérez Piñero, y también en estructuras de aspas con módulos de despliegue oblicuo, que permiten una gran variedad de formas¹⁸.

4.4. ESTRUCTURAS DESPLEGABLES DE BARRAS RECTAS CON ARTICULACIONES BLOQUEABLES

En este proyecto de investigación se ha retomado el uso de articulaciones autobloqueantes, propuesto por primera vez en 1999 por Valcárcel, Escrig, Domínguez y Lamas¹⁹. Se encontró una solución efectiva para una articulación autobloqueante capaz de resistir compresiones lo que permite dar solución a sistemas de mallas espaciales con articulaciones solo en los nudos extremos evitando las flexiones que se producen en las articulaciones pasantes de las estructuras desplegables. Las mallas propuestas tendrían articulaciones de los nudos extremos y algunas de ellas una articulación autobloqueante en el centro capaz de resistir con eficacia los esfuerzos de compresión y pandeo. La totalidad de la cubierta puede ser transportada en un paquete compacto de barras y al llegar a la obra puede izarse, expandirse y quedar fija en su posición final. Es una solución que podría permitir la construcción de grandes recintos capaces de acoger a grupos numerosos²⁰. La cubierta podría transportarse plegada, desplegarse en el suelo e izarse a su posición final de forma muy rápida (figura 12). El sistema ha sido ensayado con éxito sobre un modelo construido y se ha presentado una patente sobre "Mallas espaciales de barras con articulaciones bloqueantes", que ya está aprobada²¹.

Para la construcción de los modelos de este tipo de estructuras se estudió la posibilidad de diseñar un tipo de uniones que hasta el momento habían recibido muy escasa atención. En general la unión entre la barra y el nudo se solía resolver con un elemento añadido, que suponía una complicación de constructiva y al tiempo un importante aumento del coste. Para ello se diseñó una prensa capaz de aplastar los tubos utilizados para la construcción del modelo con confinamiento lateral, lo que permitió conseguir uniones muy simples, económicas y con un alto grado de efectividad²². Este es uno de los resultados más notables de la investigación realizada (figura 13).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El principal resultado de la investigación desarrollada fue demostrar la viabilidad de las soluciones propuestas, tanto para las edificaciones modulares como para las estructuras desplegables.

5.1. EDIFICACIONES MODULARES

En el caso de las edificaciones modulares los prototipos se instalaron con gran rapidez y con medios auxiliares reducidos. De hecho, las grúas utilizadas fueron las de los propios camiones usados en el transporte.

Los módulos diseñados tienen algunas características comunes. Los cerramientos están formados en todos los casos por fachadas transventiladas con una pared interior de tablero que puede ser de cartón-yeso, OSB o materiales similares, con un aislante térmico intermedio y una hoja exterior diferente en los tres prototipos: láminas de plástico en el primer caso, tablero contrachapado fenólico tipo marino de 20 mm revestido exteriormente con paneles de madera-cemento en el segundo y chapas metálicas grecadas lacadas en el tercero. Se han realizado análisis térmicos en todos los casos que indican se puede alcanzar el aislamiento suficiente para el uso y emplazamiento previstos.

En el primer prototipo la cubierta inclinada se resolvió con los mismos materiales que el cerramiento, añadiendo una lámina textil impermeabilizante. En los otros dos la cubierta plana se resolvió con una lámina textil de PVC polibutileno de 5 mm de espesor armada con fibra de vidrio tensada sobre un marco rígido. En los tres casos el sistema ha funcionado correctamente considerando que están localizados en una ciudad de alta pluviosidad y ubicados en una situación muy expuesta.

En todos los casos las cimentaciones fueron muy reducidas, salvo en el prototipo de madera que se instaló sobre una solera de hormigón existente. En los otros dos módulos la instalación se hizo sobre dados de hormigón de escasa dimensión, que se realizaron haciendo pequeñas excavaciones y rellenándolas de hormigón. En realidad, la única labor que hubo que realizar con cuidado fue la nivelación de los apoyos. En el transcurso de la investigación se realizaron diversos estudios sobre anclajes de balasto que son suficientes para las acciones transmitidas por los módulos diseñados.

5.2. ESTRUCTURAS DESPLEGABLES

En las estructuras desplegables la metodología de investigación se ha centrado en la construcción y ensayo de modelos a escala. En el caso de las estructuras desplegables es necesario tener en cuenta dos tipos de condicionantes. En primer lugar las condiciones cinemáticas de plegado y desplegado, puesto que exigen una gran precisión en la definición geométrica de la estructura. En general el estudio de las condiciones geométricas se ha realizado el modelo reducido con barras formadas por tiras de metacrilato cortadas con gran precisión

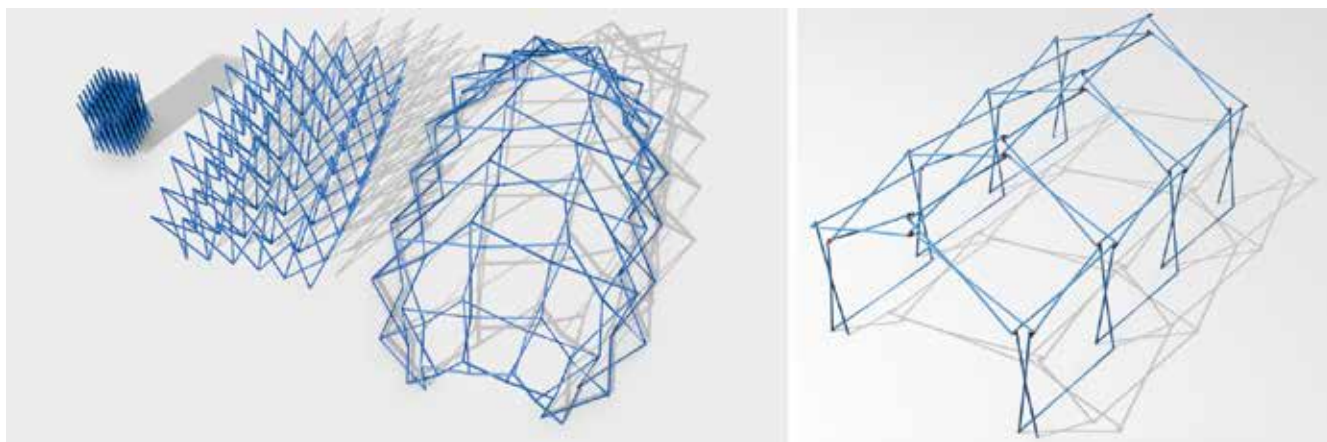


Figura 11. Modelos de estructuras desplegables con nudos recíprocos.

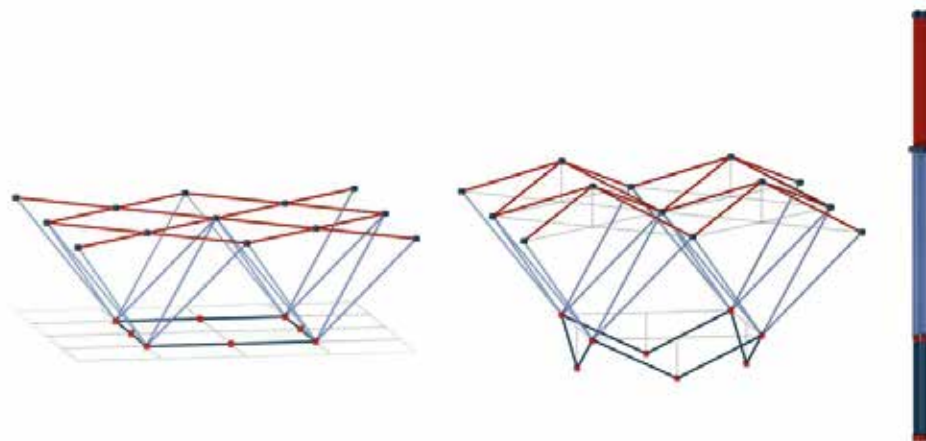


Figura 12. Malla con articulaciones bloqueables con las fases de plegado: de izquierda a derecha, posición totalmente extendida, a medio plegar (fase intermedia) y completamente recogida.



Figura 13. Mecanización de los extremos de las barras: colocación de un tubo interior (derecha) y situación final tras el proceso de aplastado (izquierda).

en el FabLab ETSAC Coruña y nudos contruidos con impresora 3D. Una vez comprobadas estas condiciones de plegado y desplegado se contruyeron modelos con tubos de aluminio utilizando nudos recíprocos, que han demostrado una gran efectividad.

El segundo condicionante que es necesario tener en cuenta es que la estructura desplegable tiene que ser necesariamente un mecanismo durante el proceso de despliegue, pero una vez fijada en su posición final tiene que comportarse como una estructura capaz de resistir las cargas a las que va a estar sometida. Para comprobar sus condiciones resistentes, los modelos realizados con aluminio se han sometido a ensayo, comprobando sus desplazamientos bajo carga y comparándolos con los modelos de cálculo teórico. Los resultados han sido excelentes lo que ha permitido realizar una importante serie de publicaciones que recogen la investigación realizada.

6. CONCLUSIONES

Las viviendas transitorias modulares, parcial o totalmente prefabricadas, constituyen una solución válida para las necesidades de alojamiento en situaciones de emergencia en países desarrollados, pero para ello deben cumplir una serie de condiciones que se han indicado. Los ensayos realizados han permitido comprobar la eficacia de estos módulos en un plazo razonable de tiempo. Se ha podido constatar que no aparecen infiltraciones de agua, pese a estar situados en una zona muy lluviosa de clima Atlántico húmedo. Las estructuras y cimentaciones han resistido perfectamente incluso en situaciones de vientos muy intensos, como se ha señalado. Las mediciones de temperatura y humedad de los módulos han demostrado unas pautas que responden a los cálculos teóricos realizados, lo que permite asegurar las condiciones de habitabilidad necesarias para su uso en las situaciones de emergencia previstas.

En el caso de las estructuras desplegables la investigación desarrollada ha permitido comprobar un importante número de tipos estructurales, como mallas planas, bóvedas cilíndricas, estructuras de módulos oblicuos, mallas desplegables con articulaciones bloqueables o estructuras de articulaciones múltiples formadas tanto por barras curvas como por barras rectas. En el desarrollo de esta investigación han destacado especialmente dos elementos que han supuesto una importante novedad como son el uso de nudos recíprocos y la unión de las barras al nudo por aplastamiento del extremo de la barra con confinamiento lateral. Los nudos recíprocos han permitido reducir en forma considerable uno de los principales

problemas de las estructuras desplegables como era su excesiva deformabilidad. Al utilizar estos nudos la deformación de la estructura y los esfuerzos sobre las barras disminuyen de forma significativa. Por otra parte la unión al nudo con el sistema de aplastamiento del extremo de la barra permite el diseño de estructuras mucho más económicas, lo cual es de especial importancia cuando se trata de diseñar edificaciones de emergencia.

7. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por el Ministerio de Economía and Competitividad del Reino de España "Construcciones Desplegables y Modulares para Situaciones de Catástrofe Humanitaria. CODEMOSCH" [referencia BIA2016-79459-R]. Los autores agradecen a Aleida Casal, Joel Cotardo, Francesca Cetta y Tania Aldir su colaboración en los render y planos incluidos en este artículo.

REFERENCIAS

1. UNHCR/ACNUR. Tendencias globales. Desplazamiento forzado en 2021 (Global trends. Forced displacement in 2021). [on line document]. Switzerland 2017 [consulted: 2024-05-21]. <https://www.acnur.org/tendencias-globales-2021>. International Organization for Migration (IOM). Global Shelter Cluster. SHELTER PROJECTS 2017-2018. Case studies of humanitarian shelter and settlement responses. Mayo 2019. [Documento en línea] www.shelterprojets.org. UNHCR/ACNUR. 2007: Handbook for Emergencies. 4th edition Shelter in urban areas, Geneva. Switzerland <https://sheltercluster.org/resources/documents/unhcr-emergency-handbook>
2. Quarantelli, E. L. (1995). Patterns of sheltering and housing in US disasters. *Disaster Prevention and Management*, 4, 43-53. <https://doi.org/10.1108/09653569510088069>
3. Davidson, C. H.; Johnson, C.; Lizarralde, G.; Dikmen, N., & Sliwinski, A. (2007). Truths and myths about community participation in post-disaster housing projects. *Habitat International*, 31, 100-115. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2006.08.003>
4. Karaoğlu, F. C.; Alaçam, S. (2019). Design of a post-disaster shelter through soft computing. *International Journal of Architectural Computing*. Vol. 17(2) 185-205. <https://doi.org/10.1177/1478077119849694>
5. Tosum, S.; Maden F. (2023) Analysis of Kinetic Disaster Relief Shelters and a Novel Adaptive Shelter Proposal. *Journal of Architectural Sciences and Applications JASA*, 8 (1), 438-455. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2821830>
6. Aragón, J.; Muñiz, S.; Hermo, V; Mosquera, E. & Casal A. (2019). Modular housing for situations of humanitarian catastrophe in 4th International Conference on Structures & Architecture. Lisboa, Portugal. 2019. 2643-2698. <https://doi.org/10.1201/9781315229126-93>
7. Pérez-Valcárcel, J.; López César, I.; Muñoz-Vidal, M.; Suárez Riestra, F.; Freire Tellado, M. (2021). A new type of Reciprocal Structures: Deployable yurts for Emergency Situations. *Advances in Architecture and Civil Engineering*, 2(1), 1-15: <https://doi.org/10.31579/jaace.2021/002>
8. Pérez-Valcárcel et al. (2019). Expandable bar structures for emergency situations in 4th International Conference On Structures & Architecture. Lisboa, Portugal. 809-815.
9. Pérez-Valcárcel, J.; Aragón, J.; Muñiz, S.; Freire-Tellado, M.; Mosquera, E. (2024) Transportable temporary homes with folding roof. *Architectural Engineering and Design Management*. Vol. 19, Issue 1. 1-21. <https://doi.org/10.1080/17452007.2023.2166009>
10. Pérez-Valcárcel, J.; Muñiz, S.; Mosquera, E.; Freire-Tellado, M.; Aragón, J.; Corral, A. (2021). Modular temporary housing for situations of humanitarian catastrophe. *Journal architectural engineering*. Vol. 27, Issue 2 - June 2021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000471](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000471)
11. Pérez-Valcárcel, Juan; Muñoz-Vidal, Manuel; López-César, Isaac; Muñiz Gómez, Santiago; Suárez-Riestra, Félix; Freire-Tellado, Manuel; Aragón Fitera, Jorge; Mosquera-Rey, Emilio (2025). Deployable temporary housing for emergencies, *Journal of Architecture* (Aceptado para su publicación) <https://doi.org/10.1080/13602365.2025.2485103>
12. Escrig, F.; P. Valcárcel, J. (1996). Deployable Cover on a Swimming Pool in Seville. *Bulletin of the International Association for Shell and Spatial Structures*. Vol. 37. Nº 120, pp 39-70.
13. Muñoz-Vidal, M.; López-César, I.; Pérez-Valcárcel, J.; Suárez-Riestra, F. (2019). "A new approach to expandable structures: crossed expandable frames (X-frames)", *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, Vol. 60, Nº4, pp.292-303. <https://doi.org/10.20898/j.iaass.2019.202.034>
14. Pérez-Valcárcel, J.; López César, I.; Muñoz-Vidal, M.; Suárez Riestra, F.; Freire Tellado, M. (2021). A new type of Reciprocal Structures: Deployable yurts for Emergency Situations. *Advances in Architecture and Civil Engineering*, 2(1), 1-15: <https://doi.org/10.31579/jaace.2021/002>.
15. J. Pérez-Valcárcel, F. Suárez-Riestra, M. Muñoz-Vidal, I. López-César, M. J. Freire-Tellado (2020). A new reciprocal linkage for expandable emergency structures. *Structures*. Vol. 28, December 2020, 2023-2033. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.10.008>
16. Pérez-Valcárcel, J.; Muñoz-Vidal, M.; Suárez-Riestra, F.; López-César, I., Freire Tellado, M. (2021). A new system of deployable structures with reciprocal linkages for emergency buildings. *Journal of Building Engineering* 33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101609>
17. Pérez-Valcárcel, J.; Muñoz-Vidal, M.; López César, I.; Suárez Riestra, F.; Freire Tellado M. (2021). Deployable bundle modulus structures with reciprocal linkages for emergency buildings. *Engineering Structures*. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112803>. J. Pérez-Valcárcel, F. Suárez-Riestra, M. Muñoz-Vidal, I. López-César, M. J. Freire-Tellado (2020). Deployable cylindrical vaults with reciprocal linkages for emergency buildings. *Structures*. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.06.094>. Pérez-Valcárcel, J.; Muñoz-Vidal, M.; López-César, I. R.; Freire-Tellado, M. J.; Suárez-Riestra, F. Analysis of Deployable Cylindrical Space Bar Structures of Reciprocal Linkages with Frustoconical Ends. *Designs* 2024, 8, 46. <https://doi.org/10.3390/designs8030046>
18. Pérez-Valcárcel, J.; Muñoz-Vidal, M.; Freire Tellado, M.; López-César, I.; Suárez-Riestra, F. (2020). Expandable covers of skew modules for emergency buildings. *International Journal of Innovation Engineering and Science Research*. Vol. 4, Issue 5. 38-52.
19. Pérez-Valcárcel, J.; Escrig, F.; Domínguez, E.; Lamas, V. (1999). Expandable Structures with Self-folding Stiffeners. "Int Conference on Shells and Spatial Structures: From recent past to the next millenium IAASS". Madrid. 1999. Vol. 2. pp D21, D30.
20. Pérez-Valcárcel, J.; Muñoz-Vidal, M.; López César, I.; Suárez Riestra, F.; Freire Tellado, M. (2021). Deployable space grids with lockable joints. *International Journal of Space Structures*. 1-14. DOI: [10.1177/09560599211002480](https://doi.org/10.1177/09560599211002480).
21. Juan Pérez-Valcárcel, Manuel Muñoz Vidal, Félix Leandro Suárez-Riestra, Isaac López-César (2017). Malla espacial de doble cara desplegable con articulaciones bloqueables. Patente española ES 201500424 y 425. <https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=ES190956320&redirectedID=true>
22. J. Pérez-Valcárcel, I. López-César, M. Muñoz-Vidal, M. J. Freire-Tellado, F. Suárez-Riestra (2023). Deployable tubular bar structures with laterally confined flattened ends. *Structures*, 55. 112-122. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.06.045>

CÁNCER DE OVARIO:

EL PODER DE LA TERAPIA COMBINADA

Miriam Sartages^{1, 2}, Pablo Pedrosa^{1, 2}, Anxo Vidal^{1, 2}, Araceli Tobío^{1, 2, 3}

¹ Grupo de investigación Cell cycle and Oncology (CyCLOn), Centro Singular de Investigación en Medicina Molecular y Enfermedades Crónicas (CiMUS), Universidade de Santiago de Compostela, Av. Barcelona s/n, Campus Vida. 15782 Santiago de Compostela. A Coruña.

² Instituto de Investigación Sanitaria de Santiago de Compostela, Universidade de Santiago de Compostela. 15782 Santiago de Compostela. A Coruña.

³ Departamento de Farmacología, Farmacia y Tecnología Farmacéutica, Facultad de Farmacia, Praza do Seminario de Estudos Galegos s/n. 15705 Santiago de Compostela. A Coruña.

Palabras clave: *cáncer de ovario, quimiorresistencia, medicina personalizada, inmunoterapia.*

RESUMEN

El cáncer de ovario es el cáncer ginecológico de mayor mortalidad debido, en gran medida, a su diagnóstico tardío y a la aparición de quimiorresistencias. La búsqueda de alternativas terapéuticas eficaces ha sido intensa en las últimas décadas. Los resultados obtenidos en los ensayos clínicos apuntan a que el éxito de la terapia pasa por el uso de varios agentes terapéuticos (terapia combinada), seleccionados en función de las características particulares de cada paciente. Entre las terapias más prometedoras en este momento destacan las protagonizadas por los anticuerpos monoclonales, así como los ADCs, la terapia adoptiva de células, los inhibidores PARP y, por último, los moduladores de la ruta adenosinérgica.

ORIGEN DEL CÁNCER DE OVARIO

El cáncer de ovario (CO) es el tipo de cáncer ginecológico con mayor mortalidad (> 55%), y afecta a 5 de cada 100.000 mujeres en España. En el presente año 2025, se estima que más de 3.700 mujeres padecerán este tipo de cáncer (Sociedad Española de Oncología Médica (SEOM)). Sin duda, conocer el origen de la enfermedad supone una pieza clave para combatirlo. Las investigaciones centradas en su histopatología han permitido describir, desde un punto de vista histológico,

tres subtipos de CO. La forma más frecuente es el carcinoma epitelial o adenocarcinoma (85-90%), seguido de los tumores de células germinales (10%) y los tumores ováricos estromales (1%). Los adenocarcinomas, con una edad de presentación media de 50 años, se dividen a su vez en 5 subtipos: (1) adenocarcinoma seroso de alto grado (HGSOC), se trata del subtipo histológico más relevante, tanto por su alta incidencia como por su agresividad. Aunque todavía bajo cierta controversia, la hipótesis más plausible sobre su aparición son las lesiones epiteliales en las trompas de Falopio, células epiteliales superficiales que recubren el ovario y epitelios transformados atrapados en quistes de inclusión corticales; (2) adenocarcinoma seroso de bajo grado (LGSOC); (3) adenocarcinoma endometriode (EOC) y (4) de células claras (CCOC), ambos con origen en las células del endometrio y, finalmente, (5) adenocarcinoma mucinoso (MOC), con doble origen, tracto gastrointestinal y ovárico (1, 2).

FACTORES QUE AUMENTAN EL RIESGO DE PADECER CÁNCER DE OVARIO

Los factores que incrementan las probabilidades de padecer CO son de tipo genético y ambientales, tales como el estilo de vida y hábitos dietéticos. La obesidad supone un riesgo para la enfermedad, de ahí la importancia de realizar ejercicio físico y una dieta equilibrada. Otros factores descritos son la ausencia de hijos (nuliparidad), la terapia de reemplazo hormonal durante un tiempo prolongado, menarquía temprana, menopausia tardía, endometriosis, síndrome de ovario poliquístico

y enfermedad inflamatoria pélvica. Entre los factores genéticos destacan las mutaciones en genes supresores de tumores como *BRCA* (hasta un 20-25% de los tumores presentan esta alteración) (3), genes relacionados con la vía de reparación de la recombinación homóloga (presente entre un 20-30% de las pacientes) o bien los genes asociados al síndrome de Lynch tipo II. El protocolo de actuación establece realizar un análisis genético a todas aquellas mujeres diagnosticadas de carcinoma de ovario epitelial no-mucinoso, independientemente del historial familiar. Por otro lado, entre los factores que protegen de la enfermedad, están el uso de hormonas contraceptivas, la lactancia y la ligadura de trompas.

CÁNCER DE OVARIO, LOS PORQUÉS DE SU AGRESIVIDAD: SINTOMATOLOGÍA INESPECÍFICA Y COMPLEJO DIAGNÓSTICO

La ausencia de síntomas específicos es una de las causas principales del diagnóstico tardío del CO. Molestias pélvicas y/o abdominales repetidas, hinchazón abdominal progresiva, indigestión, fatiga, dolor de espalda, dispareunia, estreñimiento e irregularidad menstrual, son algunos de los síntomas inespecíficos de esta enfermedad que, en muchas ocasiones se confunden con desarreglos menstruales y pasan desapercibidos para las pacientes (4). A medida que avanza la enfermedad los síntomas son más frecuentes; de hecho las alarmas saltan si uno de los síntomas aparece durante más de 12 días al mes, facilitando su detección temprana. Desgraciadamente, esto es infrecuente y en la mayoría de los casos el diagnóstico se demora más de lo deseado, lo que implica que, desafortunadamente, el cáncer se detecte en estadios avanzados (III o IV) (5).

Además de la sintomatología inespecífica, la ausencia de herramientas de diagnóstico precoz específicas y sensibles hace que no seamos capaces de frenar a tiempo la enfermedad. A la exploración general e historia clínica de la paciente, le siguen la exploración pélvica y recto-vaginal, análisis de suero sanguíneo y estudios de imagen. El suero sanguíneo se emplea para detectar la presencia de marcadores tumorales, entre los que destacan el CA-125 y la proteína 4 del epidídimo humano (HE-4). La glicoproteína CA-125, empleada desde el 2011 (6), se encuentra elevada en el 80% de los casos de CO epitelial avanzado, sin embargo, su utilidad es limitada en estadios precoces. Además, sus niveles también pueden estar elevados en neoplasias o patologías benignas (endometriosis o cirrosis), dando lugar a un diagnóstico erróneo. En segundo lugar, la HE-4 está presente en un tercio de los cánceres CA-125 negativos y ausente en condiciones ginecológicas benignas, por lo que es de gran utilidad como biomarcador complementario.

En cuanto a los estudios de imagen, la ecografía (transabdominal o transvaginal), constituye una técnica muy útil para evaluar la arquitectura y vascularización de las masas tumorales. Finalmente, la tomografía computarizada se emplea para establecer el estadio del cáncer (I-IV), aunque con ciertas limitaciones, pues no detecta masas de tamaño inferior a 5 mm. Actualmente se están investigando nuevas herramientas de diagnóstico a partir de: (1) autoanticuerpos séricos: los estudios demuestran que cuantos más autoanticuerpos diferentes se incluyan en el análisis, más útil es el ensayo, de hecho se analizan hasta 154 diferentes incluyendo p53, c-MYC y p90, entre otros; (2) ADN circulante tumoral (ADNct): la gran limitación de esta técnica es que el ADNct resulta indetectable en tumores menores de 10 mm, razón por la cual se prefiere medir la metilación del ADN en genes supresores tumorales, tales como *HOXA9* y *HIC1*; y (3) micro ARN: estas pequeñas cadenas de ARN se unen específicamente a ARN mensajero, regulando la expresión de genes sobreexpresados en células cancerígenas (7).

Los tumores estromales (originados en el tejido estructural de sostén) merecen una mención aparte, ya que el hecho de producir estrógenos provoca sangrados vaginales, facilitando su detección y buen pronóstico.

TRATAMIENTO DEL CÁNCER DE OVARIO: TERAPIAS INNOVADORAS EN DESARROLLO

Tras el diagnóstico, las mujeres con CO pasan por una cirugía citorreductora, con el fin de extirpar todo tumor "visible". Desafortunadamente, para la mayoría de pacientes, salvo estadios IA-IB seroso, mucinoso, endometroide o tumores de Brenner, la cirugía no supone el fin del cáncer, siendo necesaria la quimioterapia, también llamada terapia convencional. El término quimioterapia hace referencia al tratamiento a base de fármacos de origen químico, siendo en este caso la combinación más empleada carboplatino y paclitaxel. La vía de administración suele ser la intravenosa, cada 3-4 semanas, en un total de 3 a 6 ciclos de tratamiento. Sin embargo, en ocasiones se recurre a la quimioterapia intraperitoneal, en cuyo caso los medicamentos se administran en la cavidad abdominal a través de un catéter (8). Esta vía es empleada en cáncer ovárico en estadio III y en aquellas mujeres en las que no se han observado tumores mayores de 1 cm después de la cirugía. Pese a la eficacia de los fármacos quimioterápicos, los efectos secundarios son relevantes y, desgraciadamente, por todos conocidos: náuseas y vómitos, alopecia, dermatitis, úlceras orales, pérdida de apetito, fatiga, inmunosupresión, etc. (9). Pese a haber salvado numerosas vidas, el 60-70% de

las pacientes sometidas a quimioterapia presentan recidivas tres años después de la terapia, lo que hace necesario la búsqueda de nuevas terapias eficaces frente a esta sangrante enfermedad.

A continuación, se presentan los principales grupos terapéuticos actualmente en desarrollo: anticuerpos monoclonales, terapia adoptiva de células, inhibidores de la ruta adenosinérgica e inhibidores de la poli-(ADP-ribosa)-polimerasa (PARP).

1. ANTICUERPOS MONOCLONALES

Los anticuerpos son glicoproteínas que pertenecen a la familia de las inmunoglobulinas y que son producidas y secretadas por los linfocitos B. Cuando el organismo detecta algún componente (también llamado antígeno) que identifica como extraño se desencadena una respuesta inmunitaria que conlleva a la producción de anticuerpos. El antígeno es por lo tanto una sustancia que el cuerpo reconoce como extraña y que desencadena una respuesta inmunitaria. Generalmente es una molécula proteica y su origen puede ser muy variado: microorganismos como virus o bacterias, toxinas e incluso células de nuestro propio cuerpo, como sucede con algunas enfermedades autoinmunes (10, 11).

Los anticuerpos monoclonales se caracterizan por ser generados a partir de clones de un mismo linfocito B, en contraposición a lo que sucede con los anticuerpos policlonales, generados por la respuesta de diferentes linfocitos B frente a un antígeno. En consecuencia, los anticuerpos monoclonales se caracterizan porque todas las moléculas se unirán al mismo epítipo (lugar del antígeno reconocido por el anticuerpo), mientras que los policlonales reconocen diferentes epítopos del mismo antígeno. De este modo, los anticuerpos monoclonales presentan una alta especificidad, homogeneidad y reproducibilidad comparado con los anticuerpos policlonales y por eso son los utilizados en el desarrollo de fármacos y diagnóstico de enfermedades.

La producción de anticuerpos monoclonales se remonta a las décadas de los 70 y 80, sin embargo, su origen murino conlleva la aparición de reacciones alérgicas en pacientes, lo que, sumado a su corta vida media, limitaba mucho su utilidad terapéutica. Actualmente, se utilizan anticuerpos monoclonales humanizados o completamente humanos, que reducen significativamente las reacciones inmunes del paciente y presentan propiedades similares a las de las inmunoglobulinas humanas endógenas, siendo utilizadas para tratar diferentes tipos de enfermedades, como el cáncer (12-16).

En el contexto oncológico, una vez que el anticuerpo reconoce al antígeno puede iniciar diferentes vías con el objetivo de eliminar a la célula tumoral (Figura 1), las principales son: 1. Efecto directo: la propia unión del anticuerpo al antígeno y su bloqueo producen la muerte de la célula. Esto sucede por ejemplo si el antígeno identificado es fundamental para la supervivencia de célula; 2. Citotoxicidad dependiente de complemento (CDC): el anticuerpo marca a la célula tumoral y permite el reclutamiento y la activación del sistema de complemento, lo que conlleva la formación del complejo de ataque a la membrana (MAC) y provoca la lisis de la célula y su muerte (17); 3. Citotoxicidad celular dependiente de anticuerpo (ADCC): el anticuerpo marca a la célula tumoral y permite el reclutamiento, habitualmente de células *natural killer*, que inducen la apoptosis de la célula tumoral; 4. Fagocitosis celular dependiente de anticuerpo (ADCP): realmente es una variante de la anterior pero, en este caso, el anticuerpo permite el reclutamiento de células fagocíticas, como macrófagos o células dendríticas, que digirán y destruirán a la célula tumoral; 5. Anticuerpos biespecíficos (BsAbs): en este caso el anticuerpo se une a dos dianas diferentes, una de ellas presente en la célula tumoral y otra, generalmente, presente en un linfocito T citotóxico (p.e. a través de la molécula CD3). Este doble reconocimiento por parte del anticuerpo facilita el reconocimiento de la célula tumoral y su destrucción; 6. Anticuerpos conjugados (ADCs): administración dirigida de fármacos citotóxicos a través de conjugados anticuerpo-fármaco (ADC); en este caso el anticuerpo lleva acoplado un compuesto citotóxico, de modo que cuando se produce su unión con el antígeno, el fármaco es liberado y provoca la muerte de la célula tumoral.

Como vemos la principal ventaja de los anticuerpos monoclonales comparados con la quimioterapia tradicional como tratamiento frente al cáncer es la especificidad para unirse y actuar exclusivamente sobre la célula tumoral. Esta especificidad se debe a la interacción entre el anticuerpo y el antígeno, que generalmente es una proteína, presente en la célula tumoral. Un punto determinante en el desarrollo de terapias basadas en anticuerpos monoclonales es la identificación de marcadores proteicos presentes exclusiva o mayoritariamente en células tumorales, con la finalidad de reducir la inespecificidad y el consiguiente efecto en células no tumorales presentes en nuestro organismo, algo que no siempre es posible (18). Para ello es necesaria una profunda caracterización de los marcadores candidatos y su validación en ensayos celulares, modelos preclínicos (generalmente murinos) y, finalmente, en ensayos clínicos con

pacientes. Una de las limitaciones a la hora de determinar los antígenos candidatos en las células tumorales a menudo viene determinada por el gran tamaño que presentan los anticuerpos, esto imposibilita o dificulta en gran medida su capacidad para entrar en la célula, por lo que se suelen buscar como candidatas proteínas presentes en la membrana celular con el fin de evitar este inconveniente. Pese a sus limitaciones, los anticuerpos monoclonales han supuesto un gran avance en el campo de la terapia avanzada debido, entre otros aspectos, a su elevada vida media, lo que permite espaciar las dosis de tratamiento evitando la asistencia regular del paciente al hospital y abaratando costes hospitalarios (19).

En la actualidad existen 34 anticuerpos terapéuticos diri-

gidos frente al CO, algunos de ellos, tales como el bevacizumab (anti-VEGF), ya aprobados por las agencias regulatorias. El bevacizumab es un anticuerpo que bloquea proteínas estimulantes de la formación de vasos sanguíneos, fundamentales para el crecimiento y desarrollo del tumor (20). El tratamiento con bevacizumab aumenta la supervivencia libre de progresión tumoral, pero no la global, por lo que es necesario el desarrollo de más anticuerpos y la identificación de nuevas dianas para aumentar el éxito en el tratamiento del CO (21). Por este motivo, actualmente existen más de 180 estudios clínicos enfocados en la identificación de nuevos marcadores de células tumorales ováricas y en el desarrollo de anticuerpos monoclonales frente a estas.

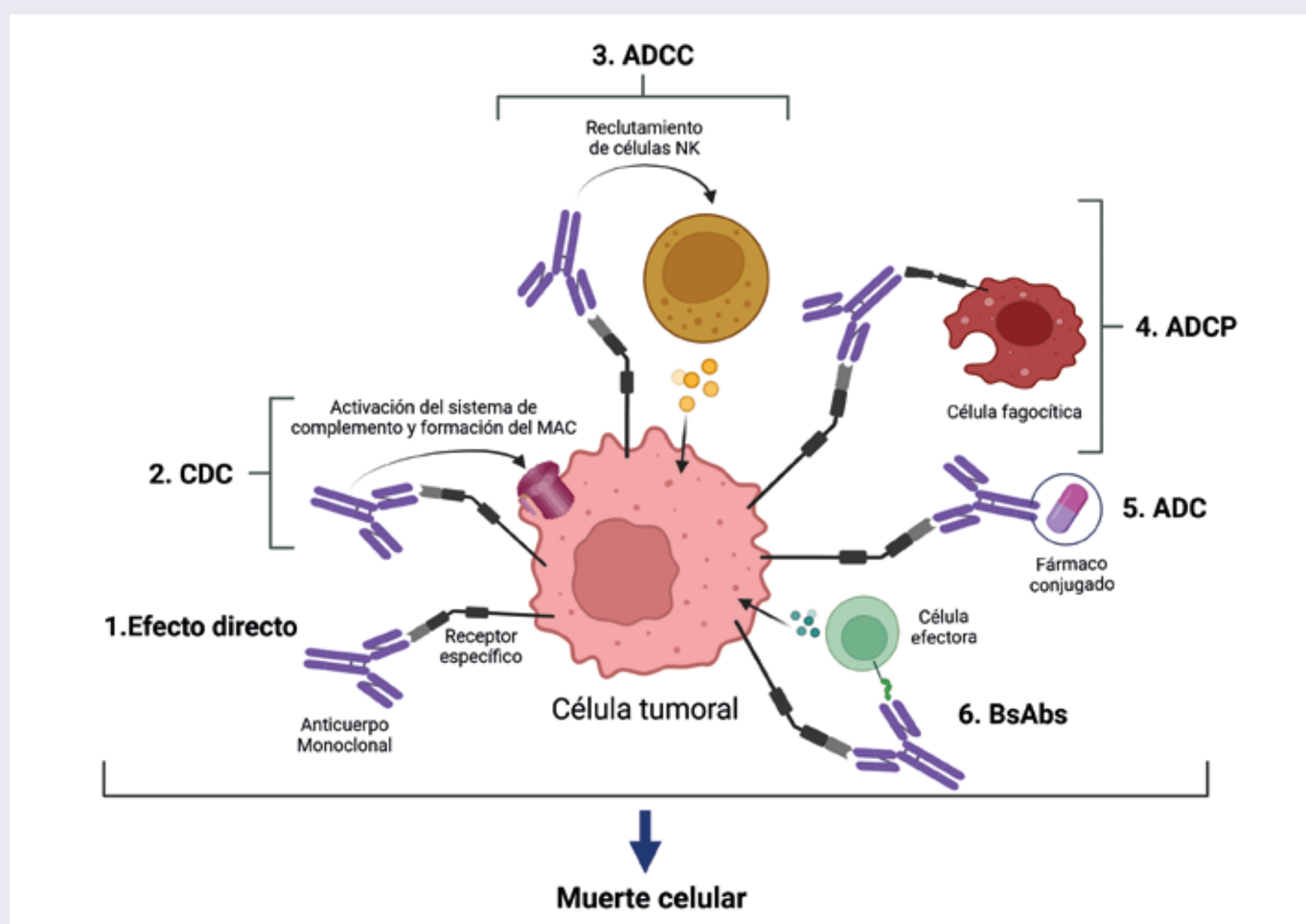


Figura 1: Principales mecanismos de acción de los anticuerpos monoclonales empleados en terapia oncológica. Efecto directo (1); citotoxicidad dependiente de complemento (2); citotoxicidad celular dependiente de anticuerpo (ADCC) (3); fagocitosis celular dependiente de anticuerpo (ADCP) (4); anticuerpos biespecíficos (BsAbs) (5) y anticuerpos conjugados (ADCs) (6). Imagen creada con BioRender.com.

En este contexto, el grupo *Cell cycle and Oncology* del CiMUS (Universidad de Santiago de Compostela) enfoca buena parte de su investigación a la búsqueda de dianas/marcadores tumorales en el CO. Entre las moléculas que se encuentran actualmente en estudio destacan la interleuquina-6 (IL-6) (22) y el punto de control inmunomodulador CCR9 (23). Las estrategias de terapia inmunológica que están siendo desarrolladas incluyen terapia adoptiva de células combinada con el uso de anticuerpos monoclonales, así como el uso de ADCs. Los resultados están siendo prometedores y los inminentes ensayos preclínicos en animales nos permitirán establecer nuevas estrategias trasladables a ensayos clínicos.

2. TERAPIA ADOPTIVA DE CÉLULAS

La terapia adoptiva de células, también conocida como inmunoterapia celular, es una forma de terapia celular que utiliza la habilidad natural de las células del sistema inmune para reconocer y eliminar células infectadas, dañadas y células que se han vuelto cancerosas.

Puede resultar llamativo que, de forma natural, las células inmunitarias no sean capaces de acabar con las células tumorales y detener la enfermedad. Que esto no ocurra es debido a una serie de mecanismos empleados por las células tumorales para evadir esta función inmune. Las células cancerígenas tienen la capacidad de crear un microambiente perjudicial para la actividad de las células inmunes, lo cual les permite escapar de la función citotóxica. Por ejemplo, se ha detectado la presencia de citoquinas inmunosupresoras como IL-8, IL-10 o TGF- β en el líquido ascítico de las pacientes con CO (24, 25). Este ambiente inmunosupresor se ve agravado por el proceso quirúrgico e invasivo, así como por los ciclos de quimioterapia a los que son sometidas las pacientes, responsables de mermar la actividad fisiológica normal del sistema inmunitario.

La terapia adoptiva de células trata precisamente de potenciar el sistema inmune mediante la transferencia a las pacientes de distintos tipos celulares, siendo los más empleados los linfocitos T y las células *natural killer* (NKs) (26).

2.1. TERAPIA ADOPTIVA CON LINFOCITOS T

En general, la terapia adoptiva utilizando linfocitos T se basa en dos aproximaciones: el uso de linfocitos infiltrantes de tumor (TILs) o linfocitos modificados para reconocer antígenos específicos de células cancerosas (TCR-T y CAR-T).

2.1.1. Terapia adoptiva con linfocitos infiltrantes de tumor (TILs)

Considerada la primera aproximación de la inmunoterapia celular, los linfocitos infiltrantes de tumor (*Tumor-Infiltrating Lymphocytes*, *TILs*) son un grupo de células inmunitarias, como linfocitos T, NKs y otros que se encuentran en el cuerpo del tumor. Generalmente se utiliza la masa tumoral que se extirpa en las intervenciones quirúrgicas para extraer estas células. El objetivo de esta técnica es recuperar la funcionalidad de los linfocitos propios de las pacientes, expandir su número y reintroducirlos para reforzar la respuesta inmune natural contra las células tumorales. Dado que ya han estado en contacto con las células cancerosas, estos linfocitos están activados para reconocer de forma específica las células diana, a pesar de la heterogeneidad que presentan los tumores sólidos. Además, al resultar una transferencia autóloga (la paciente recibe sus mismas células inmunes expandidas) no suelen presentarse graves reacciones adversas como un incremento descontrolado (tormenta) de citoquinas (27).

Debido a la escasez de TILs dentro del tumor o del tamaño insuficiente de la biopsia, no siempre es posible recurrir a este tipo de estrategia. Alternativamente, son los linfocitos circulantes del torrente sanguíneo los que se utilizan, aunque al ser recogidos antes de entrar en contacto con las células tumorales, no son reactivos como los TILs. También debe considerarse que no todas las muestras de TILs se comportan de la misma manera cuando son llevados a expansión y activación. Dado que se trata de una terapia personalizada, la eficacia del proceso presenta una gran variabilidad a lo que hay que sumarle el posible deterioro de las células tras un proceso *in vitro* que puede prolongarse varias semanas (27).

En 2017, un estudio desveló que cerca de 5.500 pacientes con este tipo de tumores mostraban frecuentemente la presencia de TILs, sobre todo en el subtipo HGSOc (27), por lo que parecía una buena estrategia a seguir. El uso de TILs para tratar el CO se ha probado en algunos ensayos clínicos llevados a cabo por el *National Center for Cancer Immune Therapy*. Al usarlos de forma individual, se han observado bastantes signos de detrimento en las células, como la expresión de marcadores PD-1 y LAG-3. Por tanto, las TILs suelen ser utilizadas en combinación con quimioterápicos y/o fármacos que favorezcan un ambiente inmunorreactivo (28).

2.1.2. Terapia con linfocitos TCR-T

En este caso, los linfocitos T que se usan desde un principio suelen ser los linfocitos de sangre periférica, que se obtienen

mediante una leucoaféresis. Ya en un laboratorio, a las células se les introducen receptores T contra los antígenos que presentan las células tumorales. Esto ofrece la posibilidad de elegir los antígenos más específicos para cada tipo tumoral. Para el CO, alguno de estos antígenos son la mesotelina, glicoproteína de membrana sobreexpresada en cáncer de ovario; mucina 16, otra glicoproteína asociada a la mesotelina o factor de crecimiento epidérmico 2 (HER2 o ERBB2), receptor de membrana sobreexpresado típicamente en este tipo de tumor y en muchos otros (29).

2.1.3. Terapia con linfocitos CAR-T

Una célula T con receptor de antígeno quimérico (CAR-T) consiste en un linfocito T modificado *in vitro* para expresar un receptor de antígeno específico. Un CAR es, en sí mismo, un gen codificante para la proteína de los receptores T; se trata de una fusión de una región variable monocatenaria capaz de reconocer antígenos asociados a tumores y porciones intracelulares del receptor de células T que tienen la propiedad crucial de transducir la señal para activar los linfocitos T. Para obtenerlos, se aíslan los linfocitos circulantes mediante leucoaféresis y se les transduce el gen CAR mediante un vector viral (Figura 2). Las células ya expresando el CAR se expanden y activan, para ser posteriormente reintroducidas en el torrente sanguíneo de la paciente.

Si bien la técnica CAR-T ha mostrado gran éxito en el tratamiento de ciertos tipos de cáncer hematológicos como el linfoma no Hodgkin, leucemia linfoblástica aguda de células B y el mieloma múltiple (30), no ha mostrado igual eficacia en tumores sólidos, como el caso del CO. Algunos de los motivos son la alta heterogeneidad del tumor que impide identificar antígenos específicos que favorezcan la acción de las CAR-T. Además, también parecen mostrar sensibilidad al efecto inmunosupresor promovido por el microambiente tumoral (31).

2.1.4. Terapia adoptiva con NKs

Otro tipo de células inmunitarias que se usan para terapia adoptiva células son las células NKs. Son linfocitos que residen en la sangre periférica y efectores antitumorales altamente eficaces y rápidos, ya que poseen la capacidad de destruir células diana sin sensibilización previa. Esto confiere una gran ventaja sobre los linfocitos T, a lo que hay que añadir la posibilidad de transferencia de NKs entre individuos (transferencia alogénica) sin que comprometa una reacción inmune. Esto es especialmente favorable para pacientes oncológicas, cuyas células NKs presentan baja efectividad citolítica contra las cé-

lulas tumorales debido al ambiente inmunosupresor creado por el tumor. La opción de recibir células de un tercer individuo sano o de un biobanco, en los que las NKs han sido expandidas *in vitro* y potenciada su capacidad citolítica, reduce el coste del tratamiento y aumenta su disponibilidad. Si además se opta por combinar la transferencia de NKs con la aplicación de anticuerpos monoclonales que reconocen antígenos específicos de las células tumorales del CO, se incrementa el éxito del tratamiento (32); en este caso, mediante el fenómeno de ADCC (*antibody-dependent cellular cytotoxicity*).

La aplicación de células NKs alogénicas, combinada con la aplicación de IL-2 es justamente una de las más utilizadas en los ensayos clínicos que se están llevando a cabo actualmente con pacientes que sufren CO (32). Si bien el número de ensayos realizados aún no es muy alto, los casos que se han documentado hablan de una respuesta parcial y de una terapia bien tolerada. En fase de reclutamiento se encuentran tres ensayos más que aumentarán el número muestral y podrían confirmar la idoneidad de esta terapia adoptiva.

3. INHIBIDORES DE LA RUTA ADENOSINÉRGICA

La adenosina, metabolito intermediario de la ruta de la adenosina trifosfato (ATP), posee cuatro receptores (ADORA1, ADORA2A, ADORA2B y ADORA3), esenciales en el desarrollo de tumores sólidos en el que la hipoxia (baja concentración de oxígeno) es protagonista. En el CO, caracterizado por su ambiente hipóxico, la adenosina llega a acumularse fuera de las células a tal nivel que es capaz de bloquear la actividad del sistema inmune (linfocitos T y células NK), promoviendo así la progresión e invasividad del tumor. Es por esto que los inhibidores de adenosina, más concretamente de sus receptores (AdoR), se han propuesto como posibles herramientas terapéuticas frente a esta enfermedad.

Los moduladores de la ruta adenosinérgica pueden tratarse de pequeñas moléculas, tales como el SCH-58261, o bien anticuerpos bloqueantes de AdoR (33, 34). En la actualidad existen alrededor de 100 ensayos clínicos centrados en la ruta adenosinérgica como diana frente al cáncer, principalmente sólido (CO, cáncer de próstata, carcinoma de células renales, cáncer de pulmón, etc.). Los datos obtenidos son prometedores y demuestran una buena respuesta de las pacientes con CO a la terapia combinada basada en moduladores adenosinérgicos e inhibidores PARP y/o agentes antiangiogénicos (35). Las aplicaciones de los bloqueantes de AdoR van más allá del

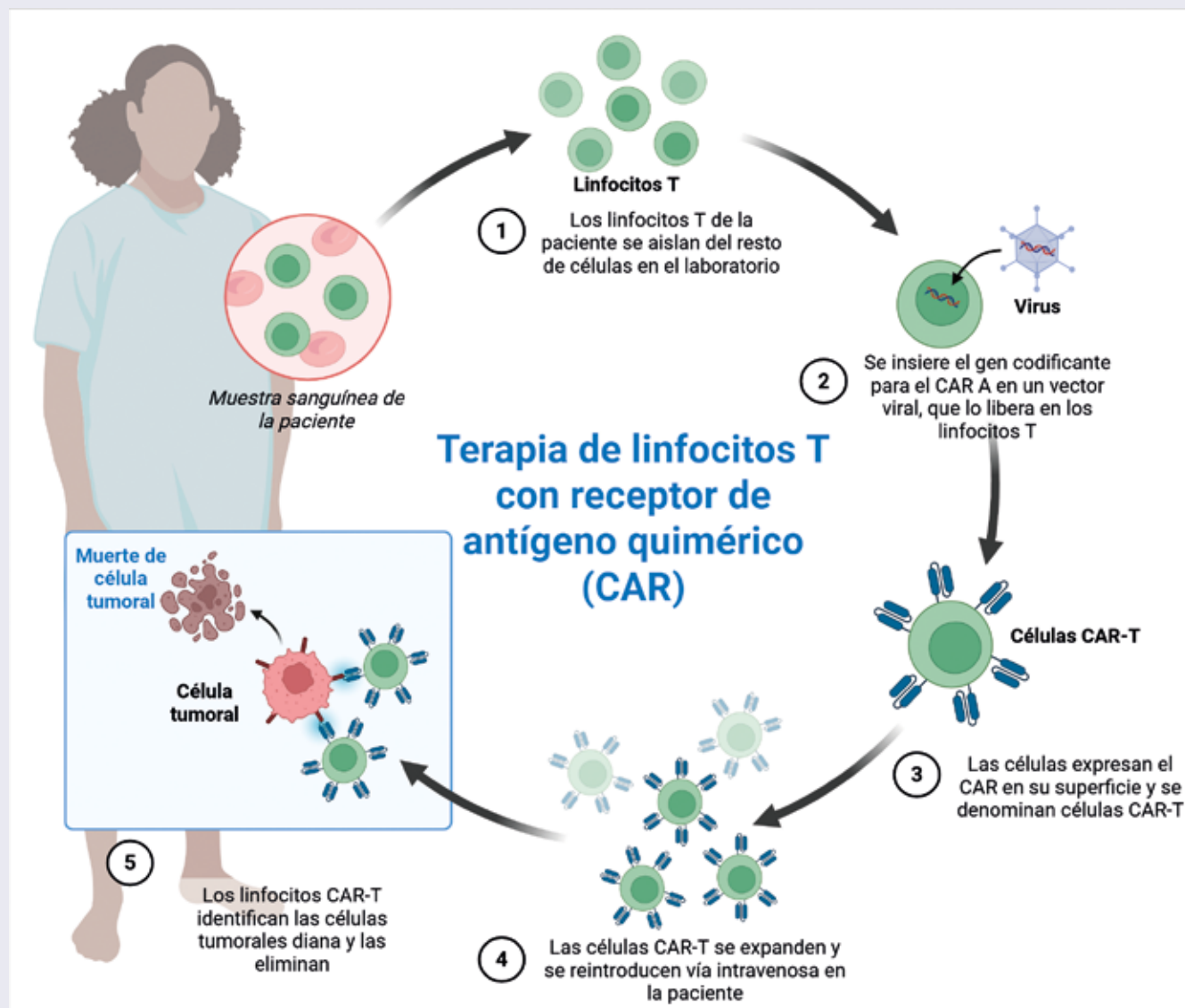


Figura 2. Terapia de linfocitos T con receptor de antígeno quimérico (CAR). Protocolo de la terapia celular basada en linfocitos T obtenidos de sangre periférica de las pacientes. En primer lugar, se aíslan los linfocitos T (1) y, a continuación, se modifican genéticamente (2). Las células resultantes, CAR-T (3), son expandidas y reintroducidas nuevamente en la paciente (transferencia autóloga) (4). Finalmente, las células CAR-T reconocen, de manera específica, a las células tumorales diana y proceden a su eliminación (5). Imagen creada con BioRender.com.

propio CO, siendo utilizados en terapias combinadas con anticuerpos monoclonales (es el caso del olecluzumab en cáncer de pulmón y páncreas) (36, 37), vacunas anti-cáncer de mama basadas en la transferencia de células dendríticas (38) e inhibidores de puntos de control inmunitario (en pacientes con melanoma) (39).

4. INHIBIDORES PARP (IPARP)

Las poli-(ADP-ribosa)-polimerasas (PARPs) conforman una familia de 17 nucleoproteínas encargadas de la reparación de ADN frente a diversos daños, incluidos los ocasionados por la quimioterapia (40). Es por esto que las células resistentes a fármacos como el carboplatino poseen mecanismos de reparación del ADN muy exacerbados, dependientes de enzimas como las PARPs (41).

Los iPARP han demostrado ser eficaces en pacientes con CO, especialmente en aquellas mujeres portadoras de mutaciones en *BRCA*. Sin embargo, su utilidad terapéutica se ha extendido más allá de este grupo de pacientes, abarcando todas aquellas mujeres que presenten quimiorresistencia, independientemente de la presencia de mutaciones o no en *BRCA*. Hasta la fecha han sido tres los iPARP aprobados en España para el tratamiento del CO tras finalizar la quimioterapia: olaparib, niraparib y rucaparib. Como se ha comentado antes, tan solo el 20% de las pacientes presentan mutaciones de *BRCA*, por tanto, el uso de estos medicamentos en CO está muy limitado. Frente a esto, se están desarrollando combinaciones de iPARP con otras inmunoterapias o antiangiogénicos, estrategias que podrían ser beneficiosas para pacientes *BRCA* negativas o sin déficit de recombinación homóloga.

CONCLUSIONES

La lucha contra el CO se sustenta en dos importantes pilares, el diagnóstico precoz y un tratamiento eficaz, adaptado a cada paciente. En primer lugar, pese al gran avance de las herramientas de diagnóstico, estas siguen siendo insuficientes debido a su baja especificidad. En segundo lugar, tal y como se ha indicado en este trabajo, son varias las terapias en desarrollo que podrían ser de utilidad para el tratamiento del CO quimiorresistente. Los anticuerpos monoclonales como tratamiento contra esta

enfermedad presentan un efecto más dirigido y específico que la quimioterapia tradicional, reduciendo los posibles efectos secundarios asociados a la misma. Además, al presentar una elevada vida media, facilita la dosificación espaciada en el tiempo y reduce los costes hospitalarios. Los ensayos clínicos realizados hasta el momento nos indican que la monoterapia con anticuerpos monoclonales no frena el avance de la enfermedad de manera significativa. Sin embargo, su uso combinado con otras terapias, tales como inhibidores de puntos de control inmunitario (immune checkpoint inhibitors (ICIs)) o ADCs, presenta un claro efecto terapéutico beneficioso para las pacientes. La aparición de los ADCs ha supuesto un gran avance en la terapia contra el CO, muestra de ello son los numerosos ensayos clínicos que contemplan el uso de ADCs (p.e. mirvetuximab soravtansine-gynx (MIRV) (NCT05445778) y disitamab vedotin (NCT06660511)) en combinación con anticuerpos monoclonales (p.e. bevacizumab). Además, cabe destacar que los ADCs en desarrollo son cada vez más sofisticados, de manera que no sólo presentan actividad citotóxica sino también actividad inmune antitumoral, de ahí su gran eficacia terapéutica.

La terapia personalizada ha supuesto un cambio de paradigma en el tratamiento contra el CO. El abandono del modelo de "talla única" por tratamientos completamente centrados en las características particulares de cada paciente ha sido esencial para avanzar en la lucha contra esta enfermedad. Algunas de las estrategias aquí abordadas, tales como la terapia adoptiva de células, son un claro ejemplo de terapia personalizada. Sin embargo, al tratarse de terapias destinadas a un grupo específico de pacientes (para el caso del CO, pacientes resistentes a la quimioterapia), el número muestral que se maneja en ensayos clínicos no es comparable al de enfermedades con mayor incidencia. Este hecho implica tiempos de reclutamiento más extensos y dificultad para extraer resultados concluyentes, por lo que la puesta en marcha de grandes ensayos clínicos aleatorizados es fundamental para determinar la eficacia de estos tratamientos. A pesar de estas limitaciones, resulta prometedor el número y la variedad de técnicas que, usando células inmunes, se han desarrollado hasta el momento, otorgando una oportunidad a las pacientes que ya no responden a los tratamientos convencionales. Sin duda alguna, todo indica que el futuro de la terapia personalizada en pacientes con CO quimiorresistente pasará por una terapia combinada en la que se combata el cáncer desde diversos frentes (incluyéndose anticuerpos monoclonales, terapia adoptiva de células y ADCs) haciendo posible la desaparición de la enfermedad.

FUENTES DE FINANCIACIÓN

Las fuentes de financiación para la realización de la investigación por parte del grupo *Cell Cycle and Oncology* han sido: Proyectos de Generación de Conocimiento, (convocatoria 2021, Ministerio de Ciencia e Innovación), referencia PID2021-124326OB-I00; Proyectos de I+D+i vinculados a la Medicina Personalizada y Terapias Avanzadas, (convocatoria 2022, ISCIII-CDTI, Ministerio de Ciencia e Innovación), referencia PMPTA22/00076 y grupo de referencia competitiva (Xunta de Galicia), referencia ED431C 2023/10. Además, el CiMUS cuenta con el reconocimiento CIGUS de la Xunta de Galicia (ED431G/2023/02) que acredita la calidad y el impacto de su investigación, y está «subvencionado por la Consellería de Educación, Ciencia, Universidades y Formación Profesional» y «cofinanciado por la Unión Europea» a través del Programa Galicia FEDER 2021-2027.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

A continuación, se indica el grado de contribución de los autores de este trabajo siguiendo la taxonomía CRediT (*Contribution Roles Taxonomy*): Pablo Pedrosa: fuentes, investigación y redacción; Miriam Sartages: fuentes, investigación y redacción; Araceli Tobío: idea original y conceptualización, preparación de borrador, financiación, fuentes, investigación, redacción, revisión y edición; Anxo Vidal: financiación, verificación y revisión final.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mauro, L. J.; Spartz, A.; Austin, J. R.; Lange, C. A. Reevaluating the Role of Progesterone in Ovarian Cancer: Is Progesterone Always Protective? Vol. 44, Endocrine Re-views. 2023.
2. Cheasley, D.; Wakefield, M. J.; Ryland, G. L.; Allan, P. E.; Alsop, K.; Amarasinghe, K. C., *et al.* The molecular origin and taxonomy of mucinous ovarian carcinoma. *Nat Com-mun.* 2019; 10(1).
3. Fanale, D.; Pivetti, A.; Cancelliere, D.; Spera, A.; Bono, M.; Fiorino, A., *et al.* BRCA1/2 variants of unknown significance in hereditary breast and ovarian cancer (HBOC) syndrome: Looking for the hidden meaning. Vol. 172, Critical Reviews in Oncolo-gy/Hematology. 2022.
4. Ebell, M. H.; Culp, M. B.; Radke, T. J. A Systematic Review of Symptoms for the Diag-nosis of Ovarian Cancer. Vol. 50, American Journal of Preventive Medicine. 2016.
5. Stewart, C.; Ralyea, C.; Lockwood, S. Ovarian Cancer: An Integrated Review. Vol. 35, Seminars in Oncology Nursing. 2019.
6. Sturgeon, C. M.; Duffy, M. J.; Walker, G. The National Institute for Health and Clinical Excellence (NICE) guidelines for early detection of ovarian cancer: The pivotal role of the clinical laboratory. *Ann Clin Biochem.* 2011; 48(4).
7. Zhang, R.; Siu, M. K. Y.; Ngan, H. Y. S.; Chan, K. K. L. Molecular Biomarkers for the Early Detection of Ovarian Cancer. Vol. 23, International Journal of Molecular Sciences. 2022.
8. Bixel, K.; Vetter, M.; Davidson, B.; Berchuck, A.; Cohn, D.; Copeland, L., *et al.* Intraperi-toneal chemotherapy following neoadjuvant chemotherapy and optimal interval tu-mor reductive surgery for advanced ovarian cancer. *Gynecol Oncol.* 2020; 156(3).
9. Beesley, V. L.; Ross, T. L.; King, M. T.; Campbell, R.; Nagle, C. M.; Obermair, A., *et al.* Eval-uating patient-reported symptoms and late adverse effects following completion of first-line chemotherapy for ovarian cancer using the MOST (Measure of Ovarian Symptoms and Treatment concerns). *Gynecol Oncol.* 2022; 164(2).
10. Buss, N. A. P. S.; Henderson, S. J.; McFarlane, M.; Shenton, J. M.; De Haan, L. Monoclonal antibody therapeutics: History and future. Vol. 12, Current Opinion in Pharmacol-ogy. 2012.
11. Goydel, R. S.; Rader, C. Antibody-based cancer therapy. Vol. 40, Oncogene. 2021.
12. Baker, M. P.; Reynolds, H. M.; Lumicisi, B.; Bryson, C. J. Immunogenicity of protein therapeutics: The key causes, consequences and challenges. Vol. 1, Self/Nonself - Immune Recognition and Signaling. 2010.
13. Jones, P. T.; Dear, P. H.; Foote, J.; Neuberger, M. S.; Winter, G. Replacing the complemen-tarity-determining regions in a human antibody with those from a mouse. *Nature.* 1986; 321(6069).
14. Köhler, G.; Milstein, C. Continuous cultures of fused cells secreting antibody of pre-defined specificity. *Nature.* 1975; 256(5517).
15. Ober, R. J.; Radu, C. G.; Ghetie, V.; Ward, E. S. Differences in promiscuity for antibody-FcRn interactions across species: Implications for therapeutic antibodies. *Int Im-munol.* 2001; 13(12).
16. Presta, L. G. Engineering of therapeutic antibodies to minimize immunogenicity and optimize function. Vol. 58, Advanced Drug Delivery Reviews. 2006.
17. Zhou, X.; Hu, W.; Qin, X. The Role of Complement in the Mechanism of Action of Rituximab for B-Cell Lymphoma: Implications for Therapy. *Oncologist.* 2008; 13(9).
18. Tsao, L. C.; Force, J.; Hartman, Z. C. Mechanisms of therapeutic antitumor monoclonal antibodies. Vol. 81, Cancer Research. 2021.
19. Scott, A. M.; Wolchok, J. D.; Old, L. J. Antibody therapy of cancer. Vol. 12, Nature Re-views Cancer. 2012.
20. Ferrara, N.; Hillan, K. J.; Gerber, H. P.; Novotny, W. Discovery and development of bevacizumab, an anti-VEGF antibody for treating cancer. Vol. 3, Nature Reviews Drug Discovery. 2004.
21. Morand, S.; Devanaboyina, M.; Staats, H.; Stanbery, L.; Nemunaitis, J. Ovarian cancer immunotherapy and personalized medicine. Vol. 22, International Journal of Mo-lecular Sciences. 2021.
22. Browning, L.; Patel, M. R.; Horvath, E. B.; Tawara, K.; Jorcyk, C. L. IL-6 and ovarian can-cer: Inflammatory cytokines in promotion of metastasis. *Cancer Manag Res.* 2018; 10.
23. Khandelwal, N.; Breinig, M.; Speck, T.; Michels, T.; Kreutzer, C.; Sorrentino, A., *et al.* A high-throughput RNA i screen for detection of immune-checkpoint molecules that mediate tumor resistance to cytotoxic T lymphocytes. *EMBO Mol Med.* 2015; 7(4).
24. Zhang, L.; Liu, W.; Wang, X.; Wang, X.; Sun, H. Prognostic value of serum IL-8 and IL-10 in patients with ovarian cancer undergoing chemotherapy. *Oncol Lett.* 2019; 17(2).
25. Trotta, R.; Col, J. D.; Yu, J.; Ciarlariello, D.; Thomas, B.; Zhang, X., *et al.* TGF- β Utilizes SMAD3 to Inhibit CD16-Mediated IFN- γ Production and Antibody-Dependent Cellular Cytotoxicity in Human NK Cells. *The Journal of Immunology.* 2008; 181(6).
26. Wong, Y. N. S.; Joshi, K.; Pule, M.; Peggs, K. S.; Swanton, C.; Quezada, S. A., *et al.* Evolving adoptive cellular therapies in urological malignancies. Vol. 18, The Lancet Oncolo-gy. 2017.
27. Davis, L.; Miller, R. E.; Wong, Y. N. S. The Landscape of Adoptive Cellular Therapies in Ovarian Cancer. Vol. 15, Cancers. 2023.
28. Goode, E. L.; Block, M. S.; Kalli, K. R.; Vierkant, R. A.; Chen, W.; Fogarty, Z. C., *et al.* Dose-response association of CD8+ tumor-infiltrating lymphocytes and survival time in high-grade serous ovarian cancer. *JAMA Oncol.* 2017; 3(12).
29. Yan, W.; Hu, H.; Tang, B. Advances of chimeric antigen receptor t cell therapy in ovarian cancer. Vol. 12, OncoTargets and Therapy. 2019.
30. Tepper, K.; Wang, X.; Anders, K.; Evaristo, C.; Lock, D.; Künkele, A. Joining Forces for Cancer Treatment: From "TCR versus CAR" to "TCR and CAR". Vol. 23, Inter-national Journal of Molecular Sciences. 2022.
31. Zhang, X.; Zhu, L.; Zhang, H.; Chen, S.; Xiao, Y. CAR-T Cell Therapy in Hematologi-cal Malignancies: Current Opportunities and Challenges. Vol. 13, Frontiers in Im-munology. 2022.
32. Fan, Z.; Han, D.; Fan, X.; Zhao, L. Ovarian cancer treatment and natural killer cell-based immunotherapy. Vol. 14, Frontiers in Immunology. 2023.
33. Siriwon, N.; Kim, Y. J.; Siegler, E.; Chen, X.; Rohrs, J. A.; Liu, Y., *et al.* CAR-T cells sur-face-engineered with drug-encapsulated nanoparticles can ameliorate intratumoral T-cell hypofunction. *Cancer Immunol Res.* 2018; 6(7).
34. Yegutkin, G. G.; Boison, D. ATP and Adenosine Metabolism in Cancer: Exploitation for Therapeutic Gain. Vol. 74, Pharmacological Reviews. 2022.
35. Bareche, Y.; Pommey, S.; Carneiro, M.; Buisseret, L.; Cousineau, I.; Thebault P., *et al.* High-dimensional analysis of the adenosine pathway in high-grade serous ovarian cancer. *J Immunother Cancer.* 2021; 9(3).
36. Bendell, J.; LoRusso, P.; Overman, M.; Noonan, A. M.; Kim, D. W.; Strickler, J. H., *et al.* First-in-human study of oleclumab, a potent, selective anti-CD73 monoclonal anti-body, alone or in combination with durvalumab in patients with advanced solid tu-mors. *Cancer Immunology, Immunotherapy.* 2023; 72(7).
37. Kim, D. W.; Kim, S. W.; Camidge, D. R.; Shu, C. A.; Marrone, K. A.; Le, X., *et al.* CD73 Inhib-itor Oleclumab Plus Osimertinib in Previously Treated Patients With Advanced T790M-Negative EGFR-Mutated NSCLC: A Brief Report. *Journal of Thoracic Oncology.* 2023; 18(5).

38. Arab, S.; Kheshtchin, N.; Ajami, M.; Ashurpoor, M.; Safvati, A.; Namdar, A., *et al.* In-creased efficacy of a dendritic cell-based therapeutic cancer vaccine with adenosine receptor antagonist and CD73 inhibitor. *Tumor Biology*. 2017; 39(3).
39. Turiello, R.; Capone, M.; Morretta, E.; Monti, M. C.; Madonna, G.; Azzaro, R., *et al.* Exo-somal CD73 from serum of patients with melanoma suppresses lymphocyte func-tions and is associated with therapy resistance to anti-PD-1 agents. *J Immunother Cancer*. 2022; 10(3).
40. Franzese, E.; Centonze, S.; Diana, A.; Carlino, F.; Guerrero, L. P.; Di Napoli, M., *et al.* PARP inhibitors in ovarian cancer. Vol. 73, *Cancer Treatment Reviews*. 2019.
41. Morales, J. C.; Li, L.; Fattah, F. J.; Dong, Y.; Bey, E. A.; Patel, M., *et al.* Review of poly (ADP-ribose) polymerase (PARP) mechanisms of action and rationale for target-ing in cancer and other diseases. *Crit Rev Eukaryot Gene Expr*. 2014; 24(1).

SENSORES QUÍMICOS:

PAPEL INDICADOR DE pH. ¿CÓMO SE FABRICA?

¿CÓMO FUNCIONA?

Hugo Posada-Fernández, Sara Caruncho-Pérez y Elisa González-Romero

Departamento de Química Analítica y Alimentaria, Facultad de Química, Universidade de Vigo, Campus Vigo. Vigo. España.

Palabras clave: Sensor, pH, Indicadores, Antocianinas.

RESUMEN

A principios del siglo 20, el bioquímico danés Sørensen inventó lo que se podría llamar el primer sensor químico, creando una escala cromática de lectura del pH. En este trabajo se describe el fundamento, composición, funcionamiento y fabricación de uno de los dispositivos de respuesta inmediata inventados más universales: el papel indicador de pH. En la actualidad, se dispone de estos y otros dispositivos en forma de tiras reactivas que miden hasta seis parámetros diferentes, incluido el pH, y que se comercializan para la medida rápida de la calidad del agua de piscinas y spas. Para completar, se expone brevemente la fabricación de otras escalas cromáticas de pH, basadas en las antocianidinas y antocianinas, pigmentos naturales que están presentes en los pétalos de flores como la azalea o en verduras como la lombarda de donde son extraídas, que se están utilizando para detectar alimentos en mal estado, siendo una herramienta rápida y barata en la seguridad alimentaria.

CONCEPTO DE SENSOR QUÍMICO

Para definir qué es un sensor químico solo se debe pensar en cómo son percibidos, por ejemplo, los aromas por el olfato o los colores por la vista. Según la IUPAC, un sensor químico es un “dispositivo que transforma la información química, desde la concentración de un componente específico de la muestra hasta el análisis de la composición total, en una señal analíticamente útil”¹. Una definición

más amplia y actual, dada también por la IUPAC, lo describe como un “dispositivo tipo transductor que responde a una propiedad específica de su entorno o a un estímulo entrante mediante un cambio visualmente legible en su estado o mediante la generación de una señal que puede ser leída por un observador o instrumento”². En definitiva, son dispositivos que detectan o miden, cualitativa o cuantitativamente, una propiedad química como puede ser la acidez o la basicidad de una disolución, haciéndola observable con el papel pH, cuya respuesta es percibida por un observador a través de la vista, siguiendo los cambios de color producidos por reacciones químicas, o por un transductor que convierte la respuesta de la medida eléctrica con electrodos combinados de membrana de vidrio, cuya lectura de pH se visualiza en la pantalla digital del potenciómetro. En este contexto, el papel indicador de pH y el electrodo de membrana de vidrio son sensores para la medida de la acidez, por tanto del pH, concepto introducido en el mundo científico por el ingenioso y brillante bioquímico danés Søren Peder Lauriz Sørensen.

EL BIOQUÍMICO SØREN PEDER LAURIZ SØRENSEN Y LA ESCALA DE pH

S. P. L. Sørensen (**Figura 1**) nació en Havrebjerg (Dinamarca), desarrollando su profesión durante casi cuatro décadas (1901-1938) como jefe de laboratorio de la famosa compañía cervecera Carlsberg® en Copenhague, sucediendo al también prestigioso químico danés Johan Kjeldahl, quién revolucionó el análisis con su nuevo método de determinación de

nitrógeno en proteínas^{3,4}. El trabajo de Sørensen se centró en el estudio del efecto de la concentración de los iones sobre las proteínas, en particular, de los iones hidrógeno por la gran importancia de estos iones en la bioquímica de las proteínas, introduciendo el concepto de pH en 1909. En el artículo en el que introduce la escala de pH⁵, se describen dos nuevos métodos para la medida de la acidez. En uno de ellos, la medida del pH se obtiene por la comparación de los colores de las muestras con el color de una preselección de indicadores; mientras que en el otro método descrito, la medida de pH se basa en la respuesta con electrodos que cumple la ecuación de Nernst, método que utilizó para corroborar y validar la escala cromática de pH obtenida con la preselección de indicadores.

La aportación científica por Sørensen tiene un valor indiscutible, suponiendo un gran avance en la ciencia, dando lugar a lo que actualmente se conoce por análisis descentralizado o análisis *in situ* (análisis en el punto de necesidad), no siendo necesario el transporte y el almacenamiento de las muestras, salvaguardando la integridad de las mismas. Por todo ello, recientemente fue homenajeado por Google en 2018 con un simpático *doodle* que se puede visionar en *youtube* en el siguiente enlace: <https://youtu.be/EvMqo6xgnKc> (Figura 1).

FABRICACIÓN DEL PAPEL INDICADOR DE pH

En este apartado, para comprender mejor cómo funcionan estos dispositivos de medida rápida, se describen los componentes necesarios para la fabricación del papel indicador. Por un lado, se detallan las propiedades del papel como soporte y, por otro, se explican las propiedades ácido-base que presen-

tan los indicadores de la disolución del Indicador Universal, InU, que proporciona la escala cromática de pH tal y como se conoce hoy.

EL PAPEL

La estructura del papel está constituida por celulosa, larga cadena polimérica de unidades de β -D-glucosa unidas entre sí por enlaces 1,4 β -acetal, conformando la fibra de celulosa⁶ (Figura 2A). Para simplificar (Figura 2B), al situar un plano en los anillos pirano, donde los grupos funcionales éter (grupos **R-O-R'** con los oxígenos del anillo pirano y del grupo 1,4 acetal que une las unidades de β -D-glucosa localizados en dicho plano), se observa que los grupos funcionales hidroxilo de la fibra (**R-OH**) se encuentran dirigidos hacia el exterior, permitiendo la interacción entre grupos funcionales hidroxilo de otras fibras de celulosa dando lugar a la formación de enlaces de hidrógeno que unirán las fibras, entrelazándose entre sí, para obtener un tapiz de papel.

Cuando el papel se sumerge en un líquido que contiene especies disueltas (Figura 2C), el líquido fluye por acción capilar por los espacios estrechos entre las fibras, permitiendo el contacto de los grupos funcionales, tanto del disolvente como de las especies disueltas, con los grupos funcionales presentes en las fibras en su recorrido, quedando el papel impregnado de estas sustancias y produciéndose la modificación del mismo. Los procesos de distribución que intervienen en la modificación del papel son: solvatación, solubilidad o absorción y la adsorción, a través de las interacciones de moléculas e iones con las fibras del papel por las fuerzas intermoleculares de Van der Waals que se producen entre dipolos y/o dipolos inducidos (p.e. moléculas de etanol, **CH₃-CH₂-OH** y moléculas de ácido carboxílico, **R-COOH**) y las electrostáticas en las que intervienen especies iónicas (p.e. el ion carboxilato, **R-COO⁻**).

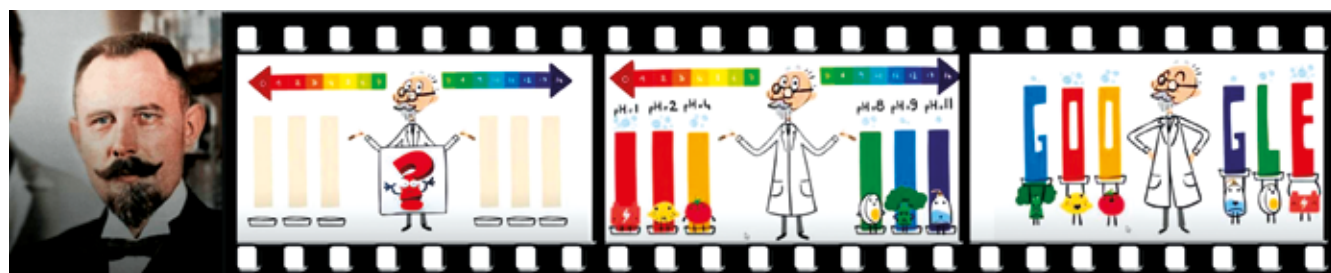


Figura 1. S.P.L. Sørensen (1868-1939) y fotogramas del *doodle* de Google® en homenaje a Sørensen (2018). Fuente de imágenes: página web Carlsberg® <https://www.carlsberg.com/es-es/betterment-content-pages/ph-scale/> y fotogramas del video en youtube (<https://youtu.be/EvMqo6xgnKc>). (Creación propia).

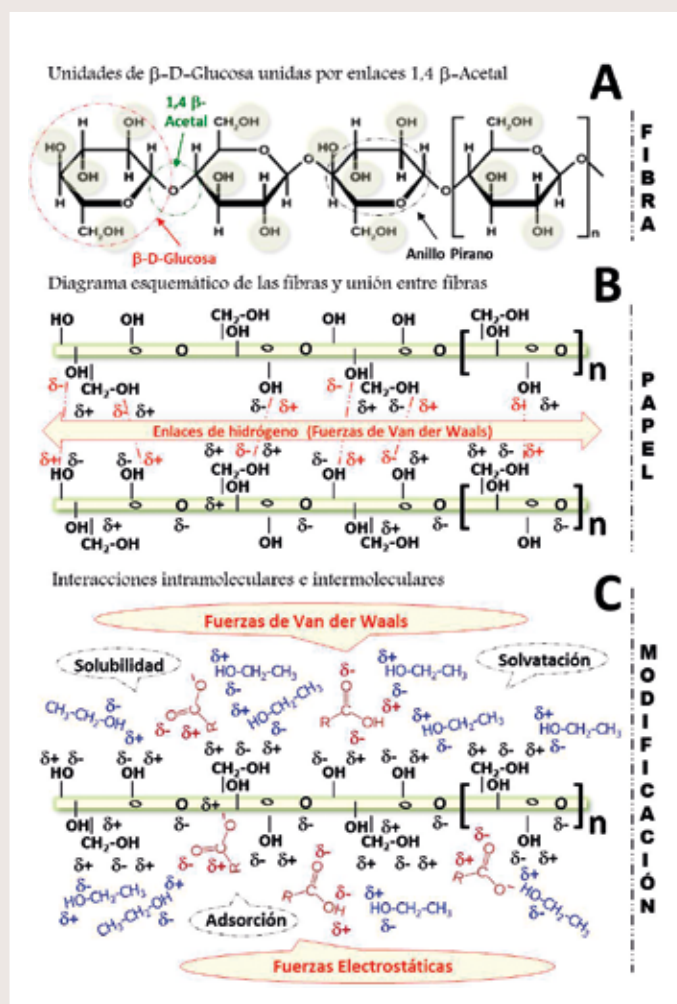


Figura 2. (A) Estructura de la fibra de papel. (B) Grupos funcionales en la fibra y unión entre fibras por enlaces de hidrógeno. (C) Procesos de distribución que intervienen en la modificación del papel por especies químicas (ácido carboxílico, R -COOH, y carboxilato, R -COO⁻) disueltas en un disolvente orgánico (etanol, CH_3 -CH₂-OH). (Creación propia).

EL INDICADOR UNIVERSAL

En general, un indicador ácido-base es un compuesto orgánico que cambia de color en función de la cantidad de iones hidrógeno presente en la disolución. Según sea la naturaleza del indicador, el cambio de color se correlaciona con la acidez o basicidad del medio. El tornasol (una mezcla de colorantes extraídos de los líquenes) adsorbido sobre papel es uno de los indicadores de pH más antiguos; indica qué disolución es ácida (viraje al rojo) o alcalina (viraje al azul), pero entre varias disoluciones ácidas, p.e., vinagre y ácido clorhídrico, no distingue qué ácido es el más fuerte, pues en ambos casos el viraje es al rojo.

Para obtener una escala cromática gradual es necesario mezclar varios indicadores de diferente fortaleza ácido-base (pKa). La mayoría de los que se encuentran en el mercado siguen la composición patentada por Yamada en 1933 con pequeñas modificaciones⁷. Básicamente, la disolución de InU se compone de cuatro indicadores: rojo de metilo (12,5 mg), azul de timol (5 mg), azul de bromotimol (60 mg) y fenoltaleína (100 mg), disueltos en 100 mL de alcohol al 95 %. Una vez disueltos, la disolución se neutraliza con NaOH 50 mM (hasta viraje al color verde) y se diluye a 200 mL con agua destilada⁸. Las disoluciones comerciales⁹ de InU emplean como disolvente el 1-propanol y contienen bisulfito sódico, compuesto de acción conservante por sus propiedades reductoras (reacciona con el oxígeno y previene de la oxidación de los grupos fenólicos de los indicadores que los poseen en su estructura) (Figura 3A). Los cuatro indicadores presentan propiedades ácido-base al tener en su estructura grupos funcionales susceptibles de perder uno o más protones (como el grupo ácido carboxílico a carboxilato en el rojo de metilo o los grupos fenólicos a fenolatos en los otros tres indicadores) y el color cambia en la dirección en

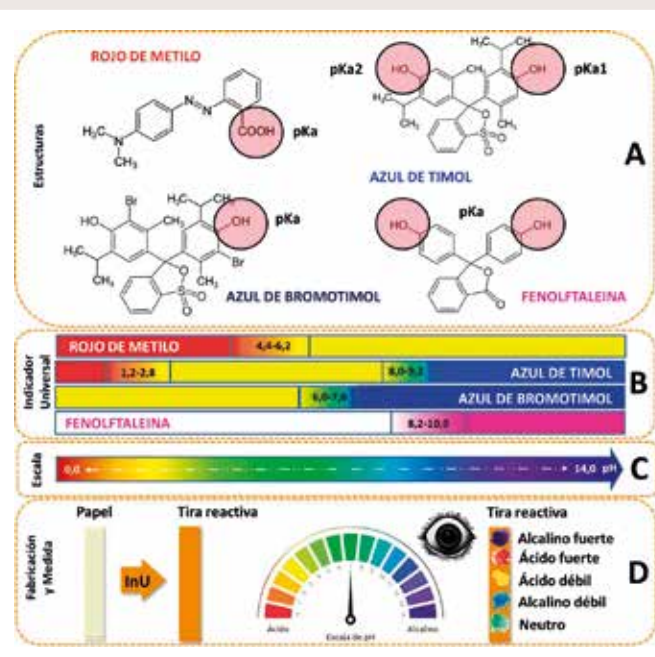


Figura 3. (A) Estructuras de los indicadores que componen el Indicador Universal (InU). (B) Color de la forma ácida (HIn) y de la forma básica (In-) y del intervalo de pH de viraje de cada uno de los indicadores. (C) Escala cromática de pH que proporciona el Indicador Universal. (D) Modificación del papel con el Indicador Universal para obtener el papel indicador de pH (tira reactiva) y medida con detección visual. (Creación propia).

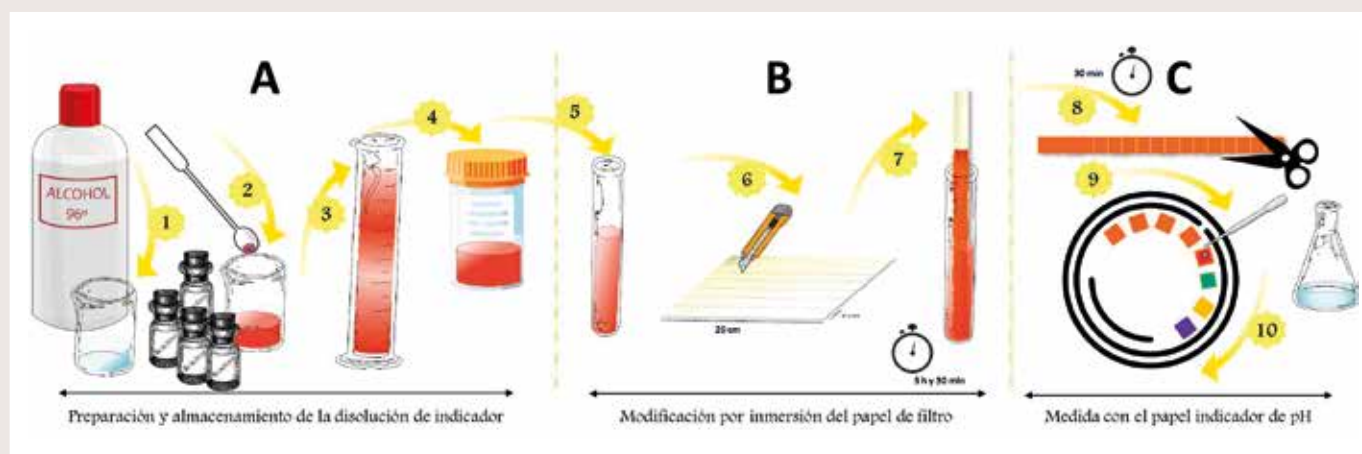


Figura 4. Procedimiento de fabricación del papel indicador de pH. (A) Preparación y almacenaje de la disolución de InU, mezcla que contiene los cuatro indicadores. (B) Preparación de las tiras de papel de 1 cm x 20 cm y modificación del papel por inmersión de las tiras en la disolución mezcla de indicadores. (C) Preparación del papel indicador de pH (tira reactiva) para la medida de pH con detección visual. (Creación propia).

la que se produce la pérdida o la ganancia de protones. En la **Figura 3B** se muestran los intervalos de viraje de cada indicador individual y los colores asociados al viraje y, en la **Figura 3C**, se representa la escala cromática de pH de la mezcla de los cuatro indicadores en disolución hidroalcohólica. La modificación del papel con el InU permite, de forma rápida y barata, conocer la acidez o la basicidad del medio o disolución con solo comparar el color con la escala e incluso distinguir la fortaleza del ácido (color del papel rojo si es fuerte y amarillo si es débil) o de la base (papel de color violeta-púrpura si es fuerte y azul si es débil) (**Figura 3D**).

PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DEL PAPEL INDICADOR DE pH

Para la fabricación del papel indicador, se aplica un procedimiento muy sencillo que se esquematiza en la **Figura 4**. Los reactivos necesarios son: los cuatro indicadores (rojo de metilo, azul de timol, azul de bromotimol y fenolftaleína) y, como disolvente, etanol del 96-98 %. En cuanto al material necesario, puesto que el objetivo del experimento es cualitativo, se utiliza: papel de filtro normal (comercial y no sometido a ningún tratamiento), vaso de precipitados y probeta (100 mL), tubos de ensayo (~20 mL), placa Petri, pipetas pasteur o cuentagotas, bote de vidrio (rotulado con las especificaciones de la disolución del InU, fecha y operario), cúter y tijeras.

En primer lugar, se prepara la disolución de InU, vertiendo unos 50 mL de etanol en el vaso de precipitados (**Figura 4A-1**), se añade una punta de espátula (~10-50 mg) de cada

uno de los reactivos (indicadores) sobre el disolvente (**Figura 4A-2**), se disuelven, se enrasa con etanol en probeta de 100 mL (**Figura 4A-3**) y se trasvasa al bote de vidrio, previamente etiquetado como InU, para su almacenaje (**Figura 4A-4**). En un tubo de ensayo se dispensan unos 2 mL de la disolución de InU que se diluyen con 10 mL de etanol y se homogeneiza la mezcla (**Figura 4B-5**). Con ayuda de un cúter, se cortan tiras de papel de filtro de 1 cm de ancho y de unos 20 cm de largo (**Figura 4B-6**), las cuales se sumergen en la disolución de InU durante unas 3 h y 30 min para asegurar una buena saturación del papel con los indicadores (**Figura 4B-7**). Transcurrido ese tiempo, las tiras reactivas se sacan, se separan y se ponen sobre papel de filtro para que sequen durante 30 min a T^a ambiente (~27 °C) (**Figura 4C-8**), cubriéndolas con papel fino para evitar que se contaminen. Una vez secas, se cortan en cuadrados (~1 cm x 1 cm) y se distribuyen en círculo sobre una placa Petri (**Figura 4C-9**). El papel indicador ya está listo para medir el pH de diferentes disoluciones, dispensando con un cuentagotas unas cuantas gotas de la disolución a medir sobre el papel (**Figura 4C-10**).

FABRICACIÓN DE PAPEL INDICADOR A PEQUEÑA ESCALA

Antes de la fabricación del papel indicador, se prepararon disoluciones reguladoras de pH, tampón Britton-Robinson (TBR), de valores de pH comprendidos entre 2 y 12 que serán utilizadas para la estandarización de la escala cromática de pH sobre el papel. Estas disoluciones mantienen un valor de fuerza iónica constante en el intervalo de pH empleado y valores ajustados de pH constante que estabi-

lizan los sistemas indicadores involucrados, asegurando la validación de la metodología por comparativa con la tira reactiva comercial y por la medida potenciométrica del pH. Para alcanzar valores de pH extremos, más ácidos y más alcalinos, se utilizaron disoluciones de HCl 1 M y NaOH 1 M, respectivamente.

Para la preparación de las disoluciones tampón, se parte de disoluciones en concentración 0,4 M de los siguientes ácidos: acético ($\text{CH}_3\text{-COOH}$), fosfórico (H_3PO_4) y bórico (H_3BO_3), mezclando 10 mL de cada ácido en un vaso de precipitados que se diluyen hasta un volumen próximo a los 100 mL (~90 mL) y se ajusta al pH deseado con disoluciones de hidróxido sódico (NaOH) de diferente concentración (1 M, 100 mM y 10 mM y, en caso necesario, se utilizarían más diluidas al aproximarse al pH deseado). La **Figura 5** recoge los resultados obtenidos en la medida potenciométrica del pH de las disoluciones TBR preparadas y la representación de la medida del potencial vs pH. Se puede observar la excelente correlación entre ambas magnitudes ($R^2 = 1,0000$) que sigue la ecuación de Nernst: $E = E^\circ + (2,3 \text{ RT/nF}) \log [\text{H}^+] = 414,3 - 56,68 \text{ pH}$, donde el valor de la pendiente equivale al 95,7% de la pendiente teórica (59,2 mV).

En la **Figura 6** (que incluye el recordatorio de los virajes de los indicadores empleados), se muestran las imágenes obtenidas de la disolución de InU, no neutralizada (**Figura 6A**) y de la disolución InU diluida con las tiras de papel sumergidas (**Figura 6B**), donde se observa la impregnación del papel con los componentes de la disolución mezcla de indicadores que se desplaza por capilaridad, mojando el papel. En las **Figuras 6C** y **6D**, se muestra el aspecto de las tiras al final del periodo de inmersión y una vez secas, respectivamente. Por último, la **Figura 6E** muestra el color del papel indicador fabricado a cada valor de pH de las disoluciones TBR, HCl y NaOH (más detalles en la leyenda de la **Figura 6**), junto a la escala cromática de pH obtenida, siendo bastante fiel a la escala cromática de pH comercial, excepto para el pH alcalino fuerte (nº 13), donde no se observa el color morado de la escala, sino azul, hecho atribuible a la formación de la especie FFOH^{3-} por hidrólisis, produciéndose la decoloración de la fenolftaleína impregnada en el papel (**Figura 6F**).

Las pequeñas diferencias cromáticas observadas se pueden atribuir al papel de filtro normal utilizado como soporte (en vez de un papel Whatman nº 1, estandarizado y neutro), el cual no ha recibido ningún tratamiento previo, el de no haber neutralizado la disolución de partida con NaOH y a la composición de la propia disolución de indicador universal, no en cuanto a los indicadores que son los mismos, pero sí al resto de los

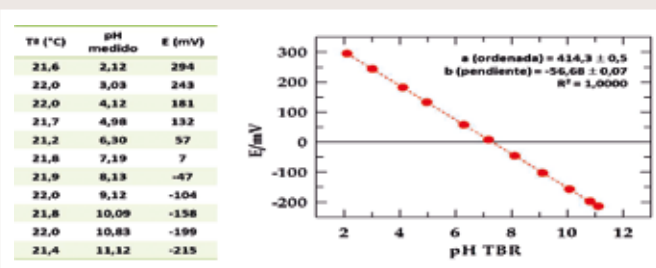


Figura 5. Medida potenciométrica de las disoluciones tampón Britton-Robinson preparadas a diferentes pH entre los valores de 2 y 12. (Creación propia).

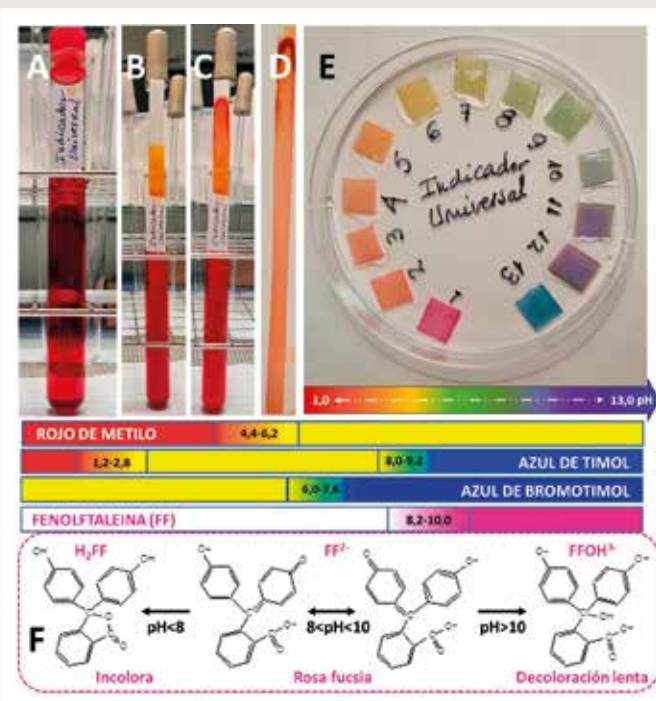


Figura 6. (A) Indicador Universal preparado con la mezcla de los indicadores rojo de metilo, azul de timol, azul de bromotimol y fenolftaleína en etanol al 98% como disolvente. (B) Obtención de la tira reactiva al modificar el papel con el indicador mezcla por inmersión y capilaridad. (C) Aspecto de la tira reactiva al final de la modificación. (D) Papel indicador de pH: tira reactiva seca. (E) Papel indicador mojado con unas gotas de disolución tampón Britton-Robinson de valores de pH entre 2 y 12 (ver Tabla en Figura 5 para los valores medidos de pH de las disoluciones tampón preparadas en ese intervalo de pH). Para alcanzar pH más ácidos y más alcalinos se emplearon disoluciones de HCl 1M (nº 1) y NaOH 1M (nº 13), respectivamente. (F) Especies predominantes de la fenolftaleína en función del pH. (Creación propia).

componentes. Por tanto, se debe considerar que no se ha añadido el bisulfito sódico como conservante y que el disolvente es etanol (disolución alcohólica para una mayor rapidez de secado, $T_{\text{Peb}} 78^\circ\text{C}$), en vez de una disolución hidroalcohólica con 1-propanol ($T_{\text{Peb}} 97^\circ\text{C}$).

ESCALA CROMÁTICA DE PH CON PIGMENTOS NATURALES

El binomio antocianidinas/antocianinas son los pigmentos naturales causantes de la espectacular coloración en muchas flores y verduras. Los precursores del color, las antocianidinas, son compuestos fenólicos que se combinan con mono-, di- o tri-sacaridos para formar, a través de enlaces β -glucosídico, moléculas más complejas llamadas antocianinas¹⁰. En la **Figura 7**, se muestran los experimentos realizados con las dos muestras seleccionadas: flor de azalea y lombarda, cuyas antocianidinas son la pelargonidina y la cianidina, respectivamente (**Figura 7A**), en su forma de catión flavilio, con indicación de los grupos hidroxilo por donde se establece el enlace β -glucosídico con los sacáridos para generar las antocianinas.

Para la extracción de los pigmentos asistida por ultrasonidos, US, se aplicaron dos métodos: uno suave y otro agresivo, cuyas condiciones se describen con detalle en la propia leyenda de la **Figura 7**. Cuando el tratamiento es suave y la lombarda es fresca, al añadir el TBR de diferentes valores de pH inmediatamente sobre alícuotas del extracto, se obtiene una escala cromática con una variación de colores que va desde el fucsia (medio ácido fuerte) al amarillo (medio alcalino fuerte), pasando por el violeta (medio ácido débil), azul (medio neutro y ligeramente alcalino) y verde (medio alcalino débil) (**Figura 7B**). Sin embargo, se puede observar que no son estables, tanto el extracto con la lombarda (decoloración al rosa) como las disoluciones de los extractos con TBR en medio alcalino (decoloración al amarillo por la formación de chalcona), donde el catión flavilio sufre el ataque nucleofílico del agua y se

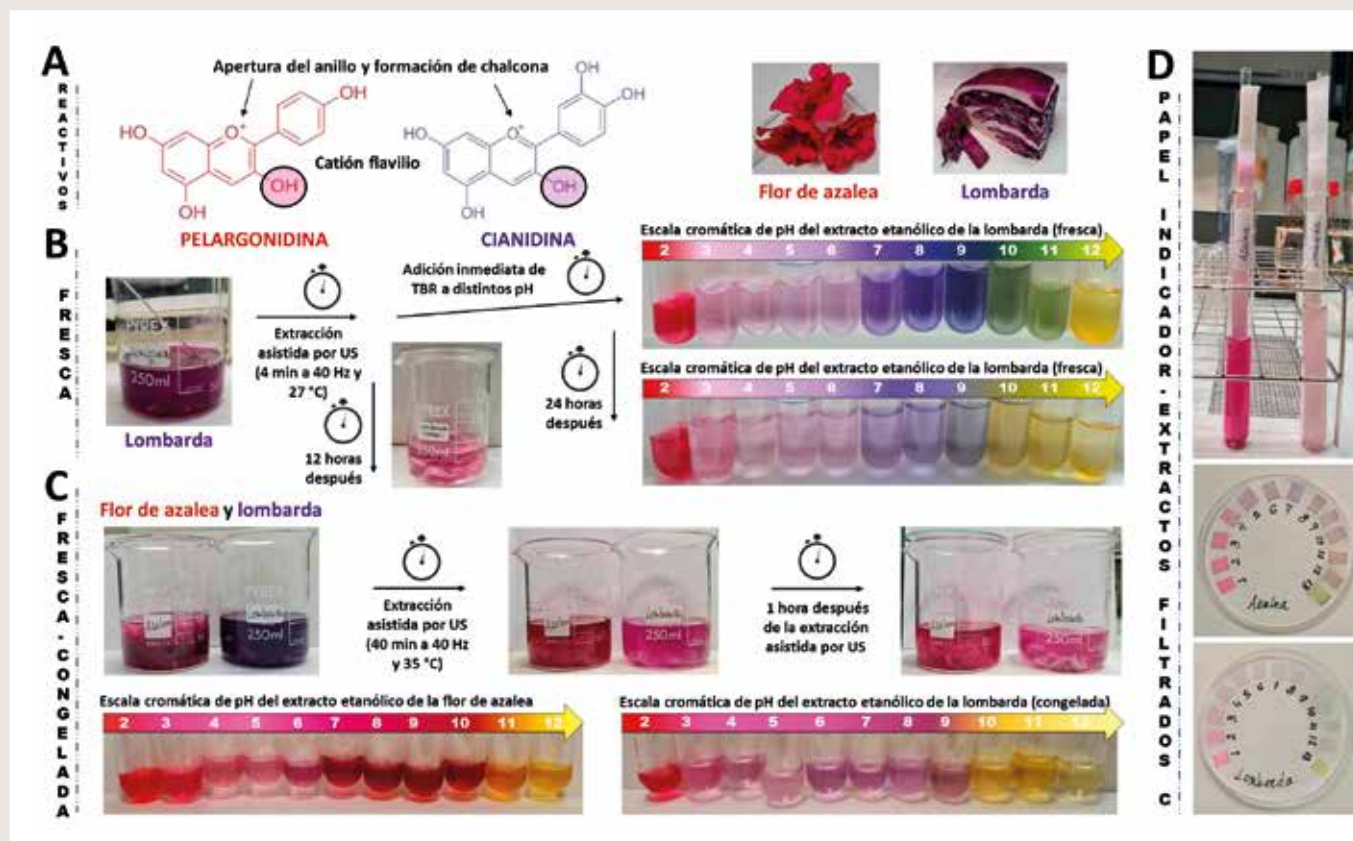


Figura 7. (A) Estructuras de antocianidinas (en su forma de catión flavilio), precursoras de las antocianinas (los enlaces β -glucosídicos se establecen por los grupos hidroxilo marcados con círculo) y muestras (~10 g): flor de azalea y lombarda. (B) Lombarda fresca (troceada y triturada) en medio etanol (100 mL) que se somete a un proceso de extracción asistida por ultrasonidos (4 min a 40 Hz y 27 °C), se reparte en alícuotas y se añade inmediatamente TBR a distintos pH para obtener la escala cromática de pH. Debajo, aspecto de la muestra en medio etanólico después de 12 horas y de la escala cromática de pH transcurridas 24 h. (C) Muestras de flor de azalea (fresca) y lombarda (congelada) en medio etanólico antes, inmediatamente después y transcurrida 1 h de la extracción asistida por ultrasonidos (40 min a 40 Hz y 35 °C). Debajo, escalas cromáticas de pH obtenidas con los extractos filtrados de cada muestra, al añadir TBR de diferentes valores de pH. (D) Fabricación del papel indicador con los extractos filtrados de azalea (fresca) y lombarda (congelada) obtenidos en C (método agresivo) y escala cromática de pH. (Creación propia).

produce la apertura del anillo; los extractos permanecen estables en medio ácido, donde predomina el catión flavilio^{10, 11} (representado en la **Figura 7A**).

Por el contrario, cuando el tratamiento es agresivo y se parte de lombarda congelada o de flor de azalea fresca (**Figura 7C**), la escala cromática obtenida para cada uno de ellos es muy similar con la formación, desde el inicio, de la forma chalcona amarilla en medios alcalinos, pero diferente al de la lombarda fresca y extracción suave (**Figura 7B**), permaneciendo los extractos a los diferentes valores de pH estables durante mucho más tiempo (aproximadamente, una semana). Además, al comparar las escalas cromáticas de los extractos en disolución (**Figura 7C**) con los del papel indicador fabricado con cada extracto (**Figura 7D**), se observa que la sensibilidad para detectar los cambios de color por el observador es menor en el papel, presentando una menor gama de colores que la obtenida con el papel InU (**Figura 6E**).

SENSORES PARA LA MEDIDA DEL pH Y DE OTROS PARÁMETROS

Hoy en día, el uso del papel indicador o de tiras reactivas para medir el pH y otros parámetros forman parte de la vida cotidiana y ayudan a obtener información inmediata, fiable y barata. Un buen ejemplo es el amplio abanico de tiras reactivas que existen en el mercado para medir los parámetros de control de calidad del agua.

PARÁMETROS DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA DE PISCINAS Y SPAS

Diariamente y, sobre todo en la época del baño, es imprescindible el seguimiento de los parámetros de control de la calidad del agua de piscinas y spas; es decir, se debe determinar el pH y cloro total, como los más frecuentes, pero también otros parámetros como la dureza del agua (contenido en calcio y magnesio), el contenido de bromo y cloro libre, la alcalinidad (capacidad amortiguadora del agua para neutralizar ácidos) y, el eterno olvidado y muy importante, el ácido cianúrico, compuesto que estabiliza al cloro y evita que éste actúe inmediatamente. Abordar la explicación detallada de cada uno de estos sensores, aunque interesante, se saldría del tema de este artículo, centrado en el pH y en el papel indicador.

Por tanto, para la medida del pH en este caso concreto, no sería necesario el empleo del InU que proporciona múltiples

virajes en una amplia ventana de pH. Se busca un indicador ácido-base, cuyo pKa sea del orden al valor del pH ideal del agua dedicada al baño (pH ~ 7,5), y que proporcione un viraje nítido para el observador al valor de pH ideal. Ambas cualidades las presenta el indicador rojo fenol (pKa = 7,6), siendo la forma ácida de color amarillo (si el pH < pKa), pasando por el color naranja (pH $\approx$ pKa), y la básica de color rojo (si el pH > pKa).

La **Figura 8** muestra un modelo comercial, donde las tiras reactivas (**A**) pueden dar lectura simultánea de los seis parámetros de control de calidad del agua mencionados, la escala cromática de colores para cada parámetro en (**B**) con la estimación de la cantidad presente en ppm y la medida del valor del pH, utilizando el indicador rojo fenol, cuyo equilibrio ácido-base se muestra en (**C**). Por último, en (**D**), se ofrecen dos ejemplos de la medida de esos parámetros en el agua de una piscina. La medida 1 indica un buen mantenimiento del agua, con todos los parámetros dentro del intervalo ideal; mientras que la medida 2 muestra un agua blanda (bajo contenido de calcio y magnesio), elevado contenido de cloro y bromo, la no presencia de ácido cianúrico y la baja alcalinidad. El único parámetro que se encuentra en los márgenes ideales es el valor de pH.

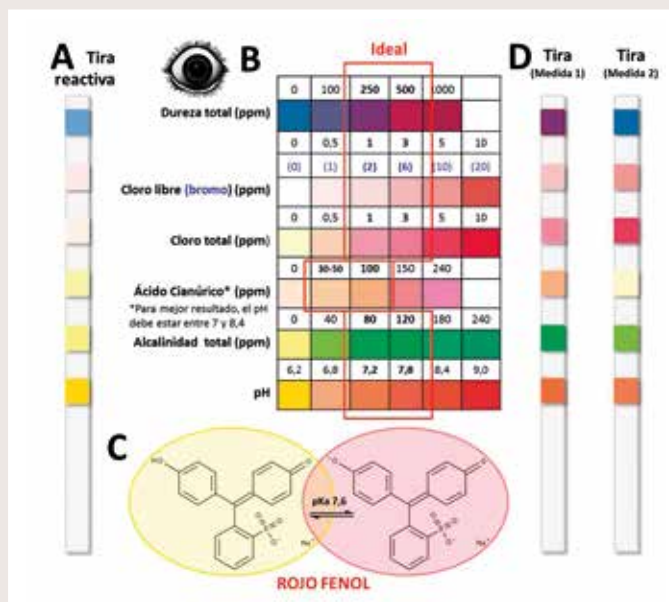


Figura 8. Parámetros de control de calidad del agua en piscinas y spas. (A) Tira reactiva comercial para la medida de seis parámetros de control en el agua: dureza total, cloro libre y bromo, cloro total, ácido cianúrico, alcalinidad total y pH. (B) Escala cromática de lectura de contenidos de cada parámetro con indicación de las condiciones ideales. (C) Equilibrio ácido-base del indicador rojo fenol. (D) Ejemplos de medida del agua de una piscina en diferentes momentos (leer texto para su interpretación). (Creación propia).

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha demostrado la versatilidad que ofrecen los sensores químicos, como herramienta analítica barata y rápida, en la detección y cuantificación de especies a través de reacciones químicas específicas, confiriendo la sensibilidad y selectividad necesarias en el análisis. En concreto, se ha demostrado la facilidad de fabricación del papel indicador de pH, parámetro de control clave en muchas áreas (alimentos, salud y medioambiente), con el empleo de indicadores ácido-base, pero también se han mostrado otras escalas cromáticas de pH obtenidas a partir de flores y vegetales, utilizando con éxito la extracción asistida por ultrasonidos para obtener los pigmentos naturales (antocianinas) que son la fuente del color. Los experimentos presentados son muy fáciles de ejecutar, son muy didácticos para explicar el equilibrio ácido-base y nada peligrosos, lo que los hace idóneos para ser una guía práctica de implantación en colegios e institutos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la buena disposición y la gran generosidad de Pepe Lamas.

BIBLIOGRAFÍA

1. IUPAC, Pure and Applied Chemistry, Chemical sensors definitions and classification, Vol. 63, Nº. 9, pp. 1247-1250, 1991 <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1351/pac199163091247/pdf#:~:text=A%20chemical%20sensor%20is%20a,into%20an%20analytically%20useful%20signal> (acceso marzo 2025).
2. IUPAC, Compendium of Chemical Terminology, 5th ed. International Union of Pure and Applied Chemistry; Sensors, 2025. Online version 5.0.0, 2025. <https://doi.org/10.1351/goldbook.08872> (acceso marzo 2025).
3. Página web Carlsberg® <https://www.carlsberg.com/es-es/betterment-content-pages/ph-scale/> (acceso marzo 2025).
4. El PAIS digital, Alberto López, S. P. L. Sørensen, el bioquímico danés que nos familiarizó con el pH, 2018 https://elpais.com/elpais/2018/05/29/ciencia/1527575227_169068.html (acceso marzo 2025).
5. Sørensen, S. P. L. (1909). Enzyme Studies II. The Measurement and Meaning of Hydrogen Ion Concentration in Enzymatic Processes. From the book A Source Book in Chemistry, 1900-1950. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674366701.c12>.
6. Comité de Actividades Comunitarias de la Sociedad Americana de Química (ACS). División de Educación. La edición de Celebrando la Química de "Los Químicos Celebran la Semana de la Tierra" (CCEW), La química del papel, CCEW 2019 <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/outreach/celebrating-chemistry/2019-ccw-celebrating-chemistry-spanish.pdf>
7. Yamada, Jap. Pat. 99,664, Feb. 21, 1933 (through Chem. Abstr., 28, 2258 (1934)).
8. Foster, L. S.; Grunfest, I. J. (1937). Demonstration experiments using universal indicators. Journal of Chemical Education. 14 (6): 274. DOI: <https://doi.org/10.1021/ed014p274>
9. Nice Universal Indicator Solution <https://www.labkafe.com/blog/universal-indicator-what-is-it-why-do-we-need-it-and-how-to-use-labkafe/> (acceso marzo 2025).
10. Jaguey-Hernández, Y., and Castañeda Ovando, A.(2023). ¿Sabías que el color de muchas especies vegetales se debe a las antocianinas y sus interacciones? Con-Ciencia 10 (19): 1-4. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa3/issue/archive>
11. Rakić, V.; Rinnan, Å.; Polak, T.; Skrt, M.; Miljković, M.; Poklar Ulrih, N. (2019). pH-induced structural forms of cyanidin and cyanidin 3-O-β-glucopyranoside. Dyes and Pigments 165 (2019) 71-80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2019.02.012>

SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN EL SISTEMA SANITARIO:

REVISIÓN NARRATIVA SOBRE DESAFÍOS Y ESTRATEGIAS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

M^a José Ferreira Díaz¹, Juan Francisco Insua Esmorís-Recamán²

¹ M^a José Ferreira Díaz PhD. Escuela de Enfermería, Universidad de Santiago de Compostela. Máster en Gestión Sanitaria. Profesora en Grado de Enfermería de Gestión Sanitaria. España.

² Juan Francisco Insua Esmorís-Recamán. Subdirector de Recursos Económicos da Área Sanitaria de Lugo, A Mariña e Monforte de Lemos. España.

RESUMEN

Introducción: El cambio climático representa una amenaza creciente para la salud pública y plantea retos sin precedentes para los sistemas sanitarios. Paradójicamente, el sector salud también contribuye de forma significativa al calentamiento global, con una huella ambiental documentada que exige respuestas urgentes y coordinadas.

Objetivo: Analizar críticamente la literatura científica sobre el impacto ambiental del sistema sanitario y las estrategias de mitigación y adaptación implementadas, con énfasis en su aplicación en distintos niveles de gestión.

Método: Revisión narrativa basada en literatura científica y documentos institucionales, publicada entre 2015 y 2024. Se consultaron bases de datos como PubMed, Scopus y fuentes de la OMS y el Ministerio de Sanidad. Se aplicaron principios de transparencia metodológica y se analizaron 42 documentos clasificados por nivel de gestión.

Resultados: Se identificaron las principales fuentes de emisiones del sector salud (energía, transporte, cadena de suministro, residuos), así como experiencias de reducción de impacto a nivel macro (políticas públicas), meso (gestión hospitalaria) y micro (práctica clínica). Persisten barreras estructurales, normativas y culturales que dificultan una transición ecológica integral del sistema sanitario.

Conclusión: La sostenibilidad ambiental debe integrarse como eje transversal en la gobernanza sanitaria. Es necesario reforzar los sistemas de medición, inversión y evaluación del impacto ecológico en todas las escalas del sistema asistencial, con una perspectiva de justicia climática.

Palabras clave: Cambio climático; Servicios de salud; Sostenibilidad ambiental; Huella de carbono; Gestión sanitaria; Adaptación al cambio climático.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático constituye una de las principales amenazas para la salud pública global en el siglo XXI. El aumento de las temperaturas, la mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, la contaminación del aire y la pérdida de biodiversidad afectan directamente a la salud humana y suponen un desafío creciente para los sistemas sanitarios (Watts *et al.*, 2022; Ministerio de Sanidad, 2021). De forma paradójica, el propio sector sanitario, cuyo propósito es proteger y mejorar la salud de las personas, contribuye de forma significativa a la crisis climática a través de su huella ecológica.

Según Health Care Without Harm (2019), el sistema sanitario global es responsable del 4,4 % de las emisiones netas de gases de efecto invernadero, una cifra superior a la de la mayoría de los países. Estas emisiones derivan fundamentalmente del consumo energético de las instalaciones, la cadena de suministro médico-farmacéutico, la movilidad asociada a la atención sanitaria y la generación de residuos clínicos (Eckelman *et al.*, 2020).

A su vez, el cambio climático provoca un aumento en la incidencia de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, patologías infecciosas emergentes, trastornos de salud mental y situaciones de vulnerabilidad social que impactan sobre la equidad en salud (Romanello *et al.*, 2021; IPCC, 2023). Así, el sistema sanitario se enfrenta a una doble presión: reducir su

propio impacto ambiental y adaptarse a los efectos del calentamiento global sobre la salud de la población (OMS, 2021).

En respuesta a esta realidad, instituciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud y entidades como Health Care Without Harm han impulsado estrategias para descarbonizar el sistema sanitario y promover una transición hacia modelos asistenciales ambientalmente sostenibles (HCWH, 2021; WHO, 2021). En el ámbito europeo y español, se han desarrollado planes nacionales y autonómicos que abordan esta cuestión desde diferentes niveles de gestión: político-estratégico (macrogestión), organizativo (mesogestión) y clínico-operativo (microgestión).

Este artículo tiene como objetivo revisar críticamente la literatura científica y técnica disponible sobre el impacto ambiental del sistema sanitario en el contexto del cambio climático, identificando las principales fuentes de emisiones, las estrategias de mitigación y adaptación implementadas, así como las barreras estructurales que limitan su desarrollo. La revisión pretende ofrecer una visión estructurada de las respuestas posibles desde los distintos niveles del sistema sanitario, contribuyendo así a consolidar una cultura institucional comprometida con la sostenibilidad ecológica y la justicia climática.

2. METODOLOGÍA

Esta revisión narrativa, con enfoque cualitativo, se desarrolló entre abril y mayo de 2025. Se utilizaron bases de datos científicas (PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar) y fuentes institucionales (OMS, HCWH, IPCC, Ministerio de Sanidad).

Se incluyeron documentos publicados entre 2015 y 2024, en inglés o español, que abordaran explícitamente la relación entre el sistema sanitario y el cambio climático, la sostenibilidad ambiental en salud, o estrategias de mitigación institucional. Se aceptaron artículos científicos (originales, de revisión), informes técnicos de organismos oficiales, guías normativas y planes estratégicos institucionales.

Se excluyeron artículos sin revisión por pares, publicaciones sin acceso completo, literatura exclusivamente divulgativa o periodística sin respaldo técnico, documentos duplicados o sin relevancia temática directa con los objetivos del estudio.

Se organizaron los hallazgos en tres niveles de análisis:

Macrogestión: políticas públicas y marcos institucionales.

Mesogestión: gestión organizativa en hospitales y centros.

Microgestión: prácticas clínicas sostenibles en unidades asistenciales.

La revisión se estructuró en tres niveles de gestión sanitaria (Figura 1), lo que permitió analizar de forma diferenciada las estrategias de sostenibilidad según su escala de aplicación.

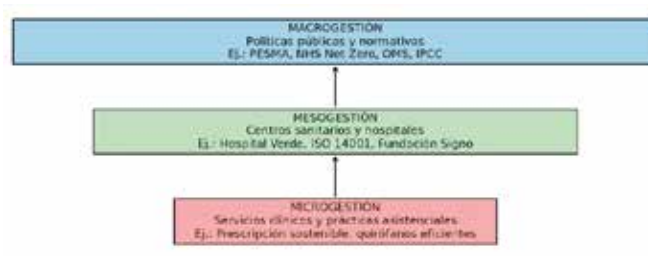


Figura 1: Niveles de gestión del sistema sanitario y ejemplos de estrategias de sostenibilidad ambiental aplicadas.

Fuente: Elaboración propia.

Aunque no se siguieron las directrices PRISMA de forma estricta, se adoptaron sus principios de transparencia. El Anexo 1 recoge los 42 documentos revisados, incluyendo aquellos no citados directamente pero fundamentales para el análisis. La composición de los 42 documentos revisados, por tipo de fuente, se representa en la Figura 2.

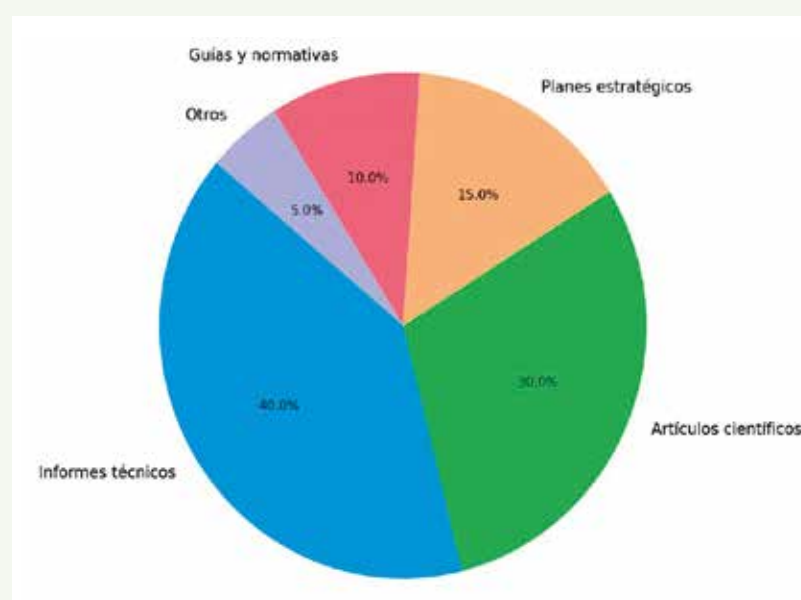


Figura 2: Distribución de los tipos de documentos revisados.

Fuente: elaboración propia.

3. RESULTADOS

3.1. MACROGESTIÓN: POLÍTICAS PÚBLICAS Y ESTRATEGIAS INSTITUCIONALES

A nivel macro, organismos internacionales como la OMS han liderado la agenda de sostenibilidad sanitaria, definiendo la acción climática como una prioridad para la protección de la salud global (OMS, 2021). En su informe para la COP26, la OMS propuso un conjunto de recomendaciones para gobiernos que incluyen la incorporación de criterios ambientales en los sistemas de salud, la promoción de energías limpias y la reducción de emisiones derivadas del sector.

Las principales fuentes de emisiones del sistema sanitario se resumen en la Tabla 1, diferenciando su responsabilidad entre niveles macro, meso y micro.

El informe *Health Care's Climate Footprint* (HCWH, 2019) puso en evidencia que el sector salud es responsable del 4,4 % de las emisiones netas globales de gases de efecto invernadero. Este hallazgo ha motivado el desarrollo de iniciativas como la campaña Race to Zero y la hoja de ruta global para la descarbonización de la atención sanitaria (*Global Road Map for Health Care Decarbonization*, HCWH, 2021).

En Europa, el NHS de Inglaterra lanzó en 2020 su plan *Delivering a Net Zero National Health Service*, con objetivos concretos para alcanzar la neutralidad en carbono en 2040

(NHS England, 2020). España, por su parte, publicó el Plan Estratégico de Salud y Medioambiente (PESMA), que establece 13 líneas de acción para integrar criterios ambientales en la política sanitaria nacional (Ministerio de Sanidad, 2021).

Pese a estos avances, persisten barreras estructurales importantes: la falta de financiación específica para sostenibilidad, la escasa integración intersectorial, la desigual aplicación territorial de las políticas, y la ausencia de indicadores ambientales normalizados que permitan evaluar el impacto de las medidas adoptadas (IPCC, 2023; Watts *et al.*, 2022).

3.2. MESOGESTIÓN: ESTRATEGIAS INSTITUCIONALES EN HOSPITALES Y CENTROS SANITARIOS

En el nivel meso, hospitales y centros de salud han comenzado a aplicar políticas concretas de sostenibilidad, especialmente en eficiencia energética, gestión de residuos, compras sostenibles y movilidad.

Algunos centros destacan por integrar la sostenibilidad en su modelo de gestión. El Hospital Sant Joan de Déu de Barcelona ha incorporado la evaluación del impacto ambiental en su cuadro de mando integral y ha creado un comité ambiental multidisciplinar (Fundación Signo, 2023). La Generalitat Valenciana impulsa desde 2023 el *Programa Hospital Verde*,

TABLA 1
FUENTES DE EMISIONES DEL SISTEMA SANITARIO

Fuente de emisión	Descripción	Nivel de responsabilidad
Energía en edificios	Calefacción, refrigeración, iluminación	Macro / Meso
Cadena de suministro	Fármacos, material médico, logística	Macro / Meso
Transporte	Ambulancias, vehículos de personal y pacientes	Macro / Micro
Residuos sanitarios	Generación y tratamiento	Macro / Micro
Productos químicos	Anestésicos, gases fluorados	Micro
Nota: Adaptado de Eckelman <i>et al.</i> (2020) y HCWH (2019).		

implementado en Xàtiva-Ontinyent, que incluye medidas de eficiencia energética, movilidad activa, uso responsable del agua y reducción de residuos (Generalitat Valenciana, 2024).

Las certificaciones ambientales como la norma ISO 14001 y el sistema EMAS han sido adoptadas por diversos hospitales europeos como instrumento de mejora continua. A través de ellas se promueve una gestión ambiental sistemática y alineada con estándares internacionales.

El informe de HCWH Europe (2021) recoge múltiples casos de éxito en hospitales del continente, demostrando que la sostenibilidad puede generar beneficios clínicos, económicos y reputacionales.

Sin embargo, la implantación generalizada sigue limitada por la ausencia de incentivos específicos, la falta de indicadores homogéneos y la percepción de que la sostenibilidad es una responsabilidad secundaria frente a los objetivos asistenciales.

3.3. MICROGESTIÓN: PRÁCTICAS SOSTENIBLES EN SERVICIOS CLÍNICOS Y ASISTENCIA SANITARIA

En el nivel micro, los profesionales sanitarios han empezado a implementar buenas prácticas ambientales en el día a día asistencial. La sostenibilidad operativa está presente en múltiples aspectos: prescripción racional, gestión eficiente de materiales, ahorro energético y formación a pacientes en hábitos sostenibles.

Destacan iniciativas como la revisión del impacto ambiental de inhaladores de dosis medida, que generan emisiones de gases fluorados. Sherman *et al.* (2019) propusieron priorizar dispositivos con menor huella climática sin comprometer la eficacia clínica. La elección de alternativas sostenibles en fármacos y dispositivos médicos representa una estrategia factible y escalable.

Barraclough *et al.* (2022) han documentado experiencias de reducción de la huella hídrica y energética en unidades de diálisis, mediante tecnologías de recirculación, monitorización de consumo y uso responsable de agua y electricidad. Estas iniciativas se están expandiendo en entornos hospitalarios de Europa, Canadá y Australia.

Otras acciones incluyen la racionalización del uso de papel y plásticos, el rediseño de circuitos asistenciales para reducir desplazamientos innecesarios, y la incorporación de criterios ambientales en la toma de decisiones clínicas (HCWH, 2023; Canadian Coalition for Green Health Care, 2020).

Un factor determinante es la implicación activa de los equipos asistenciales. Unidades que promueven comités verdes,

indicadores ambientales locales y formación interna logran mejores resultados. A pesar de ello, persisten barreras como la falta de tiempo, formación específica, y el escaso reconocimiento institucional.

4. DISCUSIÓN

Los hallazgos de esta revisión evidencian que el sistema sanitario, tradicionalmente considerado un sector pasivo ante el cambio climático, ha comenzado a asumir un papel activo tanto como víctima como actor contribuyente al fenómeno. Esta dualidad plantea la necesidad de abordar la sostenibilidad ambiental no como un añadido, sino como un eje estructural de la gobernanza sanitaria.

En el plano de la **macrogestión**, se observan avances relevantes. La existencia de planes nacionales como el PESMA en España (Ministerio de Sanidad, 2021) y el Net Zero del NHS en Inglaterra (NHS England, 2020) muestra una creciente sensibilidad política hacia la descarbonización del sistema de salud. No obstante, su implementación efectiva se ve dificultada por la falta de financiación específica, la escasa articulación con otras políticas (transporte, energía, educación), y la debilidad de los sistemas de medición del impacto ambiental.

A nivel **organizativo (mesogestión)**, los hospitales y centros sanitarios han demostrado capacidad de innovación e impulso de iniciativas sostenibles. La integración de criterios ambientales en las compras, el diseño de infraestructuras y la gestión energética es una línea de actuación sólida (HCWH Europe, 2021). Sin embargo, la generalización de estas prácticas requiere un marco normativo más claro, sistemas de acreditación o certificación que otorguen valor a las buenas prácticas, y mecanismos de evaluación y comparación entre centros.

En la escala **micro**, los servicios clínicos y los profesionales de salud emergen como agentes clave. La prescripción sostenible, la eficiencia en el uso de recursos clínicos y la formación ambiental al paciente son herramientas concretas para reducir el impacto de la atención directa (Sherman *et al.*, 2019; Barraclough *et al.*, 2022). Sin embargo, estas prácticas siguen viéndose como iniciativas individuales o voluntaristas, sin respaldo estructural ni incentivos asociados a la calidad asistencial. La falta de reconocimiento institucional y la invisibilidad de estas acciones dentro de los modelos de evaluación del desempeño son barreras relevantes.

Una limitación transversal identificada es la **ausencia de indicadores ambientales homogéneos** y de acceso público. Mientras que la eficiencia clínica cuenta con métricas con-

solidadas, los aspectos ambientales de la atención sanitaria carecen de parámetros comparables entre territorios o centros. Esta invisibilidad limita tanto la acción como la exigencia de rendición de cuentas.

Desde una perspectiva crítica, se constata que la sostenibilidad ambiental en salud continúa siendo una dimensión infrarrepresentada en los planes de estudio, los sistemas de gobernanza y los modelos de financiación sanitaria. En contextos de crisis económica o alta demanda asistencial, los objetivos ambientales tienden a diluirse frente a las urgencias inmediatas. Ello pone en evidencia la necesidad de **integrar la sostenibilidad ambiental como un principio ético y profesional**, parte inseparable de la calidad y la seguridad del paciente.

Finalmente, la literatura consultada señala la conveniencia de adoptar un enfoque sistémico e intersectorial, que supere la fragmentación entre políticas sanitarias, ambientales, urbanísticas y económicas. Avanzar hacia una sanidad climáticamente responsable no es solo una cuestión técnica, sino cultural y política. Supone revisar los valores que sostienen el sistema y repensar su misión a largo plazo.

5. CONCLUSIONES

Esta revisión narrativa ha evidenciado que el sistema sanitario tiene una huella ambiental considerable, pero también un potencial transformador único para liderar la respuesta institucional frente al cambio climático. La sostenibilidad ambiental no puede ser entendida como un objetivo accesorio o complementario, sino como una dimensión central de la calidad asistencial, la ética profesional y la planificación sanitaria a largo plazo.

Los hallazgos recopilados permiten identificar **cinco líneas prioritarias de acción**:

1. **Liderazgo institucional:** Los sistemas sanitarios deben adoptar marcos regulatorios ambiciosos y vinculantes, como los del NHS británico o el PESMA en España, acompañados de inversión específica y una gobernanza orientada a resultados ambientales medibles.
2. **Medición y transparencia:** Es urgente establecer indicadores ambientales comparables, públicos y auditables, que permitan evaluar la huella ecológica del sistema sanitario y facilitar la rendición de cuentas a nivel político y técnico.
3. **Innovación organizativa:** Los centros sanitarios deben incorporar criterios de sostenibilidad en la toma de decisio-

nes estructurales, desde las compras hasta el diseño de procesos. Las certificaciones ambientales y la digitalización sostenible son herramientas estratégicas para este fin.

4. **Empoderamiento profesional:** Los equipos asistenciales necesitan formación, tiempo y reconocimiento para desarrollar prácticas clínicas sostenibles. Incluir la dimensión ambiental en la formación sanitaria y en los sistemas de calidad es clave para activar su compromiso.
5. **Visión ecosistémica:** La salud está determinada en gran parte por factores ambientales y sociales. Por tanto, la acción climática en salud requiere coordinación intersectorial con políticas de movilidad, vivienda, energía y alimentación.

La transición ecológica del sistema sanitario no será automática ni neutra: exigirá decisiones políticas valientes, una redefinición de prioridades institucionales y un cambio cultural profundo. Pero también representa una oportunidad histórica para repensar el modelo sanitario desde valores de sostenibilidad, equidad y justicia climática.

El compromiso del sector salud con el planeta es también un compromiso con las personas. Integrar la sostenibilidad ambiental en la lógica asistencial es una responsabilidad ética ineludible y una condición necesaria para proteger la salud global del presente y del futuro.

ANEXO 1. DOCUMENTOS REVISADOS

Autor / Año	Tipo de documento	Nivel de gestión	Aporte principal
Health Care Without Harm (2019)	Informe técnico internacional	Macro	Cuantifica el impacto climático global del sector salud.
Eckelman <i>et al.</i> (2020)	Artículo científico original	Macro	Contaminación sanitaria y daños a la salud pública en EE.UU.
Watts <i>et al.</i> (2022)	Informe internacional (Lancet Countdown)	Macro	Impacto del cambio climático en la salud global.
Romanello <i>et al.</i> (2021)	Informe internacional (Lancet Countdown)	Macro	Relación entre crisis climática y sistemas de salud.
OMS (2021)	Informe especial COP26	Macro	Argumento sanitario para la acción climática.
Ministerio de Sanidad (2021)	Documento estratégico nacional	Macro	Plan español de salud y medioambiente.
IPCC (2023)	Informe científico intergubernamental	Macro	Síntesis sobre cambio climático y salud.
NHS England (2020)	Plan estratégico nacional	Macro	Hoja de ruta hacia una sanidad neta cero.
Fundación Signo (2023)	Informe técnico hospitalario	Meso	Buenas prácticas sostenibles en hospitales españoles.
Generalitat Valenciana (2024)	Programa autonómico	Meso	Iniciativa de hospital verde.
Barracough <i>et al.</i> (2022)	Artículo científico	Micro	Huella de carbono en servicios de diálisis.
HCWH Europe (2021)	Informe técnico europeo	Meso	Ejemplos de hospitales climáticamente inteligentes.
Sherman <i>et al.</i> (2019)	Artículo científico	Micro	Impacto ambiental de inhaladores.
Canadian Coalition for Green Health Care (2020)	Informe técnico nacional	Meso	Evaluación del sistema canadiense.
WHO & UNICEF (2020)	Informe técnico internacional	Macro	Agua, saneamiento e higiene en centros de salud.
PAHO (2021)	Informe regional	Macro	Salud y cambio climático en las Américas.
HCWH (2021)	Hoja de ruta internacional	Macro	Descarbonización del sistema sanitario.
Health Care Without Harm (2023)	Informe internacional	Macro	Premios a iniciativas climáticas en salud.
EU Climate-ADAPT (2021)	Portal europeo	Macro	Adaptación al cambio climático en sistemas de salud.
WHO (2021b)	Observatorio Mundial de Salud	Macro	Datos globales sobre salud y medioambiente.
IPCC (2022)	Informe de impactos y adaptación	Macro	Impactos del cambio climático y vulnerabilidad.
WHO (2015)	Marco operativo OMS	Macro	Sistemas de salud resilientes al clima.
PAHO (2017)	Resumen regional	Macro	Salud y cambio climático en las Américas.

Autor / Año	Tipo de documento	Nivel de gestión	Aporte principal
WHO (2018)	Ficha técnica	Macro	Relación entre cambio climático y salud.
Health Care Without Harm (2020) crisis	Informe técnico	Macro	Contribución del sector salud a la climática.
WHO (2019) aire	Hoja de ruta OMS	Macro	Respuesta global a los efectos del contaminado.
WHO (2020)	Guía de sostenibilidad	Macro	Infraestructura sanitaria resiliente al clima.
Karliner <i>et al.</i> (2019)	Informe técnico	Macro	Informe completo sobre huella climática del sector salud.
World Economic Forum (2022)	Informe global	Macro	Resiliencia y sostenibilidad del sistema sanitario.
WHO (2023)	Informe global sobre cambio climático y salud	Macro	Estrategias mundiales frente a la crisis climática.
PAHO (2018)	Marco estratégico regional	Macro	Cambio climático y salud en América Latina.
WHO (2022)	Serie sobre acción climática	Macro	Acción climática en sistemas de salud.
Health Care Without Harm (2022)	Documento técnico	Macro	Transición hacia hospitales verdes.
UNEP (2021)	Informe ambiental	Macro	Emisiones del sector salud y oportunidades de mitigación.
WHO Europe (2021)	Portal técnico	Macro	Recursos sobre sostenibilidad sanitaria.
PAHO (2019)	Ficha regional	Macro	Vulnerabilidades climáticas en salud.
WHO (2021c)	Informe de políticas	Macro	Integración del cambio climático en políticas de salud.
Health Canada (2021)	Estrategia de sostenibilidad	Macro	Acciones del sistema canadiense ante el cambio climático.
PAHO & WHO (2021)	Reporte conjunto	Macro	Evaluación de riesgos y estrategias sanitarias.
WHO (2020b)	Guía técnica	Macro	Recomendaciones para infraestructuras sanitarias sostenibles.
Karliner <i>et al.</i> (2021)	Informe HCWH	Macro	Evaluación global y propuestas de acción.
WHO (2016)	Informe europeo	Macro	Cambio climático y salud pública en Europa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Barraclough, K. A.; McAlister, S., & McGain, F. (2022). Assessing the carbon footprint of haemodialysis: A first step toward environmentally sustainable kidney care. *Journal of the American Society of Nephrology*. <https://www.researchgate.net/publication/362029855>
2. Canadian Coalition for Green Health Care. (2020). *The Green Health Care Report 2020*. <https://greenhealthcare.ca/wp-content/uploads/2021/06/The-Green-Health-Care-Report-2020-21.pdf>
3. Eckelman, M. J.; Huang, K.; Lagasse, R.; Senay, E.; Dubrow, R., & Sherman, J. D. (2020). Health care pollution and public health damage in the United States: An update. *Health Affairs*, 39(12), 2071-2079. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2020.01247>
4. Fundación Signo (2023). *Sostenibilidad en acción: Experiencias de hospitales verdes en España*. <https://www.fundacionsigno.com>
5. Generalitat Valenciana (2024). *Programa de Hospital Verde en Xàtiva-Ontinyent*. <https://xativaontinyent.san.gva.es/es/>
6. Health Care Without Harm (2019). *Health care's climate footprint: How the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action*. https://noharm-global.org/sites/default/files/documents-files/5961/HealthCaresClimateFootprint_092319.pdf
7. Health Care Without Harm Europe (2021). *Climate-smart health care in Europe: Examples from the field*. <https://europe.noharm.org/climate-smart-healthcare/resources>
8. Ministerio de Sanidad (2021). *Plan Estratégico de Salud y Medioambiente (PESMA)*. Gobierno de España. https://www.sanidad.gob.es/organizacion/planesEstrategias/pesma/docs/241121_PESMA.pdf
9. NHS England (2020). *Delivering a 'Net Zero' National Health Service*. <https://www.england.nhs.uk/greenernhs/wp-content/uploads/sites/51/2020/10/delivering-a-net-zero-national-health-service.pdf>
10. Organización Mundial de la Salud (2021). *COP26 Special Report on Climate Change and Health: The Health Argument for Climate Action*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240036727>
11. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
12. Romanello, M.; McGushin, A.; Di Napoli, C.; Drummond, P.; Hughes, N.; Jamart, L., ... & Watts, N. (2021). The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: Code red for a healthy future. *The Lancet*, 398(10311), 1619-1662. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01787-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01787-6)
13. Sherman, J. D.; McGain, F.; Lem, M.; Mortimer, F.; Jonas, W. B.; MacNeill, A., ... & Chung, J. W. (2019). Environmental sustainability in anesthesia: A review of the literature and recommendations for practice. *Anesthesia & Analgesia*, 128(5), 882-893. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000003668>
14. Watts, N.; Amann, M.; Arnell, N.; Ayeb-Karlsson, S.; Belesova, K.; Boykoff, M., ... & Costello, A. (2022). The 2022 report of the Lancet Countdown on health and climate change: *Health at the mercy of fossil fuels*. *The Lancet*, 400(10363), 1619-1654. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01540-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01540-9)
15. World Health Organization (2021). *COP26 Special Report on Climate Change and Health: The Health Argument for Climate Action*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240036727>

MARCANDO RUMBO AL “PLANETA TRADUCCIÓN”

TRADUCCIONES DE CALIDAD A TRAVÉS DE TECNOLOGÍAS PROFESIONALES APLICADAS A LA FORMACIÓN DEL ALUMNADO DEL GRADO EN TRADUCCIÓN E INTERPRETACIÓN

Liliana Valado

Universidade de Vigo.

Vocal en AEN / CTN 174 para “Servicios de Traducción”, Aenor-UNE/ISO ORCID: 0000-0002-4259-8819

RESUMEN

Calidad es un concepto que se puede exigir de todo producto que vaya a ser comercializado. La definición en abstracto del mismo no es compleja: la Real Academia Española (RAE) recoge en su acepción primera que es la “la propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor” (RAE, 2025). No obstante, si la calidad es evaluada, la entrada tercera de la RAE indica que se trata de la “adecuación de un producto o servicio a las características especificadas” (RAE, 2025). La evaluación o el control de calidad de las traducciones profesionales se realizan siguiendo las especificaciones y los términos recogidos en las normas o estándares de calidad al respecto; en concreto, la Agencia Española de Normalización (AENOR) es el organismo que publica esos materiales en España.

En 2015, la antigua norma europea UNE EN 15038:2006 fue anulada y substituida por la actual UNE-EN ISO 17100:2015 “Servicios de traducción - Requisitos para los servicios de traducción”, versión oficial en castellano de la europea, cuya elaboración estuvo a cargo del comité técnico AEN / CTN 174 *Servicios de traducción*.

La norma internacional describe un servicio de traducción en tanto que proceso y “proporciona requisitos para los procesos primordiales, recursos y otros aspectos necesarios para la prestación de un servicio de traducción de calidad que

satisfaga las especificaciones aplicables” (ISO, 2015: 8). Y los requisitos para la consecución de esa calidad en la traducción se acuerdan previamente entre el proveedor de servicios de traducción (PST) y el cliente. Esta norma, en conjunto, acota, por una parte, las dimensiones de la calidad en traducción, describe, por otra, los factores de los que depende esa calidad y subraya inevitablemente la importancia que desempeñan estas partes en la obtención de la misma.

En el presente trabajo, nuestro, por lo tanto, una herramienta de elaboración propia a partir del DVD *¡Luces, teclado, traducción! Gestión de proyectos de traducción editorial* (Valado, [en prensa]), extraída del ámbito de la traducción profesional, la traducción editorial en concreto, es decir, las traducciones que van a ser objeto de publicación por una empresa editora. Esta herramienta emula el proceso (protocolo) de traducción especificado por la norma, pero la aplicación no está destinada al sector profesional, sino a la formación universitaria en traducción. En otras palabras, la consecución de la calidad en nuestro caso se restringe a su evaluación en el ámbito académico.

Para contextualizar las publicaciones de traducción editorial, marco rumbo hacia una travesía visual por la historia breve de las traducciones en gallego, mi “Planeta Traducción” particular; en concreto, analizo las cifras de publicaciones a raíz de los años ochenta, con la industrialización del sector editorial como variable protagonista, hasta el momento actual.

1. RUMBO AL “PLANETA TRADUCCIÓN”: TRAVESÍA DESDE 2014 HASTA ABRIL DE 2025

Pese a ser importante la labor realizada por los sectores sociales más activos en el mundo de la traducción, hasta 1980 no se hizo una planificación editorial que promoviese determinado tipo de obras y la mayor parte de los textos son el resultado del trabajo personal o colectivo de gente consciente de la necesidad de producir textos en gallego.

Francisco Lafarga & Luis Pegenaute (eds.)

Historia de la traducción en España

1.1. RUMBO AL “PLANETA TRADUCCIÓN”

El breve contexto que voy a exponer tras la activación del mercado editorial en gallego a partir de los años 80-90 (cf. Valado, 2012, p. 123-178) hasta el año analizado en este artículo (abril, 2025), expone datos cualitativos y cuantitativos correspondientes a los títulos traducidos publicados en gallego, desde 2014 hasta abril de 2025, con el fin de actualizar y completar el trabajo anterior. *¿Cómo se hace un libro traducido? ¿Y por qué los libros traducidos son más caros?* (Valado, 2025).

Los datos analizados se exponen en tablas que separan de manera independiente los títulos traducidos de editoriales de los de autores / editores, ya que esta dicotomía resulta interesante para analizar el comportamiento de los últimos respecto a los primeros, es decir, no solo la evolución de su volumen de publicación sino la naturaleza de esta.

1.2. TRAVESÍA DESDE 2014 HASTA ABRIL DE 2025

Para mostrar los datos mencionados, empiezo con la siguiente tabla en la que se contabilizan los títulos publicados en la última década.

Por una parte, a lo largo de la última década, se observa que el comportamiento de las traducciones a gallego publicadas por una empresa editorial es ascendente hasta 2023, ya que, hasta ese año, el número de títulos traducidos va en aumento, mientras que en 2024 desciende respecto a los años anteriores: en 2014 se publican 260 títulos traducidos, pero en 2023 se contabilizan 333. En otras palabras, en el último año, la publicación de traducciones sufrió una caída de 21,9% respecto al ejercicio previo. Con todo, hace 10 años el número de títulos era inferior; se publicaron 127 frente a los 260 de 2024. Esto representa un ascenso de 48,8% en los últimos diez años. La cifra de 2025 es parcial, debido a que solo se dispone de los datos hasta abril (cuatrimestre primero).

Por otra parte, en el caso de las traducciones publicadas por autor / editor, las cifras son muy inferiores a las citadas, pero el dato interesante lo aporta la naturaleza de la persona que traduce, es decir, no solo coincide que el autor es también editor, sino que también ejerce de traductor en la mayoría de los títulos. Como ejemplo, el último libro traducido desde gallego en el último cuatrimestre de 2025 (28 de marzo), bajo el título *Caleidoscopio de poesía escrita por mujeres*, traducido por Olivia Yerovi Verano y Artemisa Semedo, y publicado por la primera, en Madrid. En este caso, no consta la autoría, ni la lengua original.

A continuación, el número de títulos traducidos de gallego a otras lenguas ha ido ligeramente en ascenso durante la primera parte de la década, pero en descenso durante la siguiente, aunque en 2024 ha remontado el índice de publicaciones. De hecho, en 2024 se han publicado 64 traducciones frente a las 48 de 2014; lo que implica una subida de 75% en la última década. Al igual que en la columna de las traducciones a gallego, el año 2020 supuso un descenso en el número de títulos publicado, posiblemente debido a que fue el año de la pandemia por COVID.

Para finalizar esta tabla, las cifras de traducciones desde gallego a otras

TABLA 1
PRODUCCIÓN TRADUCIDA EN GALLEGO,
POR NÚMERO DE TÍTULOS (2014 - ABRIL, 2025)¹

	Traducciones a gallego de editorial	Traducciones a gallego de autor/editor	Traducciones de gallego de editorial	Traducciones de gallego de autor/editor
2014	127	6	48	1
2015	140	12	71	1
2016	160	9	69	5
2017	191	19	51	12
2018	181	14	85	8
2019	260	6	51	5
2020	248	7	34	6
2021	303	3	68	1
2022	293	6	54	4
2023	333	4	51	4
2024	260	9	64	4
2025 ¹	70	2	7	1

¹ Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de DILVE / Plataforma ISBN.

lenguas, publicadas por autor / editor, representan un número menor a las anteriores. Al igual que en el caso de las traducciones a gallego, publicadas por autor / editor, también se observa coincidencia del autor, con el editor y el traductor. Por anecdótico, resalto el dato referente al título *Outlet* (2015), bajo autoría y edición de Juan Carballo ("Roble" en castellano) García, cuya traducción a inglés es responsabilidad de John Oak ("Juan Roble" en inglés).

Como balance, gráficamente las líneas trazadas tienen trayectoria ascendente - descendente, que, en el caso de las traducciones hacia gallego, demuestran una evolución menos progresiva en los últimos cinco años; desarrollo semejante al de las traducciones de gallego a otras lenguas, pero con un número de títulos drásticamente inferior, tal y como se muestra a continuación.

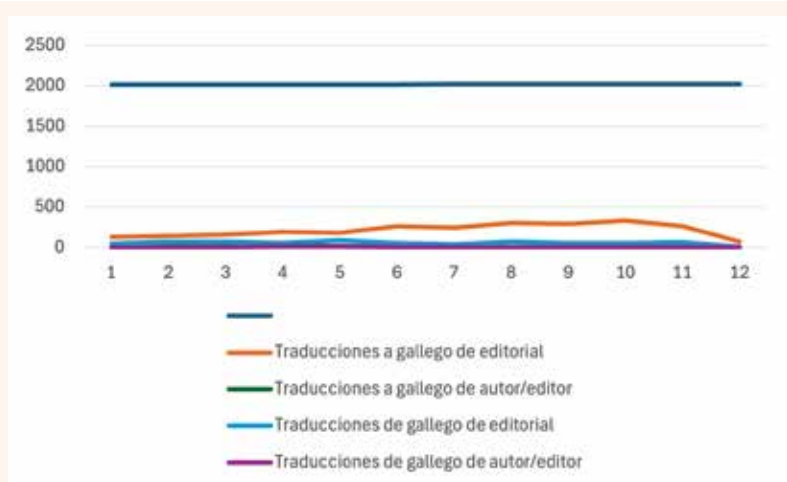


Gráfico 1: Producción traducida en gallego, por número de títulos (2014 - abril, 2025)²

2. PUBLICAR TRADUCCIONES: ¿QUÉ PUEDEN USTEDES LEER EN GALLEGO?

Pese a ser importante la labor realizada por los sectores sociales más activos en el mundo de la traducción, hasta 1980 no se hizo una planificación editorial que promoviese determinado tipo de obras y la mayor parte de los textos son el resultado del trabajo personal o colectivo de gente consciente de la necesidad de producir textos en gallego.

Francisco Lafarga & Luis Pegenaute (eds.)

Historia de la traducción en España

² Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de DILVE / Plataforma ISBN.

³ <https://ns.editeur.org/thema/es>

2.1. PUBLICAR TRADUCCIONES

Para mostrar qué libros traducidos a gallego pueden adquirir en un punto de venta, en la consulta voy a utilizar, tal y como me apuntó la Agencia Española del ISBN, el sistema internacional empleado por esta, es decir, la clasificación de materias por códigos Thema³, ya que Thema es el sistema de clasificación más actual. El sistema iBIC está obsoleto (Valado, 2025, p. 191).

En otras palabras, lo que leen es abreviado y estandarizado mediante unos códigos comerciales compuestos por letras y cifras que facilitan y agilizan la comercialización del libro:

El objetivo de Thema es mejorar la comercialización del libro, impreso o digital, aumentando las posibilidades de descubrimiento de títulos en entornos online o físicos, tanto en mercados locales como internacionales.

Con los códigos de materia Thema se puede indicar la temática de una publicación de manera muy precisa y detallada, de forma que puede ser interpretada correctamente en cualquier entorno independientemente del idioma u otros aspectos culturales locales. (ISBN [https://agenciaisbn.es/web/info_editoriales.php]. Última consulta: 24/5/2025)].

2.2. ¿QUÉ PUEDEN USTEDES LEER TRADUCIDO EN GALLEGO?

El análisis sobre qué se traduce en gallego demuestra que el índice más importante de publicaciones lo protagoniza la traducción para educativa, es decir, la traducción de libro de texto y de literatura infantil y juvenil. La razón por la que se publica un número tan elevado de títulos de libro de texto no es otra que la necesidad derivada de la educación obligatoria en lengua gallega, es decir, se trata de lecturas por estudios (cf. Valado, 2025):

O marco xurídico que perfila a presenza do galego no ensino -causa directa na edición creada e traducida de materiais educativos- establécese en 1980 co Estatuto de autonomía de Galicia, que afirma no seu artigo 5 que "A lingua propia de Galicia é o galego", así como a súa cooficialidade, xunto co castelán, no territorio galego, amais de que "todos teñen o dereito de os coñecer e de os usar".

Ao mesmo tempo, o seu artigo vinte e sete establece que a promoción e o ensino da lingua galega lle corresponden como competencia exclusiva á Comunidade autónoma. Durante a primeira

lexislatura do Parlamento de Galicia (1981-1985), a lingua galega é lexislada pola Lei de normalización lingüística de Galicia (xuño de 1983) e aplicada ao ensino polo Decreto 135/1983.

De feito, constatamos que a partir da década dos anos 80, a introdución do galego no ensino supuxo unha activación do mundo editorial. En concreto, redactábanse libros de texto de autoría galega ao tempo que esta tipoloxía textual tamén comezou a traducirse. Non podemos rematar a descrición da panorámica editorial da década dos oitenta sen mencionar o fenómeno da literatura infantil e xuvenil que, xunto coa produción de libro de texto, é o ámbito temático que experimentou un crecemento cualitativo e cuantitativo. Nesta liña, as editoriais incluíron nos seus catálogos coleccións e títulos deste xénero, así como tamén

crearon premios literarios co fin de promover esta literatura (cf. Valado, 2012, p. 106-152).

En paralelo, por lo tanto, el índice lector alto de literatura infantil y juvenil es causado por el mismo motivo: no son lecturas por ocio, sino por estudios. Y estos hábitos se han observado desde los años 80-90 hasta la pandemia. Con todo, parece que a partir de la pandemia (2020) el índice lector se ha elevado y sigue consolidade desde entonces. De hecho, según el *Barómetro de hábitos de lectura y compra de libros en España, 2024*, el 65,5% de la población lee libros por ocio (Ministerio de Cultura, 2025 [<https://www.cultura.gob.es/actualidad/2025/01/250122-barometro-habitos-lectura.html>]. Última consulta: 21/5/2025)).

En conjunto, para visualizar la evolución de cuáles son los principales libros que pueden ustedes leer en gallego en la última década, con el fin de completar los datos presentados en Valado (2012, 2025), muestro la siguiente tabla empleando el mismo criterio temporal que para la anterior, como resultado de las materias Thema correspondientes: código YF para Ficción infantil / Ficción juvenil e historias reales y código YP para Material educativo.

En esta década, la traducción de literatura infantil y juvenil a gallego representa un volumen mayor respecto a la traducción de material educativo.

Como conclusión, la traducción paraeducativa es la que reúne el mayor número de títulos publicados hasta la actualidad, así que esas materias traducidas son las que se pueden adquirir con mayor probabilidad en una librería en Galicia, tal y como se puede visualizar en el gráfico.

TABLA 2
LIBROS PUBLICADOS, TRADUCIDOS A GALLEGO,
POR MATERIAS PRINCIPALES (2014 - ABRIL, 2025)⁴

	Ficción infantil / Ficción juvenil e historias reales (YF)	Material educativo (YP)
Traducciones a gallego por editorial	1084	214
Traducciones a gallego por autor/editor	7	2
Traducciones de gallego por editorial	288	5
Traducciones de gallego por autor/editor	5	3

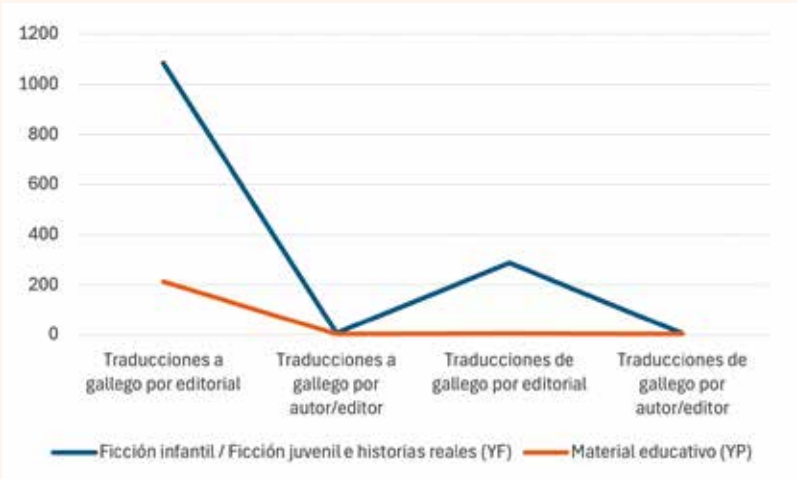


Gráfico 2: Libros publicados, traducidos a gallego, por materias principales (2014 - abril, 2025)⁵

3. ¿CÓMO SE OBTIENEN TRADUCCIONES DE CALIDAD MEDIANTE APLICACIONES INFORMÁTICAS?

Eleanor Roosevelt once said that an elephant could only be viewed in full if it were surrounded. This idea can be applied to my concept of translation as a process,

⁴Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de DILVE / Plataforma ISBN.

⁵Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de DILVE / Plataforma ISBN.

which I introduce here to present the framework that underlies my contribution, i.e., I advocate for teaching translation using the lessons learnt from the profession.

Liliana Valado

An Overview of a New Focus on TQA: Translation Error Detection Method (Tedemet)

3.1. ¿CÓMO SE OBTIENEN TRADUCCIONES EDITORIALES DE CALIDAD?

Si al principio de este trabajo definía el término “calidad”, en este punto procede la definición de traducción editorial:

Academic references regarding translation as a professional practice, are not widespread, except for those I refer to in my dissertation topic by the contemporary leading experts Christiane Nord, Daniel Gouadec, Juliane House, Brunette Louise, or Silvia Parra, amongst others.

I define editorial translation as a translation modality to which published products by a publishing person-agent are subjected, depending on the technical characteristics of the process applied to these products from the translation assignment to the publication of the final delivered product. In this sense, quality shall depend on the appropriate development of the phases in this procedure. These phases, at the same time, are going to be subjected, to a larger or lesser extent, to the profiles of each agent taking part in the chain, as well as to the circumstances in which the translation assignment takes place.

And here I have to include not only translation but also revision, proofreading and editing understood as phases of my publishing translation process to ensure quality of the final product. Editorial translation as a process is therefore defined by the phases that the publishing chain imposes. Thus, translation processes must be adapted to the publishing sector when an original text is subjected to a publishing chain until the delivered text is obtained. (Valado, 2011, p. 265).

En traducción editorial, la cadena del libro (“chain”) engrana las diferentes fases a las que se somete el propio proceso de traducir. No obstante, tal y como apunta House (cf. House, 2009), las “traditional categories of error -selecting and sequencing linguistic units” no son de utilidad cuando se trata de la traducción editorial.

El argumento que hilvano en este punto es que la calidad depende de la revisión “that pays attention to all phases until the final product is reached. The revision criteria for the modalities that the process imposes, depending on the phases, must follow a detailed list so that there are operational parameters”. (Valado, 2011, p. 266).

Gracias a esta revisión adaptada a la calidad requerida en cada fase del proceso, se podrían resolver los problemas de traducción mediante la siguiente propuesta que se basa en un nuevo argumento teórico, probado como Modelo para evaluar la calidad traductológica [en inglés: Translation Quality Assessment Model (TQA Model)], que incluye una nueva definición del error en traducción.

3.2. TRANSLATION QUALITY ASSESSMENT MODEL: TQA MODEL

Debido a que trato de evaluar la calidad de las traducciones a las que se les aplica un proceso profesional en las editoriales, la propuesta para la detección de errores Translation Error Detection Method Theory (Tedemet) sería el método para “measuring the quality of any translation denoting a process, not only a final product, through translation action protocols. It can be regarded as a standard as long as it has a flexible nature, making it adaptable to be used in any translation process”. (Valado, 2011, p. 266).

Los principales parámetros que condicionan la calidad del proceso, así como la toma de decisiones previa por parte del traductor son la propia competencia de este agente y el volumen de traducción (número de caracteres, matrices, palabras, líneas, páginas):

In this sense, I propose the binomial competence-volume formula. Both factors, the translation competence of the translator and the translation volume are applied in order to help systematise the protocol. I am referring here to the timing of its different phases. Therefore, the competence-volume binomial needs to be defined before being transferred to the methodology for professionals. (Valado, 2011, p. 266).

En consecuencia, la secuenciación y distribución según el binomio competencia-volumen determinará la fecha de entrega de una traducción de calidad, tal y como se demostró en publicaciones anteriores en que diseñaba un protocolo para aplicar a las traducciones editoriales (v. Valado, 2011, 267-268).

Con todo, no puedo olvidar otro de los principales condicionantes en la calidad de los libros traducidos para editoriales, es decir, las políticas editoriales. Como resultado, el protocolo TQA Model evoluciona al modelo Quality Translation Policies (Qualitrapo).

3.3. QUALITY TRANSLATION POLICIES: QUALITRAPO

El protocolo de aplicación profesional basado en el binomio volumen-competencia tuvo una evolución al volver a analizar posteriormente el contexto de este (el subsector de la traduc-

ción editorial), es decir, la calidad buscada también depende de las políticas editoriales.

Como consecuencia, podemos enunciar el modelo Qualitrapo (Quality Translation Policies) que designa un modelo de utilidad-invencción que responde al protocolo de actuación en traducción editada en la búsqueda de calidad, condicionada por las políticas editoriales. Se trata de una invencción con número de asiento registral 03/2012/1644, en la Agencia de la Propiedad Intelectual y con la Universidad de Vigo, como titular cesionaria.

En resumen, el devenir hasta que finalmente se registró la declaración de invencción puede secuenciarse como sigue:

1. El origen surge de la experiencia profesional previa como traductora editorial.
2. El antecedente de la tesis en que proponemos dos protocolos de traducción editorial.
3. La aplicación didáctica en el aula del protocolo profesional.
4. La solicitud de declaración de invencción. (Valado, 2022, p. 102-103, 105-106).

Así, esta invencción proviene de la aplicación de una metodología profesional adaptada a las aulas universitarias en que imparto traducción editorial, ya que, tal y como argumento en este trabajo, ¡de aquella práctica, esta teoría!

La metodología se materializó en un DVD que consta de un medimetraje (22 minutos), titulado *¡Luces, teclado, traducción! Gestión de proyectos de traducción editorial. Fase 1: Del texto original al texto meta sin editar. Fase 2: Del texto meta editado a la producción del texto meta definitivo* [v. Valado (en prensa)].

En el DVD se describe con imágenes, a través de una voz en off, la cadena compuesta por las fases que sigue un libro traducido cuando va a ser publicado por una editorial: desde el encargo profesional al traductor por parte del editor hasta que se hace físicamente el libro (edición y posterior producción), se publica, distribuye y comercializa.

4. A MODO DE CONCLUSIÓN: RESULTADO TECNOLÓGICO APLICADO A LA FORMACIÓN ACADÉMICA EN TRADUCCIÓN

Dado que la tecnología es una herramienta irrenunciable para el traductor editorial en su jornada laboral, es necesario que la descripción audiovisual segmentada por fases de trabajo que se detalla en el DVD *¡Luces, teclado, traducción! Gestión de*

proyectos de traducción editorial [Valado (en prensa)] conste de un *software* que se diseñará según un diagrama de Gantt, metodología gráfica y visual más empleada en el sector de la gestión de proyectos de traducción (también existen otros como los gráficos PERT y CPM).

El diagrama de Gantt constaría, por una parte, de una gráfica con un eje de abscisas u horizontal que representaría el tiempo de ejecución de cada fase de traducción; por otra, un eje de ordenadas o vertical que muestra esas fases del trabajo de traducción, incluidas en el DVD.

Este gráfico puede realizarse tanto en papel como mediante la utilización de algún *software* específico para esto. Si se decide confeccionar el diagrama con un programa informático, se puede seguir la línea temporal de las fases de traducción engranadas en el DVD, que consta de un guion escrito. De ser así, las herramientas informáticas para diseñar diagramas de Gantt pueden clasificarse de tres formas: gratuitas o de pago, acceso de escritorio o *web* y herramientas de dibujo o de apoyo en la gestión de proyectos (el caso presentado).

Entre todas, destacan Microsoft Project (MSP), herramienta por excelencia para la gestión de proyectos, y Plunet, sistema de gestión orientado a proveedores de servicios lingüísticos y departamentos de traducción en empresas.

El DVD y la herramienta de gestión podrían estar albergados en un entorno *web* que los pudiese almacenar mediante *cloud computing* (“informática / computación en la nube”), espacio en red con multitud de posibilidades (por ejemplo, corpus paralelos de textos originales, traducidos y revisados almacenados en la nube cuyos datos se puedan procesar para extraer, por ejemplo, los errores recurrentes en la traducción editorial castellano-gallego) a la hora de gestionar las traducciones. La “computación en la nube”, es decir, la plataforma, puede dar acceso a varios servicios donde el usuario puede crear y distribuir aplicaciones como el modelo SaaS, la traducción *crowdsourcing* o la traducción colaborativa.

El método presentado en el DVD se ajusta a la traducción *crowdsourcing*, considero, ya que se lleva a cabo una traducción final mediante la intervención de varios agentes (traductor, revisor, corrector de pruebas...).

Este modelo podría ser, por lo tanto, de aplicación didáctica para formar al alumnado universitario del *Grado en Traducción e Interpretación*, al emplear una herramienta informática propia del mercado profesional de la traducción.



Anexo 1.

BIBLIOGRAFÍA

1. House, J. 2009. *Translation*. Oxford / New York: Oxford University Press. ISBN.
2. International Standard Book Number. [https://agenciaisbn.es/web/info_editoriales.php. Última consulta: 24/5/2025].
3. ISO. Organización Internacional de Normalización. 2015/A1 2017. *UNE-EN ISO 17100 Servicios de traducción. Requisitos para los servicios de traducción*. Madrid: Aenor.
4. Lafarga, F., & Pegenaute, L. (eds). 2008. *Historia de la traducción en España*. Alicante: Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes. [<https://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmc0p1h0> - Última consulta 23/05/25].
5. Ministerio de Cultura. [barometro-habitos-lectura.html]. Última consulta: 21/5/2025].
6. RAE. Real Academia Española. [<https://www.rae.es>. Última consulta: 20/5/2025].
7. Valado, L. [en prensa]. *¡Luces, teclado, traducción! Gestión de proyectos de traducción editorial*. (DVD). Vigo: Universidade de Vigo.
8. Valado, L. 2011. "An Overview of a New Focus on TQA: Translation Error Detection Method (Tedemet)". En Luna, A. et al. (ed.) *Translation Quality Assessment Policies from Galicia*. Berna: Peter Lang AG, 1989.
9. Valado, L. 2012. *Tradución na edición de libro de texto. Proposta de protocolo de actuación do castelán ao galego na procura de calidade*. Vigo: Universidade de Vigo.
10. Valado, L. 2022. "A calidade en tradución segundo a norma UNE-EN ISO 17100: 2015 e o modelo Qualitrapo: cara a novos perfís para o alumnado na formación universitaria". En Viceversa. Revista galega de tradución. Vol. 22, p. 97-106.
11. Valado, L. 2025. "¿Cómo se hace un libro traducido? ¿Y por qué los libros traducidos son más caros?". En Divulgación, Transferencia e Impacto Social de la Ciencia. Granada: Ediciones Profesionales de la Información.

ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS COMPUESTOS DE TIPO ANTOCIANINAS PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DE LOS ALIMENTOS MARINOS

Karla Hazel Ozuna-Valencia^{1*}, María de Jesús Moreno-Vásquez², Francisco Rodríguez-Félix¹, Enrique Márquez-Ríos¹, Miguel Ángel Robles-García³, Abril Zoraida Graciano-Verdugo², Santiago Pedro Aubourg-Martínez⁴

¹ Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos (DIPA), Universidad de Sonora. Hermosillo. Sonora. México.

² Departamento de Ciencias Químico Biológicas, Universidad de Sonora. Hermosillo. Sonora. México.

³ Centro de Investigación en Biotecnología Microbiana y Alimentaria, Departamento de Ciencias Básicas, Centro Universitario de la Ciénega, Universidad de Guadalajara, Ocotlán. Jalisco. México.

⁴ Instituto de Investigaciones Marinas, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Vigo. España.

RESUMEN

Los alimentos marinos son ricos en nutrientes pero altamente perecederos, por lo que se enfrentan a desafíos de oxidación y deterioro que limitan su vida útil. Las antocianinas son pigmentos naturales con actividad antioxidante que han surgido como alternativa sostenible a los antioxidantes sintéticos. Estas moléculas se obtienen de plantas, pueden proteger a los lípidos y a las proteínas de alimentos ricos en grasas como el salmón, atún o conservas enlatadas, facilitando la conservación de su calidad nutricional y sensorial. La aplicación de las antocianinas se extiende desde su uso como aditivos en alimentos a ser utilizadas como parte fundamental en envases. En ambos casos, las antocianinas protegen a los alimentos de los procesos de deterioro. Estas propiedades conservantes no solo pueden llegar a reducir el desperdicio, sino que también permiten obtener productos seguros y sostenibles.

Palabras clave: antocianinas, conservación, antioxidantes naturales, envases, alimentos marinos.

1. INTRODUCCIÓN

El consumo de alimentos marinos ha experimentado un notable aumento en los últimos años gracias a su elevado

valor nutricional, ya que aportan proteínas de alta calidad y ácidos grasos poliinsaturados omega-3, especialmente el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA) (Shalders *et al.*, 2022). Entre los componentes principales de estos productos, la fracción lipídica ocupa el tercer lugar en cuanto a su proporción y relevancia (Ahmed *et al.*, 2022). A nivel mundial, las especies de pescado graso más consumidas son salmón, atún, caballa, arenque, sardina, trucha y anchoa, todas ellas ricas en EPA y DHA, compuestos esenciales para el buen funcionamiento neurológico y cardiovascular del ser humano (Cámara *et al.*, 2021; Chamorro *et al.*, 2024; Molvermyr *et al.*, 2022).

Sin embargo, esta misma composición, alta en humedad, proteínas y ácidos grasos insaturados, convierte a los alimentos marinos en productos altamente perecederos. Se suelen clasificar como alimentos de vida útil corta, lo que exige la aplicación de métodos de procesamiento y conservación rigurosos para minimizar su deterioro, garantizar la seguridad del consumidor y reducir el desperdicio alimentario (Siddiqui *et al.*, 2024). De hecho, el deterioro comienza inmediatamente tras la cosecha o captura, al desencadenarse reacciones bioquímicas que afectan al sabor, la textura, el olor y el contenido nutricional del producto (Laorenza *et al.*, 2022). Estos cambios, resultado de la interacción entre

procesos bacterianos, enzimáticos y reacciones químicas, degradan las propiedades organolépticas, convirtiendo el pescado en un alimento poco aceptable para el consumidor (Kontominas *et al.*, 2021).

Una de las principales vías de deterioro es la degradación de lípidos. Ésta puede producirse por acción enzimática, tanto por enzimas presentes en el músculo como por enzimas bacterianas, o de manera no enzimática, donde los ácidos grasos poliinsaturados entran en contacto con oxígeno, luz o metales prooxidantes como el hierro (Bellucci *et al.*, 2022; Wu *et al.*, 2022). EPA y DHA son especialmente susceptibles a este ataque, y su oxidación genera compuestos secundarios volátiles que son los principales responsables de los sabores y olores característicos de la rancidez (Lin *et al.*, 2022). Entre las presentaciones más vulnerables destacan los filetes refrigerados y congelados, así como los productos en conserva (en agua, salmuera o aceites), donde las fases acuosas o lipídicas

facilitan la oxidación (Aubourg, 2023; Gómez-Limia *et al.*, 2021; Jiang *et al.*, 2022; Suárez-Medina *et al.*, 2024).

Para frenar estos procesos de degradación, se recurre al uso de antioxidantes. Tradicionalmente se han aplicado compuestos sintéticos (antioxidantes para alimentos) como BHA (butilhidroxianisol), BHT (butilhidroxitolueno) o TBHQ (ter-butilhidroquinona), en inmersiones, baños de marinado o directamente incorporados en la formulación de productos procesados (surimi, conservas o emulsiones) (Xu *et al.*, 2021). No obstante, crece el interés por controlar la oxidación con antioxidantes naturales, entre los que destacan las antocianinas, por su capacidad para capturar radicales libres y alargar la vida útil sin dejar residuos químicos ni alterar de forma negativa las propiedades sensoriales de los alimentos. Por ello, en este trabajo nos centraremos en destacar las estrategias para mejorar la calidad de los alimentos marinos al utilizar antioxidantes naturales como las antocianinas.

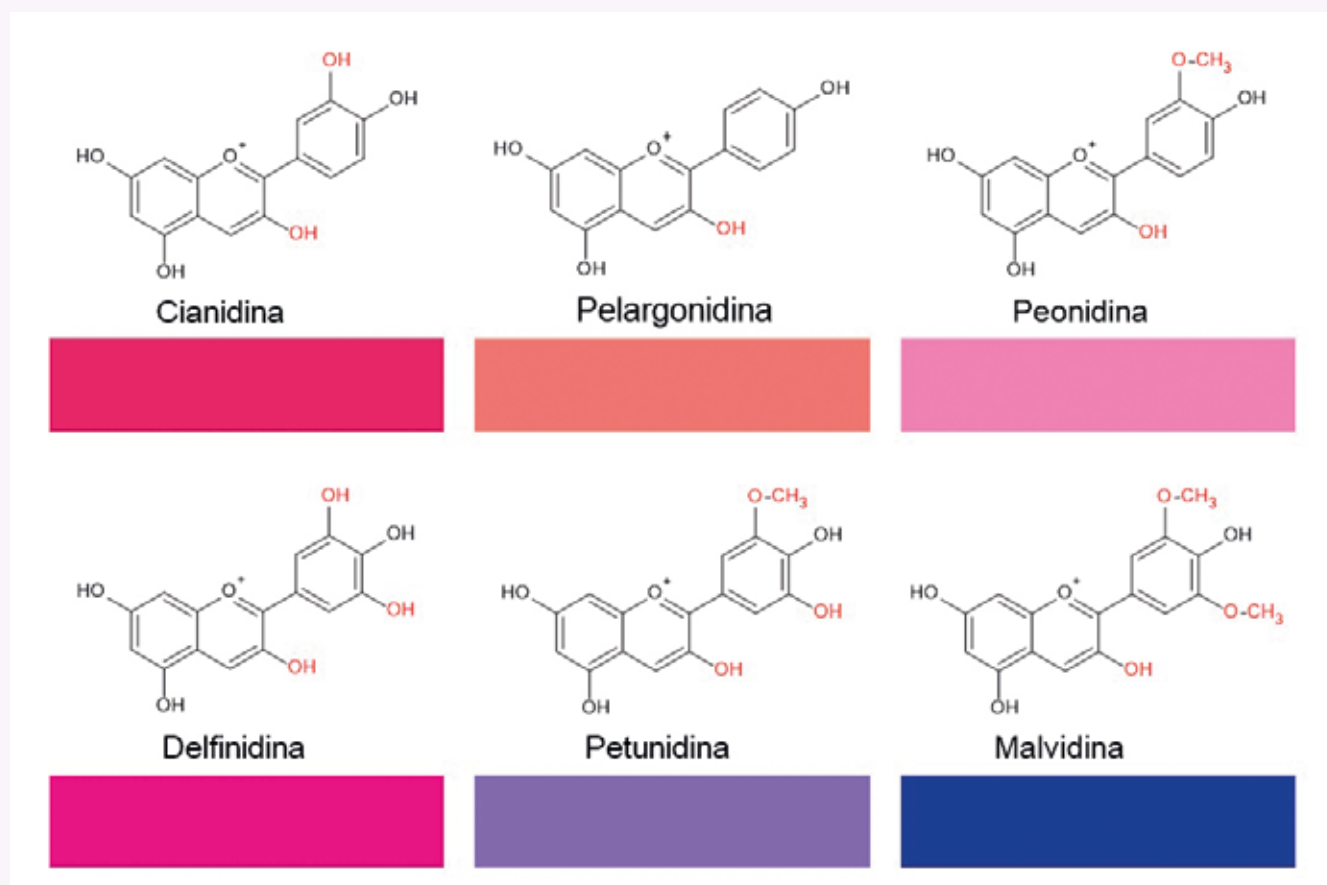


Figura 1. Estructuras químicas y colores característicos de las antocianinas principales. Imagen adaptada de Lakshmikanthan *et al.* (2024).

2. ASPECTOS GENERALES DE LAS ANTOCIANINAS

Las antocianinas son pigmentos naturales que se encuentran en las plantas y son responsables de las tonalidades rojas, moradas y azuladas que se observan en las frutas, verduras y flores (Alappat & Alappat, 2020; Gong *et al.*, 2021). Su presencia en las plantas es esencial para atraer a polinizadores y proteger a las plantas contra el estrés ambiental producido por la radiación ultravioleta (LaFountain & Yuan, 2021; Zhao *et al.*, 2021). Hasta la fecha se han identificado más de 700 estructuras diferentes, que generalmente, son solubles en agua, y cuentan con actividad antioxidante, antiinflamatoria e incluso antimicrobiana (Avula *et al.*, 2023; Cai *et al.*, 2022; Cerezo *et al.*, 2020). Estos atributos hacen que las antocianinas sean especialmente atractivas para aplicaciones en alimentos.

Entre las fuentes más ricas en antocianinas se encuentran los frutos rojos (arándanos, frambuesas, moras y cerezas), así como uva, berenjena, col morada y tubérculos pigmentados (camote y zanahoria morada), maíz morado, granos (arroz negro) y flores (Avula *et al.*, 2023; Guo *et al.*, 2022; Qi *et al.*, 2023; Taghavi *et al.*, 2022; Teixeira *et al.*, 2023; Xue *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2022). La concentración y el tipo de antocianinas presentes en estos alimentos pueden variar considerablemente en función de factores como la madurez del fruto, la exposición a la luz solar y las condiciones del suelo (LaFountain & Yuan, 2021; Zhao *et al.*, 2021). Esto provoca que los extractos presenten variaciones en cuanto a su actividad antioxidante y antimicrobiana.

Desde el punto de vista estructural, las antocianinas se basan en un núcleo llamado catión flavilio, que consta de tres anillos (dos bencénicos y uno heterocíclico) (Cai *et al.*, 2022). A este esqueleto básico se le pueden añadir diferentes grupos como hidroxilo (-OH), metoxilo (-CH₃) o simples átomos de hidrógeno (-H). Estas variaciones dan lugar a las diferentes antocianinas base como se observa en la Figura 1 (Zang *et al.*, 2022). Estos compuestos pueden presentar enlaces con azúcares, principalmente glucosa, galactosa o ramnosa, lo que da lugar a las antocianinas, mientras que las antocianidinas carecen de estos azúcares (Cai *et al.*, 2022; Petruskevicius *et al.*, 2023). En ocasiones estos azúcares pueden estar unidos a ácidos orgánicos como el ácido cafeico o el ácido málico (Petruskevicius *et al.*, 2023).

Una de las limitaciones que se encuentran al momento de trabajar con extractos de antocianinas se debe a la estabilidad. Factores como la temperatura, la luz, el oxígeno, los iones metálicos, el ácido ascórbico y las enzimas son responsables de la degradación de las antocianinas (Enaru *et al.*, 2021; Xue *et al.*, 2024). Esta degradación afecta directamente a la actividad de

las antocianinas. Sin embargo, los cambios de pH presentan variaciones en las tonalidades, donde en ambientes ácidos pueden ser rojas, mientras que en medios básicos tienden a ser azuladas (Xue *et al.*, 2024).

3. PROPIEDADES ANTIOXIDANTES DE LAS ANTOCIANINAS

El uso de antioxidantes es clave para preservar la calidad de los alimentos marinos. Estos compuestos evitan que las grasas se oxiden, lo que ayuda a mantener el sabor fresco, el aroma agradable y el valor nutricional del producto (Siddiqui *et al.*, 2024). A diferencia de los antioxidantes sintéticos, como el BHA o el BHT, las antocianinas ofrecen una alternativa natural que, además de ser efectiva, aporta beneficios adicionales para la salud (Lu *et al.*, 2021). En diversos estudios se ha comprobado que las antocianinas cuentan con propiedades antiinflamatorias, anticancerígenas, antidiabéticas, y antienvejecimiento; asimismo, han demostrado ser cardioprotectoras y neuroprotectoras (Câmara *et al.*, 2022; Tena *et al.*, 2020).

Las antocianinas destacan por su capacidad para neutralizar radicales libres, moléculas inestables que dañan las células y aceleran el deterioro de los alimentos (Kontominas *et al.*, 2021). Esta capacidad la consiguen donando electrones o átomos de hidrógeno, estabilizando así estas sustancias antes de que afecten a los lípidos del pescado (Sadowska-Bartosz & Bartosz, 2024; Tena *et al.*, 2020). Esta acción no solo retrasa el desarrollo de la rancidez, sino que también contribuye a mantener la textura y el color originales del producto (Bellucci *et al.*, 2022; Lin *et al.*, 2022). Otra ventaja es su habilidad para unirse a metales prooxidantes, como el hierro o el cobre, presentes en el propio alimento (Aubourg, 2023; Saini *et al.*, 2025). Estos metales actúan como catalizadores de la oxidación, pero al interactuar con las antocianinas, su efecto dañino se reduce. Estas son especialmente útiles en productos en conserva donde el contacto con metales es más probable (Aubourg, 2023).

Además, las antocianinas refuerzan las defensas antioxidantes naturales del alimento. Por ejemplo, potencian la actividad de enzimas como la superóxido dismutasa, que neutraliza compuestos oxidantes de forma interna (Manassis *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2022). Esto crea una barrera doble: por un lado, las antocianinas actúan directamente sobre los radicales, y por otro lado, estimulan mecanismos biológicos que protegen a las proteínas (Domínguez *et al.*, 2022; Wu *et al.*, 2022). Finalmente, estas moléculas ayudan a preservar los pigmentos naturales del tejido muscular de los alimentos marinos (Bellucci

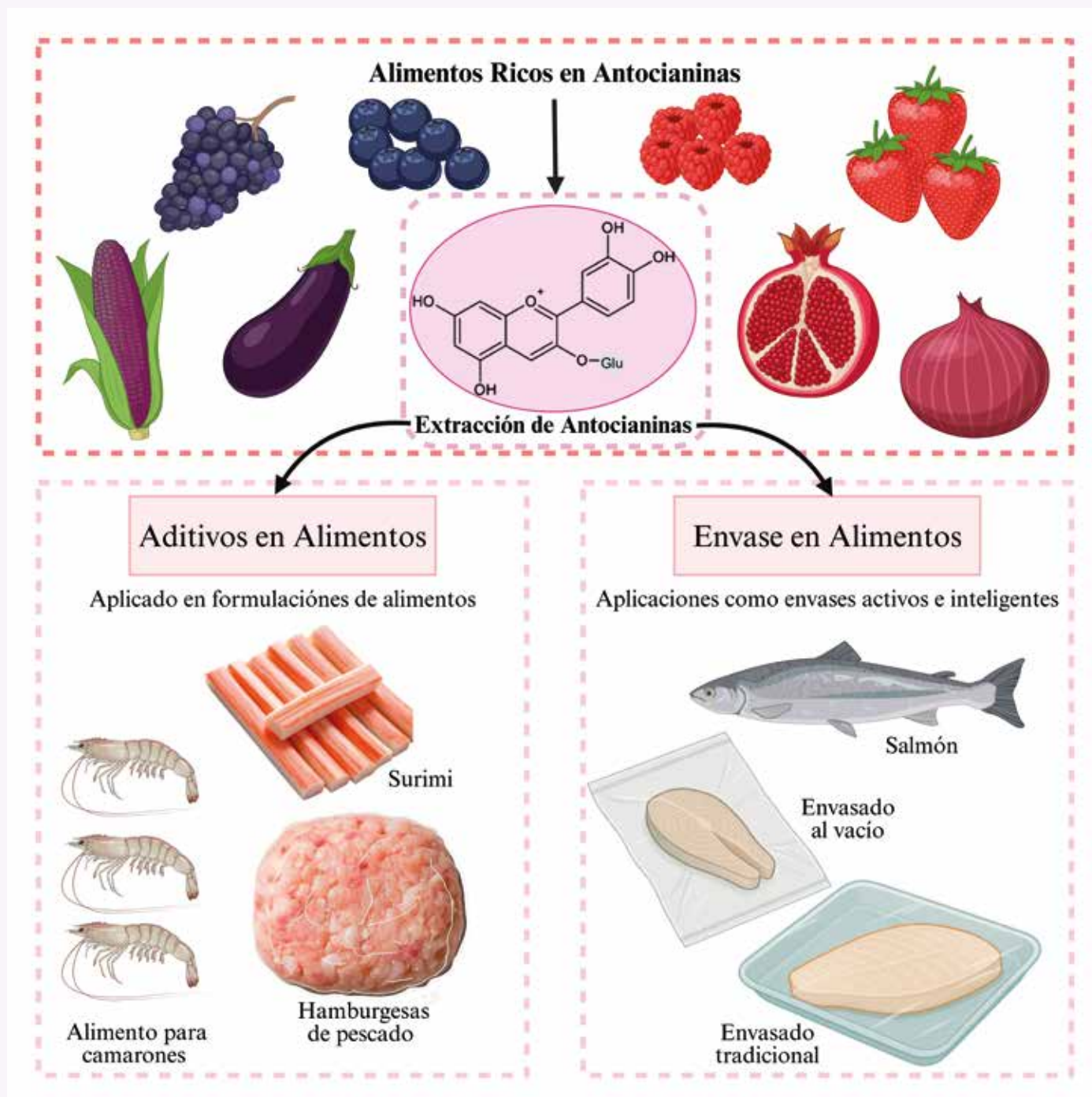


Figura 2. Uso de compuestos derivados de alimentos ricos en antocianinas en la conservación alimentaria.
Creada en BioRender por Ozuna, H. (2025) <https://BioRender.com/ftqqsoh>

et al., 2022; Lakshmikanthan *et al.*, 2024). La exposición a la luz ultravioleta durante la conservación puede alterar el color atractivo del pescado, pero las antocianinas pueden absorber parte de esa radiación, manteniendo una apariencia fresca durante más tiempo (Bellucci *et al.*, 2022). Estos efectos no solo alargan la vida útil del producto, sino que también favorecen su seguridad (Hadidi *et al.*, 2022; Manassis *et al.*, 2020).

La actividad antioxidante también se ve influida por los métodos de extracción. Existe una gran variedad de métodos que buscan maximizar el rendimiento sin dañar la actividad biológica. Por un lado, las técnicas tradicionales como la extracción con disolventes (agua o etanol) siguen siendo comunes por su simplicidad y bajo costo (Lakshmikanthan *et al.*, 2024). Por otro lado, los métodos innovadores como la extracción con radiación por ultrasonidos son ampliamente utilizados por reducir el tiempo de extracción y minimizar el uso de disolventes tóxicos (Saini *et al.*, 2025). Además, enfoques sostenibles como la extracción con enzimas es un método prometedor para aplicaciones en alimentos donde la pureza es esencial (Oladzabbasabadi *et al.*, 2022). El uso de técnicas rápidas como microondas son útiles para aplicaciones industriales (Nthimole *et al.*, 2024). Sin embargo, la elección del método de extracción depende tanto de la fuente vegetal como del uso final.

4. APLICACIÓN DE EXTRACTOS DE ANTOCIANINAS EN ALIMENTOS MARINOS

Las antocianinas han demostrado ser componentes versátiles para mejorar la calidad y seguridad de los alimentos marinos. Su uso se puede dividir en dos grandes enfoques: como aditivos naturales y como componentes de envases activos e inteligentes, cada uno con aplicaciones específicas y respaldadas por investigaciones recientes. En la Figura 2, se describen las distintas aplicaciones de las antocianinas en los alimentos marinos.

4.1. USO DE ANTOCIANINAS COMO ADITIVOS EN ALIMENTOS MARINOS

Los aditivos alimentarios son sustancias que se añaden a los productos para prolongar su vida útil, mejorar su apariencia o conservar su valor nutricional. Tradicionalmente, la industria marina ha recurrido a antioxidantes sintéticos como BHA y BHT, a pesar de que sus efectos están asociados a riesgos

para la salud humana, como posibles efectos carcinogénicos y acumulación de residuos químicos (da Silva *et al.*, 2022). Además, su uso enfrenta restricciones regulatorias y rechazo por parte de consumidores que demandan ingredientes naturales. En este contexto, los antioxidantes naturales, como las antocianinas, emergen como alternativas seguras y sostenibles.

Las antocianinas pueden añadirse a pescados, mariscos y productos procesados para combatir su rápido deterioro. En filetes de salmón o trucha, las antocianinas de grosella negra o arándano actúan como antioxidantes, protegiendo los ácidos grasos omega-3 (EPA y DHA) de la oxidación (Aubourg, 2021; Xiong *et al.*, 2025). Esto no solo preserva el valor nutricional, sino que también mantiene el color vibrante de los pescados, evitando que la luz ultravioleta degrade pigmentos como la astaxantina (Tayel *et al.*, 2021). En productos como hamburguesas de pescado, salchichas de pescado y surimi, los extractos de antocianinas reducen la aparición de sabores rancios, logrando una conservación similar a la de antioxidantes sintéticos, pero sin riesgos para la salud (Sharma *et al.*, 2022; Zengin *et al.*, 2025).

4.2. USO DE ANTOCIANINAS EN ENVASES PARA ALIMENTOS MARINOS

Los envases convencionales de plásticos, aunque son económicos y resistentes, generan graves problemas ambientales por su lenta degradación y liberación de microplásticos (Lin *et al.*, 2025). Como solución, la industria se plantea y presenta el uso de opciones biodegradables y funcionales, como los envases activos e inteligentes. Los envases activos contienen sustancias que interactúan con el alimento para retrasar su deterioro, ya sea liberando antioxidantes o inhibiendo el desarrollo de microorganismos (Ahmed *et al.*, 2022). Los envases inteligentes, incorporan sensores que informan sobre el estado del alimento, como cambios de color que alertan sobre su frescura (Janseerat *et al.*, 2024). Ambos tipos de envases suelen elaborarse con polímeros naturales, a base de proteínas o polisacáridos que son biodegradables, no tóxicos y compatibles con alimentos (Baranwal *et al.*, 2022).

Dentro de los envases elaborados con antocianinas se han aplicado en filetes de salmón, caballa, merluza y bagre (Chen *et al.*, 2021; Gasti *et al.*, 2021; Lim *et al.*, 2024; Nadi *et al.*, 2023; Qin *et al.*, 2024; You *et al.*, 2022). También se han utilizado para conservar camarones y mejillones, mejorando la calidad de estos al alargar su vida útil (Chen *et al.*, 2024; Ponnusamy

et al., 2024). Estos materiales no solo liberan antioxidantes que retrasan la oxidación, sino que también son biodegradables, lo cual es beneficioso debido a que permitirían mitigar la contaminación por microplásticos (Baranwal *et al.*, 2022). Además, los materiales utilizados en el envasado son aptos para su uso en alimentos, lo cual los hace seguros para la elaboración de envases comestibles (Gürdal & Çetinkaya, 2024).

5. PERSPECTIVAS FUTURAS

El uso de antocianinas como antioxidantes en alimentos marinos abre caminos innovadores, pero aún requiere superar desafíos clave para maximizar su potencial. Uno de los principales retos es mejorar su estabilidad en condiciones reales de procesamiento y conservación. Por ejemplo, en conservas esterilizadas a altas temperaturas o productos con alto contenido de sal, las antocianinas pueden degradarse rápidamente. Para resolverlo, técnicas como la encapsulación en materiales naturales están siendo investigadas para proteger estas moléculas y liberarlas gradualmente, manteniendo su actividad antioxidante sin alterar el sabor del alimento.

Otra oportunidad radica en combinar las antocianinas con otros antioxidantes naturales, como vitamina C, para potenciar el efecto antioxidante. Esta estrategia no solo podría potenciar la protección contra la oxidación de grasas en filetes de pescado o camarones, sino también reducir la cantidad necesaria de cada compuesto, minimizando posibles cambios de color no deseados. Además, la integración de antocianinas en dietas para acuicultura está ganando una atención creciente. En estudios preliminares se sugiere que incluir estos pigmentos en el alimento de salmones o truchas podría mejorar su resistencia al estrés oxidativo durante el cultivo, lo que a su vez preservaría la calidad nutricional del producto final.

En el ámbito de los envases, las investigaciones apuntan hacia materiales multifuncionales que no solo alarguen la vida útil, sino que también comuniquen información útil para el consumidor (grado de frescura). Además, el uso de residuos agroindustriales (cáscara de uva) para extraer antocianinas está siendo explorado como alternativa sostenible, reduciendo costes y aprovechando recursos que antes se desechaban. Sin embargo, para que estas aplicaciones lleguen a gran escala, es necesario estandarizar los métodos de extracción. También se requieren estudios a largo plazo para garantizar que las antocianinas no interactúen nega-

tivamente con otros ingredientes en alimentos procesados, como emulsionantes o conservantes. Aunque los desafíos son significativos, el futuro es prometedor.

6. CONCLUSIONES

Las antocianinas se posicionan como una solución innovadora y sostenible para los desafíos de preservación en la industria de alimentos marinos. Su capacidad antioxidante, respaldada por numerosos estudios, no solo retrasa eficazmente la oxidación de lípidos y proteínas en productos como filetes de salmón, surimi o camarones, sino que también evita los riesgos asociados a los antioxidantes sintéticos. Además, su integración en envases biodegradables prolonga la vida útil de los alimentos y ofrece información sobre su frescura, alineándose con la seguridad del consumidor.

Aunque persisten retos técnicos, como la estabilidad en condiciones extremas o la estandarización de extractos, los envases en encapsulación y el aprovechamiento de residuos agroindustriales abren caminos prometedores. Estas estrategias no solo mejorarán la eficiencia de las antocianinas, sino que también podrían reducir el impacto ambiental de la industria alimentaria. En un contexto global que prioriza la sostenibilidad y la salud, las antocianinas y los extractos naturales en general emergen para reinventar la conservación de alimentos marinos, garantizando calidad y seguridad sin dañar el ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ahmed, I.; Jan, K.; Fatma, S., & Dawood, M. A. O. (2022). Muscle proximate composition of various food fish species and their nutritional significance: A review. *Journal Of Animal Physiology And Animal Nutrition*, 106(3), 690-719. <https://doi.org/10.1111/jpn.1371>
2. Ahmed, M. W.; Haque, M. A.; Mohibbullah, M.; Khan, M. S. I.; Islam, M. A.; Mondal, M. H. T., & Ahmmed, R. (2022). A review on active packaging for quality and safety of foods: Current trends, applications, prospects and challenges. *Food Packaging And Shelf Life*, 33, 100913. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100913>
3. Alappat, B., & Alappat, J. (2020). Anthocyanin pigments: Beyond aesthetics. *Molecules*, 25(23), 5500. <https://doi.org/10.3390/molecules25235500>
4. Aubourg, S. P. (2021). Employment of Flake Ice Systems Including Natural Preservative Compounds for the Quality Enhancement of Chilled Seafood-A Review. *Antioxidants*, 10(9), 1499. <https://doi.org/10.3390/antiox10091499>
5. Aubourg, S. P. (2023). Enhancement of Lipid Stability and Acceptability of Canned Seafood by Addition of Natural Antioxidant Compounds to the Packing Medium-A Review. *Antioxidants*, 12(2), 245. <https://doi.org/10.3390/antiox12020245>
6. Avula, B.; Katragunta, K.; Osman, A. G.; Ali, Z.; Adams, S. J.; Chittiboyina, A. G., & Khan, I. A. (2023). Advances in the Chemistry, Analysis and Adulteration of Anthocyanin Rich-Berries and Fruits: 2000-2022. *Molecules*, 28(2), 560. <https://doi.org/10.3390/molecules28020560>
7. Baranwal, J.; Barse, B.; Fais, A.; Delogu, G. L., & Kumar, A. (2022). Biopolymer: A Sustainable Material for Food and Medical Applications. *Polymers*, 14(5), 983. <https://doi.org/10.3390/polym14050983>
8. Bellucci, E. R. B.; Bis-Souza, C. V.; Domínguez, R.; Bermúdez, R., & Da Silva Barretto, A. C. (2022). Addition of Natural Extracts with Antioxidant Function to Preserve the Quality of Meat Products. *Biomolecules*, 12(10), 1506. <https://doi.org/10.3390/biom12101506>
9. Cai, D.; Li, X.; Chen, J.; Jiang, X.; Ma, X.; Sun, J.; Tian, L.; Vidyarthi, S. K.; Xu, J.; Pan, Z., & Bai, W. (2021). A comprehensive review on innovative and advanced stabilization approaches of anthocyanin by modifying structure and controlling environmental factors. *Food Chemistry*, 366, 130611. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130611>
10. Câmara, J. S.; Locatelli, M.; Pereira, J. A. M.; Oliveira, H.; Arlorio, M.; Fernandes, I.; Perestrelo, R.; Freitas, V., & Bordiga, M. (2022). Behind the Scenes of Anthocyanins-From the Health Benefits to Potential Applications in Food, Pharmaceutical and Cosmetic Fields. *Nutrients*, 14(23), 5133. <https://doi.org/10.3390/nu14235133>
11. Cámara, M.; Giner, R. M.; González-Fandos, E.; López-García, E.; Mañes, J.; Portillo, M. P.; Rafecas, M.; Domínguez, L., & Martínez, J. A. (2021). Food-Based Dietary Guidelines around the World: A Comparative Analysis to Update AESAN Scientific Committee Dietary Recommendations. *Nutrients*, 13(9), 3131. <https://doi.org/10.3390/nu13093131>
12. Cerezo, A. B.; Cătușescu, G. M.; González, M. M.; Hornedo-Ortega, R.; Pop, C. R.; Rusu, C. C.; Chirilă, F.; Rotar, A. M.; García-Parrilla, M. C., & Troncoso, A. M. (2020). Anthocyanins in Blueberries Grown in Hot Climate Exert Strong Antioxidant Activity and May Be Effective against Urinary Tract Bacteria. *Antioxidants*, 9(6), 478. <https://doi.org/10.3390/antiox9060478>
13. Chamorro, F.; Cassani, L.; García-Oliveira, P.; Barral-Martínez, M.; Jorge, A. o. S.; Pereira, A. G.; Otero, P.; Fraga-Corral, M.; Oliveira, M. B. P. P., & Prieto, M. A. (2024). Health benefits of bluefin tuna consumption: (*Thunnus thynnus*) as a case study. *Frontiers In Nutrition*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1340121>
14. Chen, M.; Yan, T.; Huang, J.; Zhou, Y., & Hu, Y. (2021). Fabrication of halochromic smart films by immobilizing red cabbage anthocyanins into chitosan/oxidized-chitin nanocrystals composites for real-time hairtail and shrimp freshness monitoring. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 179, 90-100. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.170>
15. Chen, S.; Zhang, H.; Jiang, Z.; Ding, X.; Chen, W.; Ma, N.; Xu, S., & Yang, L. (2024). Intelligent active packaging of sodium alginate and pectin mixed with Aronia melanocarpa anthocyanins and tea polyphenols for shrimp freshness monitoring and preservation. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 283, 137754. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137754>
16. Da Silva, M. V.; Santos, M. R. C.; Silva, I. R. A.; Viana, E. B. M.; Anjos, D. A. D.; Santos, I. A.; De Lima, N. G. B.; Wobeto, C.; Jorge, N., & Da Silva Lannes, S. C. (2021). Synthetic and Natural Antioxidants Used in the Oxidative Stability of Edible Oils: An Overview. *Food Reviews International*, 38(sup1), 349-372. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1869775>
17. Domínguez, R.; Pateiro, M.; Muneke, P. E. S.; Zhang, W.; García-Oliveira, P.; Carpena, M.; Prieto, M. A.; Bohrer, B., & Lorenzo, J. M. (2021). Protein Oxidation in Muscle Foods: A Comprehensive Review. *Antioxidants*, 11(1), 60. <https://doi.org/10.3390/antiox11010060>
18. Enaru, B.; Drețcanu, G.; Pop, T. D.; Stănilă, A., & Diaconeasa, Z. (2021). Anthocyanins: Factors Affecting Their Stability and Degradation. *Antioxidants*, 10(12), 1967. <https://doi.org/10.3390/antiox10121967>
19. Gasti, T.; Dixit, S.; D'souza, O. J.; Hiremani, V. D.; Vootla, S. K.; Masti, S. P.; Chougale, R. B., & Malabadi, R. B. (2021). Smart biodegradable films based on chitosan/methylcellulose containing Phyllanthus reticulatus anthocyanin for monitoring the freshness of fish fillet. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 187, 451-461. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.128>
20. Gómez-Limia, L.; Sanmartín, N. M.; Carballo, J.; Domínguez, R.; Lorenzo, J. M., & Martínez, S. (2021). Oxidative Stability and Antioxidant Activity in Canned Eels: Effect of Processing and Filling Medium. *Foods*, 10(4), 790. <https://doi.org/10.3390/foods10040790>
21. Gong, S.; Fei, P.; Sun, Q.; Guo, L.; Jiang, L.; Duo, K.; Bi, X., & Yun, X. (2020). Action mode of cranberry anthocyanin on physiological and morphological properties of Staphylococcus aureus and its application in cooked meat. *Food Microbiology*, 94, 103632. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103632>
22. Guo, Y.; Zhang, H.; Shao, S.; Sun, S.; Yang, D., & Lv, S. (2022). Anthocyanin: a review of plant sources, extraction, stability, content determination and modifications. *International Journal Of Food Science & Technology*, 57(12), 7573-7591. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16132>
23. Gürdal, A. A., & Çetinkaya, T. (2023). Advancements in edible films for aquatic product preservation and packaging. *Reviews In Aquaculture*, 16(3), 997-1020. <https://doi.org/10.1111/raq.12880>

24. Hadidi, M., Orellana-Palacios, J. C., Aghababaei, F., Gonzalez-Serrano, D. J., Moreno, A., & Lorenzo, J. M. (2022). Plant by-product antioxidants: Control of protein-lipid oxidation in meat and meat products. *LWT*, 169, 114003. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114003>
25. Janseerat, N.; Kolekar, M.; Reddy, C. S.; Sharma, S., & Roy, S. (2024). Anthocyanin-Based Natural Color Induced Intelligent Food Packaging Sensor: A review. *Current Food Science And Technology Reports*, 2(2), 157-167. <https://doi.org/10.1007/s43555-024-00021-z>
26. Jiang, Q.; Du, Y.; Nakazawa, N.; Hu, Y.; Shi, W.; Wang, X.; Osako, K., & Okazaki, E. (2022). Effects of frozen storage temperature on the quality and oxidative stability of bigeye tuna flesh after light salting. *International Journal Of Food Science & Technology*, 57(5), 3069-3077. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15636>
27. Kontominas, M. G.; Badeka, A. V.; Kosma, I. S., & Nathanailides, C. I. (2021). Innovative Seafood Preservation Technologies: recent developments. *Animals*, 11(1), 92. <https://doi.org/10.3390/ani11010092>
28. LaFountain, A. M., & Yuan, Y. (2021). Repressors of anthocyanin biosynthesis. *New Phytologist*, 231(3), 933-949. <https://doi.org/10.1111/nph.17397>
29. Lakshmikanthan, M.; Muthu, S.; Krishnan, K.; Altemimi, A. B.; Haider, N. N.; Govindan, L.; Selvakumari, J.; Alkanan, Z.; Cacciola, F., & Francis, Y. M. (2024). A Comprehensive Review on Anthocyanin-rich foods: Insights into Extraction, Medicinal Potential, and Sustainable Applications. *Journal Of Agriculture And Food Research*, 17, 101245. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101245>
30. Laorenza, Y.; Chonhenchob, V.; Bumbudsanpharoke, N.; Jittanit, W.; Sae-Tan, S.; Rachtanapun, C.; Chanput, W. P.; Charoensiddhi, S.; Srisa, A.; Promhuad, K.; Wongphan, P., & Harnkarnsujarit, N. (2022). Polymeric Packaging Applications for Seafood Products: Packaging-Deterioration Relevance, Technology and Trends. *Polymers*, 14(18), 3706. <https://doi.org/10.3390/polym14183706>
31. Lim, H. J.; Tang, S. Y.; Chan, K. W.; Manickam, S.; Yu, L. J., & Tan, K. W. (2024). A starch/gelatin-based Halochromic film with black currant anthocyanin and Nanocellulose-stabilized cinnamon essential oil Pickering emulsion: Towards real-time Salmon freshness assessment. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 274, 133329. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133329>
32. Lin, D.; Sun, L.; Chen, Y.; Liu, G.; Miao, S., & Cao, M. (2022). Shrimp spoilage mechanisms and functional films/coatings used to maintain and monitor its quality during storage. *Trends In Food Science & Technology*, 129, 25-37. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.020>
33. Lin, J.; Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2025). A Critical Review of Consumer Perception and Environmental Impacts of Bioplastics in Sustainable Food Packaging. *Sustainability*, 17(4), 1358. <https://doi.org/10.3390/su17041358>
34. Lu, W.; Shi, Y.; Wang, R.; Su, D.; Tang, M.; Liu, Y., & Li, Z. (2021). Antioxidant Activity and Healthy Benefits of Natural Pigments in Fruits: A Review. *International Journal Of Molecular Sciences*, 22(9), 4945. <https://doi.org/10.3390/ijms22094945>
35. Manessis, G.; Kalogianni, A. I.; Lazou, T.; Moschovas, M.; Bossis, I., & Gelasakis, A. I. (2020). Plant-Derived Natural Antioxidants in Meat and Meat Products. *Antioxidants*, 9(12), 1215. <https://doi.org/10.3390/antiox9121215>
36. Molversmyr, E.; Devle, H. M.; Naess-Andresen, C. F., & Ekeberg, D. (2022). Identification and quantification of lipids in wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*), and salmon feed by GC-MS. *Food Science & Nutrition*, 10(9), 3117-3127. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2911>
37. Nadi, M.; Razavi, S. M. A., & Shahrapour, D. (2023). Fabrication of green colorimetric smart packaging based on basil seed gum/chitosan/red cabbage anthocyanin for real-time monitoring of fish freshness. *Food Science & Nutrition*, 11(10), 6360-6375. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3574>
38. Nthimole, C. T.; Kaseke, T., & Fawole, O. A. (2024). Exploring the Extraction and Application of Anthocyanins in Food Systems. *Processes*, 12(11), 2444. <https://doi.org/10.3390/pr12112444>
39. Oladzadabbasabadi, N.; Nafchi, A. M.; Ghasemlou, M.; Ariffin, F.; Singh, Z., & Al-Hassan, A. (2022). Natural anthocyanins: Sources, extraction, characterization, and suitability for smart packaging. *Food Packaging And Shelf Life*, 33, 100872. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100872>
40. Petruskevicius, A.; Viskelis, J.; Urbonaviciene, D., & Viskelis, P. (2023). Anthocyanin Accumulation in Berry Fruits and Their Antimicrobial and Antiviral Properties: An Overview. *Horticulturae*, 9(2), 288. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020288>
41. Ponnusamy, A.; Khan, A.; Prodpran, T.; Rhim, J., & Benjakul, S. (2024). Multifunctional fish gelatin film incorporated with chitosan carbon dots and butterfly pea flower anthocyanins for active/smart packaging of Pacific white shrimp. *Food Bioscience*, 105483. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105483>
42. Qi, Q.; Chu, M.; Yu, X.; Xie, Y.; Li, Y.; Du, Y.; Liu, X.; Zhang, Z.; Shi, J., & Yan, N. (2022). Anthocyanins and Proanthocyanidins: Chemical Structures, Food Sources, Bioactivities, and Product Development. *Food Reviews International*, 39(7), 4581-4609. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2029479>
43. Qin, W.; Zou, L.; Hou, Y.; Wu, Z.; Loy, D. A., & Lin, D. (2024). Characterization of novel anthocyanins film @ carbon quantum dot nanofiber intelligent active double-layer film, physicochemical properties and fresh-keeping monitoring in *Ictalurus punctatus* fish. *Chemical Engineering Journal*, 496, 154041. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.154041>
44. Sadowska-Bartos, I., & Bartosz, G. (2024). Antioxidant Activity of Anthocyanins and Anthocyanidins: A Critical Review. *International Journal Of Molecular Sciences*, 25(22), 12001. <https://doi.org/10.3390/ijms252212001>
45. Saini, A.; Hamid, N.; Shams, R.; Dash, K. K.; Shaikh, A. M., & Kovács, B. (2024). Anthocyanin Extraction from Black Carrot: Health Promoting Properties and Potential Applications. *Journal Of Agriculture And Food Research*, 101533. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101533>
46. Shalders, T. C.; Champion, C.; Coleman, M. A., & Benkendorff, K. (2022). The nutritional and sensory quality of seafood in a changing climate. *Marine Environmental Research*, 176, 105590. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2022.105590>
47. Sharma, S.; Majumdar, R. K., & Mehta, N. K. (2022). Gelling properties and microstructure of the silver carp surimi treated with pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extract. *Journal Of Food Science And Technology*, 59(11), 4210-4220. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05478-1>
48. Siddiqui, S. A.; Singh, S.; Bahmid, N. A., & Sasidharan, A. (2024). Applying innovative technological interventions in the preservation and packaging of

- fresh seafood products to minimize spoilage - A systematic review and meta-analysis. *Heliyon*, 10(8), e29066. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29066>
49. Suárez-Medina, M. D.; Sáez-Casado, M. I.; Martínez-Moya, T., & Rincón-Cervera, M. Á. (2024). The Effect of Low Temperature Storage on the Lipid Quality of Fish, Either Alone or Combined with Alternative Preservation Technologies. *Foods*, 13(7), 1097. <https://doi.org/10.3390/foods13071097>
 50. Taghavi, T.; Patel, H.; Akande, O. E., & Galam, D. C. A. (2022). Total Anthocyanin Content of Strawberry and the Profile Changes by Extraction Methods and Sample Processing. *Foods*, 11(8), 1072. <https://doi.org/10.3390/foods11081072>
 51. Tayel, A. A.; Bahnasy, A. G.; Mazrou, K. E.; Alasmari, A.; Rabey, H. A. E.; Elboghassy, S. A., & Diab, A. M. (2021). Biopreservation and Quality Enhancement of Fish Surimi Using Colorant Plant Extracts. *Journal Of Food Quality*, 2021, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2021/6624565>
 52. Teixeira, M.; Tao, W.; Fernandes, A.; Faria, A.; Ferreira, I. M.; He, J.; De Freitas, V.; Mateus, N., & Oliveira, H. (2023). Anthocyanin-rich edible flowers, current understanding of a potential new trend in dietary patterns. *Trends In Food Science & Technology*, 138, 708-725. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.07.010>
 53. Tena, N.; Martín, J., & Asuero, A. G. (2020). State of the Art of Anthocyanins: Antioxidant Activity, Sources, Bioavailability, and Therapeutic Effect in Human Health. *Antioxidants*, 9(5), 451. <https://doi.org/10.3390/antiox9050451>
 54. Wu, H.; Richards, M. P., & Undeland, I. (2022). Lipid oxidation and antioxidant delivery systems in muscle food. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 21(2), 1275-1299. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12890>
 55. Xiong, H.; Chen, L., & Teng, H. (2025). Environmental factors and blueberry anthocyanin-induced conformational changes modulate the interaction between myofibrillar proteins and fishy compounds and their mechanism, specifically aldehydes and alcohols. *Food Research International*, 116220. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116220>
 56. Xu, X.; Liu, A.; Hu, S.; Ares, I.; Martínez-Larrañaga, M.; Wang, X.; Martínez, M.; Anadón, A., & Martínez, M. (2021). Synthetic phenolic antioxidants: Metabolism, hazards and mechanism of action. *Food Chemistry*, 353, 129488. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129488>
 57. Xue, H.; Sang, Y.; Gao, Y.; Zeng, Y.; Liao, J., & Tan, J. (2022). Research Progress on Absorption, Metabolism, and Biological Activities of Anthocyanins in Berries: A Review. *Antioxidants*, 12(1), 3. <https://doi.org/10.3390/antiox12010003>
 58. Xue, H.; Zhao, J.; Wang, Y.; Shi, Z.; Xie, K.; Liao, X., & Tan, J. (2024). Factors affecting the stability of anthocyanins and strategies for improving their stability: A review. *Food Chemistry X*, 24, 101883. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101883>
 59. Yang, W.; Guo, Y.; Liu, M.; Chen, X.; Xiao, X.; Wang, S.; Gong, P.; Ma, Y., & Chen, F. (2021). Structure and function of blueberry anthocyanins: A review of recent advances. *Journal Of Functional Foods*, 88, 104864. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104864>
 60. You, S.; Zhang, X.; Wang, Y.; Jin, Y.; Wei, M., & Wang, X. (2022). Development of highly stable color indicator films based on K-carrageenan, silver nanoparticle and red grape skin anthocyanin for marine fish freshness assessment. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 216, 655-669. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.06.206>
 61. Zang, Z.; Tang, S.; Li, Z.; Chou, S.; Shu, C.; Chen, Y.; Chen, W.; Yang, S.; Yang, Y.; Tian, J., & Li, B. (2022). An updated review on the stability of anthocyanins regarding the interaction with food proteins and polysaccharides. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 21(5), 4378-4401. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13026>
 62. Zengin, R.; Gunes, N. T.; Uğur, Y.; Yiğiter, B.; Çöçen, E.; Altun, O. T.; Yavuz, Ç.; Nalçacı, S., & Koşar, D. (2025). Potential effects of calcium and ethanol generator pads on mulberry fruit during cold storage. *Journal Of Food Measurement & Characterization*. <https://doi.org/10.1007/s11694-025-03184-y>
 63. Zhao, Y.; Wang, C.; Huang, X., & Hu, D. (2021). Anthocyanin stability and degradation in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 16(12). <https://doi.org/10.1080/15592324.2021.1987767>

ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA ORGÁNICA A NIVEL UNIVERSITARIO

DIDACTIC STRATEGIES FOR TEACHING ORGANIC CHEMISTRY AT THE UNIVERSITY LEVEL

Uxía Gómez-Bouzó¹

¹Universidade de Vigo. España.

RESUMEN

La enseñanza de la química orgánica a nivel universitario presenta dificultades derivadas de la abstracción de los conceptos y la complejidad de sus estructuras moleculares. Este artículo revisa estrategias didácticas basadas en el aprendizaje significativo que facilitan la comprensión de la materia. Se analizan enfoques de visualización tridimensional, aprendizaje basado en casos reales y metodologías colaborativas. Se destaca también la integración de ejemplos de investigación real, como la síntesis de compuestos bioactivos, para contextualizar la enseñanza y motivar a los estudiantes. Las propuestas se sustentan en bibliografía reciente de educación química y se presentan con un enfoque teórico y aplicado.

Palabras clave: *química orgánica, aprendizaje significativo, educación universitaria, visualización molecular, enseñanza activa, didáctica de la química.*

ABSTRACT

Teaching organic chemistry at the university level presents challenges due to the abstraction of concepts and complexity of molecular structures. This article reviews teaching strategies grounded in meaningful learning theory that enhance comprehension of the subject. Approaches such as

three-dimensional visualization, real case-based learning, and collaborative methodologies are analyzed. The integration of real research examples, such as the synthesis of bioactive compounds, is also highlighted to contextualize teaching and motivate students. These proposals are supported by recent chemical education literature and presented from both theoretical and applied perspectives.

Keywords: *organic chemistry, meaningful learning, university education, molecular visualization, active teaching, chemistry education.*

1. INTRODUCCIÓN

La química orgánica es conocida por su nivel de abstracción y la dificultad con que los estudiantes la asimilan. Por ello, la enseñanza universitaria de esta materia requiere estrategias que involucren activamente al estudiante y promuevan la conexión de los nuevos conceptos con sus conocimientos previos. El marco del aprendizaje significativo plantea que el alumno debe construir el aprendizaje integrando cognitivamente los nuevos conceptos en sus esquemas mentales existentes, además de considerar sus dominios afectivos y psicomotores. En este sentido, las actividades docentes deben

diseñarse para captar el interés del alumno, contextualizar la teoría en aplicaciones reales y fomentar la manipulación concreta y visualización de las moléculas. A continuación, se exponen y analizan varias estrategias basadas en estas ideas, extraídas de la bibliografía académica reciente.

2. DESARROLLO

2.1. APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO EN QUÍMICA ORGÁNICA

Para favorecer el aprendizaje significativo es crucial integrar los dominios cognitivo, afectivo y psicomotor. Tal como señalan Gupte *et al.* (2021), la enseñanza de la química orgánica requiere estrategias de aprendizaje que impliquen significativamente a los estudiantes con sus conceptos y permitan incorporar activamente nuevos conocimientos en sus esquemas mentales existentes. En este sentido, cuando los estudiantes tienen expectativas altas tanto cognitivas como afectivas no satisfechas, surge un obstáculo para la integración del aprendizaje significativo. Galloway y Bretz (2015) lo demuestran en un estudio nacional donde identificaron que los alumnos cuyos objetivos cognitivos eran altos pero sus experiencias afectivas fueron negativas, terminaron con una experiencia de aprendizaje limitada. Esta disonancia impide integrar de forma efectiva los dominios clave del aprendizaje y sugiere que es esencial diseñar tareas que también atiendan a la dimensión emocional del estudiante.

Por ejemplo, las actividades de *writing-to-learn* en química orgánica (redacciones o informes reflexivos) han demostrado conectar los nuevos conceptos con el conocimiento previo del estudiante. Los componentes efectivos de estas actividades son contextos reales, expectativas claras y revisión entre pares, que refuerzan la comprensión y el compromiso del alumno. De forma similar, técnicas de autoevaluación y retroalimentación en grupos pequeños promueven la metacognición y la conciencia del propio aprendizaje. En síntesis, desde el enfoque de aprendizaje significativo se enfatiza la necesidad de actividades activas donde el estudiante no memorice, sino que relacione, aplique y reflexione sobre los conceptos de química orgánica.

2.2. MODELOS MOLECULARES Y VISUALIZACIÓN TRIDIMENSIONAL

La visualización 3D de las moléculas es una estrategia didáctica fundamental en química orgánica. Los modelos moleculares físicos y digitales ayudan a los estudiantes a trasladar las representaciones 2D (fórmulas de papel) a imágenes tridimen-

sionales reales. Penny *et al.* (2017) destacan que los modelos químicos 3D son una herramienta pedagógica bien establecida para mejorar la comprensión de las estructuras químicas, ya que convierten representaciones bidimensionales en objetos tridimensionales manipulables. En el aula, esto puede implicar el uso de kits de construcción molecular (bolas y varillas) o la impresión 3D de modelos de moléculas complejas. Dichos recursos son especialmente útiles para enseñar estereoquímica, hibridaciones y conformaciones, pues el estudiante puede observar y tocar los modelos en tiempo real.

En los últimos años, las herramientas digitales han enriquecido aún más estas representaciones. La realidad aumentada (RA) permite superponer modelos moleculares sobre el entorno real, haciendo accesible la visualización 3D mediante dispositivos móviles o pantallas. Souto (2023) propone incluso la creación de filtros interactivos con modelos moleculares que pueden compartirse en redes sociales mediante software gratuito como Spark AR Studio, favoreciendo la conexión emocional y el interés del estudiante por el contenido. Por su parte, la realidad virtual (VR) ofrece experiencias inmersivas donde el alumno puede interactuar directamente con moléculas en un espacio 3D. Williams *et al.* (2022) evaluaron esta estrategia en laboratorios de química orgánica, constatando una mejora significativa en las dimensiones afectivas del aprendizaje. Los estudiantes reportaron menos frustración y confusión de lo esperado, lo que sugiere que la VR no solo es accesible, sino también emocionalmente beneficiosa en el aprendizaje de contenidos complejos.

2.3. APRENDIZAJE BASADO EN CASOS Y EJEMPLOS REALES

Otra estrategia efectiva es el aprendizaje basado en casos (ABC), donde los estudiantes resuelven problemas contextualizados en situaciones reales o simuladas. Este enfoque sitúa al alumno en el papel de "investigador" que debe aplicar teoría orgánica a un caso concreto, promoviendo así un aprendizaje significativo y activo. Por ejemplo, Shahmuradyan y Doughan (2021) presentan un caso sobre un brote ficticio de enfermedad que obliga a los alumnos a investigar químicamente la causa; esta actividad no solo aumenta la implicación del estudiante en clase, sino que desarrolla habilidades esenciales como investigación bibliográfica, pensamiento crítico y resolución de problemas. Aunque este ejemplo es de la rama de química analítica, el mismo formato puede aplicarse a química orgánica (p. ej., síntesis de un compuesto natural vinculado a una enfermedad).

Los contextos reales también refuerzan la conexión entre teoría y práctica. Gupte *et al.* (2021) señalan que incluir "context-

tos reales” en las tareas (escenarios relacionados con la investigación real o la industria) apoya el aprendizaje significativo de los estudiantes. En química orgánica esto podría traducirse en estudiar rutas sintéticas recientes de compuestos bioactivos (por ejemplo, análogos de la vitamina D), analizar artículos actuales o simular proyectos de investigación en el laboratorio. Estos ejemplos reales ayudan a que el contenido resulte relevante y explican el “para qué” de las reacciones y estructuras estudiadas, facilitando la retención de conceptos. En síntesis, combinar el ABC con casos basados en hallazgos o problemas científicos actuales permite que los alumnos vean la química orgánica como una disciplina dinámica y aplicable, reforzando así la motivación y el aprendizaje profundo.

2.4. ESTRATEGIAS COLABORATIVAS Y APRENDIZAJE ACTIVO

El trabajo en equipo y las metodologías participativas son complementos clave para estas estrategias. Blackie *et al.* (2023) describen un enfoque de “estratificación del conocimiento” junto con aprendizaje entre pares: en tutorías grupales los estudiantes trabajan cooperativamente y usan marcos de referencia (*epistemic assessment*) para autoevaluar su nivel de comprensión. Esta combinación de aprendizaje colaborativo y metacognición resulta muy bien valorada por los alumnos de química orgánica, pues les permite discutir conceptos, explicar ideas a sus compañeros y reflexionar sobre su propio progreso.

Asimismo, la inclusión de componentes como la revisión por pares y la co-construcción de soluciones promueve el aprendizaje activo. Por ejemplo, tal como señalan Gupte *et al.* (2021), estructuras de tareas donde los estudiantes revisan el trabajo de otros o colaboran en proyectos apoyan sus experiencias de aprendizaje significativo. En la práctica, esto puede ser un laboratorio donde los estudiantes realizan experimentos en equipos y luego comparan resultados, o ejercicios escritos donde cada alumno corrige o comenta el informe de otro. En conjunto, estas prácticas cooperativas no solo refuerzan el contenido curricular, sino que desarrollan habilidades transversales (comunicación, trabajo en equipo) indispensables en la formación científica.

3. CONCLUSIONES

Las estrategias didácticas en química orgánica que favorecen el aprendizaje significativo comparten elementos comunes: contextualización, visualización activa y participación del estudiante. A continuación, se resumen algunas reco-

mendaciones clave extraídas de la bibliografía académica revisada:

- **Integrar dominios cognitivo, afectivo y psicomotor:** Diseñar actividades que presenten conceptos nuevos de modo desafiante pero comprensible, motivando positivamente al estudiante.
- **Emplear modelos moleculares 3D reales o digitales:** Usar kits de modelos moleculares, impresiones 3D o software de visualización para representar estructuras tridimensionales.
- **Contextualizar con casos reales y ejemplos de investigación:** Plantear problemas basados en situaciones reales (incluyendo descubrimientos recientes) para ilustrar la aplicación práctica de la química orgánica.
- **Fomentar el aprendizaje colaborativo y la reflexión activa:** Organizar trabajo en grupos pequeños, discusiones guiadas y revisiones entre pares para que los alumnos aprendan unos de otros.

En conclusión, un enfoque pedagógico basado en el aprendizaje significativo -que combine representaciones moleculares dinámicas, casos reales y métodos activos- contribuye a un dominio más sólido de la química orgánica a nivel universitario. Estas prácticas, apoyadas por la investigación educativa reciente, ofrecen a los profesores herramientas conceptuales para planificar clases y laboratorios que motiven a los alumnos y faciliten la construcción de conocimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Blackie, M. A. L.; Arnott, G., y Kaschula, C. H. (2023). Engaging organic chemistry students in knowledge building. *Journal of Chemical Education*, 100(8), 3302-3308. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00980>
2. Galloway, K. R., y Bretz, S. L. (2015). Measuring meaningful learning in the undergraduate chemistry laboratory: A national, cross-sectional study. *Journal of Chemical Education*, 92(12), 2006-2018. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00538>
3. Gupte, T.; Watts, F. M.; Schmidt-McCormack, J. A.; Zaimi, I.; Gere, A. R., y Shultz, G. V. (2021). Students' meaningful learning experiences from participating in organic chemistry writing-to-learn activities. *Chemical Education Research and Practice*, 22(2), 396-414. <https://doi.org/10.1039/D0RP00266F>
4. Penny, M. R.; Cao, Z. J.; Patel, B.; Sil dos Santos, B. C.; Asquith, C. R. M.; Szulc, B. R.; Rao, Z. X.; Muwaffak, Z.; Malkinson, J. P., y Hilton, S. T. (2017). 3D printing of a scalable molecular model and orbital kit for organic chemistry teaching and learning. *Journal of Chemical Education*, 94(9), 1265-1271. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00953>
5. Shahmuradyan, A., y Doughan, S. (2021). Students as investigators: Promoting active learning through a case study assignment in a lecture-based analytical chemistry course. *Journal of Chemical Education*, 98(12), 4088-4093. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00602>
6. Souto, A. A. (2023). Step by step to make augmented reality filters for molecular models. *Journal of Chemical Education*, 100(4), 941-945. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00768>
7. Williams, N. D.; Gallardo-Williams, M. T.; Griffith, E. H., y Bretz, S. L. (2022). Investigating meaningful learning in virtual reality organic chemistry laboratories. *Journal of Chemical Education*, 99(3), 1100-1105. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00476>



XUNTA
DE GALICIA



INSTITUTO CULTURA CIENCIA Y TECNOLOGIA