

# INVESTIGACION

CULTURA CIENCIA Y TECNOLOGIA

VOLUMEN 11

Nº 22

2019

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

# INVESTIGACIÓN

CULTURA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Revista Nº 22  
VOLUMEN 11 2019

## Director

José Luis Vázquez López  
investigación@galicia.com  
C./ Oporto, 1, 3º  
36201 Vigo

## Dirección Creativa e Innovación

María del Mar Vázquez Jiménez  
mariadelmarvj@gmail.com

ISSN: 1889 - 4399  
DEPÓSITO LEGAL:  
VG - 347 - 2009

## Consejo de Redacción

Francisco Javier Rodríguez Berrocal  
Almudena Fernández Briera  
José Luis Vázquez López

## Comité Científico

Jesús Souza Troncoso  
José Luis Legido Soto  
Juan Manuel Vieites Baptista de Sousa  
María Victoria Besada Montenegro  
Francisco Javier Rodríguez Berrocal  
Almudena Fernández Briera  
Ángel Tomás Camacho García

## Secretaría y Dep. Divulgación

Raquel María Vázquez

## Revista adscrita al

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

## Patrocina



XUNTA DE GALICIA  
CONSELLERÍA DE ECONOMÍA,  
EMPREGO E INDUSTRIA



INSTITUTO CULTURA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

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

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



# índice

## SUMARIO

VOLUMEN 11 Nº 22 2019

- 6 **D** Editorial  
SEIS AÑOS DE LA REVISTA "INVESTIGACIÓN"  
Manuel Reigosa Roger  
*Rector de la Universidad de Vigo.*
- 8 **A** Supercomputación: Redes Neuronales  
ACELERACIÓN DEL DISEÑO DE MODELOS DE REDES NEURONALES PROFUNDAS USANDO RECURSOS DE SUPERCOMPUTACIÓN  
Gonzalo Ferro (1), Carmen Cotelo (2), Andrés Gómez (3)  
(1) *EcoMT.*  
(2) *FEUGA.*  
(3) *Dptº. de Aplicaciones y Proyectos. Fundación CESGA. Santiago de Compostela. España.*
- 20 **I** Anatomía Patológica  
INFLUENCIA DEL PATÓLOGO QUE ANALIZA LA MUESTRA EN EL RIESGO ESTIMADO DE MALIGNIDAD DE LAS CITOLOGÍAS TIROIDEAS CON ATIPIA DE SIGNIFICADO INDETERMINADO  
Manuel Penín (1), Beatriz San Millán (2), Laura Juaneda (2), Javier Lago (1)  
(1) *Servicio de Endocrinología y Nutrición.*  
(2) *Servicio de Anatomía Patológica del Complejo Hospitalario Universitario de Vigo. España.*

26 **C** Aceite de Oliva: Etiquetado  
CARACTERÍSTICAS SENSORIALES Y NUTRITIVAS EN ACEITES DE OLIVA VIRGEN ESPAÑOLES Y ADECUACIÓN DE SU ETIQUETADO A LA NORMATIVA VIGENTE  
M<sup>a</sup>. Victoria Campos Novoa, Concepción Pérez Lamela  
*Grupo AA1 Agrupación CITACA. Dpt<sup>o</sup>. Química Analítica y Alimentaria. Universidad de Vigo Facultad de Ciencias. Campus de Ourense. España.*

36 **L** Lente de Layard  
A SORPRENDENTE HISTORIA DE LA LENTE DE LAYARD  
Ángel Tomás Camacho García  
*Médico especialista en Análisis Clínicos. Laboratorio Vithas Lab. Vigo.  
Miembro directivo del Instituto Cultura, Ciencia y Tecnología. Área Galicia. España..*

44 **E** Información Hidrográfica, Motor del Conocimiento del Medio Marino  
EL INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA Y LA AUTOMATIZACIÓN DEL APOYO MEDIOAMBIENTAL EN LAS OPERACIONES NAVALES  
CC. Alejandro Ortega Felipe, CF. Salvador Moreno Soba, CN. J. Daniel González-Aller Lacalle  
*Armada Española. Instituto Hidrográfico de la Marina. Cádiz. España.*

55 **A** Alimentos Marinos  
APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ALTAS PRESIONES A ESPECIES MARINAS: ASPECTOS GENERALES Y EFECTO SOBRE LOS CONSTITUYENTES QUÍMICOS EN PRODUCTOS CONGELADOS  
Lucía Méndez, Marcos Trigo, Mónica Carrera, Manuel Pazos, Santiago P. Aubourg  
*Departamento de Tecnología de Alimentos. Instituto de Investigaciones Marinas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Vigo. España.*

62 **O** La Mujer y la Oceanografía  
OCEÁNICAS: UN PROYECTO PARA DAR A CONOCER EL PAPEL DE LA MUJER EN LA OCEANOGRAFÍA  
Ana Morillas Kieffer  
*Centro Oceanográfico de las Baleares. Instituto Español de Oceanografía (IEO). Illes Balears. España.*

# editorial

## DIEZ AÑOS DE LA REVISTA “INVESTIGACIÓN”

Es un placer para mí escribir estas breves líneas para atestiguar la importancia del trabajo realizado en estos primeros diez años de funcionamiento de la revista “Investigación”, pero también, para agradecer el esfuerzo por la divulgación de la ciencia realizado por parte de todos los que han participado, a distintos niveles, en su andadura.

A día de hoy, existen numerosísimas revistas científicas, que se ocupan de difundir entre los especialistas que trabajan en el campo correspondiente los resultados más relevantes que se descubren en los laboratorios. Obviamente, es una labor fundamental para el avance de la ciencia el que se pueda disponer de forma pública de los resultados; máxime cuando el sistema de evaluación por pares consigue que el nivel de los artículos sea muy bueno, tanto en la ciencia que aportan como en la forma de presentarlo. Los editores se ocupan de que los artículos sean relativamente fáciles de leer y de que los experimentos relatados y sus interpretaciones sean correctos. Todo ello, es una labor primordial para que los investigadores dispongan de la mejor bibliografía y no pierdan tiempo leyendo datos irrelevantes o incorrectos. Aún así, la cantidad de bibliografía disponible es enorme y ocupa gran parte del tiempo a cualquier investigador.

Por ello, resulta de capital importancia disponer de otro tipo de artículos. Cada vez más, las revistas punteras incluyen en sus números artículos de revisión, en los que especialistas glosan los resultados obtenidos, en fechas recientes en las investigaciones relevantes; sirve, así, como una puesta a punto de una temática completa, facilitando que el neófito e, incluso, el especialista, puedan avanzar a mayor velocidad.

También, son útiles para investigadores que quieran entrar a trabajar en un campo nuevo, o para jóvenes investigadores que hacen sus primeras entradas en el tema que van a perseguir durante, probablemente, muchísimo tiempo.

Pero hay un hueco que estas revistas no cubren, y es el de hacer llegar estos conocimientos a todos los interesados, y no únicamente a especialistas o profesionales del tema. En este enfoque se centra la revista *Investigación*, que además lo hace en castellano, lo que permite que resultados de interés general tengan una audiencia cada vez mayor.

El buen trabajo editorial ha permitido que la revista tenga una penetración cada vez mayor. El esfuerzo es muy reseñable, sobre todo teniendo en cuenta que abarca campos de trabajo enormes, incluyendo los distintos ámbitos de conocimiento.

También, quiero aprovechar para agradecer a todos las instituciones que apoyan a la revista, especialmente a la *Consellería de Economía, Emprego e Industria - Gaiñ de la Xunta de Galicia*. Creo que pueden estar satisfechos de la seriedad de la apuesta, que cumple los más exigentes requisitos de calidad, incluyendo evaluación en doble ciego y, al mismo tiempo, ha conseguido aportaciones de muy alto nivel de un número creciente de investigadores, que se han decidido a aportar su conocimiento en la divulgación de alto nivel.

A todos los que hacen posible la revista, ¡enhorabuena por estos primeros diez años! Y que vengan muchos más, manteniendo el excelente nivel mostrado en estos primeros años.

**Manuel Reigosa Roger**

Rector de la Universidad de Vigo

# ACELERACIÓN DEL DISEÑO DE MODELOS DE REDES NEURONALES PROFUNDAS USANDO RECURSOS DE SUPERCOMPUTACIÓN

Gonzalo Ferro<sup>1</sup>, Carmen Cotelo<sup>2</sup> y Andrés Gómez<sup>3</sup>

Dptº. de Aplicaciones y Proyectos. Fundación CESGA. Santiago de Compostela. España.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha renacido el interés por el uso de técnicas de aprendizaje máquina (o *Machine Learning*, ML) gracias a los buenos resultados que está obteniendo en la definición de sistemas de recomendación o de clasificación de imágenes, entre otros campos de aplicación. La investigación actual, con un fuerte componente empresarial liderado por las multinacionales del área de las tecnologías como Google, Facebook o Baidu, está muy focalizada a la aplicación práctica de las diferentes tecnologías involucradas, buscando resolver problemas que se han resistido a aproximaciones más tradicionales, como pueden ser los modelos analíticos, los algoritmos estructurados, o la resolución numérica. Este nuevo interés en el uso de las técnicas de ML y su éxito inicial, está basado en la conjunción de tres motivos: la mejora de los algoritmos y la inclusión de nuevas técnicas que resuelven las dificultades encontradas previamente; la existencia de una cantidad ingente de datos, que cada vez es más barato obtener y almacenar; y, finalmente, la existencia de suficiente capacidad computacional para poder entrenar modelos de ML complejos usando esa gran cantidad de datos almacenados [1], [2].

Sin embargo, el proceso de diseño de los modelos de ML está aún guiado principalmente por la intuición, existiendo todavía muy pocas reglas prácticas (o *algoritmos*) que permitan

diseñar rápidamente una solución al problema planteado que sea eficiente. Normalmente, el diseño de los modelos de ML sigue una metodología de prueba y error, en un ciclo virtuoso de idea, construcción y prueba hasta alcanzar los objetivos marcados.

Dentro de la familia de algoritmos de aprendizaje automático, las redes neuronales están consiguiendo resultados sin precedentes, por lo que están siendo utilizadas en múltiples campos, desde la clasificación hasta la predicción.

La Figura 1 presenta un esquema de una red neuronal estándar. La red se compone de tres elementos principales:

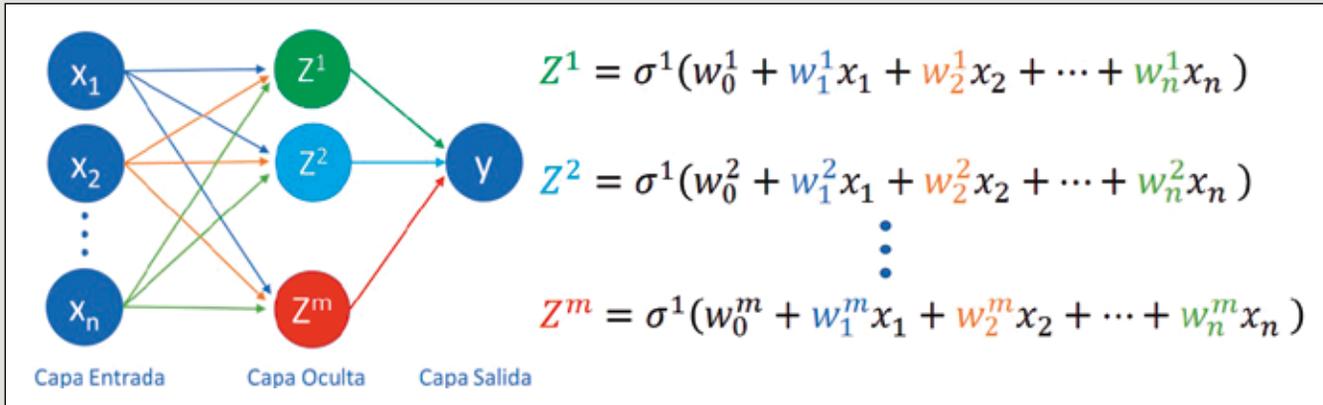
- Capa de entrada correspondiente a las características o atributos del problema (en inglés, *features*).
- Una capa oculta donde los datos de entrada que provienen de la capa de entrada se utilizan para calcular la salida de cada una de las neuronas ( $Z^i$  en la figura) que la conforman, siguiendo las ecuaciones mostradas en la parte derecha de la Figura 1.
- Capa de salida que se calcula a partir de los datos que provienen de la capa oculta utilizando la siguiente ecuación:

$$y = \sigma^2(b_0 + b_1Z^1 + b_2Z^2 + \dots + b_mZ^m)$$

<sup>1</sup> Actualmente, en EcoMT.

<sup>2</sup> Actualmente, en FEUGA.

<sup>3</sup> Correspondencia: andres.gomez.tato@cesga.es



**Figura 1. Esquema de una red neuronal estándar. En la parte izquierda se presenta el esquema de una red neuronal simple con 3 capas: entrada, oculta y salida. En la parte derecha se presentan las ecuaciones utilizadas para obtener las salidas de cada una de las neuronas de la capa oculta.**

A las funciones  $\sigma^1$  y  $\sigma^2$  se las denomina función de activación de la neurona y en general son diferenciables y altamente no lineales. A los coeficientes que multiplican a las *features* y a las salidas de la capa oculta,  $w_i^j$  ( $i=1\dots n, j=1\dots m$ );  $b_k$  ( $k=1\dots m$ ), se los denomina pesos (*weights*) y a los restantes coeficientes,  $w_0^j$  ( $j=1\dots m$ );  $b_0$  sesgos (*bias*).

La finalidad última de una red neuronal es obtener, a partir de un conjunto de valores de las *features*, una predicción de la variable dependiente,  $y$ , que ésta sea lo más cercana al valor real correspondiente (etiqueta o *label*) para esas *features*. Para ello es de vital importancia encontrar los valores numéricos de los pesos y los sesgos de la red. Este proceso se denomina entrenamiento de la red neuronal.

En el caso del aprendizaje profundo (o *Deep Learning*) se incluyen múltiples capas ocultas para la manipulación de los datos que siguen este esquema básico de paso de información entre capas, aunque se pueden aplicar otro tipo de funciones u operaciones matemáticas.

Un ejemplo serían las redes de neuronas convolucionales[3][4][5][6][7] que incluyen una primera capa que transforma los datos de entrada (en este caso, generalmente imágenes), obteniendo sus características básicas, pero reducidas, que posteriormente se introducen como las *features* en una red neuronal densa como la descrita anteriormente, para la realización de la clasificación o la predicción.

En la Figura 2 se presenta el esquema de funcionamiento de una capa convolucional:

1. La entrada de la capa es una matriz de entrada (5x5) a la que se le ha añadido alrededor un conjunto de ceros (filas y columnas grises) que se denomina *padding* con

la finalidad que las matrices tengan el mismo tamaño a la entrada y a la salida.

2. Una matriz cuadrada, denominada filtro (3x3) se desplaza por la matriz de entrada tantas columnas y/o filas como se haya especificado en la variable *stride* (1 en la figura). Los pesos de este filtro ( $w_1$  a  $w_9$  en la figura) se ajustan durante la fase de entrenamiento.
3. Para cada desplazamiento se realiza una multiplicación elemento a elemento entre el filtro y la parte de la matriz de entrada solapada por el filtro. La suma de dichas multiplicaciones será un elemento de la matriz de salida (tal y como se muestra en la Figura 2).

En general en una capa convolucional pueden existir tantos filtros como los de la Figura 2 que se deseen.

Es habitual cuando se diseñan redes neuronales convolucionales intercalar grupos de este tipo de filtros con una operación de *pooling* que se encargan de reducir la dimensionalidad de la matriz mediante la aplicación de un filtro de un tamaño predeterminado que se desplaza de forma similar al convolucional mostrado en la Figura 2 y que suele realizar una de las dos siguientes operaciones:

1. Extracción del máximo (*Max Pooling*).
2. Operación de promedio (*Average Pooling*).

La selección del número de capas, tamaño de cada filtro, número de filtros, etc., es una decisión que ha de tomar el diseñador de la red neuronal.

En la Figura 3 se presenta un ejemplo esquemático de la arquitectura de la red convolucional VGG-19[7], siguiendo la representación gráfica usualmente empleada en la literatura.

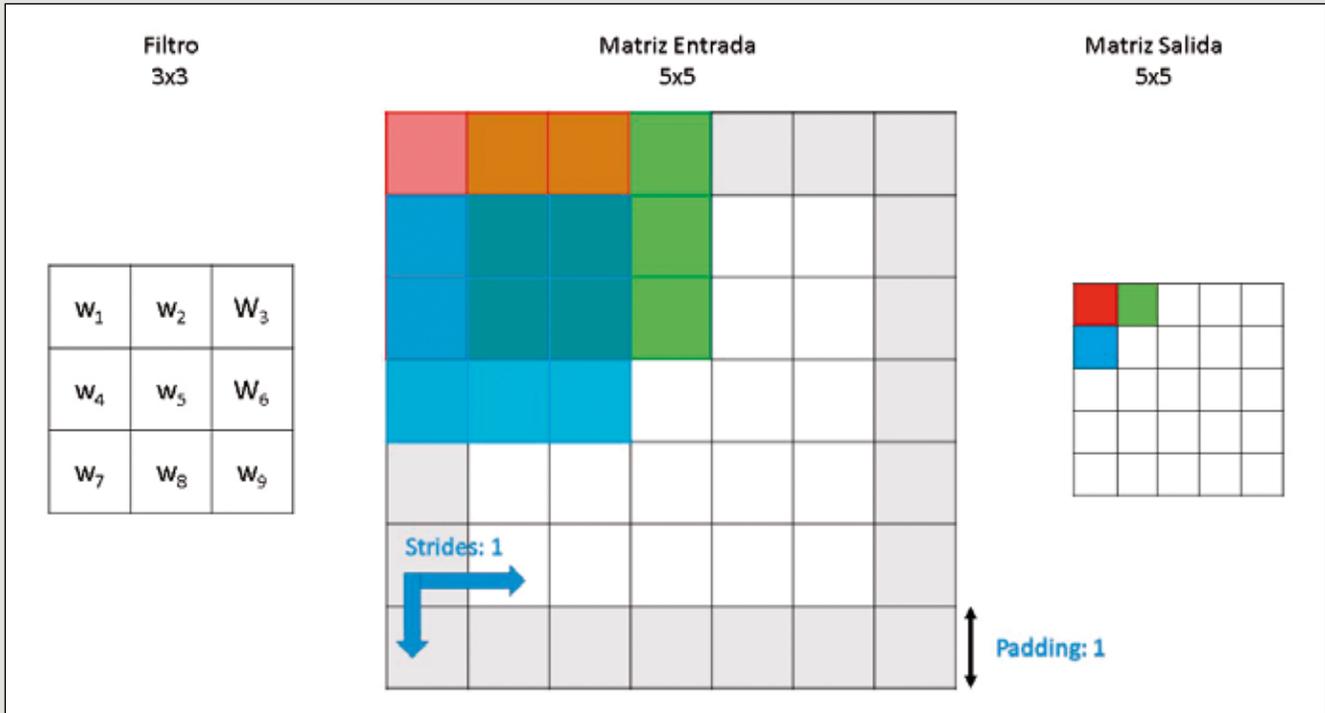


Figura 2. Ejemplo de capa convolucional. El filtro (matriz 3x3) se desplaza sobre la matriz de entrada (5x5) realizando una multiplicación elemento a elemento y sumando el resultado. El desplazamiento del filtro sobre la matriz se denomina *stride*. Con el fin de que la matriz de entrada y de salida tengan las mismas dimensiones, la matriz de entrada se rodea con ceros (se le da un *padding* de 1).

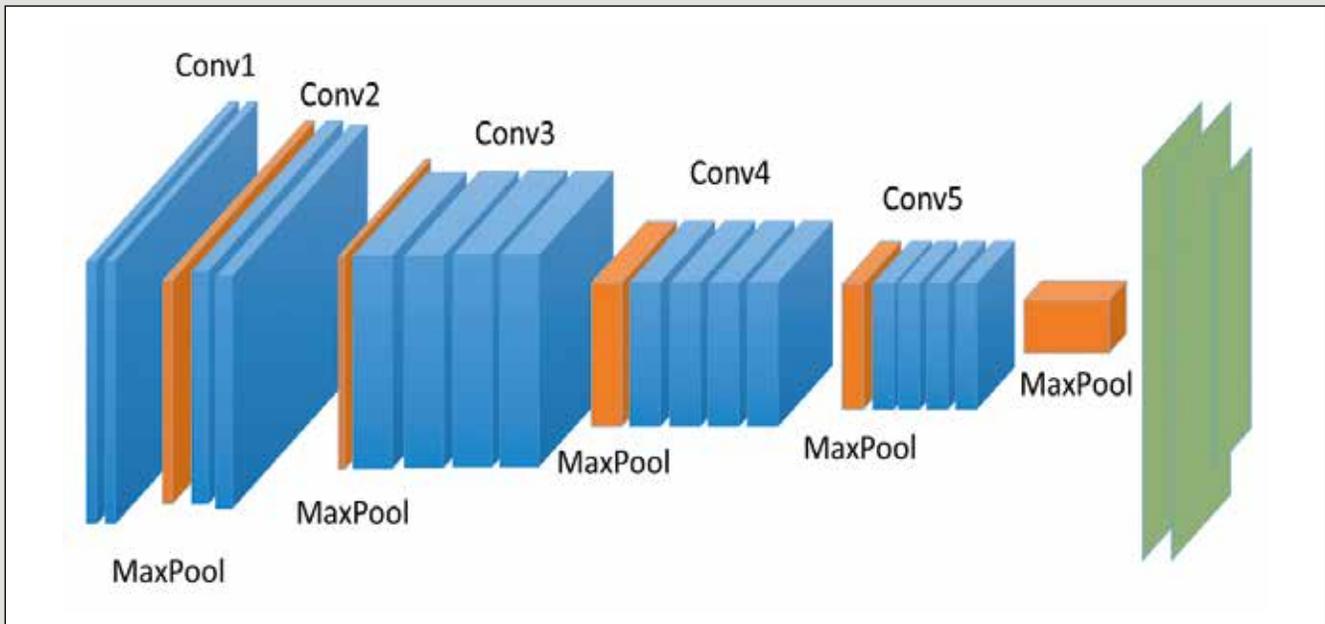


Figura 3. Representación por bloques de una red neuronal convolucional VGG-19. Las cajas azules representan capas en donde se realiza una operación de convolución, las naranjas se obtiene el máximo para cada subconjunto de datos y las verdes representan capas ocultas.

Cada caja de color azul representa una capa convolucional, mientras que las naranjas realizan una operación de Max Pooling reduciendo de esa manera los datos de entrada en cada operación.

La inclusión de un número elevado de capas, cada una con sus parámetros (pesos y sesgos), genera un problema de optimización con gran número de variables libres (decenas de millones en alguno de los casos) que requieren una enorme capacidad de cálculo y de datos para poder ajustarse correctamente.

En ML, este proceso de ajuste de los parámetros libres se hace usando los datos existentes a través de diversas técnicas denominadas, en su conjunto, aprendizaje y que se suelen dividir en:

- Aprendizaje supervisado. Durante el proceso, se suministra tanto las entradas como las salidas esperadas. Se busca que el resultado de la predicción para cada uno de los casos, sea lo más aproximado posible a la salida esperada.
- Aprendizaje no supervisado. Para este tipo de entrenamiento, solo se suministran los datos de entrada y un objetivo de salida. Por ejemplo, dividir en un número de grupos especificado el conjunto de casos de entrada.
- Aprendizaje por refuerzo. En este caso, se le permite directamente al proceso de entrenamiento interactuar con el sistema a modelar, ajustando los parámetros del modelo hasta cumplir con la política o regla que se le ha marcado. Por ejemplo, mantener vertical un péndulo invertido que es altamente inestable, permitiendo que el algoritmo controle el soporte.

Los parámetros se seleccionan buscando aquellos que minimicen el valor de una función de coste que compara el resultado obtenido por el modelo para un conjunto de datos de entrada (*features*) con el objetivo marcado. Por ejemplo, en el caso del aprendizaje supervisado, para un problema de regresión, la función de coste podría definirse de tal forma que minimizara el cuadrado de la diferencia entre el valor obtenido por el modelo con respecto al valor de la etiqueta. Existen múltiples algoritmos de optimización[8] que se usan para esta búsqueda, la mayor parte basados en el cálculo del gradiente de la función de coste para cada uno de los pesos que definen la red. Estos algoritmos de optimización tienen a su vez parámetros que hay que seleccionar y cuyo valor óptimo variará en función de cada problema, como es el denominado *learning rate* (una constante que indica la proporción del cambio del peso que se está ajustando en función del valor del gradiente correspondiente).

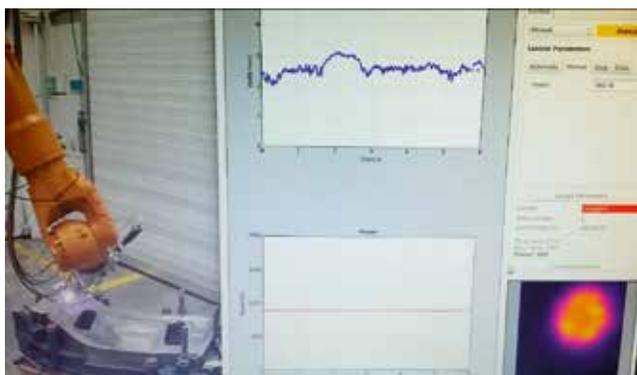
Por tanto, encontrar el mejor modelo (dentro de las características del diseño especificado) requiere ajustar un conjunto de atributos básicos del mismo (como son el número y tipo de capas, el número de elementos de cada capa, el tipo de funciones de activación, etc.) así como los parámetros asociados a la optimización de los pesos de cada modelo (como el tipo de algoritmo de optimización, el *learning rate*, etc.). Al proceso de selección de estos parámetros se denomina *búsqueda hiperparamétrica*.

Dado que esta búsqueda requiere la ejecución de múltiples optimizaciones de diversos posibles modelos, la utilización de entornos de supercomputación que permitan por un lado obtener rápidamente los pesos de cada uno de los modelos a través de la paralelización de los cálculos, como por otro ejecutar la optimización de varios modelos simultáneamente, puede reducir sustancialmente el tiempo de prueba de un nuevo diseño en el proceso iterativo descrito anteriormente. En este caso, el tiempo mínimo de espera, para la obtención de resultados, vendrá dado únicamente por el tiempo de entrenamiento del modelo más costoso computacionalmente. Asimismo, el tiempo mínimo de entrenamiento de un único modelo se puede reducir utilizando las capacidades de los procesadores multi-núcleo dentro de un computador o, incluso, usando la capacidad de computación distribuida de un supercomputador.

## CASO DE ESTUDIO: CYPLAM

Como caso de demostración de las capacidades de los supercomputadores para acelerar los procesos de diseño, dentro del proyecto europeo FORTISSIMO 2 y del experimento *Cyber-Physical Laser Metal Deposition (CyPLAM)*, desarrollado en colaboración con el centro tecnológico AIMEN y la pyme eslovaca EMO - Orodjarna d.o.o, se ha desplegado una solución para la búsqueda hiperparamétrica de redes convolucionales de procesado de imagen[9].

El objetivo del experimento era mejorar el proceso de deposición de metales por láser (en inglés, *Laser Metal Deposition*) controlando los diversos parámetros del mismo, como son la velocidad del cabezal o la intensidad del láser, a través de un ajuste obtenido a partir de los datos de monitorización. Uno de los sensores disponibles era una cámara térmica de alta velocidad, colocada en el cabezal robótico del láser, que capturaba las imágenes durante el proceso de deposición (ver Figura 4). Con el fin de proporcionar al sistema información útil, es necesario procesar estas imágenes, para lo cual se diseñó un modelo de redes neuronales. Como entrada, la red



**Figura 4. Fotografía del láser utilizado para LMD y del sistema de monitorización térmico.**

recibe el conjunto de imágenes, mientras que como salida se han de obtener la potencia del láser, que denominaremos a partir de ahora por sus siglas en inglés LP (*Laser Power*) y la velocidad del proceso (LHS, *Laser Header Speed*).

El desarrollo de este modelo industrial, así como su entrenamiento fue realizado utilizando el lenguaje de programación Python[10] y la API de ML de Google Tensor Flow (TF)[11].

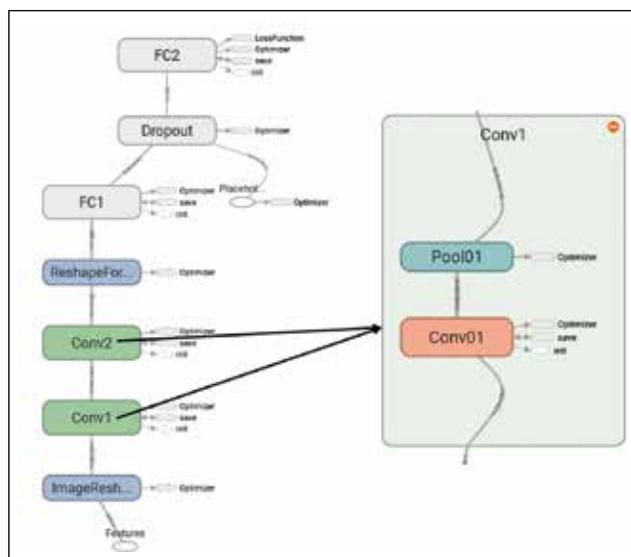
### Red neuronal

El modelo básico diseñado para CyPLAM se muestra en la Figura 5 y consta de las siguientes capas.

- Capa de entrada. Las *features* son los  $28 \times 28 = 784$  píxeles que componen la imagen obtenida por la cámara térmica (frame). El modelo recibe durante el entrenamiento un número de fotogramas que se selecciona a través de un parámetro llamado *batch\_size*.
- *Conv1* es una capa convolucional en donde se aplican dos operaciones:
  - Una operación de convolución que aplican  $cv1$  filtros cuadrados de tamaño  $[wc1, wc1]$  sobre cada fotograma. Adicionalmente, se le aplica a cada salida generada una función activación ReLU (definida como  $f(x) = \max(0, x)$ ).
  - Una capa de extracción del máximo (*Max Pooling*) en donde se reduce la dimensionalidad del problema obteniendo el máximo de los valores obtenidos anteriormente por cada  $2 \times 2$  píxeles, con un desplazamiento (*stride*) también de 2.
- *Conv2* es una segunda capa convolucional con las mismas características que *Conv1* que reduce cada fotograma a un tamaño  $(7, 7, n_{cv2})$ , siendo  $n_{cv2}$  el número de filtros de esta capa de tamaño  $[w_{c2}, w_{c2}]$ .

- *Reshape*. Esta capa no tiene parámetros, ya que simplemente cambia la forma del tensor de salida para cada fotograma de la capa anterior a  $(7 \times 7 \times n_{cv2})$ . Este será el número de entradas de la capa siguiente.
- *FC1*. Es una capa neuronal densa con  $n_{fc1}$  neuronas cuya función de activación, de nuevo, es ReLU.
- *Dropout*. Esta es una capa utilizada exclusivamente durante el entrenamiento que elimina aleatoriamente un número de salidas de la capa anterior antes de pasarlas a la siguiente[12][13]. En este caso, está configurada para mantener el 75% de los valores de salida de la capa FC1 como entrada de la capa siguiente. Esta capa se utiliza para evitar un sobreajuste del modelo a los datos de entrenamiento que podría provocar un funcionamiento erróneo con otro conjunto de datos.
- *FC2*. Esta es la capa de salida, que como tiene que predecir dos valores, tiene también dos neuronas: una que predice el valor de la potencia del láser (LP) y una segunda que predice la velocidad del proceso (LHS). En este caso, se ha usado una función de activación identidad para cada neurona.

Para el entrenamiento se contaban con un total de 206.721 imágenes térmicas proporcionadas por AIMEN, que se dividieron en dos subgrupos (“Datasets”): uno para el entrenamiento, con 44.505 fotogramas y otro de validación de 162.216 fotogramas. La función de coste usada fue:



**Figura 5 Modelo básico de la red neuronal utilizada. FC son capas neuronales densamente conectadas. Conv son capas convolucionales. Esquema obtenido desde la suite de visualización TensorBoard (incluida en TF).**

$$Loss = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m [(h_{LP}(x^i) - y_{LP}^i)^2 + (h_{LHS}(x^i) - y_{LHS}^i)^2]$$

donde:

- $x^i$  es el fotograma  $i$  del conjunto.
- $h_{LP}(x^i)$  es la predicción de la potencia del láser para el fotograma  $i$ .
- $y_{LP}^i$  es la etiqueta medida experimentalmente para ese fotograma  $i$  de la potencia del láser.
- $h_{LHS}(x^i)$  es la predicción de la velocidad del cabezal para el fotograma  $i$ .
- $y_{LHS}^i$  es la etiqueta de la velocidad para  $i$ .
- $m$  es el número total de fotografías.

Para realizar el entrenamiento se ha utilizado el optimizador Adam[14]. Además, para realizar cada paso del entrenamiento (es decir para realizar el cálculo de los gradientes necesarios) no se proporciona todo el conjunto de datos de entrenamiento completo, sino que en cada paso se procesa un lote de 128 imágenes (esto se conoce por su nombre en inglés *batch size*).

### Evaluación del modelo

La evaluación del rendimiento de un modelo es una de las fases principales en el proceso de ML. Para ello se deben seleccionar las métricas adecuadas que, atendiendo a los parámetros de estudio, permitan comprobar el nivel de acierto de las predicciones de un conjunto de datos mediante el modelo entrenado.

En el experimento descrito se seleccionó la métrica definida por la siguiente ecuación:

$$Accuracy_{20\%} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Err^i(x^i, y_{LP}^i, y_{LHS}^i) < 20\%)$$

Donde  $Err^i(x^i, y_{LP}^i, y_{LHS}^i)$  es el máximo de los errores relativos de LP y LHS calculado como:

$$Err^i(x^i, y_{LP}^i, y_{LHS}^i) = \text{Max} \left( \frac{y_{LP}^i}{h_{LP}(x^i)} - 1, \frac{y_{LHS}^i}{h_{LHS}(x^i)} - 1 \right)$$

Así pues, solo las predicciones cuyo error relativo sea menor del 20% serán considerados como buenas predicciones. La precisión (*Accuracy*) nos indica el porcentaje de buenas predicciones obtenidas sobre todo el conjunto de datos de validación. En cada entrenamiento se evaluó el valor de *Accuracy* para los *Datasets* de entrenamiento y validación en 200 pasos intermedios.

## RECURSOS COMPUTACIONALES DISTRIBUIDOS

### Supercomputador Finis Terrae II

La búsqueda hiperparamétrica se ejecutó en el supercomputador Finis Terrae II. Este supercomputador propiedad del Centro de Supercomputación de Galicia está basado en clústeres de procesadores Intel® Haswell y su configuración evoluciona constantemente con la incorporación de nuevas características o equipamientos, por lo que es recomendable visitar la página web del CESGA[15] para conocer su estado actual.

Los nodos del Finis Terrae II están interconectados mediante:

1. Interconexión de red de alto rendimiento Mellanox Infiniband FDR@56 Gbps.
2. Tarjetas: GigaBit Ethernet Network Interface Cards.

Todos los nodos disponen de acceso a dos tipos de sistemas de ficheros compartidos:

1. Un sistema de ficheros basados en Lustre conectados a través de InfiniBand. Esta infraestructura dispone de 760 TB de almacenamiento (400 discos de 2 TB) y es capaz de alcanzar un ancho de banda mayor que 20 GB/s.
2. Sistema de ficheros basado en NFS de hasta 600 TB de almacenamiento.

Para conectarse al sistema y transferir ficheros el Finis Terrae II dispone de una cabina NetApp FAS9000 Hybrid Flash Storage con un almacenamiento total de 1 PB.

El envío y ejecución de los trabajos se gestiona con un Sistema Slurm[16] (versión 14.11.10-Bull.1.0), que garantiza la correcta asignación de los recursos para cada trabajo, ajustando al comienzo de cada uno la frecuencia de cada núcleo a la nominal.

### Sistema Operativo y Detalles de la API

Todos los nodos en el momento de la ejecución usaban como sistema operativo Red Hat Enterprise Linux Server release 6.7.

Para los estudios presentados en este artículo se utilizó la versión de TensorFlow 1.0.0 que fue compilada explícitamente para el Finis Terrae II con y sin soporte para GPU utilizando el compilador gcc (versión 4.9.1), Python 2.7 distribuido por Anaconda 2, cuda 7.5 y la librería cuDNN 5.0.

Actualmente en el CESGA se encuentran disponibles diferentes versiones del TF compiladas explícitamente para el Finis Terrae II.

### Estrategias de entrenamiento paralelo

En general existen tres estrategias principales para realizar el entrenamiento de modelos de ML sobre recursos computacionales distribuidos multi-núcleo:

- **Simultáneo:** se realizan varios entrenamientos al tiempo haciendo uso del gran número de procesadores disponibles. Esto hace posible el entrenamiento de varios modelos al mismo tiempo y también de diferentes entrenamientos para un mismo modelo (con diferentes parámetros).
- **Distribuido:** varios procesadores en el mismo modo o en varios nodos de cálculo realizan un mismo entrenamiento. Esta estrategia es especialmente indicada para casos de estudio que involucran conjuntos de datos muy grandes.
- **Híbrido:** combina las dos estrategias anteriores, varios entrenamientos distribuidos se ejecutan simultáneamente en diversos nodos de cálculo.

Además, haciendo uso de los procesadores multi-núcleo se puede realizar la paralelización de un modelo dentro de un mismo nodo de cálculo para acelerar las operaciones de optimización involucradas. En el caso de TF, esta paralelización está incluida directamente a través de las librerías matriciales que emplea, por lo que no es responsabilidad del usuario programarla. Solo deberá indicar adecuadamente el número de núcleos que desea usar para el cálculo en ese nodo.

### Escalabilidad de los modelos en el sistema

Las estrategias mencionadas anteriormente permiten acelerar considerablemente los tiempos de entrenamiento de los

**TABLA 1. CONFIGURACIÓN DE LOS 3 MODELOS UTILIZADOS PARA EL ESTUDIO DE LA ESCALABILIDAD DEL SISTEMA**

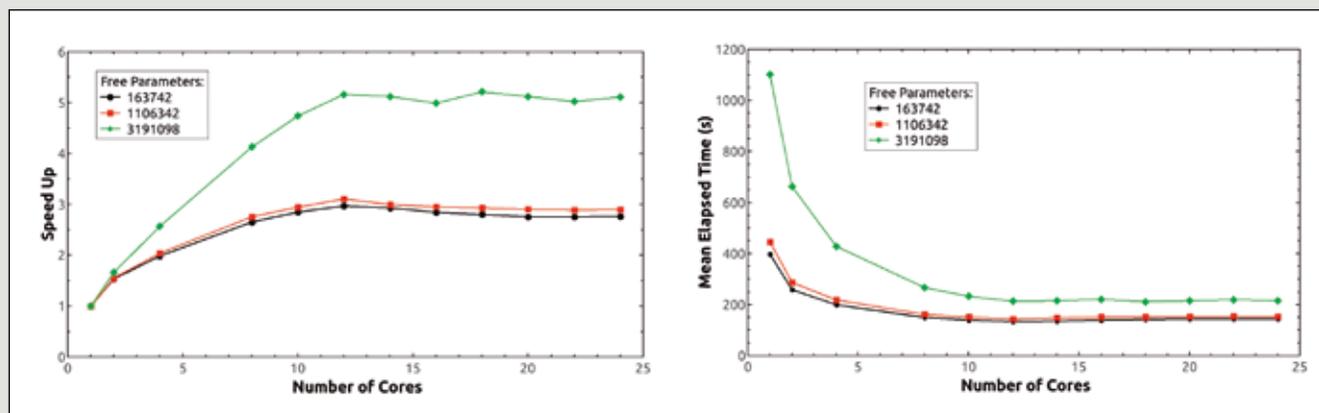
	Conv01		Conv02		FC-01	
Modelo	wc1	nc1	wc2	nc2	nfc1	Nº parámetros libres
Bajo	5	8	5	32	100	163.742
Medio	5	8	5	32	700	1.106.342
Alto	5	32	5	64	1000	3.191.098

modelos. Sin embargo, dependiendo del modelo, existe un número máximo de recursos por encima del cual el tiempo del entrenamiento ya no se ve reducido, por lo que el uso de más recursos no resulta útil y supone además un gasto de energía.

Para determinar el número máximo de recursos por nodo a usar en este experimento se analizó la escalabilidad de los modelos a emplear mediante el estudio de tres configuraciones diferentes de la red neuronal, de menor a mayor demanda computacional (ver Tabla 1) realizando 5 repeticiones por entrenamiento.

Este estudio preliminar permitió establecer el número máximo de recursos a asignar a cada entrenamiento para acelerarlo lo máximo posible, al tiempo que se hace un uso adecuado de los recursos del supercomputador Finis Terrae II.

Los resultados de esta prueba de escalabilidad se muestran en la Figura 6. En la imagen de la derecha se representa el tiempo promedio necesario para la ejecución de cada entrenamiento (5 repeticiones) frente al número de núcleos empleados. El gráfico de la izquierda muestra la aceleración



**Figura 6. Resultados de las pruebas de escalabilidad. Derecha: tiempo promedio de entrenamiento vs número de cores para los 3 modelos de la Tabla 1. Izquierda: Speed Up vs número de cores.**

**TABLA 2**  
**VALORES PROBADOS EN EL ESTUDIO HIPERPARAMÉTRICO**

	Tamaño de filtro	Número de neuronas
Capa convolucional 01	wc1=3,5	ncv1= 8, 16, 32
Capa convolucional 02	wc2=3,5	ncv2= 32, 64
Capa FC	N/A	nfc1=128, 256, 384, 512, 640, 768, 896, 1024

obtenida en relación al número de núcleos asignados (en inglés, *Speed Up*).

De estos resultados se concluye que el tiempo necesario para realizar un entrenamiento deja de disminuir por encima de 12 núcleos, por lo que cada nodo de Finis Terrae II (24 núcleos) puede ser usado para ejecutar dos entrenamientos simultáneos de estos modelos.

### Busqueda hiperparamétrica

Una vez seleccionadas la métrica y las estrategias de entrenamiento, y determinado el número máximo de recursos por modelo, es necesario seleccionar los hiperparámetros a analizar y realizar los estudios hiperparamétricos correspondientes. Para el caso descrito, el foco se puso en la búsqueda de los valores óptimos para el tamaño de filtro y el número de filtros de las capas convolucionales, y el número de neuronas de la primera capa FC. El objetivo fue que este conjunto óptimo de parámetros ofreciera el menor error en los resultados acorde a la métrica seleccionada.

La Tabla 2 muestra los diferentes valores a analizados para estos parámetros. Se utilizó una estrategia de búsqueda

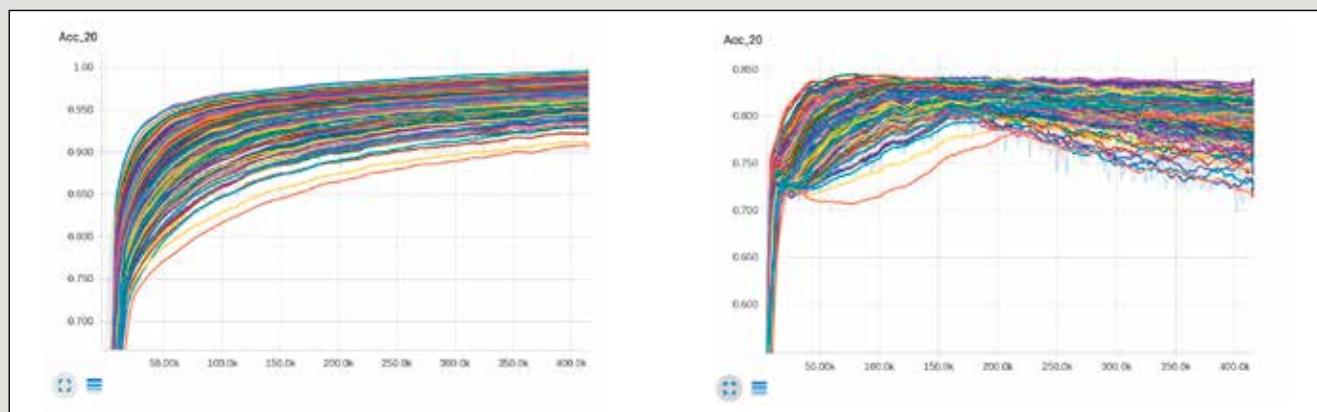
denominada "Grid search" (ver por ejemplo págs. 434-436 de [17] o págs. 71-74 de [18]) donde se probaron todas las posibles combinaciones de parámetros de dicha tabla dando lugar a 192 casos diferentes de entrenamiento con un número de parámetros libres en el rango de 203.506 a 3.266.434.

El *Learning rate* utilizado fue  $10^{-5}$ , el *dropout* fue del 75% y *batch size* de 128. En la Figura 7 se presenta la evolución de la métrica seleccionada (*Accuracy*) evaluada en el conjunto de datos de entrenamiento (izquierda) y de validación (derecha) para los 192 modelos estudiados.

Para cada uno de estos 192 modelos se obtuvo el valor máximo de la *Accuracy* ( $Max Accuracy_{validación}$ ) evaluada en el *dataset* de validación (es decir, se calcularon el máximo para las 192 curvas de la gráfica de la derecha de la Figura 7). Finalmente se seleccionaron los 10 modelos con mayor  $Max Accuracy_{validación}$  como los mejores modelos.

### Entrenamiento simultáneo

La suma total del tiempo de entrenamiento de cada uno de estos modelos era de 943 horas (unos 40 días de cálculo) que, utilizando las capacidades de cálculo en paralelo del Finis



**Figura 7.** *Accuracy* vs paso de entrenamiento evaluada en los "dataset" de entrenamiento (izquierda) y de validación (derecha) para los 192 modelos del estudio hiperparamétrico.

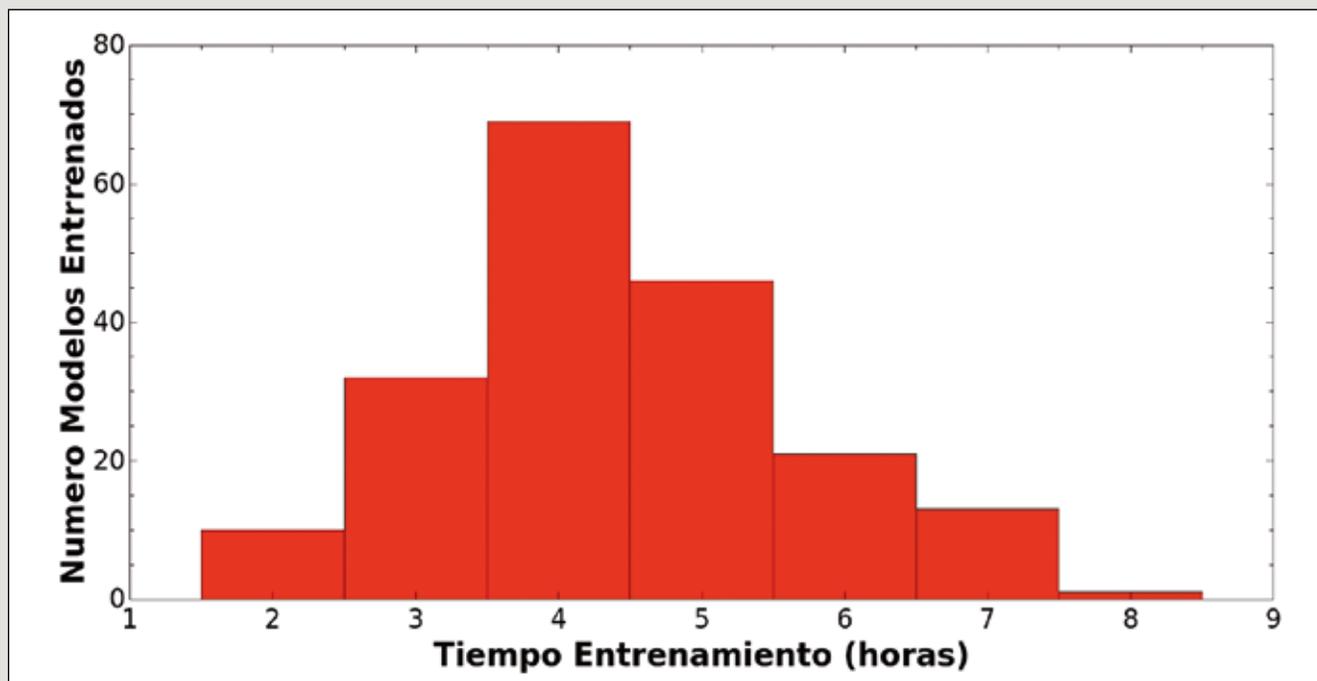


Figura 8. Histograma de la distribución de tiempo de entrenamiento de los 192 modelos.

TerraE II, pudo reducirse en un factor 13, pasando a 70 horas.

La Figura 8 presenta el histograma de la distribución de los tiempos de entrenamiento de los 192 modelos que conformaron el estudio hiperparamétrico. El tiempo de entrenamiento más bajo fue de 2,4 horas y el mayor de 8,2 horas. La mayor parte de los entrenamientos terminaron entre las 4 y las 5 horas.

Esta búsqueda hiperparamétrica se realizó como un caso de estudio y sin reserva de recursos especiales, por lo que el tiempo necesario para terminar todos los entrenamientos (70 horas) ha estado fundamentalmente limitado por la ocupación propia del sistema, y no realmente por el tiempo necesario para finalizar un entrenamiento. Como se observa en la Figura 8, el entrenamiento más largo necesitó 8 horas de cálculo, lo que marca el tiempo mínimo necesario para poder finalizarlo si se hiciese uso de todos los recursos necesarios para poder entrenar todos los modelos simultáneamente.

#### Entrenamiento distribuido

Utilizando la estrategia de entrenamiento simultáneo, el tiempo máximo del modelo que más tarda en finalizar (8,2 h) proporciona el límite inferior de tiempo para completar la búsqueda hiperparamétrica. Este límite persistirá, aunque se dediquen un mayor número de recursos.

Para poder disminuir este límite de tiempo se puede emplear la estrategia de entrenamiento híbrida, que consiste en combinar la estrategia de entrenamiento simultáneo con la estrategia de entrenamiento distribuido.

Una de las características más potentes de TF es su capacidad de computación distribuida, que permite dividir automáticamente el entrenamiento en diferentes nodos de computación y acelerar dicho proceso.

Estas características de computación distribuida del TF son relativamente sencillas de implementar mediante su propia API. No obstante, su utilización en un sistema de cómputo basado en un sistema de colas está lejos de ser trivial, ya que presenta diversas complicaciones:

- TF distribuido necesita conocer de antemano las direcciones IP de todas las computadoras que ejecutarán el cálculo. En un sistema de colas estas direcciones son totalmente desconocidas hasta que el trabajo se haya asignado.
- El servidor de TF distribuido se mantiene levantado aún cuando el entrenamiento haya terminado. Esto hace que se desperdicien recursos computacionales, ya que el trabajo se seguirá ejecutando siendo el sistema de colas el que lo termine al agotarse la reserva temporal.

**TABLA 3. VALORES DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO DE MAYOR TIEMPO DE ENTRENAMIENTO**

	Tamaño de filtro	Número de neuronas
Convolutional Layer 01	wc1=5	ncv1= 32
Convolutional Layer 02	wc2=3,5	ncv2= 64
Fully-connected Layer	N/A	nfc1=1024

Con el fin de facilitar a los usuarios del CESGA el uso de las capacidades distribuidas del TF, se ha desarrollado un paquete de Python denominado `tf4slurm`<sup>4</sup> que se encarga de realizar aquellas tareas que no son relevantes en el diseño del modelo a entrenar, pero que son indispensables para poder explotar estas capacidades distribuidas del TF en un entorno de computación como el Finis Terrae II[19].

Para comprobar las funcionalidades de este paquete y de demostrar cómo aprovechar las capacidades distribuidas del TF en el Finis Terrae II, se trabajó con el modelo que había requerido de mayor tiempo de entrenamiento con el fin de

acelerarlo. La configuración de dicho modelo se presenta en la Tabla 3.

Los parámetros de entrenamiento son los indicados previamente, excepto en el caso del parámetro `batch_size` que se ha aumentado de 128 a 1.024 fotografías con el fin de aprovechar al máximo las capacidades distribuidas del TensorFlow.

La prueba realizada consistió en entrenar el modelo de la Tabla 3 aumentando el número de tareas distribuidas dedicadas a su entrenamiento y midiendo el tiempo final en cada caso. Para este estudio se realizaron 5 repeticiones por cada número de tareas. Para cada tarea distribuida se utilizaron 6 núcleos, el número máximo de tareas distribuidas por nodo es de 4 (24 núcleos/nodo) y para realizar las pruebas se utilizaron siempre nodos de un mismo tipo de partición<sup>5</sup> ("Thinnodes").

En la Figura 9 se presenta como evoluciona el tiempo de entrenamiento promedio (eje izquierdo) y el *Speed Up* (eje derecho) a medida que se aumentan el número de tareas.

<sup>4</sup> Este paquete se ha liberado en GitHub: <https://github.com/gonfeco/tf4slurm>

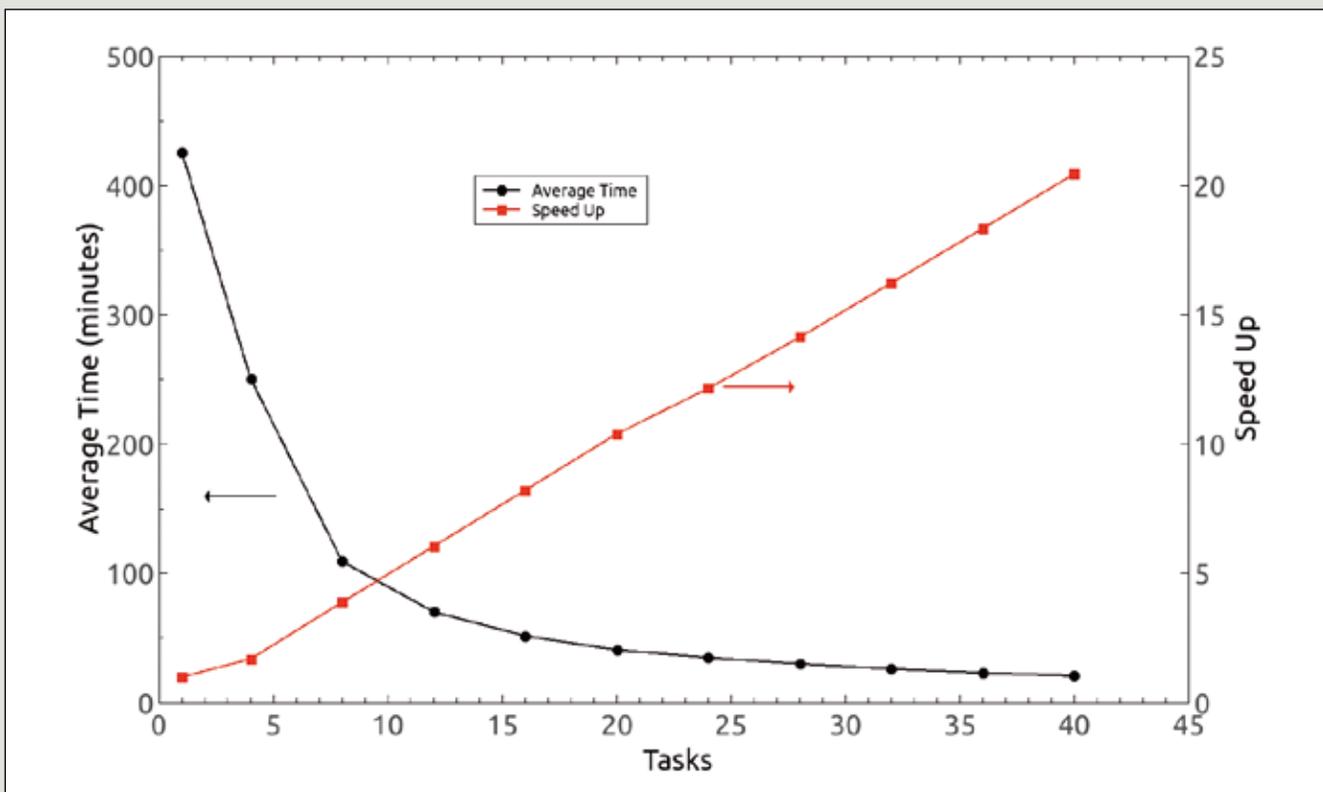


Figura 9. Tiempo promedio de entrenamiento (eje izquierdo) y Speed Up (eje derecho) vs número de tareas.

Como se puede observar, el tiempo de entrenamiento disminuye de 8 horas, cuando solo se utiliza una tarea, a menos de 30 minutos empleando 40. El *Speed Up* crece linealmente lo que indica que podría ser posible, añadiendo más tareas, reducir el tiempo de entrenamiento aún más.

## RESUMEN Y CONCLUSIONES

En este artículo se demuestra, en base a un caso de explotación industrial, como una infraestructura de supercomputación como el Finis Terrae 2 del CESGA puede acelerar el diseño y entrenamiento de un algoritmo de Machine Learning mediante dos métodos bien diferenciados:

- Una búsqueda hiperparamétrica realizada aprovechando capacidad de cómputo simultánea del supercomputador.
- Utilización de entrenamiento distribuido en varias máquinas aprovechando las capacidades de cómputo distribuido del TensorFlow.

Esta gran reducción de tiempo real de espera para obtener los resultados, muestra las ventajas que tiene para los ingenieros e investigadores el acceso a este tipo de infraestructuras. La utilización de la primera de las técnicas durante la fase de diseño, permite reducir los tiempos de búsqueda de los parámetros óptimos de un nuevo modelo de forma considerable, pasando de días a horas. Que puede reducirse de nuevo, usando la segunda técnica, hasta menos de una hora. Por otro lado, la segunda técnica puede usarse tanto durante la ejecución de las fases iniciales del diseño en donde se buscan los mejores parámetros, como en las finales, en donde el modelo finalmente elegido necesita un entrenamiento y análisis de resultados más detallado.

Por supuesto, los tiempos que se han presentado dependen fuertemente de los recursos computacionales, de los algoritmos finales que se utilicen, del paquete de diseño de las redes neuronales utilizado y del tamaño del conjunto de datos que se esté usando. Sin embargo, los resultados son generalizables para casi cualquier problema que tenga gran volumen de datos o diseños de redes neuronales complejos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen enormemente la colaboración de AIMEN y sus investigadores y técnicos participantes en el experimento CyPLAM tanto por aportar los datos que han sido cruciales para el desarrollo de estas técnicas como por los comentarios recibidos durante la ejecución del experimento, y posteriormente. Sin su valiosa colaboración, este trabajo no hubiera sido posible. Por otro lado, quieren expresar su agradecimiento al CESGA por el acceso al supercomputador Finis Terrae, pieza indispensable para la obtención de los resultados presentados aquí. Finalmente indicar que este trabajo ha sido financiado por el programa Horizonte 2020 de investigación y desarrollo de la Unión Europea dentro de las actividades del contrato número 680481 (proyecto Fortissimo 2). Estos resultados reflejan exclusivamente la visión de los autores, y la Comisión Europea no es responsable de ningún uso que pueda hacerse de la información que aquí se presenta.

<sup>5</sup> En SLURM una partición es un conjunto de nodos de computación que comparten una serie de características bien físicas (por ejemplo, que incluyan GPUs) o bien lógicas (por ejemplo, la asignación de la forma de ejecución de los trabajos, permitiendo o no permitiendo la ejecución simultánea de dos trabajos sobre el mismo nodo).

## BIBLIOGRAFÍA

---

1. M. Banko and E. Brill, "Scaling to Very Very Large Corpora for Natural Language Disambiguation," pp. 26-33, 2001.
2. A. Halevy, P. Norvig and F. Pereira, "The Unreasonable Effectiveness of Data", vol. 24, pp. 8-12, 05 2009.
3. Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio and P. Haffner, "Gradient-based learning applied to document recognition," vol. 86, nº 11, pp. 2278-2324, nov. 1998.
4. A. Krizhevsky, I. Sutskever and G. E. Hinton, "ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks," pp. 1097-1105, 2012.
5. C. Szegedy, W. Liu, Y. Jia, P. Sermanet, S. E. Reed, D. Anguelov, D. Erhan, V. Vanhoucke and A. Rabinovich, "Going Deeper with Convolutions", vol. abs/1409.4842, 2014.
6. K. He, X. Zhang, S. Ren and J. Sun, "Deep Residual Learning for Image Recognition," vol. abs/1512.03385, 2015.
7. K. Simonyan and A. Zisserman, "Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition", vol. abs/1409.1556, 2014.
8. S. Ruder, "An overview of gradient descent optimisation algorithms", nº arXiv: 1609.04747, 2016.
9. G. F. a. C. Coteló, "Hyper-parametric search using HPC infrastructures for Tensorflow", Santiago de Compostela, 2017.
10. G. Rossum, "Python Reference Manual", CWI (Centre for Mathematics and Computer Science), Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, 1995.
11. M. Abadi, A. Agarwal, P. Barham, E. Brevdo, Z. Chen, C. Citro, G. S. Corrado, A. Davis, J. Dean, M. Devin, S. Ghemawat, I. Goodfellow, A. Harp, G. Irving, M. Isard, Y. Jia, R. Jozefowicz, L. Kaiser, M. Kudlur, J. Levenberg, D. Mané, R. Monga, S. Moore, D. Murray, C. Olah, M. Schuster, J. Shlens, B. Steiner, I. Sutskever, K. Talwar, P. Tucker, V. Vanhoucke, V. Vasudevan, F. Viégas, O. Vinyals, P. Warden, M. Wattenberg, M. Wicke, Y. Yu and X. Zheng, TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Systems, 2015.
12. G. E. Hinton, N. Srivastava, A. Krizhevsky, I. Sutskever and R. Salakhutdinov, "Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors", vol. abs/1207.0580, 2012.
13. N. Srivastava, G. Hinton, A. Krizhevsky, I. Sutskever and R. Salakhutdinov, "Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting", vol. 15, pp. 1929-1958, 2014.
14. D. P. Kingma and J. Ba, "Adam: A Method for Stochastic Optimization", vol. abs/1412.6980, 2014.
15. CESGA, "Finis Terrae II infraestructura" [Online]. Available: <https://cesga.es/es/infraestructuras/computacion/FinisTerae2>.
16. A. B. Yoo, M. A. Jette and M. Grondona, "SLURM: Simple Linux Utility for Resource Management", in Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, Berlin, Heidelberg, 2003.
17. I. Goodfellow, Y. Bengio and A. Courville, Deep Learning, MIT Press, 2016.
18. A. Gron, Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems, 1st ed., O'Reilly Media, Inc., 2017.
19. G. Ferro, "Integrating Neural Network Parallel Training using Tensorflow," Santiago de Compostela, 2018.

# INFLUENCIA DEL PATÓLOGO QUE ANALIZA LA MUESTRA EN EL RIESGO ESTIMADO DE MALIGNIDAD DE LAS CITOLOGÍAS TIROIDEAS CON ATIPIA DE SIGNIFICADO INDETERMINADO

Manuel Penín (1), Beatriz San Millán (2), Laura Juaneda (2), Javier Lago (1)

Servicio de Endocrinología y Nutrición (1), Servicio de Anatomía Patológica (2). Complejo Hospitalario Universitario. Vigo. España.

## RESUMEN

### Introducción

Conocer el riesgo de malignidad de los nódulos tiroideos con citología Atipia de significado indeterminado (Categoría III) en un área sanitaria ayuda a la toma de decisiones clínicas. Pero dicha información podría ser equívoca. El presente estudio analiza las diferencias en dicho riesgo entre profesionales del mismo servicio de Anatomía Patológica.

### Material y métodos

En todos los casos intervenidos de un nódulo con atipia de significado indeterminado en nuestra área sanitaria entre 2009 y 2017 se comprobó el nombre del patólogo responsable del diagnóstico y la presencia o no de un carcinoma en la pieza quirúrgica en el nódulo puncionado. Las comparaciones entre porcentajes se hicieron usando el test Chi-cuadrado.

### Resultados

La muestra estuvo formada por 166 casos. Cuatro patólogos (A, B, C y D) cumplieron los requisitos descritos. Sus porcentajes respectivos de malignidad confirmada fueron 10, 46, 36 y 65%.

Las diferencias en el porcentaje de malignidad del patólogo A con los patólogos B, C y D fueron, respectivamente 36% ( $p = 0,051$ ), 26% ( $p = 0,09$ ) y 55% ( $p = 0,006$ ). Las diferencias del patólogo B con los patólogos C y D fueron 10% ( $p = 0,392$ ) y 19% ( $p = 0,233$ ). La diferencia del patólogo C con el patólogo D fue 29% ( $p = 0,028$ ).

### Conclusiones

Pueden existir diferencias sustanciales en el riesgo de malignidad de los nódulos tiroideos con atipia de significado

indeterminado entre patólogos del mismo servicio. Su magnitud podría implicar diferencias en el manejo de los pacientes con esta patología.

**Palabras clave:** Tiroides. Nódulo. Atipia de significado indeterminado.

## ABSTRACT

### Background

To know the risk of malignancy of thyroid nodules with atypia of undetermined significance in an area might be helpful in clinical decision. But this information could be deceptive. The present study evaluates differences in such risk among pathologists working in the same place.

### Material and methods

We checked the name of the pathologist who made the diagnosis and the confirmation of existence of a cancer in the excised gland in the place of the fine needle aspiration biopsy in every patient who underwent surgery because of a thyroid nodule with Atypia of undetermined significance (Category III). Comparisons between percentages were made using Chi-square test.

### Results

The sample had 166 cases. 10 pathologists (A, B, C, D) met the requirements described. Their respective percentages of malignancy were 10, 46, 36 and 65%.

Differences in percentage of malignancy among pathologist A and pathologists B, C and D were, respectively 36% ( $p =$

0,051), 26% ( $p = 0,09$ ) y 55% ( $p = 0,006$ ). Differences among pathologist B and pathologists C and D were 10% ( $p = 0,392$ ) y 19% ( $p = 0,233$ ). Difference among pathologists C and D was 29% ( $p = 0,028$ ).

### Conclusions

There could be remarkable differences in risk of malignancy of thyroid nodules with atypia of undetermined significancy among pathologists working in the same service. These could imply differences in clinical management of patients.

**Keywords:** Thyroid. Nodule. Atypia of undetermined significancy.

## INTRODUCCIÓN

El Sistema Bethesda es el estándar mundial de información de citopatologías tiroideas. Este sistema unificó una nomenclatura que hasta entonces era dispar proponiendo la existencia de seis únicas categorías citológicas: Citología no diagnóstica (Categoría I), Benigna (Categoría II), Atipia de significado indeterminado (Categoría III), Neoplasia folicular (Categoría IV), Sospechosa de malignidad (Categoría V) y Maligna (Categoría VI); cada una de ellas con su riesgo estimado de malignidad.

Las principales guías clínicas usan dichos riesgos de malignidad para establecer sus recomendaciones de manejo clínico de los nódulos de tiroides. Un ejemplo paradigmático de este uso es la Guía de Manejo de Pacientes con Nódulos Tiroideos y Cáncer de Tiroides de la Asociación Americana de Tiroides, cuyos consejos siguen clínicos en todo el mundo y que recomienda la cirugía de los nódulos con citología perteneciente a la Categoría IV (Neoplasia folicular), Categoría V (Sospechosa de malignidad) o Categoría VI (Maligna) porque su riesgo mínimo estimado de malignidad según el Sistema Bethesda es superior a 15%; y aconseja hacer un seguimiento clínico, evitando la cirugía, en los nódulos con citología perteneciente a la Categoría I (No diagnóstica) o Categoría II (Benigna) porque su riesgo máximo estimado de malignidad es inferior a 5%.

El rango de riesgo estimado de malignidad que el Sistema Bethesda atribuye a los nódulos con citología perteneciente a la Categoría III (Atipia de significado indeterminado) es 5-15%, intermedio por tanto entre el riesgo que hace aconsejable la cirugía y aquel que permite evitarla. Se han probado, con éxito dispar, varios métodos para identificar dentro de este grupo de nódulos aquellos con un riesgo de malignidad mayor, en los que lo recomendable sería su extirpación; y los casos con un riesgo menor, en los que se podría evitar la cirugía. Entre dichos métodos están la evaluación de signos clínicos o ecográficos de malignidad<sup>3, 4, 5, 6, 7</sup>, la realización

de análisis moleculares de las muestras<sup>8, 9, 10, 11</sup>, la repetición del análisis citológico mediante punción-aspiración con aguja fina (PAAF)<sup>12, 13, 14, 15</sup>, la división de esta categoría en subgrupos citológicos o que cada institución analice el riesgo de malignidad de sus nódulos de esta categoría. Este riesgo era, en el año 2015 en nuestra área sanitaria, de 48%; una cifra alejada de la que sugiere el Sistema Bethesda pero similar a la publicada por otros autores.

Los objetivos de este trabajo son comprobar si existen diferencias en la prevalencia de malignidad de los nódulos con atipia de significado indeterminado (categoría III) según el patólogo que informa la citología y, si así fuese, si las diferencias podrían implicar distintas actitudes en el manejo clínico de los pacientes.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Mediante un muestreo consecutivo se seleccionaron todas las citologías de tiroides calificadas como Atipia de significado indeterminado (categoría III) por el Servicio de Anatomía Patológica del Complejo Hospitalario Universitario de Vigo desde la implantación en dicho servicio del Sistema Bethesda (2009) hasta julio de 2017. Se excluyó de la muestra a todos aquellos pacientes a los que no se hubiese realizado tiroidectomía en el momento del estudio.

Se comprobó qué miembro del Servicio de Anatomía Patológica firmaba cada informe y se excluyó del análisis a todos aquellos patólogos que no hubiesen firmado al menos diez informes.

En cada caso se comprobó si la histología de la pieza quirúrgica demostraba o no la presencia de un carcinoma de tiroides en el nódulo en el que se había realizado la punción-aspiración con aguja fina que dio lugar a la citopatología informada como Atipia de significado indeterminado (Categoría III).

Las variables cuantitativas se expresan en el texto como media  $\pm$  desviación estándar. Los intervalos de confianza que aparecen son del 95%. Las comparaciones entre porcentajes se realizaron usando el test Chi-cuadrado. Se consideraron significativas las diferencias con  $p < 0,05$ .

## RESULTADOS

Durante el período analizado, el Servicio de Anatomía Patológica del Complejo Hospitalario Universitario de Vigo calificó de Atipia de significado indeterminado (Categoría III) 182 citologías de tiroides, que representaban un 11% de todas las citologías tiroideas analizadas por dicho servicio.

**TABLA 1. RESULTADOS SEGÚN PATÓLOGO.**  
**Nº CASOS ES EL NÚMERO DE DIAGNÓSTICOS DE CITOLOGÍA CATEGORÍA 3. Nº MALIGNOS ES EL NÚMERO DE CASOS QUE SE DEMOSTRARON HISTOLÓGICAMENTE MALIGNOS. % MALIGNOS ES EL PORCENTAJE DE LOS MALIGNOS DE CADA PATÓLOGO. IC 95% ES EL INTERVALO DE CONFIANZA DE MALIGNIDAD DEL 95%**

	Nº casos	Nº malignos	% malignos	IC 95%
Patólogo A	10	1	10%	2-40%
Patólogo B	24	11	46%	28-65%
Patólogo C	100	36	36%	27-46%
Patólogo D	17	11	65%	41-83%

En el momento en el que se completó este estudio no se había realizado tiroidectomía a 15 pacientes con un nódulo con Atipia de significado indeterminado (Categoría III). 4 de ellos estaban pendientes de cirugía en ese momento, y en los 11 restantes se decidió no hacerla: en 4 casos por su edad avanzada o la existencia de comorbilidades que desaconsejaban la intervención, en 5 por decisión del paciente y su médico, y en los otros 2 porque el paciente no volvió a la consulta tras el diagnóstico.

La muestra final estuvo formada, por tanto, por 166 casos. Los pacientes tenían una edad de  $54 \pm 15$  años en el momento del diagnóstico y el 84% eran mujeres.

10 patólogos pertenecientes al Servicio de Anatomía Patológica del Complejo Hospitalario firmaron todos los informes citológicos de nuestra muestra. 4 de ellos (a los que en adelante llamaremos patólogos A, B, C y D) fueron los firmantes de al menos 10 informes. El rango del número de informes de los 6 patólogos restantes fue 1-6.

El patólogo A identificó 10 casos de Atipia de significado indeterminado (Categoría III). 1 de esos 10 casos se demostró histológicamente maligno tras la cirugía. Riesgo de malignidad: 10%. Intervalo de confianza 95%: [2, 40%] (Tabla 1).

El patólogo B identificó 24 casos de Atipia de significado indeterminado (Categoría III). 11 de esos 24 casos se demostraron histológicamente malignos tras la cirugía. Riesgo de malignidad: 46% Intervalo de confianza 95% [28, 65%] (Tabla 1).

El patólogo C identificó 100 casos de Atipia de significado indeterminado (Categoría III). 36 de esos 100 casos se demostraron histológicamente malignos tras la cirugía. Riesgo de malignidad: 36%. Intervalo de confianza 95% [27, 46%] (Tabla 1).

El patólogo D identificó 17 casos de Atipia de significado indeterminado (Categoría III). 11 de esos 17 casos se

demonstraron histológicamente malignos tras la cirugía. Riesgo de malignidad: 65% Intervalo de confianza 95% [41, 83%] (Tabla 1).

Las diferencias de los porcentajes de malignidad confirmados histológicamente del patólogo A con los patólogos B, C y D, la probabilidad de error alfa de dichas diferencias y su intervalo de confianza del 95% fueron respectivamente 36%  $p = 0,051$  IC 95% [0,5, 57%]; 26%  $p = 0,09$  IC 95% [6, 39%] y 55%  $p = 0,006$  IC 95% [16, 75%].

Las diferencias de los porcentajes de malignidad confirmados histológicamente del patólogo B con los patólogos C y D, la probabilidad de error alfa de dichas diferencias y su intervalo de confianza del 95% fueron respectivamente 10%  $p = 0,392$  IC 95% [-11, 31%] y 19%  $p = 0,233$  IC 95% [-11, 44%].

La diferencia de los porcentajes de malignidad del patólogo C y D, la probabilidad de error alfa de dicha diferencia y su intervalo de confianza fueron respectivamente 29%  $p = 0,028$  IC 95% [29, 49%].

## COMENTARIOS

Aunque estaba descrita la influencia del patólogo que analiza las muestras en el riesgo de malignidad de cada categoría citopatológica de tiroides, y se sabía que las diferencias interobservador son especialmente notables en las citologías con Atipia de significado indeterminado (Categoría III), creemos que ésta es la primera publicación que demuestra diferencias en dicho riesgo de malignidad entre profesionales pertenecientes al mismo servicio de anatomía patológica.

Todos los casos de nuestra muestra procedían de la misma área sanitaria. Esto, que es un sesgo de selección y una de las debilidades de nuestro trabajo, paradójicamente también lo fortalece: desde la implantación del Sistema Bethesda hasta la actualidad, las personas que realizan punción-aspiración con

aguja fina de tiroides en el área y la técnica que usan son las mismas. Solo los patólogos que evalúan las extensiones han cambiado.

Aunque en otras zonas la extirpación de los nódulos con citología Atipia de significado indeterminado (Categoría III) es infrecuente, en el área sanitaria analizada la cirugía es la norma: excluyendo aquellos pacientes pendientes de operación, se realizó en el 94% de los casos. Esto, que es la consecuencia del alto riesgo de malignidad demostrado de estos nódulos en nuestra área, refuerza las conclusiones de este trabajo. No hemos encontrado diferencias significativas al comparar las características epidemiológicas de los pacientes operados y de aquellos en los que no se realizó cirugía ni al comparar las características ecográficas de los nódulos de unos y otros pacientes (datos no publicados).

Aunque la Asociación Americana de Tiroides recomienda que el porcentaje de diagnósticos de Atipia de significado indeterminado (Categoría III) no supere el 7% del total de citologías evaluadas, las publicaciones sobre esta cuestión muestran cifras entre 1-27% en los distintos servicios analizados. Nuestro Servicio de Anatomía Patológica tiene cifras dentro de ese rango y no creemos que tal circunstancia pueda influir en los resultados que hemos obtenido.

La existencia de un grupo de patólogos con un número pequeño de diagnósticos de Atipia de significado indeterminado (Categoría III) es la consecuencia de circunstancias laborales, como vacaciones o períodos de baja de aquellos profesionales que evalúan habitualmente las citologías de tiroides. Se marcó arbitrariamente una cantidad mínima de 10 citologías con este diagnóstico para incluir a un patólogo en el análisis del presente trabajo entendiendo que alguien con un número menor de casos podría tener porcentajes muy altos o muy bajos de malignidad pero poco representativos.

Valoramos la posibilidad de que las diferencias descritas entre patólogos en los riesgos de malignidad de las citologías Atipia de significado indeterminado (Categoría III) fuesen la consecuencia de la distinta formación de los profesionales. No es así: los patólogos C y D, entre los que hay diferencias estadísticamente significativas de riesgo de malignidad entre los nódulos con dichas citologías, se formaron en el mismo lugar; y los patólogos A y B, en los que las diferencias rozan la significación estadística, lo hicieron en nuestro Complejo Hospitalario de Vigo, teniendo como maestros a los otros dos patólogos. No parece que las diferencias de formación puedan haber sido decisivas en los resultados que hemos obtenido.

Durante el período analizado, el Servicio de Anatomía Patológica del Complejo Hospitalario de Vigo calificó de

Maligna (Categoría VI) 33 citologías de tiroides (el 2% del total de las citologías analizadas, y todos estos nódulos se confirmaron como malignos tras la cirugía). En dicho período calificó de Sospechosa de malignidad (Categoría V) 31 citologías de tiroides (1,8% del total de las citologías analizadas, el 68% de esos nódulos se demostró maligno tras la cirugía). Y calificó de Neoplasia folicular (Categoría IV) 36 citologías de tiroides (2,1% de las realizadas, el 53% de esos nódulos se demostró maligno tras la cirugía).

No hay, por tanto, diferencias en el riesgo de malignidad de los nódulos citológicamente Malignos (Categoría VI) según el patólogo que analice la muestra. No podemos sacar conclusiones sobre los riesgos de malignidad de los nódulos con citología sospechosa de malignidad (Categoría V) porque sólo un patólogo alcanzó los 10 diagnósticos pertenecientes a esta categoría. Dos profesionales (patólogos A y C) alcanzaron los 10 diagnósticos citológicos de Neoplasia folicular (Categoría IV), y sus porcentajes de malignidad fueron respectivamente 50 y 56% ( $p = 0,61$ ): no hemos podido demostrar diferencias significativas en el riesgo de malignidad de esta categoría citológica según el patólogo que analice la muestra. La influencia del patólogo en el riesgo de malignidad de un nódulo parece limitarse a aquellos nódulos con citología Atipia de significado indeterminado (Categoría III).

Nuestro trabajo muestra que el riesgo de malignidad de los nódulos con citología Atipia de significado indeterminado (Categoría III) puede ser significativamente distinto entre profesionales pertenecientes al mismo servicio de Anatomía Patológica. Pero no solo eso: en tres de los patólogos analizados dicho riesgo es muy superior al de la cifra de 15% que aconseja hacer cirugía, y sus intervalos de confianza de 95% de dicho riesgo hacen improbable que cualquier serie de estas citologías de cualquiera de ellos pueda tener un riesgo inferior a ese porcentaje; y el riesgo de malignidad de los esos mismos nódulos del cuarto patólogo es una cifra que permite dudar entre recomendar o no la realización de cirugía a los pacientes que los sufren. Todo esto tiene implicaciones clínicas: el Servicio de Endocrinología del Complejo Hospitalario de Vigo toma ahora la decisión de recomendar o no la extirpación de un nódulo con citología Atipia de significado indeterminado (Categoría III) teniendo en cuenta la identidad del patólogo que firma el informe citopatológico. Aconsejamos a otras áreas sanitarias que analicen si las diferencias que hemos encontrado existen también en sus territorios.

En noviembre-2017 el Sistema Bethesda actualizó su sistema de información de citologías tiroideas, incluyendo una nueva categoría histológica llamada "Neoplasia folicular no invasiva con rasgos nucleares papilares". Si los nódulos de esta

categoría se consideran benignos, como recomienda la guía, los cambios en los riesgos estimados de malignidad y sus implicaciones clínicas serán mínimos.

## CONCLUSIONES

---

Pueden existir diferencias sustanciales en el riesgo de malignidad de los nódulos tiroideos con citología Atipia de significado indeterminado (Categoría III) entre patólogos pertenecientes al mismo servicio.

Esas diferencias pueden tener implicaciones en el manejo clínico de dichos nódulos.

Los clínicos deberían conocer el riesgo de malignidad de dichos nódulos que tiene cada patólogo con el que trabaja para tomar las decisiones clínicas adecuadas: conocer el riesgo de malignidad global del Servicio de Anatomía Patológica puede no ser suficiente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Cibas ES, Ali SZ. The Bethesda system for reporting thyroid cytopathology. *Thyroid*. 2009; 19:1159-1165.
2. Bryan R. Haugen, Erik K. Alexander, Keith C. Bible, Gerard M. Doherty, Susan J. Mandel, Yuri E. Nikiforov, Furio Pacini, Gregory W. Randolph, Anna M. Sawka, Martin Schlumberger, Kathryn G. Schuff, Steven I. Sherman, Julie Ann Sosa, David L. Steward, R. Michael Tuttle, and Leonard Wartofsky. 2015 American Thyroid Association Management Guidelines for Adult Patients with Thyroid Nodules and Differentiated Thyroid Cancer. The American Thyroid Association Guidelines Task Force on Thyroid Nodules and Differentiated Thyroid Cancer. *Thyroid*. 2016; 26(1):1-188.
3. Jeong SH, Hong HS, Lee EH, Cha JG, Park JS, Kwak JJ 2013 Outcome of thyroid nodules characterized as atypia of undetermined significance or follicular lesion of undetermined significance and correlation with ultrasound features and BRAF(V600E) mutation analysis. *AJR Am J Roentgenol* 201;W854-W860.
4. Yoo WS, Choi HS, Cho SW, Moon JH, Kim KW, Park HJ, Park SY, Choi SI, Choi SH, Lim S, Yi KH, Park do J, Jang HC, Park YJ 2014 The role of ultrasound findings in the management of thyroid nodules with atypia or follicular lesions of undetermined significance. *Clin Endocrinol (Oxf)* 80:735-742.
5. Gweon HM, Son EJ, Youk JH, Kim JA 2013 Thyroid nodules with Bethesda system III cytology: can ultrasonography guide the next step? *Ann Surg Oncol* 20:3083-3088.
6. Kim DW, Lee EJ, Jung SJ, Ryu JH, Kim YM 2011 Role of sonographic diagnosis in managing Bethesda class III nodules. *AJNR Am J Neuroradiol* 32:2136-2141.
7. Rosario PW 2014 Thyroid nodules with atypia or follicular lesions of undetermined significance (Bethesda Category III): importance of ultrasonography and cytological subcategory. *Thyroid* 24:1115-1120.
8. Nikiforov YE, Ohori NP, Hodak SP, Carty SE, LeBeau SO, Ferris RL, Yip L, Seethala RR, Tublin ME, Stang MT, Coyne C, Johnson JT, Stewart AF, Nikiforova MN 2011 Impact of mutational testing on the diagnosis and management of patients with cytologically indeterminate thyroid nodules: a prospective analysis of 1056 FNA samples. *J Clin Endocrinol Metab* 96:3390-3397.
9. Beaudenon-Huibregtse S, Alexander EK, Guttler RB, Hershman JM, Babu V, Blevins TC, Moore P, Andruss B, Labourier E 2014 Centralized molecular testing for oncogenic gene mutations complements the local cytopathologic diagnosis of thyroid nodules. *Thyroid* 24:1479-1487.
10. Alexander EK, Kennedy GC, Baloch ZW, Cibas ES, Chudova D, Diggans J, Friedman L, Kloos RT, LiVolsi VA, Mandel SJ, Raab SS, Rosai J, Steward DL, Walsh PS, Wilde JL, Zeiger MA, Lanman RB, Haugen BR 2012 Preoperative diagnosis of benign thyroid nodules with indeterminate cytology. *N Engl J Med* 367:705-715.
11. Lastra RR, Pramick MR, Crammer CJ, LiVolsi VA, Baloch ZW 2014 Implications of a suspicious afirma test result in thyroid fine-needle aspiration cytology: an institutional experience. *Cancer Cytopathol* 122:737-744.
12. Nayar R, Ivanovic M 2009 The indeterminate thyroid fine-needle aspiration: experience from an academic center using terminology similar to that proposed in the 2007 National Cancer Institute Thyroid Fine Needle Aspiration State of the Science Conference. *Cancer* 117:195-202.
13. Baloch Z, LiVolsi VA, Jain P, Jain R, Aljada I, Mandel S, Langer JE, Gupta PK 2003 Role of repeat fine-needle aspiration biopsy (FNAB) in the management of thyroid nodules. *Diagn Cytopathol* 29:203-206.
14. Yassa L, Cibas ES, Benson CB, Frates MC, Doubilet PM, Gawande AA, Moore FD Jr, Kim BW, Nose V, Marqusee E, Larsen PR, Alexander EK 2007 Long-term assessment of a multidisciplinary approach to thyroid nodule diagnostic evaluation. *Cancer* 111:508-516.
15. Yang J, Schnadig V, Logrono R, Wasserman PG 2007 Fine-needle aspiration of thyroid nodules: a study of 4703 patients with histologic and clinical correlations. *Cancer* 111:306-315.
16. Nishino M, Wang HH 2014 Should the thyroid AUS/ FLUS category be further stratified by malignancy risk? *Cancer Cytopathol* 122:481-483.
17. Yolanda López Vázquez, Manuel Penín Álvarez, Pilar San Miguel Fraile, María Barragáns Pérez. Riesgo de malignidad de los nódulos tiroideos con atipia de significado incierto, *Endocrinol Nutr* 2015;62:507-510.
18. Ohori NP, Schoedel KE 2011 Variability in the atypia of undetermined significance/follicular lesion of undetermined significance diagnosis in the Bethesda System for Reporting Thyroid Cytopathology: sources and recommendations. *Acta Cytol* 55:492-498.
19. Cibas ES, Baloch ZW, Fellegara G, LiVolsi VA, Raab SS, Rosai J, Diggans J, Friedman L, Kennedy GC, Kloos RT, Lanman RB, Mandel SJ, Sindy N, Steward DL, Zeiger MA, Haugen BR, Alexander EK 2013 A prospective assessment defining the limitations of thyroid nodule pathologic evaluation. *Ann Intern Med* 159: 325-332.
20. Cibas ES, Ali SZ 2017 The 2017 Bethesda system for reporting thyroid cytopathology. *Thyroid* 27:1341-46.

# CARACTERÍSTICAS SENSORIALES Y NUTRITIVAS EN ACEITES DE OLIVA VIRGEN ESPAÑOLES Y ADECUACIÓN DE SU ETIQUETADO A LA NORMATIVA VIGENTE

M<sup>a</sup>. Victoria Campos Novoa, Concepción Pérez Lamela

Grupo AA1 Agrupación CITACA. Dpt<sup>o</sup>. Química Analítica y Alimentaria. Universidad de Vigo.  
Facultad de Ciencias. Campus de Ourense. España.

## RESUMEN

El aceite de oliva virgen o virgen extra es uno de los pilares fundamentales de la dieta mediterránea y generalmente se elabora de forma monovarietal. Cada variedad de aceituna (existen más de 200 en España) confiere unas características organolépticas típicas, muchas de las cuales se recopilan en este trabajo.

La adulteración en el aceite de oliva virgen es frecuente debido a su elevado precio en el mercado. Los métodos actualmente más empleados en la detección de la autenticidad del aceite de oliva virgen y virgen extra son los métodos cromatográficos, aunque se está poniendo de moda la realización de quimiometría junto con otras técnicas de detección de adulteración como espectrofotometría infrarroja (IR). Para evitar el uso de esas técnicas, muy costosas para el consumidor de a pie; la autenticidad del aceite se puede asegurar utilizando su propio olfato y gusto, considerando que no puede tener características negativas al degustarlo como: ácido, agrio, atrojado, metálico, moho y rancio.

El etiquetado es el principal medio de comunicación entre los productores y el consumidor, y nos permite conocer el alimento, su origen, su modo de conservación, los ingredientes que lo componen o los nutrientes que aportan a nuestra dieta. Beneficia a los consumidores, especialmente a personas alérgicas o intolerantes, por este motivo es importante que haya regulación que nos asegure comprender de forma sencilla y clara toda la información relativa a los alimentos que consumimos. Se realizó un control del etiquetado de diferentes marcas comerciales conocidas en los establecimientos españoles (30 productos), observando que no todos cumplen con lo establecido en la legislación vigente.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo del olivo surge en el sur del Cáucaso, altiplanicie de Irán, costa de Siria y Palestina. Los romanos difundieron el cultivo de la oliva (*Olea europaea*) por todo el Mediterráneo a partir del siglo II a. C.

El olivo pertenece al género *Olea*, de la familia Oleaceae. Se trata de un árbol de copa ancha y hoja perenne que puede vivir varios siglos gracias a la particularidad que tienen las yemas temporales de su bajo-tronco para emitir raíces y brotes, y a una propagación de lo más variada que incluye reproducción (carozo) y multiplicación (injerto, esqueje semileñoso o herbáceo, óvulos, estacas, brotes de pie y micro-propagación) ([www.mondoliva.com](http://www.mondoliva.com)).

Según FAOSTAT, la producción de aceite de oliva virgen en 2014, rondaba las 1.740.000 toneladas en España, siendo el primer país productor a nivel mundial, seguida de Italia, con 300.000, Grecia, con 210.000 y Turquía con 74.000. En la actualidad, España sigue siendo el primer país productor (FAOSTAT, 2014).

En España se cultivan alrededor de 200 variedades de aceitunas. Dentro de las variedades de oliva de origen gallego están la "Brava" y la "Mansa" (reconocidas en octubre del 2017). Son variedades bien adaptadas a las condiciones climáticas gallegas, muy diferentes en pluviometría y horas de sol en comparación con las de origen en Andalucía (Rodríguez, 2015). Las características organolépticas de 24 variedades se muestran en la Tabla 1.

El etiquetado nos permite conocer el alimento, su origen, su modo de conservación, los ingredientes que lo componen o los nutrientes que aportan a nuestra dieta. El objetivo del

**TABLA 1. VARIEDADES DE ACEITUNAS (WWW.ACEITESDEOLIVADEESPANA.COM)  
CARACTERÍSTICAS SENSORIALES Y NUTRITIVAS EN ACEITES DE OLIVA VIRGEN  
ESPAÑOLES Y ADECUACIÓN DE SU ETIQUETADO A LA NORMATIVA VIGENTE**

Campos Novoa, M<sup>a</sup> Victoria; Pérez Lamela, Concepción

Variedad Aceituna	Foto variedad	Origen y cultivo principal	Características sensoriales aceite
Aloreña		Málaga	Aroma predominante a fruta verde y a hierba.
Arbequina		Cataluña	Aroma frutado, manzana, plátano y almendra.
Blanqueta		Alicante	Aroma altamente frutado, intenso picante e importante amargor.
Brava	-	Galicia	Picante y amargo.
Castellana		Castilla-La Mancha	Aroma frutado y muy aromáticos, con un picor característico. Notas verdes de hierba, hoja y plátano.
Changlot Real		Comunidad Valenciana	Aroma frutado, picante intenso y amargo más matizado. Tonos a manzana, madera y almendra.
Cornicabra		Toledo, Ciudad Real y Madrid	Aroma a manzana, notas herbáceas de hoja de olivo, con un ligero sabor amargo.
Empeltre		Aragón	Sabor de la manzana verde y de la almendra.
Farga		Castellón, Tarragona	Sabor intenso, con notas que recuerdan a la almendra y la nuez.
Hojiblanca		Málaga, Córdoba, Granada y Sevilla	Sabor y aroma a hierba recién cortada, alcachofa y plantas aromáticas.
Lechín de Granada		Granada	Sabor dulce.
Lechín de Sevilla		Sevilla	Aroma frutado, con tonos verdes, picor y amargor.
Mansa	-	Galicia	Dulce, picante y amargo.
Manzanilla de Cáceres		Extremadura	Aroma frutado a verde, manzana verde.
Manzanilla de Sevilla		Sevilla	Aroma frutado medio, con picante y amargo ligeros. Aromas a hierba, almendra e higuera.
Morisca		Badajoz	Aroma frutado.

Variedad Aceituna	Foto variedad	Origen y cultivo principal	Características sensoriales aceite
Picual		Jaén, Córdoba y Granada	Aroma frutado, ligero picor y amargor.
Picudo		Córdoba, Granada, Málaga y Jaén	Sabor frutado verde con notas de manzana verde y hoja de olivo.
Royal		Jaén	Sabor frutado en los que predominan las notas a higuera.
Sevillena		Tarragona y Castellón	Aroma frutado, poco amargo y con un picante apreciable. Notas a manzana verde y plátano.
Verdial de Badajoz		Badajoz	Aroma frutado medio-alto. Tonos a almendra y frutas maduras. Amargo ligero.
Verdial de Huévar		Huelva	Aroma muy frutados y de picor y amargor intensos. Tonos verdes, con un claro sabor a almendra verde e higuera.
Verdial de Vélez-Málaga		Málaga	Aroma frutados, picor apreciable y ligero amargor.
Villalonga		Comunidad Valenciana	Aroma frutado intenso, con un picor y amargo ligeros. Notas a hierba recién cortada, almendra y manzana.

etiquetado es lograr una alta protección de los consumidores junto con una adecuada información relativa a los alimentos que consumimos ([www.aepap.org](http://www.aepap.org)). Por ello, se han analizado las etiquetas de 30 aceites de oliva virgen monovarietales, para estudiar su grado de adecuación a la normativa vigente.

## TIPOS DE ACEITE DE OLIVA VIRGEN Y SU IMPORTANCIA EN LA DIETA

Los aceites de oliva vírgenes son los aceites obtenidos del fruto del olivo únicamente por procedimientos mecánicos o por otros procedimientos físicos en condiciones, especialmente térmicas, que no produzcan la alteración del aceite, que no hayan tenido más tratamiento que el lavado, la decantación, la centrifugación y el filtrado (COI, 1991).

El aceite de oliva virgen se obtiene a partir del fruto del olivo exclusivamente por medios mecánicos u otros procedimientos físicos aplicados en condiciones que no ocasionen la alteración

del aceite, y que no hayan sufrido tratamiento alguno que no sea su lavado, decantación, centrifugado o filtración, excluidos los aceites obtenidos con el uso de disolventes o de coadyuvantes de acción química o bioquímica, por un procedimiento de reesterificación o como resultado de cualquier mezcla con aceites de otros tipos (FAO, 2013).

Los aceites de oliva virgen se clasifican en cuatro grupos según la FAO:

- Aceite de oliva virgen extra, es aquel cuyo contenido en acidez libre, expresada en gramos de ácido oleico, es como máximo de 0,8 gramos por 100 gramos y en cuya puntuación organoléptica, la mediana del atributo frutado, es superior a cero y la mediana de defectos sea igual a cero, además de respetar los otros criterios expresados en la norma.
- Aceite de oliva virgen, presenta un contenido en acidez libre, expresada en gramos de ácido oleico, es como máximo de 2 gramos por 100 gramos y en cuya puntuación

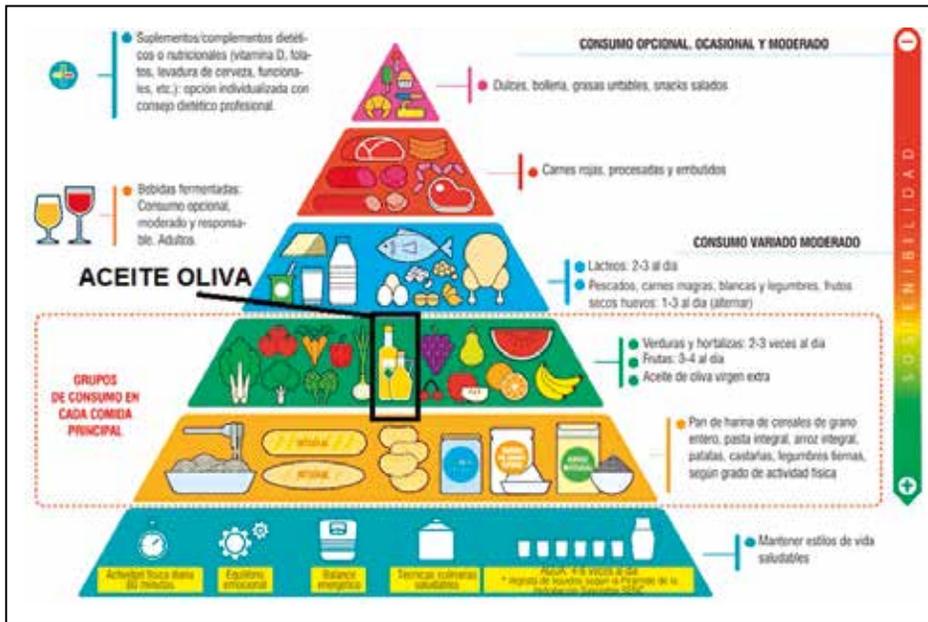


Figura 1. Pirámide nutricional.

organoléptica, la mediana del atributo frutado, es superior a cero y la mediana de defectos sea superior a cero e igual o inferior a 2,5 además de respetar los otros criterios expresados en la norma.

- Aceite de oliva virgen corriente, es el aceite de oliva virgen con acidez libre, expresada en ácido oleico, de no más de 3,3 gramos por 100 gramos.
- Aceite de oliva lampante, aceite de oliva virgen que presenta una acidez libre, expresada en ácido oleico, de más de 2 gramos por 100 gramos.

El aceite de oliva es uno de los alimentos que forman parte de la pirámide de la dieta mediterránea (Figura 1).

La ingesta recomendada por la FAO para grasas y aceites por adulto/día es de 18 g. La ingesta mínima conveniente de grasas y aceites para adultos deberá aportar al menos el 15% del consumo energético del individuo, al menos un 20% para mujeres en edad fértil, mientras que para los niños pequeños ha de contener del 30 al 40% de la energía en forma de grasas. En cuanto al límite máximo de ingesta de grasa/aceite, para aquellas personas que llevan una vida sedentaria no deberían consumir más del 30 por ciento de su energía en forma de grasas, especialmente si éstas son ricas en ácidos grasos saturados que proceden fundamentalmente de fuentes animales. Mientras que las personas que llevan una vida activa pueden consumir hasta el 35 por ciento de su aporte energético total en grasas, si su aporte de ácidos grasos

esenciales y de otros nutrientes es suficiente, y si el nivel de ácidos grasos saturados no supera el 10 por ciento de la energía que consumen (FAO, 2019). Estos valores son orientativos, ya que en un estudio se observó que el aporte de grasas en la dieta tradicional de Creta era de: >40% kcal/día, de las cuales el 8% era grasa saturada, el 3% poliinsaturada y el 29% monoinsaturada (COI, 1991).

Los ácidos grasos monoinsaturados del aceite de oliva junto con sustancias antioxidantes que lo componen, presentan numerosas funciones biológicas que benefician a la salud del consumidor. Entre ellas figuran: proporcionar una adecuada fluidez de las membranas biológicas; disminuir los niveles

plasmáticos del colesterol LDL e incrementar los del colesterol HDL. Esto es debido a que sus ácidos grasos protegen frente a los radicales libres y peróxidos, previniendo así al consumidor de enfermedades tipo aterosclerosis, artritis y cáncer (pulmonar y colo-rectal) (Castro, 2002).

## OBTENCIÓN DEL ACEITE DE OLIVA VIRGEN

El proceso de obtención del aceite consta de varias etapas las cuales comienzan con la recolección de la oliva y finalizan con el almacenado o envasado del producto final (Figura 2).

Los meses de recolección de la aceituna son noviembre, diciembre y enero.

Para la recolección de las olivas hay diferentes técnicas como el Vareo en la que el olivicultor emplea una vara de longitud variable cayendo la aceituna sobre lienzos o al suelo; Ordeño, la cual se trata de la recolección de la oliva de manera manual, y, por último, por Vibración mediante la utilización de vibradores autopropulsados o pinzas vibratorias ([www.aceitedeoliva.net](http://www.aceitedeoliva.net)).

Una vez recolectadas las aceitunas, éstas son transportadas a la almazara para su posterior molienda. Dentro de la almazara las olivas son clasificadas en función de su variedad, de su grado de maduración y de su estado visual. Posteriormente una vez clasificadas se procede a las técnicas de limpieza (lavado con agua potable), pesado y almacenado hasta su molturación o molienda.

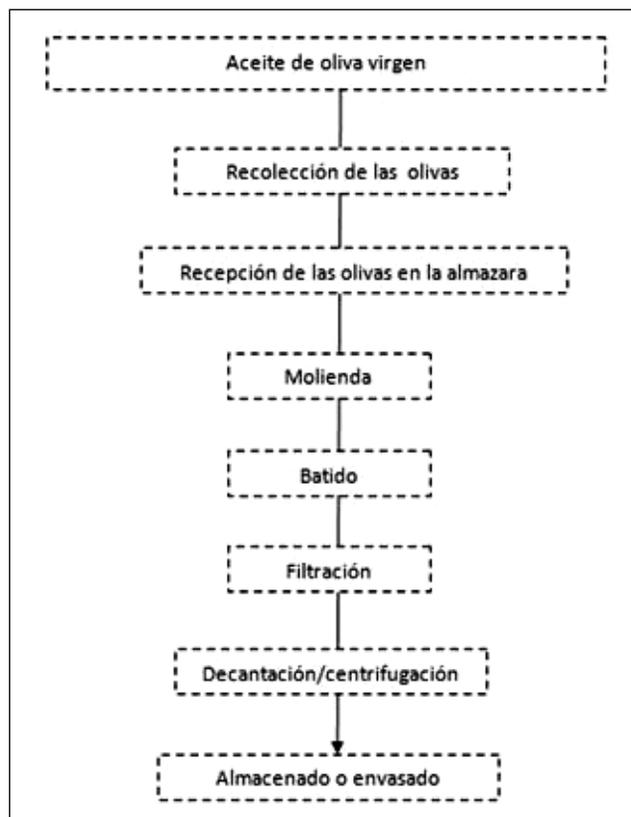
Con la molienda se procede a la ruptura de la estructura de la aceituna con el fin de que se libere el aceite sin que ésta sea deshuesada.

La aceituna se debe molturar en el día de su recolección debido a que fermenta el agua vegetal que contiene y posteriormente el aceite, que se oxida antes, por tanto el tiempo de almacenamiento deteriora la calidad del producto final (www.almazaramontillana.com).

Posteriormente se procede al proceso de batido que consiste en la separación de la pasta de oliva del aceite obteniendo así dos fases. En esta etapa de obtención del aceite la temperatura no debe superar los 27-29°C y el tiempo de batido puede ser superior a los 90 minutos.

Durante la molturación y posterior batido de la pasta de aceituna, también se puede modificar el color y sabor del aceite.

Una vez obtenidas las dos fases (pasta de oliva y aceite) se procede a la etapa de filtración que consiste en la extracción del aceite que queda en la parte superior de la pasta, siendo éste el de mayor calidad. Tras la filtración selectiva se realiza la extracción por presión en prensas hidráulicas en las que se distribuyen las pastas de oliva obteniéndose así aceite, pero de peor calidad, denominado alpechín.



**TABLA 2. VALORACIÓN ORGANOLÉPTICA DE ATRIBUTOS POSITIVOS POR DIFERENTES AUTORES DEL ACEITE VIRGEN Y VIRGEN EXTRA**

Variedad aceite	Variedad oliva	Atributo	Referencia	Valor atributo (0-7)
Virgen	Picual	Amargo	Casas <i>et al.</i> , 2006	0,8
Virgen			Herrera <i>et al.</i> , 2012	2,4-4,5
Virgen extra		Picante	Hidalgo <i>et al.</i> , 2009	1,5-2,5
Virgen			Del Río, 2015	3,2
Virgen extra		Afrutado	Hidalgo <i>et al.</i> , 2009	0,5-3,0
Virgen			Del Río, 2015	1,8
Virgen	Hojiblanca	Afrutado	Herrera <i>et al.</i> , 2012	5,7-6,7
Virgen			Del Río, 2015	2,7
Virgen	Arbequina	Amargo	Herrera <i>et al.</i> , 2012	1,8-3,0
Virgen			Romero Aroca, 2011	2,5-3,6
Virgen			Del Río, 2015	2,5
Virgen		Afrutado	Del Río, 2015	2,1
Virgen			Romero Aroca, 2011	3,8-4,7
Virgen		Picante	Del Río, 2015	3,1
Virgen			Romero Aroca, 2011	3,8-4,2

Tras la obtención por filtración del aceite de oliva se procede a la etapa de decantación/centrifugación con el objetivo de eliminar restos de impurezas, sólidos que pudieron quedar en el aceite después del proceso de filtración.

Obtenido el aceite, éste es almacenado en depósitos (tanques) en las almazaras a 18-20°C, para permitir una maduración de los aceites sin favorecer la oxidación hasta su posterior envasado.

El envase es un factor económico a tener en cuenta a la hora de adquirir un producto por parte del consumidor. Los más empleados en el aceite de oliva son vidrio y plástico (PET). El vidrio en comparación con el plástico es un material inerte que no tiene impacto, ni transfiere sabor a los alimentos o bebidas que contiene y es reutilizable; mientras que el plástico no se reutiliza para contener aceites de oliva.

La adulteración del aceite de oliva virgen se realiza tras su obtención, la manera más sencilla para identificarlo por parte del consumidor es con el sentido del olfato y gusto debido a que el aceite ha de tener un olor y sabor a fresco, afrutado; junto con otros descriptores de estos parámetros sensoriales como el olor y sabor a manzana, a plátano verde. Han de evitarse sabores y olores a moho, metálicos o similares ([www.articulos.mercola.com](http://www.articulos.mercola.com)).

## ANÁLISIS SENSORIAL

La valoración organoléptica del aceite de oliva virgen tiene como finalidad clasificarlo en función de la existencia de sus atributos positivos (Tabla 2) y de la intensidad de los defectos, determinados todos ellos por un grupo de catadores entrenados. El panel de cata de aceites mínimo es de ocho catadores y un jefe de panel (Romero y Tous, 2003). Para obtener una buena apreciación de todos los sabores en el aceite de oliva, es fundamental que la porción de alimento alcance toda la superficie bucal, considerando la epiglotis y el paladar (Junta de Andalucía, 2019).

Dentro de los atributos positivos en el aceite de oliva está el "Picante", el cual nos aporta sensación táctil de picor característica de los aceites obtenidos al comienzo de la campaña, principalmente de aceitunas todavía verdes y "Afrutado", que se basa en un conjunto de sensaciones olfativas características del aceite, dependientes de la variedad de las aceitunas, procedentes de frutos sanos y frescos, verdes o maduros y percibidos por vía directa o retronasal.

Los atributos negativos presentes en el aceite de oliva son el "Atrojado" que presenta un flavor característico del aceite obtenido de aceitunas amontonadas que han sufrido un avanzado grado de fermentación anaerobia; "Moho-Humedad" es

un atributo característico del aceite obtenido de aceitunas en las que se han desarrollado abundantes hongos y levaduras a causa de haber permanecido amontonadas con humedad varios días; "Borras" o turbidez característica del aceite que ha permanecido en contacto con los lodos de decantación en trujales y depósitos, y por último "Avinado", es propio de aceites que recuerda al vino o vinagre. Actualmente, en cuanto a los atributos negativos, es escasa la bibliografía encontrada. Otro de los atributos negativos de la evaluación sensorial del aceite de oliva es el sabor "Ácido", siendo éste debido a un proceso de fermentación aeróbica de las aceitunas o de pasta de aceitunas en capachos que no han sido lavadas adecuadamente, puede conducir a la formación de ácido acético, acetato de etilo y etanol. El sabor amargo es un atributo positivo y es un sabor elemental característico del aceite a partir de aceitunas verdes o en la etapa de maduración, percibida por las papilas en la formación de la V lingual (COI, 2018).

Según el Reglamento (CE) 1989/2003, para los aceites vírgenes extra la evaluación organoléptica, la mediana del defecto es cero, sin embargo, para los aceites vírgenes y lampantes la mediana del defecto es  $\leq 2.5$  y  $> 2.5$  respectivamente. Para los aceites de oliva vírgenes extra, vírgenes y lampantes la mediana del atributo afrutado es  $> 0$ .

En la Tabla 2 aparece reflejado la valoración de atributos positivos alcanzados en aceite de oliva virgen y virgen extra de las variedades más consumidas en España: picual, hojiblanca y arbequina.

## ADULTERACIONES FRECUENTES EN EL ACEITE DE OLIVA VIRGEN

El aceite de oliva virgen es susceptible de sufrir adulteraciones para incrementar los beneficios económicos, ya que es el más caro del mercado, por eso también se le denomina el "oro verde".

Los parámetros químicos empleados para determinar la autenticidad del aceite de oliva comprenden la determinación de la composición de triglicéridos, perfil de ácidos grasos y esteroides, contenido de ceras, de alcoholes alifáticos, de estigmastadienos, de 2-monopalmitato, de disolventes halogenados y de los ácidos grasos eritro y uvaol (estos dos últimos en la fracción esterólica). En la actualidad, hay numerosas técnicas para la detección de la autenticidad de un aceite de oliva virgen, entre ellas está la cromatografía de gases (GC), la cromatografía de líquidos (HPLC), fundamentalmente con detectores de masas, la espectrofotometría infrarroja (IR), la Resonancia magnética nuclear (RMN) y la Electroforesis capilar (CE). Los más utilizados son los métodos cromatográficos

(Puertas, 2018). La quimiometría junto con la espectroscopia de infrarrojo medio (IR), es otro de los métodos utilizados para la detección de adulteración del aceite de oliva extra (Gurdéniz y Ozen, 2009). Los consumidores no pueden utilizar estas técnicas, debido a que son muy costosas, además precisan de instalaciones y de personal especializado.

El aceite de oliva virgen suele adulterarse con aceites de menor calidad o de categoría inferior, como el aceite de oliva refinado o aceite de orujo de oliva. También es frecuente la adulteración por mezcla con aceites vegetales refinados como los aceites de semillas (Cortiñas *et al.*, 2008).

### ADECUACIÓN DEL ETIQUETADO A LA NORMATIVA VIGENTE

Según el Reglamento (UE) 1169/2011, es de carácter obligatorio indicar de manera clara y legible la denominación del alimento, el listado de ingredientes que lo conforman y sus respectivas cantidades adicionadas al producto alimentario final, la cantidad neta del alimento, la fecha de duración mínima (si se va a exportar) o la fecha de caducidad, las condiciones especiales de conservación y/o las de utilización, el nombre o la razón social y la dirección del operador de la empresa alimentaria, el país de origen o lugar de procedencia y por último la información nutricional.

El Reglamento (UE) 1096/2018, que modifica el Reglamento (UE) 29/2012, junto con el Reglamento (UE) 1335/2013 y Reglamento (UE) 357/2012, indican los parámetros químicos que actualmente pueden figurar de manera optativa en el etiquetado de los envases que contengan aceites de oliva. El orden recomendado para aparecer en el etiquetado es: en primer lugar tiene que figurar la acidez máxima prevista en la fecha de duración mínima, acompañada del índice de peróxidos, del contenido de ceras y de la absorbancia en el ultravioleta. También ha de indicarse la campaña de cosecha, según el año de comercialización correspondiente, poniendo el mes y el año de cosecha, en ese orden. El mes corresponderá al de la extracción del aceite de las aceitunas.

Según el Reglamento (UE) 895/2013, que modifica el Reglamento (UE) 1431/2003, en los establecimientos del sector de la hostelería, restauración y en los servicios de catering, los aceites se pondrán a disposición del consumidor final en envases etiquetados y provistos de un sistema de apertura que pierda su integridad tras su primera utilización.

Para cualquier alimento que contenga aceite de oliva, éste se podrá citar en la lista de ingredientes bajo la designación “aceites vegetales” o “grasas vegetales”, seguido de la indicación del origen vegetal específico (de oliva).

En cuanto a la declaración nutricional, la AECOSAN (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición) indica que es obligatorio incluir el valor energético, las grasas (saturadas), hidratos de carbono, azúcares, proteínas y sal. La declaración habrá de realizarse obligatoriamente “por 100 g o por 100 ml” lo que permite la comparación entre productos, permitiendo además la declaración “por porción” de forma adicional y con carácter voluntario. Adicionalmente se puede añadir al etiquetado nutricional de aceites de oliva virgen: ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, y vitaminas. No es necesario incluir nada sobre alérgenos al no estar presentes en este tipo de aceites.

El etiquetado ha de ser claro y legible, el tamaño mínimo establecido de fuente para la información de declaración obligatoria es 1,2 mm a excepción del envase, si la superficie máxima de un envase es inferior a 80 cm<sup>2</sup>, el tamaño mínimo se reduce a 0,9 mm, la denominación de venta, la cantidad neta y la fecha de caducidad se deberán indicar siempre, independientemente del tamaño del paquete.

En algunos países existen requisitos adicionales requeridos por las empresas importadoras; por ejemplo, en China se debe especificar la procedencia de la oliva.

En la Tabla 3 aparecen diferentes marcas de aceite de oliva virgen extra junto con las especificaciones que tienen que contener sus respectivas etiquetas.

Según el Reglamento (CE) 1989/2003, los parámetros químicos a determinar en el aceite de oliva virgen figuran en la Tabla 4. Y, según el Reglamento (UE) 1096/2018, de forma optativa se pueden declarar estos 4 parámetros químicos (acidez, peróxidos, ceras y absorbancia en el ultravioleta).

Se llevó a cabo la revisión del etiquetado de treinta productos (de un total de 27 marcas) seleccionados de manera aleatoria, de acuerdo con la legislación mencionada anteriormente.

### RESULTADOS

Los resultados obtenidos tras la revisión del etiquetado de las 27 marcas comerciales (30 productos en total) de aceite de oliva virgen y virgen extra, fueron positivos en cuanto a 5 de las 7 menciones obligatorias; es decir: la denominación de venta, el listado de ingredientes, el peso neto, el país de origen y la fecha de caducidad. Con respecto a las otras 2 menciones

TABLA 3. ETIQUETADO DE ACEITES DE OLIVA VIRGEN EXTRA DE DIFERENTES MARCAS COMERCIALES

EJEMPLOS DE MARCAS DE ACEITES DE OLIVA VIRGEN EXTRA				
Fotografía producto				
Marca aceite	“Abril”	“La Española”	“Señorío de Segura”	“K Arguiñano”
Precio	3,29 €	4,99 €	5,05 €	7,49 €
Envase	PET	Vidrio	Vidrio	Vidrio
Denominación venta	Aceite de oliva virgen extra	Aceite de oliva virgen extra	Aceite de oliva virgen extra	Aceite de oliva virgen extra (Arbequina)
Peso neto	1 L	750 mL	750 mL	750 mL
Composición nutricional	Sí, a mayores vitamina E	Sí, a mayores grasas monoinsaturadas y poliinsaturadas. Vitamina E	Sí	Sí, a mayores vitamina E
Indica fecha caducidad	Sí	Sí	Sí	Sí
País de origen	España	España	España	España
Razón social	Aceites Abril S.L.	Aceites del sur Coosur, S.A.	Olivar de Segura SCA	Aceite de oliva Valderrama, S.L.
Indica dirección empresa	Sí	Sí	Sí	Sí
Parámetros químicos	Acidez	No	Acidez, peróxidos, ceras y espectrofotométrica en el ultravioleta	No
Indica Condiciones de conservación	Sí	Sí	Sí	Sí

TABLA 4. PARÁMETROS QUÍMICOS DE ANÁLISIS EN EL ACEITE DE OLIVA VIRGEN

Parámetro químico	Finalidad	Unidad	Límites
Acidez libre	Conocer la cantidad de ácidos grasos libres presentes en un aceite	Ácido oleico (%)	Aceites vírgenes extra es $\leq 0.8\%$ , para aceites vírgenes $\leq 2.0\%$ y para los lampantes $> 2.0\%$
Índice de peróxidos	Indica el deterioro que pueden haber sufrido ciertos componentes de interés nutricional como es la vitamina E	mEqO <sub>2</sub> /kg	Aceites vírgenes extra y vírgenes $\leq 20$ mEq O <sub>2</sub> /Kg
Contenido de ceras	Se utiliza para distinguir el aceite de oliva obtenido por presión del obtenido mediante extracción	mg/kg	Aceites vírgenes extra y vírgenes $\leq 250$ mg/Kg y para los lampantes $\leq 300$ mg/Kg
Espectrofotometría en el ultravioleta	Indica la calidad de una materia grasa, su estado de conservación y las modificaciones inducidas por los procesos tecnológicos		Aceites vírgenes extra y los vírgenes $\leq 0.01$

obligatorias: un 17% (5 marcas) no reflejan en el etiquetado las condiciones de conservación y un 40% (12 marcas) no indican la información nutricional. Resulta llamativo el hecho de que las marcas y productos que no indican la información nutricional, tampoco reflejan las condiciones de conservación y además todos ellos son productos tipo “gourmet”.

Con respecto a las menciones optativas del etiquetado: 4 parámetros químicos (acidez, índice de peróxidos, contenido en ceras y absorbancia espectrofotométrica), sólo el 10% (un total de 3 marcas) las refleja en sus etiquetas; y curiosamente ninguna de ellas es de calidad gourmet.

Con respecto al material de envasado, sólo hay 2 tipos: vidrio y plástico PET (Polietilentereftalato), código 1. La mayoría de los productos revisados (el 90%) están en vidrio. El 50% del total se consideran aceites tipo gourmet y todos estos aparecen envasados en vidrio; lo cual es lógico al estar estos aceites asociados por el consumidora a un mayor precio y a una mayor calidad.

En cuanto a otras menciones como tipo de producción agrícola se detectaron 3 marcas procedentes de agricultura ecológica, de los cuales 2 son de calidad gourmet.

El precio fue muy variable, aproximadamente oscila entre 3 €/L hasta 4 €/L (en todos los que están envasados en plástico) y en cuanto al vidrio, desde 4 €/L hasta 40 €/L; detectándose los precios más altos en los aceites gourmet.

## CONCLUSIONES

Es curioso que casi un quinto (el 17%) de los aceites analizados tenga fallos en 2 menciones obligatorias, ya que no indican ni las condiciones de conservación, ni el etiquetado nutricional; algo que es muy importante en este producto, tanto por su facilidad para enranciarse, como por la aportación de información nutricional al consumidor. Ello puede ser debido a que las marcas gourmet estén más preocupadas por el diseño del envase que por incluir menciones a mayores, aunque no cumplan la legislación del etiquetado.

La información de carácter optativo con respecto a las menciones de 4 parámetros químicos de calidad, al haberse publicado en un reglamento europeo muy reciente (del 2018), sólo aparece reflejado en 3 productos (que suponen el 10% del total), aunque ninguno de ellos sea tipo “gourmet”.

Existe una diferencia de precio abismal en cuanto a los productos gourmet (desde 4 € a 40 €/L) que dependerá más de las preferencias de los consumidores y de las denominaciones de calidad (por ejemplo producción ecológica).

## BIBLIOGRAFÍA

1. Sánchez Casas, J.; De Miguel Gordillo, C.; Osorio Bueno, E.; Marín Expósito, J.; Gallardo González, L., y Martínez Cano, M. (2006). Calidad sensorial de aceites de oliva virgen procedentes de variedades de aceitunas producidas en Extremadura. *Grasas y aceites*, 57(3), 313-318.
2. Castro-González, M. I. (2002). Ácidos grasos omega 3: beneficios y fuentes. *Interciencia*, 27(3), 128-136.
3. COI (Consejo Oleícola Internacional) (1991). Madrid.
4. COI (Consejo Oleícola Internacional) (2018). Madrid.
5. Contiñas, A.; Martínez, S.; Carballo, J., y Franco, I. (2008). Detección de adulteraciones y/o contaminaciones del aceite de oliva virgen extra con aceites de semillas y aceite de orujo de oliva. *Grasas y aceites*, 59(2), 97-103.
6. Del Río, I. R. (2015). Evaluación de indicadores de la calidad del aceite de oliva virgen: fortalezas, debilidades y oportunidades (Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla).
7. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2013). Obtención del aceite de oliva virgen. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DJ2012045840>.
8. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2019). Ingesta de grasas y aceites. <http://www.fao.org/3/i1953s/i1953s.pdf>
9. FAOSTAT (Base de datos de la FAO) (2014). Producción de aceite de oliva virgen en España, Italia, Grecia y Turquía. <http://www.fao.org/faostat/>.
10. Guerrero, L. (1996): Selección de catadores, por qué y cómo, *Mercacei*, 25,11-13.
11. Gurdeniz, G., y Ozen, B. (2009). Detección de la adulteración del aceite de oliva virgen extra mediante análisis quimiométrico de datos espectrales del infrarrojo medio. *Química de los alimentos*, 116 (2), 519-525.
12. Jiménez Herrera, B.; Rivas, A.; Sanchez-Ortiz, A.; Tovar, L.; Luisa, M.; Úbeda Muñoz, y M., Ortega Bernaldo de Quirós, E. (2012). Influencia del proceso de maduración del fruto en la calidad sensorial de aceites de oliva virgen de las variedades Picual, Hojiblanca y Picudo.
13. Hidalgo, J.; Vega, V.; Hidalgo, J. C. (2009). El riego y su relación con la calidad del aceite de oliva virgen extra. *Vida rural*.
14. Puertas Pujadas, B. (2018). Análisis de nuevos métodos para la detección de adulteraciones en el aceite de oliva virgen extra. Trabajo Fin de Grado. Universitat de Lleida.
15. Real Decreto 895/2013 (UE), de 15 de noviembre de 2013, por el que se modifica el Real Decreto 1431/2003, de 21 de noviembre, por el que se establecen determinadas medidas de comercialización en el sector de los aceites de oliva y del aceite de orujo de oliva. 16 de noviembre de 2013. DOUE-L-2013-81868.
16. Reglamento (UE) 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2011, sobre la información alimentaria facilitada al consumidor. 22 de noviembre de 2011. DOUE-L-2011-82311.
17. Reglamento (CE) 1989/2003, de la comisión de 6 de noviembre de 2003, que modifica el Reglamento (CEE) 2568/91, relativo a las características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva y sobre sus métodos de análisis. 13 de noviembre de 2003. DOUE-L-2004-80434.
18. Reglamento (UE) 1096/2018, de la comisión de 22 de mayo de 2018, que modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 29/2012 en lo que atañe a los requisitos aplicables a determinadas indicaciones del etiquetado del aceite de oliva. 3 de agosto de 2018.
19. Reglamento (UE) 357/2012 de la comisión de 24 de abril de 2012 que modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 29/2012 sobre las normas de comercialización del aceite de oliva. 25 de abril de 2012. DOUE-L-2012-80673.
20. Reglamento de ejecución (UE) 1335/2013 de la comisión de 13 de diciembre de 2013 por el que se modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 29/2012, sobre las normas de comercialización del aceite de oliva. 14 de diciembre de 2012. DOUE-L-2013-82795.
21. Reglamento Delegado (UE) 1096/2018, de la comisión de 22 de mayo de 2018, que modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 29/2012 en lo que atañe a los requisitos aplicables a determinadas indicaciones del etiquetado del aceite de oliva. 2 de agosto de 2018.
22. Rodríguez, P. R. (2015). Caracterización aromática y fenólica de aceitunas y aceites de oliva producidos en Galicia. Tesis Doctoral, Universidad de Vigo.
23. Romero Aroca, A. J. (2011). Caracterización y diferenciación de los aceites vírgenes de oliva de la comarca del Priorat (Tarragona) dentro del mercado global de aceites de la variedad Arbequina. Tesis Doctoral, Universitat de Lleida.
24. Romero, A., Tous, J. (2008). Análisis sensorial de aceite virgen de oliva. *Perceptnet* (revista electrónica).
25. Sancho, J., Bota, E., Castro, J.J. (1999). Introducción al análisis sensorial de los alimentos. Universidad de Barcelona.
26. SENC (Sociedad Española de Nutrición Comunitaria) (2018). Pirámide de los alimentos. <https://www.efesalud.com/alimentacion-saludable-nueva-guia-piramide-nutricional/>
27. Vázquez Gamazo, J. (2000). Detección de aceites de semillas en aceite de oliva en base al perfil de ácidos grasos. Trabajo Fin de Grado, Universidad de Vigo.

**Otras páginas webs:(fechas de consulta: Mayo 2019)**

28. Mondoliva. [https://www.mondoliva.com/el\\_aceite\\_de\\_oliva-el\\_origen\\_del\\_olivo.htm](https://www.mondoliva.com/el_aceite_de_oliva-el_origen_del_olivo.htm)
29. Aceites de oliva de España. <https://www.aceitesdeolivadeespana.com/la-importancia-de-las-variedades>
30. Aceite de oliva. [http://www.aceitedeoliva.net/elaboracion\\_del\\_aceite\\_de\\_oliva.php](http://www.aceitedeoliva.net/elaboracion_del_aceite_de_oliva.php)
31. Esencia de olivo. <http://www.esenciadeolivo.es/cultura-del-olivo/cultivo/recoleccion-de-la-aceituna/>
32. Junta de Andalucía. Análisis sensorial. [https://www.juntadeandalucia.es/opencms/opencms/system/bodies/contenidos/publicaciones/pubcap/2009/pubcap\\_2993/xLa\\_Cata\\_de\\_Aceites\\_baja.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/opencms/opencms/system/bodies/contenidos/publicaciones/pubcap/2009/pubcap_2993/xLa_Cata_de_Aceites_baja.pdf)
33. Almazara montillana. <http://www.almazaramontillana.com/web/aceite-de-oliva/elaboracion/>
34. Artículos, mercola. <https://articulos.mercola.com/sitios/articulos/archivo/2016/12/17/aceite-de-oliva-falso.aspx>
35. Aepap, [https://www.aepap.org/sites/default/files/4t2.11\\_la\\_importancia\\_del\\_etiquetado.pdf](https://www.aepap.org/sites/default/files/4t2.11_la_importancia_del_etiquetado.pdf)

# LA SORPRENDENTE HISTORIA DE LA LENTE DE LAYARD

Ángel Tomás Camacho García

Médico especialista en Análisis Clínicos. Laboratorio Vithas Lab. Vigo.  
Directivo del Instituto Cultura, Ciencia y Tecnología. Área Galicia. España.

## ABSTRACT

The Layard lens, also called Nimrud lens, is a 3000-year-old piece of rock cristal which was discovered in 1849 by Austen Henry Layard at the Assyrian palace of Kalhu (more often called Nimrud), in modern-day Iraq. Since its discovery only four people had had the opportunity to carry out suitable studies on the lens: Sir David Brewster (1853), W. B. Barker (1930), Walter Gasson (1972) and Robert Temple (1998); after the authorization granted by the British Museum to the author of this work, a meticulous photographic study is presented that shows hitherto unpublished data of the lens, exposes its definitive physical characteristics and develops the hypothesis that considers it is a careful hand-made monocle to correct a certain degree of presbyopia/astigmatism of a very special individual, possibly a king. It is, without any doubt, one of the most unique technological artifacts that have survived since antiquity.

**Key words:** Layard lens, British Museum, Sargon.

## RESUMEN

La lente de Layard, también llamada lente de Nimrud, es una lente de cristal de roca de 3000 años de antigüedad que fue descubierta por Austen Henry Layard en 1849 en una habitación del palacio de la antigua capital asiria de Kalhu, más a menudo llamado Nimrud (actual Iraq). Desde su descubrimiento tan solo cuatro personas habían tenido la oportunidad de llevar a cabo idóneos estudios sobre la lente: Sir David Brewster (1853), W. B. Barker (1930), Walter Gasson

(1972) y Robert Temple (1998); tras la autorización otorgada por el Museo Británico al autor de este trabajo, se presenta un minucioso estudio fotográfico que muestra datos hasta ahora inéditos de la lente, expone sus definitivas características físicas y desarrolla la hipótesis que considera que se trata de cuidadoso monóculo hecho a mano para corregir un cierto grado de presbicia/astigmatismo de un individuo muy especial, posiblemente un rey. Es, sin ningún género de dudas, uno de los más singulares artefactos tecnológicos que sobreviven desde la antigüedad.

**Palabras clave:** Lente de Layard, Museo Británico, Sargón.

## INTRODUCCIÓN

La lente de Layard fue descubierta por Austen Henry Layard en 1849 en una habitación del palacio de la antigua capital asiria de Kalhu, más a menudo llamado Nimrud, durante la segunda expedición de las excavaciones en Iraq financiadas por el museo Británico (cuyos asombrosos descubrimientos llenaron el citado museo de esculturas asirias y babilonias). Layard no vaciló en declararla una verdadera lente. Esto es lo que dijo en su publicación de 1853, *“Discoveries in the ruins of Niniveh and Babylon”*, en relación a los hallazgos encontrados en la habitación del trono del rey Sargón:

*“Dos cuencos de cristal enteros fueron encontrados en esta habitación... Estos cuencos son probablemente del mismo período que la pequeña botella encontrada en las ruinas del noreste del palacio durante las excavaciones previas, y que ahora se encuentra en el Museo Británico; en esta altamente*

interesante reliquia está el nombre de Sargón en caracteres cuneiformes, con el título de Rey de Asiria y la figura de un león. Hemos datado la fecha de manufactura como del período final del siglo VII antes de Cristo.

Con los cuencos de cristal fue descubierta una lente de cristal de roca, con caras opuestas plano-convexas. Sus propiedades no podían haber sido desconocidas por los asirios y tenemos así, consecuentemente, el más temprano espécimen de una lupa”.

A su regreso a Londres Layard puso inmediatamente la lente en manos de Sir David Brewster (1781-1868), un eminente científico escocés que estaba especializado en óptica. Este, tras analizarla, envió el resultado de su trabajo a Layard para que lo incluyese en el libro ya citado sobre sus expediciones en Iraq<sup>1</sup>. Allí, en una nota a pie de página decía:

*Estoy en duda con Sir David Brewster, que examinó la lente, por la siguiente nota: “esta lente es plano convexa, y tiene una forma ligeramente oval, su eje mayor mide 1.6 pulgadas, y su eje menor 1.4 pulgadas. Tiene cerca de 0.9 pulgadas de grosor, y es un poco más gruesa en un lado que en el otro. Su superficie plana es bastante pareja y su superficie convexa ha sido realizada sobre una rueda lapidaria o algún otro método igualmente rudo. Es obvio, por su forma y tosco corte de la lente, que no podía haber sido usada como un ornamento; considero que este cristal fue usado como una lente, bien para aumentar o para concentrar los rayos del sol, aunque esto último, sin embargo, la hace muy imperfectamente”.*

Desafortunadamente, una errónea anotación de Brewster arruinaría todo el trabajo; en relación al grosor de la lente decía que era la novena parte de una pulgada (casi 23 milímetros), cuando en realidad su máximo grosor en algún punto era de un cuarto de pulgada (o sea, 6.2 mm); esto iba a suponer un auténtico jarro de agua fría al entusiasmo inicial generado por su hallazgo, provocando la indiferencia de los expertos en óptica, puesto que una pieza de cristal con tal grosor, teniendo en cuenta las otras dimensiones y el hecho de que el cristal no era biconvexo, sino plano-convexo, implicaba una despreciable convexidad de la superficie superior y se convertía, así, en una pieza de un interés óptico más que cuestionable.

Eso hizo que el resto del artículo de Brewster perdiese interés y su principal hipótesis, que era una lente para magnificar, fuese inmediatamente puesta en tela de juicio, asumiéndose, por el contrario, la hipótesis que el mismo había categóricamente descartado, que era un objeto decorativo. Dicho error fue también asumido por el Museo Británico y, así, cuando en 1922 apareció la primera guía del Museo, la lente de Layard fue definida con la consiguiente anotación:

*“Pieza de cristal de roca plano-convexa con defectos y estrías. El borde ha sido lijado y biselado, presumiblemente para colocar en una montura o incrustación. Cuando este objeto fue traído de Nimrud cerca del año 1850 se pensaba que era alguna clase de lente que había pertenecido a un instrumento astronómico; pero este no es el caso, y la pieza de cristal de roca es sin duda parte de un objeto ornamental”.*

Así pues, un simple error tipográfico iba a marcar el devenir de la lente y, tras más de 25 siglos bajo tierra, volvía de nuevo a ser condenada a la oscura penumbra de los sótanos del Museo Británico.

Y tendrían que pasar más de ochenta años desde su descubrimiento hasta que alguien descubriese el error. Fue en 1930 cuando el prestigioso óptico W. B. Barker, presidente de lo que hoy es denominado el Colegio de Optometristas de Londres, revisó la publicación original de Brewsters y se dio cuenta que había sido un error tipográfico el que había originado toda la confusión; inmediatamente, con la autorización del Museo Británico, Barker realizó el primer estudio sobre la lente desde que Brewster la había examinado en 1852, dando una detallada descripción de sus medidas y añadiendo que el informe de su predecesor era erróneo<sup>2</sup>: *“algunas de las dimensiones dadas por Brewster son inadecuadas y son errores tipográficos”.* Sus conclusiones fueron en la misma línea de Brewster, eliminando la posibilidad de un objeto decorativo. Así, escribió: *“varios autores han afirmado que esta lente fue probablemente usada como un ornamento o, alternativamente, como un cristal para hacer fuego; el autor difiere claramente, y opina que ninguna de estas conjeturas es correcta. En primer lugar, se ha prestado demasiada atención a la fabricación de la lente para ser concebida con un simple propósito ornamental y, por otra parte, sus dimensiones y forma no apoyan tal aseveración. Además, sugerir su uso como cristal para hacer fuego es también no menos obvio, puesto que concentra los rayos de sol muy imperfectamente y una lente de un poder dióptrico superior lo haría mucho mejor. Es posible que la historia de la lente sea mucho más romántica; su forma y tamaño sugiere que fue hecha para cubrir la apertura orbital (la cuenca del ojo) con bastante precisión, y propongo que fue deliberadamente diseñada para ayudar a magnificar a algún maestro artesano en algún tipo de trabajo en miniatura, especialmente a aquel que por razones de edad tuviese algún grado de presbicia; una lente como esta le aportaría ver los detalles con mayor exactitud”.* Es conveniente en este momento recordar que los artesanos asirios siguieron una larga tradición en Mesopotamia de manufactura de intrincados sellos tallados; de forma rutinaria los arqueólogos estudian estas impresiones

con fotografías ampliadas o usando lupas de aumento -simplemente porque los detalles de muchos sellos no son claramente visibles a simple vista-; así pues, parece bastante razonable que los mismos artesanos empleasen alguna ayuda óptica, especialmente aquellos que tuviesen la edad suficiente para padecer algún grado de presbicia.

El artículo que Barker publicó en enero de 1930 iba acompañado de la que sería la primera fotografía de la lente, que se mostraba junto a una leyenda que decía “*Propiedad del Museo Británico, Londres*”, algo que contribuiría a divulgarla entre el gran público, aunque de una forma extraña como veremos más adelante.

Lamentablemente, a pesar de que con esta publicación se abría otra perspectiva totalmente diferente para la lente, la redundancia apenas tuvo repercusión, ni siquiera por parte del Museo Británico, aferrado a la vieja idea de que era un objeto ornamental. Así pues la lente prosiguió su descanso en el citado sótano del museo, indiferente a todos.

Pero la situación iba a dar un giro inesperado en el año 1968. Ese año el controvertido autor suizo Erich von Däniken publicó su libro *Chariots of the Gods?*, traducido al español como *Recuerdos del futuro*, un bestseller que vendió decenas de millones de copias en todo el mundo. Von Däniken estaba convencido de que “*la religión de varias civilizaciones antiguas les fue revelada por visitantes extraterrestres, quienes además de ser recibidos como dioses les habrían transmitido a aquéllas algunos conocimientos tecnológicos*”, y de que “*incontables e inusuales artefactos hallados en la tierra en realidad provenían del espacio exterior, dejados por dichos visitantes espaciales*”. En ese libro se refirió tangencialmente a la lente de Layard haciendo una vaga y desconcertante mención a las antiguas lentes: “*En Egipto e Irak hubo hallazgos de lentes de cristal cortados con lo que hoy solo puede ser hecho usando óxido de cesio; en otras palabras, un óxido que tiene que ser producido por un proceso electroquímico*”. Aunque no ofrecía ninguna explicación a tan extraña declaración, en la sección de figuras del libro von Däniken reproducía la foto de la lente de Layard (extraída de la publicación de Barker) con esta leyenda: “*Una lente de cristal asiria procedente del siglo VII antes de Cristo. Para realizar tal lente se requiere una fórmula matemática altamente sofisticada. ¿Dónde los asirios adquirieron tal conocimiento?*” Aunque no parece existir ninguna conexión entre el texto del libro y el texto de la figura, fue claramente la figura de la lente lo que atrajo la atención de decenas de millones de personas, con el nombre del Museo Británico claramente visible en dicha fotografía -lo que constituía una garantía para que el museo fuese inundado por multitud de curiosos, aunque en realidad

ninguno conociese sus detalles. A la gente le gustaba saborear el misterio de una lente de cristal “*traída por extraterrestres*” y se sentaba discretamente en la sala del museo que la albergaba, provocando aglomeraciones que interferían en la normal dinámica del museo; pero además como parte de la atracción del misterio es que no debe ser resuelto de ninguna manera, inconscientemente el Museo Británico contribuyó al frenesí del público al retirarla de la vitrina en la que se encontraba expuesta. Para tomar esta decisión contribuyó, no poco, el hecho de que el museo comenzó a recibir multitud de solicitudes para verla y someterla a estudio, surgiendo el problema de ¿cómo diferenciar a quién era un verdadero investigador de quién era un auténtico incompetente, cuando no un chiflado, que buscaba tan solo la experiencia de “*nuevas sensaciones*”? Tales solicitudes provocaron un cierto grado de pánico entre el staff del museo, y así, ante la duda, se decidió que lo mejor era retirarla de la vista del público. Y de nuevo, la lente volvió a sumergirse en la penumbra.

Sin embargo esta vez tendría más fortuna. Uno de los investigadores que había sido rechazado por el museo para el estudio de la lente fue Walter Gasson, un destacado historiador en el campo de la óptica; la repetida denegación del acceso a la lente le generó un enorme grado de frustración (obvio por otra parte para quien estaba absolutamente capacitado para tal empresa) lo que terminó, indirectamente, generando la simpatía y el apoyo de destacadas personalidades, las cuales ejercieron una más que considerable presión sobre los responsables del museo que, finalmente, se vieron en la tesitura de volver a exponerla en el año 1972; ese año Gasson consiguió, por fin, el permiso del conservador responsable de antigüedades de Mesopotamia para inspeccionarla; así pues sería la tercera persona responsable de su análisis desde Brewster en 1852. Los resultados de su estudio<sup>3</sup> fueron publicados en la revista “*The Ophthalmic Optician*” en diciembre de 1972; aunque, básicamente, todas sus medidas estaban de acuerdo con las que Barker había publicado en 1930, lo importante fue la interpretación que daba de la lente, eso sí, sin tampoco olvidarse de hacer una crítica mordaz al absurdo error por parte de un científico de la reputación de Sir David Brewster, además de hacer extensiva tal crítica a todos aquellos que la habían contemplado (puesto que consideraba que de un simple vistazo, incluso desde la distancia a través del cristal de la estantería donde se mostraba, cualquier lego debería haber detectado el craso error de Brewster).

En su trabajo Gasson hacía mención a que era una lente oval que encajaba perfectamente en la cuenca del ojo e insistía en que dicha forma se trataba de un deliberado diseño de fabricación, conjeturando la posibilidad de que hubiese sido

usada por un escriba del palacio de Sargón para corregir su presbicia. También rechazaba de plano la posibilidad de que fuese una lente utilizada para hacer fuego por la baja calidad que poseía para concentrar los rayos de sol debido a su distancia focal (12 cm), haciendo precisamente hincapié en el hecho de que los antiguos cristales para encender fuego tenían una distancia focal mucho más corta que la lente de Layard, lo que generaba una potencia de refracción mucho mayor.

Esta publicación del año 1972 marcaría un punto de inflexión en el prestigio público de la lente; así, poco a poco, se fue modificando la guía del Museo Británico, pasando del dogmatismo de 1922 (la certeza de que, sin duda, era un objeto ornamental) a una posición cada vez mucho más suavizada y mucho más científica, llegando en 1980 a lo siguiente: *“Lente oval de cristal de roca con una superficie plana y la otra convexa. Palacio de Kalhu (Nimrud). Tiene algunas propiedades ópticas y podría ser una lente”*.

En 1998 el investigador estadounidense Robert Temple sería la cuarta persona que tendría acceso a la lente, ratificando los datos técnicos<sup>4</sup> obtenidos por los autores previos y planteando una hipótesis que iba mucho más allá: que la lente fuese intencionadamente realizada para una persona con astigmatismo (lo que obligaba a replantearse conceptos asumidos tales como que las lentes para corregir el astigmatismo no habían comenzado a realizarse hasta mediados del siglo XIX).

## OBJETO DE ESTUDIO

El día 17 de abril del año 2018 mi esposa, la Dra. Estrella Pallas y yo mismo, fuimos invitados por la Royal Society, Londres, a la entrega de la medalla Leeuwenhoek a la profesora Sarah Cleaveland por su pionero trabajo en pro de la erradicación de la rabia en todo el mundo. Con ese motivo, y condecorada la Royal Society de que en nuestra colección de microscopios (Colección Camacho&Pallas) figura uno de los diez únicos originales de Antony van Leeuwenhoek (el considerado padre de la microbiología y parasitología), nos manifestó su interés en que pudiésemos acudir al acto con dicha pieza. Aprovechando esta circunstancia y, tras conversación con los responsables de la ya mencionada sociedad, surgió la idea de solicitar el estudio de la lente de Layard al Museo Británico. Para ello, al día siguiente, nos trasladamos al museo y tramitamos la solicitud correspondiente dirigida al Dr. Gareth Brereton, conservador responsable de Antigua Mesopotamia; con posterioridad se remitiría por email toda la documentación adicional requerida para tramitar dicha solicitud. Al cabo de

cuatro meses el museo respondió afirmativamente, citándome para el día 25 de octubre del 2018 en la sala *“Middle East Arched Room”* de dicho museo para el estudio de la lente.

Este trabajo presenta, por primera vez, un minucioso estudio fotográfico que muestra datos hasta ahora inéditos de la lente, expone sus definitivas características físicas y desarrolla las hipótesis que hasta este momento se han planteado sobre su finalidad.

Desde su descubrimiento en 1849 tan solo cuatro personas habían tenido la oportunidad de llevar a cabo idóneos estudios sobre la lente: Sir David Brewster (1853), W. B. Barker (1930), Walter Gasson (1972) y Robert Temple (1998). Desde aquí quiero manifestar mi profundo agradecimiento a los responsables del Museo Británico por haberme brindado tan extraordinaria oportunidad.

## CARACTERÍSTICAS DE LA LENTE

**Localización de la lente:** Departamento de la Antigua Mesopotamia, Museo Británico, Londres.

**Datación:** Siglo VII antes de Cristo.

**Numeración:** es el objeto 90959 (número principal) y además tiene asignado como número complementario el 12091. El primero es claramente visible en el borde de la lente, mientras que el segundo, ahora prácticamente borrado, también se insinúa en dicho borde tal y como se aprecia en la fotografía (*Foto 1*).

**Medidas:** es una lente oval de cristal de roca, con una cara plana y la otra convexa.

Máximo grosor: 6.2 mm.

Mínimo grosor: 4.1 mm.

Eje mayor: 4.2 cm.

Eje menor: 3.43 cm.

Las bisecciones de los dos ejes forman una cruz de San Andrés que da unas medidas iguales de 4.17 cm, indicando una forma elipsoidal regular.

**Descripción:** una minuciosa inspección bajo una lupa de mano muestra que la lente es de desigual grosor y presenta un ligero bisel periférico en la inspección del canto que sugiere que la lente fue probablemente retenida en alguna clase de soporte. Por otra parte este borde es muy extraño por estar uniformemente marcado por profundas estriaciones paralelas cortadas en el cristal en un ángulo de 20° con respecto al horizontal. Este borde tan singular (*Foto 2*) es incuestionablemente hecho a propósito, metódica

y cuidadosamente, realizado con la intención de crear una áspera textura capaz de “asir” una montura de forma muy firme. El increíble cuidado y esmero que fue tomado en la preparación del borde de la lente para asegurarse que quedase montada más firmemente de lo normal para que no fuese -bajo ninguna circunstancia- separado de ella, revela un extremo desvelo por su seguridad. Es obvio que la persona que lo llevó a cabo trató por todos los medios de evitar que la lente cayese de su montura y fuese dañada, por lo que hizo todo lo posible por evitar esta eventualidad. Esto parece indicar un enorme grado de ansiedad y temor por parte del artesano acerca de la presentación de la lente en su montura, que podría encontrar una explicación si dicha lente fuese destinada a un propietario muy poderoso cuya ira no se desease despertar con un mal diseño; por ejemplo el rey Sargón.

Así pues, es obvio que la lente estaba indudablemente engastada en una montura de algún material precioso, probablemente de oro, y que en el momento de su hallazgo fue robada (por la clara evidencia a través del minucioso estudio de los patrones de desportilladuras). Estas desportilladuras “limpias”, de gran tamaño, son encontradas en el borde superior; no tienen suciedad arraigada y ningún desgaste, y parecen ser modernas, o al menos subsecuentes a la excavación. La peor de estas hendiduras (en el extremo del eje mayor, a las nueve) ha sido hecha hacia abajo desde la superficie superior, evidentemente por una pequeña herramienta afilada, pero parece haber sido restringida en su extensión gracias a que la lente estaba montada (Foto 3). Da la apariencia de alguien que ha apalancado la lente a la fuerza de su ajustada montura. Es necesario tener en cuenta que las excavaciones de Layard fueron llevadas a cabo por un gran número de personas, y no es difícil de imaginar un hábil robo por parte de un asistente antes de que Layard viese el objeto. Hay un precedente para este suceso: en 1834 una montura de oro fue extraída de la denominada lente de Nola (también plano-convexa), encontrada en una tumba griega en la ciudad de Nola, en el sur de Italia, por uno de los trabajadores de la excavación y vendida posteriormente a un comerciante para ser fundida (mientras que la lente era entregada al arqueólogo responsable de la excavación como si hubiese sido encontrada sin montar); más tarde, el responsable de la excavación descubrió lo que había sucedido y comentó en su informe que *“el borde de la lente fue dañado en el mismo lugar de su hallazgo como consecuencia de la forzada extracción de la montura”*, algo muy similar a lo se observa en la lente de Layard. La ventaja de aprovechar solo la montura, más que robar el objeto entero, es que una montura de metal precioso puede ser fundida y vendida, y su origen se hace indetectable. La lente de Layard tiene un borde tan

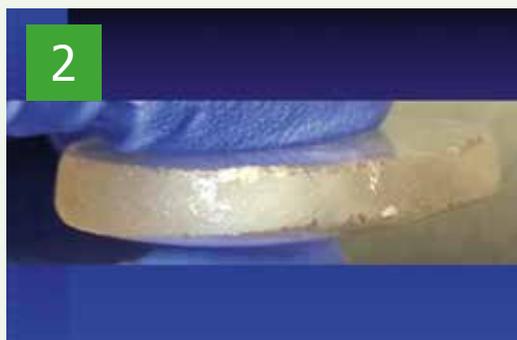
grueso que una montura de metal precioso habría tenido que ser al menos de 5 mm de grosor; esto habría sido un auténtico tesoro para un pobre trabajador, puesto que en bruto habría sido similar al valor que representarían una media docena de anillos de oro.

La lente está hoy estropeada por dos grandes grietas y ralladuras de presión asociadas, que no habrían estado en el objeto original. La grieta de presión que corre más o menos longitudinalmente a lo largo del eje mayor (aunque con un sustancial ángulo de alrededor de 30 grados sobre dicho eje) tiene 3.2 cm de largo y la denomino “grieta de presión lateral”. Esta grieta es cruzada de forma perpendicular por otra grieta en dirección al eje menor (“grieta de presión transversal”, también de 3.2 cm de largo), configurando ambas una áspera forma de T. La grieta transversal es la más seria de las dos, porque a diferencia de la grieta del eje mayor (la grieta lateral), ha profundizado hasta formar una grieta en la superficie basal. (Foto 4).

Cerca del centro de la superficie superior de la lente se observa un inusual patrón ramificado que mide 2,5 cm de longitud; parece ser la marca de un objeto duro que golpeó la lente y causó las grietas de presión en forma de T. Podría ser explicado por un golpe procedente de algún objeto metálico espiculado, sugiriendo las características del patrón de ramificación un repetitivo movimiento de una barra de metal que rebotó varias veces en rápida sucesión (como si el extremo espinoso de una larga barra de metal, por ejemplo, hubiese caído sobre el cristal con tremenda fuerza y hubiese rebotado y oscilado varias veces, desplazando cada vez marginalmente el preciso punto de impacto). Cercano a este patrón (en línea recta, a las cinco) está una desportilladura en forma de arco que puede estar conectada con la serie principal de golpes.

Finalmente, hay otro fragmento de daño superficial en la superficie superior de la lente; en el cuadrante inferior derecho, contiguo y a la derecha de la grieta transversal de presión (entre las tres y las cinco), aparecen una serie de líneas de rozadura paralelas (aproximadamente ocho “dientes”) que emanan hacia el centro de la lente; estas líneas son modernas y parecen haber sido el fruto de una tosca limpieza *in situ*, inmediatamente después de su hallazgo, realizadas con un cepillo duro de alambre de acero. La limpieza y el lavado de la lente tras la excavación han sido tan intensas que han generado un desgaste visible tanto en la superficie superior como en la inferior a causa del enérgico frotado.

Debajo de la masa resultante de marcas de desgaste se pueden percibir -sobre todo en la superficie basal- una gran cantidad de picaduras casi microscópicas, que probablemente ocurrieron como resultado de la larga estancia de la lente



Fotos sobre las características de las lentes.

bajo tierra (un período de aproximadamente dos milenios y medio, durante los cuales el cuarzo sufrió esta degradación en sus superficies). Estas picaduras contienen suciedad profundamente arraigada en cantidades demasiado pequeñas como para haber sido accesibles a la limpieza macroscópica. El efecto que genera este agregado de suciedad atrapada en los pequeños poros -casi invisibles- es un oscurecimiento muy sutil de la lente; si a esto le sumamos el pronunciado efecto de las grietas y rozaduras de presión, significa que la lente no parece estar perfectamente clara hoy en día (*Foto 5*).

Así pues, no existe ninguna duda de que estas prominentes grietas y rozaduras que ocasionan el deterioro de la superficie de la lente no estaban presentes originalmente y son, sin duda, desperfectos causados por la presión externa a través de los siglos que han transcurrido desde su fabricación (resultado del peso de los escombros, enterramiento, golpes, etc).

**Configuración:** los test con un esferómetro probaron que la superficie basal es perfectamente lisa en todas las direcciones; esto es altamente inusual. La mayoría de las lentes plano-convexas de la antigüedad, sean de cristal o vidrio, tienen bases ligeramente convexas. Para producir una base perfectamente lisa sin ninguna desviación se requiere un exquisito cuidado en su realización al mismo tiempo que una muy alta habilidad profesional. Por otra parte, la superficie convexa superior es un “toroide” irregular, lo que da lugar a diferentes poderes ópticos en diferentes direcciones a través de la lente. La curvatura promedio es de +5 dioptrías, variando desde +8 dioptrías en la máxima curvatura, a +4 en la mínima. A lo largo del eje mayor la superficie superior convexa tiene +4.25 dioptrías; a lo largo del eje menor posee +6.25 dioptrías (*Foto 6*).

Es una lente realmente del tamaño y forma de una “apertura orbital humana”, es decir, similar a la cuenca o cavidad del ojo. En realidad se corresponde con la forma de una lente especificada en el estándar oficial británico de 1927, tal y como ilustran Emsley y Swaine en su libro *Ophthalmic Lenses*<sup>5</sup>. Parece obvio que el poder de la lente y su forma fueron un deliberado diseño de fabricación (*Fotos 7-8*).

**Aumento:** Es demostrable que la lente magnífica en una medida no despreciable. Un aumento de 1.25x es fácilmente obtenido en cualquier lugar de la lente, y esto es suficiente para permitirle leer a una persona con una leve presbicia. Con el eje horizontal menor (si ponemos la T de las grietas de presión en posición vertical) se genera un aumento de 1.25x en la mitad derecha y de 1.5x en la mitad izquierda, que puede sin embargo llegar a 2x si lo elevamos un poco más, sin una significativa distorsión esférica (tal y como se observa sobre el panel de Snellen).

**Distancia focal:** a pesar de las imperfecciones y su mal estado de conservación, se puede medir la distancia focal, que es de aproximadamente 12 cm.

**Condición original:** antes de su daño esta magnífica lente habría sido perfectamente transparente, clara y lustrosa. Fue originalmente una perfecta pieza de cuarzo de calidad superior (la variedad denominada cristal de roca, que es óxido de silicio prácticamente puro), sin ninguna ralladura visible tras el corte inicial.

## INTERPRETACIONES EN RELACIÓN CON SU UTILIDAD

¿Fue la superficie superior de la lente realizada “toroidalmente” a propósito o se hizo porque el trabajador artesano era un inepto? A pesar de la convicción de varios autores sobre el tema, incluyendo a Brewster, de que la superficie superior de la lente fue realizada toscamente, todos están de acuerdo en que tiene un magnífico pulido; sin embargo, esto parece una contradicción puesto que ¿por qué uno puliría tan meticulosamente una lente toscamente acabada? ¿Por qué no arreglarla primero? El fino pulido parece implicar una aceptación del estado toroidal de la superficie superior. Y después de tomarse tanto cuidado en la preparación de un base perfectamente plana, ¿por qué permitir una superficie superior convexa de forma toroidal aparentemente tan imperfecta, cuando podía fácilmente ser corregida? ¿Y por qué luego llevar a cabo la tan meticulosa preparación del borde para que esta “tosca” lente nunca cayese de su montura? Todos estos factores militan contra el hecho de que la superficie superior toroidal fuese genuinamente “tosca” y apunta a una cuidadosa ejecución, en un claro ejemplo de sofisticada intención. Sin embargo, esto nos lleva a una conclusión sorprendente sobre el verdadero propósito de la lente de Layard. Todas las evidencias apuntan a una lente intencionadamente toroidal; y las lentes toroidales tienen un solo uso: corregir el astigmatismo. Hoy mismo sería posible salir a la calle y encontrarnos a alguien que tuviese un grado de astigmatismo que sería perfectamente corregido con la lente de Layard. El problema es que tales lentes toroidales para corregir el astigmatismo solo comenzaron a ser producidas en Europa a mediados del siglo XIX y solo se hizo disponible para el público general de forma industrial cerca del año 1900. ¡Y sin embargo aquí tenemos una lente que parece haber sido producida no más tarde del siglo VII antes de Cristo! Puesto que no podemos asumir que los asirios (o los trabajadores que producían las lentes para ellos, puesto que

podía haber sido un artesano extranjero) tuviesen suficiente teoría óptica para ser capaces de diseñar y ejecutar un lente toroidal sobre la base de cálculos, el punto de vista más conservador, y el más seguro en ausencia de cualquier otra evidencia, es concluir que la producción de tal lente fue ejecutada por un método de ensayo y error, sobre una base empírica más que sobre una base teórica. Pero incluso así, el logro que representa que una lente toroidal se desarrollase hace cerca de 3000 años para corregir un caso individual de astigmatismo, no puede ser infraestimado. Ya que habría sido tal hecho una fantástica proeza, el individuo a quien a iba a ser destinada tal lente debe haber sido alguien muy importante ya que para lograr este resultado por ensayo y error debe haber significado la preparación de un gran número de lentes, ajustándolas en el ojo del receptor sucesivamente durante un período de tiempo de meses, hasta dar con la lente que tuviese el “ajuste” perfecto.

El hecho de que la lente de Layard fuese encontrada en la habitación del trono del rey puede por lo tanto significar que la lente era esencialmente un “monóculo” para el rey Sargón, cuyo nombre fue encontrado en el material asociado. Incluso puede ser que el jefe de los escribas del rey fuese lo suficientemente importante para justificar ser portador de un monóculo personalizado y adaptado a sus necesidades. Otras lentes han aparecido en Troya, Ephesus y Knossos, tres ciudades todas ellas prominentes centros de manufactura de lentes de cristal en varios períodos de la antigüedad; tales intentos por ensayo-error para corregir el astigmatismo no habrían sido tan difíciles en principio en cualquiera de estas localizaciones, debido a la gran industria de lentes de cristal que poseían. Pero, naturalmente, para dedicar tal grado de tiempo y esfuerzo, la persona concernida debía presumiblemente haber sido un rey o un miembro de la realeza, o incluso, tal como adelantamos, el escriba del rey.

La mejor conjetura es que tal esfuerzo fuese llevado a cabo en la capital asiria por un artesano extranjero, al que le fue suministrado todo el cristal que necesitaba, y que tras un considerable período de tiempo tuviese éxito en generar la combinación perfecta para la corrección de la condición astigmática del ojo de tan ilustre persona.

Pero, ¿fue la lente de Layard realmente el monóculo personal del Rey Sargón, rey de Asiria? Sargón reinó desde el 722 antes de Cristo al 705, un período de 17 años. Hasta los últimos años de su reinado Sargón vivió en su capital Kalhu (Nimrud), que era esencialmente una capital militar; en el momento de su muerte la habitación del trono del palacio parece haber sido una habitación almacén para objetos preciosos. Y, obviamente, varias pertenencias personales de Sargón estaban ciertamente guardadas ahí; entre ellas, posiblemente, la lente.

Para concluir, yo creo que la lente de Layard fue un cuidadoso monóculo hecho a mano para corregir un cierto grado de presbicia/astigmatismo de un individuo muy especial, posiblemente un rey. Fue hecho para ajustarse a la curvatura del ojo, sosteniéndolo en una montura por algún medio (quizás algo así como un impertinente) y fue manufacturado por un laborioso proceso de ensayo-error, lo que representa una hazaña tecnológica extraordinaria, incluso en ausencia de cálculos teóricos en relación con la ciencia óptica. Es, sin ningún género de dudas, uno de los más singulares artefactos tecnológicos que sobreviven desde la antigüedad.

No obstante los interrogantes seguirán por siempre flotando en la noche de los tiempos: ¿cuál era la función de esta lente? Y si fuera parte de un artefacto óptico..., ¿porqué no se continuó con esa tecnología que fue olvidada por casi veinte siglos, luego de la desaparición de los asirios? Después de 169 años de su descubrimiento, la lente de Layard sigue asombrando y evocando un profundo misterio.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Brewster, Sir David. *On a rock-crystal lens and decomposed glase found at Nineveh*. American Journal of Science, Vol. 2, Nº 15, pp. 122-3, 1853.
2. Barker, W. B. *The Niniveh Lens*. British Journal of Physiological Optics. Vol. IV, Nº 1, January, pp.4-6. 1930.
3. Gasson, Walter. *The oldest lens in the world: a critical study of the Layard Lens*. The Ophthalmic Optician, 9 december, pp 1267-72, 1972.
4. Temple, Robert. *The Crystal Sun. Rediscovering a lost technology of the ancient world*. Published by Century, pp 26, 2000.
5. Emsley Harold Heaton., Swaine William. *Ophthalmic Lenses*. Hatton 1951.

# EL INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA Y LA AUTOMATIZACIÓN DEL APOYO MEDIOAMBIENTAL EN LAS OPERACIONES NAVALES

CC. Alejandro Ortega Felipe, CF. Salvador Moreno Soba, CN. J. Daniel González-Aller Lacalle

Armada Española. Instituto Hidrográfico de la Marina. Cádiz. España.

## INTRODUCCIÓN

*“Si conozco el terreno, conozco el tiempo y al enemigo, la victoria será segura”,* Ministro de Defensa Británico (dic. 2005).

El orden mundial está en constante cambio, lo que implica una revisión y mejora permanente de los medios, doctrina y procedimientos de las operaciones navales, ya que gran parte de estas operaciones se producen en las zonas costeras y poco conocidas, donde existe una mayor y más variada amenaza. Las operaciones anfibia son un ejemplo de ello, siendo además unas operaciones además de complejas, de mucha sensibilidad medioambiental. Parámetros como las condiciones batimétricas, estado de la mar y meteorología son algunos de los factores que pueden llevar al fracaso una operación si se desconocen dichas condiciones en la zona de operaciones.

El adecuado estudio del entorno medioambiental está demostrado que es una herramienta táctica fundamental para el desarrollo de las operaciones navales. El apoyo GEOMETOC (GEOgráfico-METEorológico-OCeanográfico) es la disciplina encargada de la recopilación de la información, su filtrado y su diseminación, desde el mando de la operación hasta cada una de las unidades involucradas, y todo ello en el “tiempo útil” y “forma adecuada”. El conocimiento de disciplinas como la Hidrografía, Oceanografía, Meteorología y Topografía es fundamental para proporcionar un asesoramiento eficaz y de éxito. Cuanto mayor y más preciso conocimiento del entorno, mayor seguridad y ventaja táctica de la acción operativa.

La Armada Española ha depositado esta responsabilidad en el Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM), ya que una de sus principales misiones es proporcionar apoyo medioambiental a

la Fuerza. Dentro del IHM, el grupo GEOMETOC es el encargado de llevar a cabo esta función a través de las siguientes misiones:

- Efectuar apoyo GEOMETOC a los diferentes mandos operativos, unidades de la Armada y de la OTAN que así lo soliciten.
- Establecer y mantener las relaciones necesarias con los diferentes organismos civiles y militares, nacionales o extranjeros, con objeto de facilitar la obtención y el análisis de los datos de interés, así como el intercambio de información y desarrollo de programas conjuntos en el ámbito oceanográfico, geográfico y meteorológico.

Este artículo tratará de explicar cómo desde el IHM se afronta esta responsabilidad, y cuáles son los proyectos que se están desarrollando para hacer frente al reto de utilizar las más modernas tecnologías en el cumplimiento de nuestro objetivo; proporcionar apoyo eficiente a las operaciones navales de la Armada Española.

## MISIONES Y ORGANIZACIÓN DEL IHM

*“La estrategia se sirve de mapas, pero no se interesa por su levantamiento ni por las operaciones trigonométricas para llevarlos a cabo”,* De la Guerra - Carl von Clausewitz.

Aunque sus orígenes son de 1897 con la creación de la Dirección de Hidrografía en Madrid, el actual IHM que conocemos hoy en día, como Organismo dependiente del Estado Mayor de la Armada y con sede en Cádiz, se debe a la Ley del 30 de diciembre de 1943.

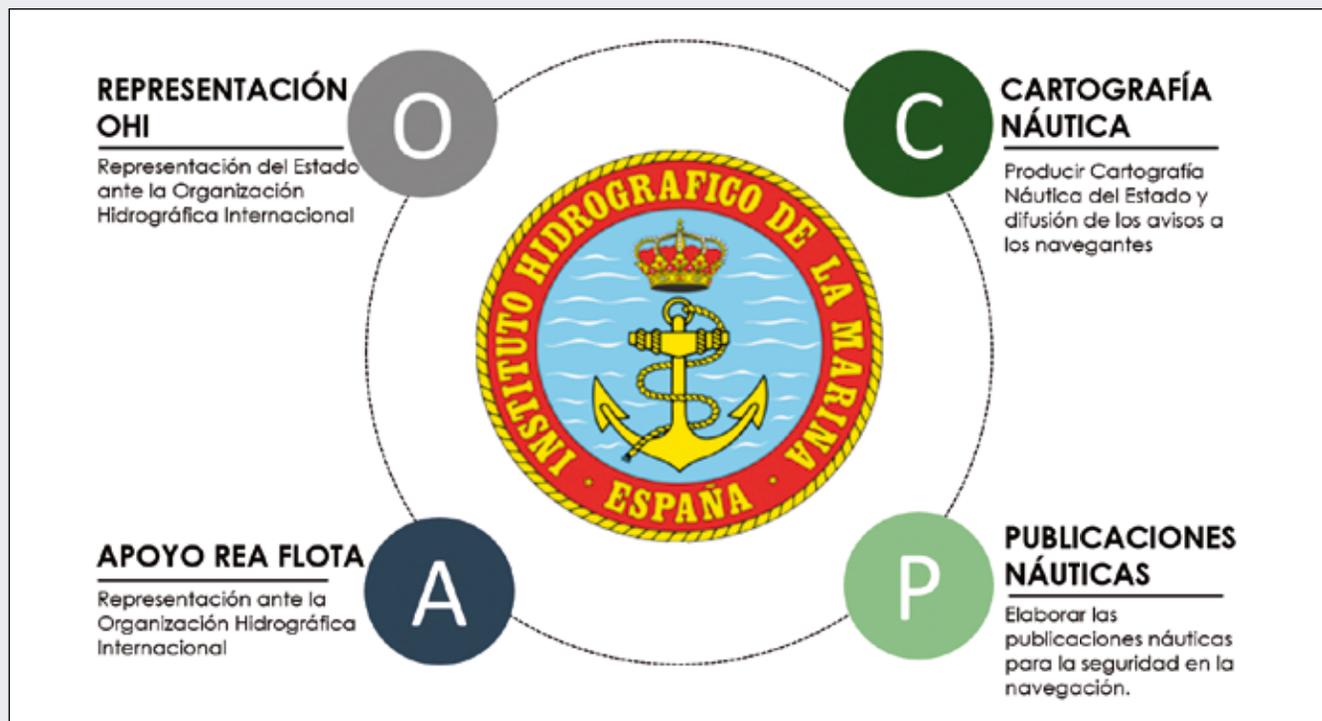


Ilustración 1. Esquema simplificado misiones IHM.



Ilustración 2. Estructura actual del IHM.

Sus principales cometidos son:

- La producción y conservación de la cartografía náutica básica del Estado.
- La elaboración de derroteros, libros de faros, anuarios de mareas y otras publicaciones náuticas para la seguridad de la navegación.
- La representación del Estado ante la OHI y como una de las funciones derivadas se encarga de la coordinación de radio avisos de largo alcance para la zona de NAVAREA III correspondiente al Mediterráneo y Mar Negro y la difusión de los avisos a los navegantes correspondientes.
- Prestación del apoyo medioambiental GEOMETOC a las Fuerzas Navales en operaciones y ejercicios.

Para que el IHM pueda desempeñar estos cometidos se encuentra dividido en las siguientes secciones técnicas:

- Sección de Hidrografía.
- Sección de Cartografía.
- Sección de Apoyo Naval y Oceanografía.
- Sección de Navegación.

Además de estas Secciones, la Dirección cuenta con unidades para la gestión de recursos económicos y humanos, con una Escuela de Hidrografía para la formación del personal militar en Hidrografía y con la flotilla de buques hidrográficos.

### SECCIÓN DE APOYO NAVAL Y OCEANOGRAFÍA (SANO)

*“Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano”, Issac Newton.*

La sección de Apoyo Naval y Oceanografía es una de las secciones técnicas del IHM y sus cometidos son los siguientes:

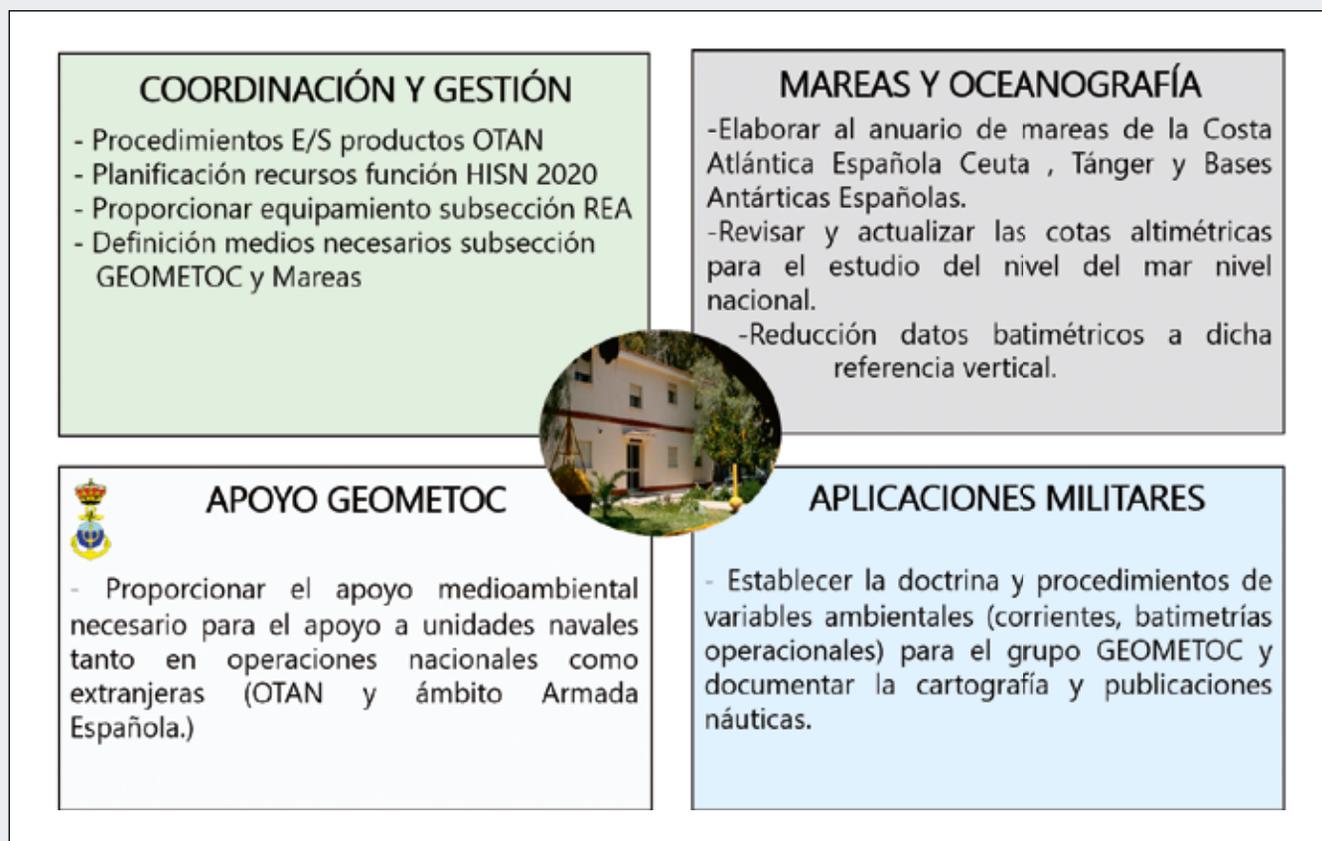


Ilustración 3. Subsecciones Sección de Apoyo Naval y Oceanografía.

- Adquisición, tratamiento y análisis de los datos de marea para la corrección de las sondas obtenidas en los levantamientos hidrográficos y la elaboración del anuario de mareas.
- Establecer las relaciones con los organismos civiles y militares para recopilar los datos de interés necesarios para proporcionar apoyo medioambiental a los diferentes mandos operativos, unidades y centros GEOMETOC y de la OTAN que lo requieran.

El apoyo GEOMETOC está específicamente orientado al apoyo medioambiental a la Fuerza Naval en todas sus operaciones y escenarios. Por ello la diversificación, tanto en la información requerida como en los escenarios posibles, es muy amplia. El IHM puede aportar información de carácter cartográfico, batimétrico y de las características del fondo marino, pero no tiene la capacidad propia de generar toda la información necesaria, por lo que las relaciones con otros organismos específicos son imprescindibles. Estos organismos

son tanto nacionales como internacionales dado el carácter expedicionario a nivel mundial de nuestra Fuerza Naval. Entre ellos, destacan la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Puertos del Estado y Universidades, con Cádiz y Cantabria al frente de esta colaboración. A nivel internacional es con los centros GEOMETOC de otras naciones de la OTAN y centros meteorológicos como la NOAA (EEUU), Met-Office (UK), DWD (Alemania)...

Además de los datos climáticos y oceanográficos generales de la zona de operaciones, se proporcionan aquellos específicos para cada área de la guerra, las principales, entre otros, son:

- Predicción de alcances de sonares para operaciones submarinas, para unidades de Superficie, Submarinos y aviones del ALA 11 del Ejército del Aire.
- Datos batimétricos, topográficos y de calidad de fondo para operaciones de unidades de Medidas Contra Minas (MCM).

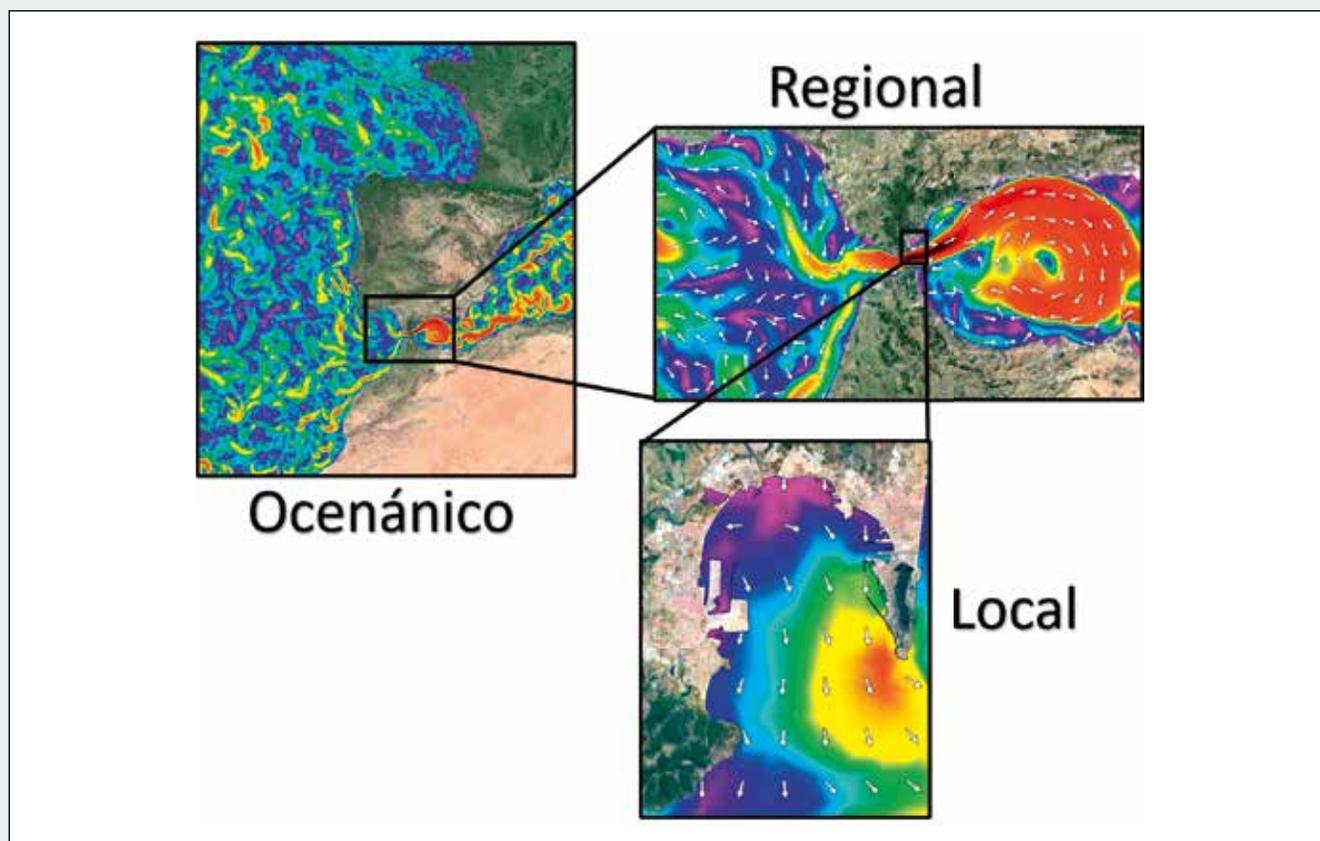


Ilustración 4. Esquema de Downscaling dinámico.

- Corrientes de litoral, estado de playas y predicción de oleaje para operaciones anfibas.
- Turbidez del agua corrientes de fondo para operaciones de buceo.

Esta información es empleada en las fases de planeamiento, preparación y ejecución de una operación naval.

Actualmente el Grupo GEOMETOC proporciona apoyo medioambiental de datos climáticos, procedentes de bases de datos de los diferentes proveedores. El desarrollo de sistemas operacionales basados en modelos numéricos permitirá realizar productos específicos con predicciones de las condiciones reales en la zona donde se desarrollen las operaciones navales.

Para ello conseguir este ambicioso objetivo se ha creado el departamento de Aplicaciones Militares, donde se estudian soluciones a problemas reales encontrados durante la ejecución de las operaciones navales. Estas soluciones van enfocadas a la obtención de batimetrías a partir de imágenes satelitales, obtención de calidades de fondo a partir de datos de reflectividad de los sondadores multihaz o la obtención de datos de mareas de zonas remotas y poco conocidas.

## DESARROLLO MODELOS NUMÉRICOS Y SISTEMAS OPERACIONALES. SOPROA

*“Una vez que has llevado los datos al reino de la información pura, todo lo que hace falta es una herramienta”,* Neal Stephenson.

El desarrollo de los primeros modelos numéricos oceanográficos tuvo lugar en el ámbito militar. Desde los años 70, y debido a la Guerra Fría con la Unión Soviética, la Marina de EEUU generó modelos numéricos probabilísticos enfocados a lo que se consideraba la principal amenaza, la Guerra Antisubmarina (ASW). Desde entonces, el desarrollo de los modelos numéricos se ha extendido al resto de los ámbitos de la Guerra Naval, como las operaciones aéreas, terrestres y de superficie. Paralelamente, el desarrollo de nuevas aplicaciones en el ámbito de la Ingeniería Civil, unido al crecimiento exponencial de la capacidad computacional, permite hoy en día dar respuesta a las nuevas necesidades sociales, económicas y tecnológicas.

Centrándonos en los orígenes de la modelación numérica dentro del ámbito de operaciones anfibas, las primeras aplicaciones fueron desarrolladas por Marina de EEUU con el modelo unidimensional NSSM (*Navy Standard Surf Model*),

que proporcionaba una solución aproximada al problema de la predicción de las condiciones en la zona de rompientes, teniendo en cuenta los medios técnicos de los años 80, y donde los datos iniciales eran escasos y se obtenían a partir de observaciones propias. Además, debido a la escasa capacidad computacional, la resolución matemática exigía importantes simplificaciones y grandes incertidumbres, cuyas soluciones no siempre eran aplicables en escenarios complejos. Desde finales del siglo pasado hasta la actualidad, el desarrollo tecnológico computacional ha sido una de las claves para desarrollar y generar nuevas herramientas, más precisas y operativas, basadas en la propagación de las salidas de los modelos numéricos de la escala oceánica hasta la escala portuaria (*Downscaling dinámico*).

El Grupo GEOMETOC ha dispuesto de modelos sencillos basados en las herramientas diseñadas en los años 80 y 90 como el SURF2.5 1D, basadas en la teoría lineal del oleaje para aguas profundas y en el trabajo analítico y de modelización numérica de los procesos de corrientes longitudinales y oleaje para las zonas de corrientes (Thornon y Guza, 1986). Estos modelos consideraban una batimetría recta y paralela a la dirección de propagación. Esta simplificación hacía que el modelo fuese poco realista en escenarios con batimetrías complejas.

Como ya se ha señalado, las operaciones anfibas de una fuerza de desembarco son extremadamente sensibles a las condiciones medioambientales, por lo que desde el Grupo GEOMETOC se consideró una prioridad el desarrollo de una nueva aplicación que contase con modelos numéricos actuales. La formación en cursos de postgrado de oficiales hidrógrafos en la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria permitió conocer el nivel de los modelos numéricos oceanográficos allí desarrollados. Fue entonces cuando se comenzó a conceptualizar y a trabajar en el SOPROA (Sistema Operacional de Predicción para las Operaciones Anfibas) con cuatro premisas básicas: operativo en tiempo computacional, con limitaciones de comunicaciones (las unidades de la Flota disponen de poco ancho de banda para comunicaciones no estratégicas), flexible y relocalizable.

Este sistema aprovecha los importantes avances en bases de datos de predicción meteo-oceanográficos, tanto a nivel mundial como a nivel nacional (NOAA, Puertos del Estado, DWD, AEMET). El sistema realiza un filtro de los datos de las salidas de modelos operacionales en la zona de interés mediante técnicas de “big data”, que posteriormente son enviados, mediante un sistema de transmisión que optimiza el ancho de banda, a las unidades desple-

gadas, permitiendo generar, a bordo de estas unidades, salidas con información actualizada del estado del viento, oleaje y nivel del mar.

Por tanto, el SOPROA se compone principalmente de tres fases:

- 1ª fase: Adquisición y filtrado de información de contorno: Introducción de los datos de predicción con un horizonte actual de h+72 (datos de predicción de viento, oleaje, batimetrías y nivel del mar) procedentes de bases de datos meteo-oceanográficas.
- 2ª fase: Procesado: Resolución de las ecuaciones que rigen el fenómeno a partir de los datos de inicio basado en el acoplamiento de 2 modelos. Esto permite obtener todos los parámetros necesarios para la planificación de un desembarco anfíbio. Esta fase, a su vez consta de 2 procesos: a través del modelo SWAN<sup>1</sup>, se realiza el downscaling dinámico para todo el período temporal y posteriormente, con el modelo local de alta resolución SHORECIRC<sup>2</sup> se obtienen los datos propios de la zona de rompientes como son las corrientes de Rotura y altura significativa de la zona de rompientes.
- 3ª fase: Salidas operacionales: Las salidas de la fase anterior son transformadas en parámetros específicos para las unidades de superficie en operaciones anfíbias (AAV, LCM, Supercats) considerando los límites operacionales existentes en la doctrina actual de operaciones anfíbias.

SOPROA posee las siguientes características, que son las que hacen de él un sistema realmente eficiente en una operación naval militar:

- Automatización: Proceso controlado automatizado para simplificar un proceso complejo en un proceso simple y utilizable por personal poco cualificado.
- Fácil operatividad: La simplificación en la aplicación implica sencillez en el manejo de la aplicación.
- Conectividad: Debe de poder ser utilizado en las redes militares. Actualmente funciona de modo paralelo bajo la red militar de internet abierto.

- Realista: Debe de ajustarse a la realidad y está prevista su validación a finales de 2020.
- Relocalización: Debe de poder ser aplicado en cualquier playa o escenario a nivel Global.
- Adaptabilidad: Debe de poder ser aplicado bajo estructura tanto nacional como OTAN.
- Robustez: La estructura del programa debe de ser muy potente y bien desarrollada para evitar errores durante las operaciones.

Como todos los sistemas operacionales, en SOPROA, el escenario de trabajo tiene que ser preparado previamente por personal con conocimientos en ingeniería marítima, manejo Sistemas de Información Geográfica y programación (MATLAB o PYTHON). Este trabajo específico previo hace que el proceso posterior sea simple y esté automatizado. Un operador con bajos conocimientos técnicos podría realizar este proceso final y obtener datos y gráficos de fácil interpretación y de gran utilidad para apoyo a la toma de decisiones. Por ello, el peso y responsabilidad del adecuado funcionamiento de este sistema recae en el personal del Grupo GEOMETOC del IHM, que es donde se desarrolla el trabajo de preparación previo. Una vez configurado el sistema, este funcionará adecuadamente durante las operaciones, y podrá ser usado desde las unidades participantes por operadores sin formación específica.

Por tanto, el trabajo del personal del grupo GEOMETOC se desarrolla en la fase previa y anterior a las operaciones, generando el escenario donde correrá el sistema SOPROA, así como en una fase posterior durante el desarrollo de las operaciones, para asegurar que la información actualizada de los datos meteo-oceanográfico con los que el sistema se alimenta son correctos y las unidades las aplican adecuadamente.

Este sistema está actualmente en desarrollo y ha sido probado en diversas operaciones reales con buenos resultados, pero la validación definitiva está prevista que sea realizada durante 2020.

<sup>1</sup> SWAN (Simulating WAVes Nearshore) es un modelo de propagación de oleaje espectral que simula la energía contenida en las ondas en su propagación desde superficies oceánicas hasta zonas costera. (<http://swanmodel.sourceforge.net/>).

<sup>2</sup> SHORECIRC es un modelo quasi-3D de circulación costera de NearCoM (Nearshore Community Model) que incluye efectos de forzamiento de onda corta, vientos y mecanismos no lineales. ([http://www1.udel.edu/kirby/programs/nearcom/circulation\\_module\\_shorecirc.html](http://www1.udel.edu/kirby/programs/nearcom/circulation_module_shorecirc.html)).



Ilustración 5. Fuerza de desembarco en operaciones anfibas.



Ilustración 6. Fases procesos del SOPROA.



**Ilustración 7. Unidades de superficie (LCM - AVV - Supercats).**

## PROYECTO SIAAMETOC-OM

*“Las organizaciones son como las bicicletas, solo pueden permanecer en equilibrio cuando están moviéndose”, Albert Einstein.*

La experiencia adquirida durante las pruebas del sistema SOPROA en las diferentes maniobras anfibias en las que se ha usado ha servido para conocer aspectos mejorables del sistema, tanto técnicos como de uso, que permitirían convertirla en una aplicación de uso estándar en la Armada Española.

Con esta idea en la cabeza, en la convocatoria 2018 del “Programa de Cooperación en Investigación Científica y Desarrollo en Tecnologías Estratégicas” de la Dirección de General de Armamento y Material del Ministerio de Defensa (Programa Coincidente), el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCAN) presentó el proyecto SIAAMETOC-OM (Sistema de apoyo automático meteo-oceanográfico para las operaciones marítimas). Este nuevo proyecto, partiendo de la conceptualización, definición y objetivos de SOPROA, pretende mejorar significativamente aspectos operativos de la aplicación, además de incluir una herramienta de predicción de condiciones de operatividad de los diques de los buques anfibios, donde la seguridad del personal y material juega un papel primordial. Este proyecto ha sido seleccionado para su financiación y se desarrollará entre 2019-2021.

Dentro de este nuevo sistema se desarrollarán los siguientes productos:

1. Datos históricos de clima marítimo y funcionamiento dinámico de cualquier zona marítima/costera de interés.
2. Planificación temprana y segura de maniobras de desembarco anfibio en cualquier playa del mundo.

3. Planificación predictiva de la varada y navegación desde el buque anfibio hasta la zona costera.
4. Gestión y ayuda a la toma de decisiones para el ataque seguro de las unidades de desembarco dentro de los buques anfibios.
5. Desarrollo de la interfaz gráfica de usuario GUI.
6. Campaña de campo para la validación del sistema operacional.

Con los nuevos productos propuestos, el SIAAMETOC-OM mejora ostensiblemente al SOPROA en los siguientes aspectos:

- Resuelve el problema de la obtención de datos de forzamiento de viento y oleaje a nivel Global tanto para datos de predicción como para los datos de clima y reanálisis.
- Introduce el clima para la obtención de datos climáticos e hidrodinámicas litorales en las zonas de interés para las operaciones anfibias.
- Interfaz profesional y robusta modular que permite la actualización y ampliación de nuevos módulos en el apoyo GEOMETOC.
- Aplicación predictiva de los rumbos más adecuados para las operaciones de entrada-salida de embarcaciones de superficie en los diques de los buques anfibios en función de las condiciones de oleaje previstas.

Además, se abren nuevos campos de investigación derivados de las necesidades identificadas para este tipo de aplicaciones, como el dato batimétrico, el dato más complejo de obtener y más aún cuanto más cerca de costa se trabaje. Es evidente que el conocimiento de la incertidumbre del proceso depende también en gran medida de la calidad y resolución batimétrica de la zona de estudio y en ocasiones la obtención

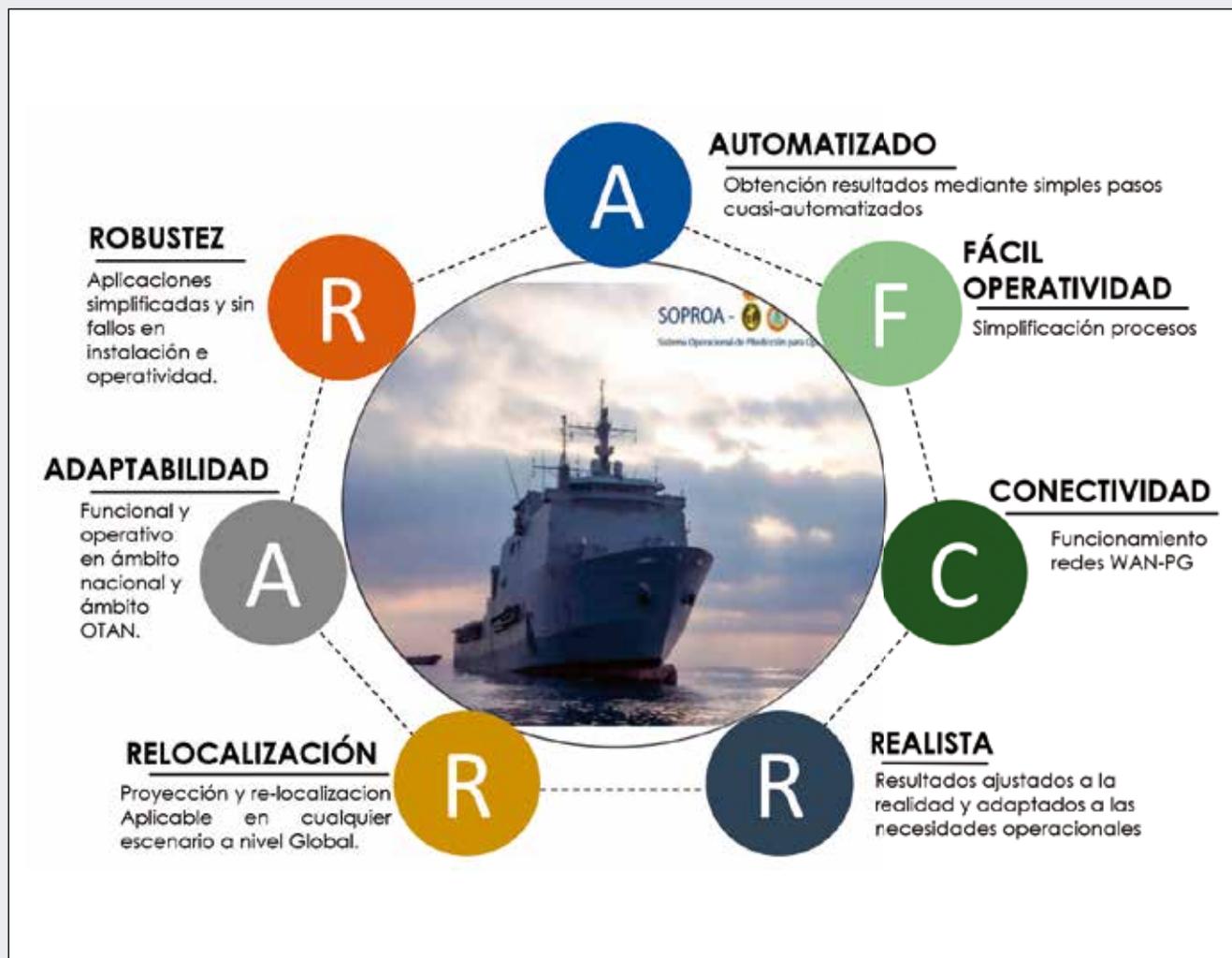


Ilustración 8. Imagen resumen de las características del SOPROA.

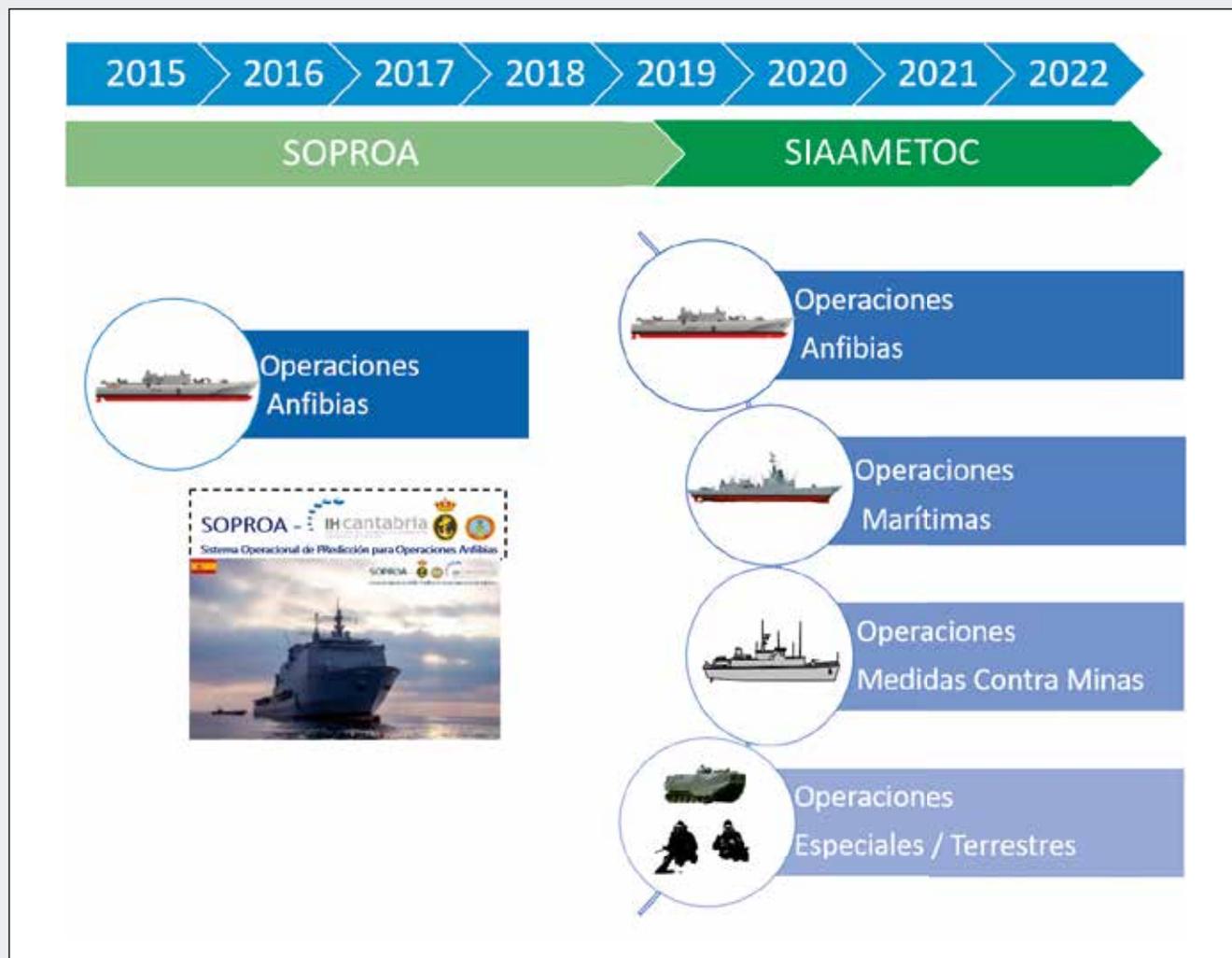
de dicho dato es compleja, de ahí que existan proyectos de I+D orientados en este sentido tanto en el ámbito militar como civil.

De acuerdo con el cronograma del proyecto, para principios de 2021 la aplicación SIAAMETOC-OM debe estar en un grado de madurez tecnológica TRL 8-9, justo después de la validación del Sistema Operacional en dos playas nacionales.

## CONCLUSIONES

El apoyo medioambiental a las operaciones de una Fuerza Naval desplegable en cualquier lugar del mundo afecta a muchas áreas de conocimiento y, como hemos podido apreciar, tiene un carácter complejo. Sus aplicaciones posteriores son amplias, tanto en el ámbito civil como militar.

El apoyo GEOMETOC, ha sido muy beneficiado del gran desarrollo que las nuevas tecnologías han introducido en los modelos numéricos, sobre todo debido a la capacidad computacional. Esta circunstancia, unida al acceso a las herramientas 4.0 en cuanto a la gestión de grandes bases



**Ilustración 9. Evolución SOPROA SIAAMETOC.**

de datos e hiperconectividad, han generado las condiciones ideales para ofrecer productos de gran calidad y en tiempo útil para la toma de decisiones por parte del Mando de la Fuerza Naval.

Desde el Instituto Hidrográfico de la Marina se está realizando un esfuerzo en aplicar las últimas novedades tecnológicas en este complejo enjambre de elementos. Buen indicativo de ello es el apoyo del nuevo proyecto de la Universidad de Cantabria para el programa Coincidente 2019, cuyo objetivo es el uso de drones para la observación del estado de la mar, levantar modelos digitales del terreno y obtención de batimetrías a partir del oleaje.

La Armada Española, aun estando en pleno proceso de revisión, modernización y transformación digital, donde los avances tecnológicos son incorporados en sus procedimientos y estructura, tiene mucho por hacer en el campo del apoyo GEOMETOC. En este sentido, debemos continuar trabajando para mantenernos al día en los avances en el campo computacional y para incorporar nuevos centros de investigación de excelencia nacionales al servicio de la Defensa Nacional, con información y conocimientos, que proporcionen un salto significativo en el campo del apoyo medioambiental a la Fuerza Naval.

## BIBLIOGRAFÍA

---

1. Camus, P.; Méndez, F. J.; Medina, R. A hybrid efficient method to downscale wave climate to coastal areas. *Coast Eng.* 2011; 58:851-62.
2. Rusu, E.; Conley, D.; Ferreira-Coelho, E. A hybrid framework for predicting waves and longshore currents. *J Marine Syst.* 2008; 69(1-2):59-73.
3. Booij, N.; Ris, R.C.; Holthuijsen, L. H. A third-generation wave model for coastal regions, Part I: Model description and validation. *JGeophys Res.* 1999; 104(C4):7649-666.
4. Svendsen, I.A.; Haas, K.; Zhao, Q. Quasi-3D Nearshore Circulation Model SHORECIRC: Version 2.0. *Newark, University of Delaware.* [http://www1.udel.edu/kirby/programs/nearcom/documents/shorecirc2\\_0.pdf](http://www1.udel.edu/kirby/programs/nearcom/documents/shorecirc2_0.pdf). consultado 15 julio 2018.
5. Díaz-Hernández, G.; Losada, I. J.; Méndez, F.J. (2009). Programa de Alerta Temprana de Oleaje: Improving construction management of port infrastructures using an advanced computer-based systems. *Automat Constr.* 2017; 81:122-133.
6. Longuet-Higgins, L. S.; Stewart, R.W. Radiation stresses in water waves; a physical discussion with applications. *Deep-Sea Res.* 1964; 11(4): 529-562.
7. Burnett, W.; S. Harper, R. Preller, G. Jacobs and K. LaCroix. 2014. Overview of operational ocean forecasting in the US Navy: Past, present, and future. *Oceanography* 27(3): 24–31, <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2014.65>
8. Allard, R.; E. Rogers, P. Martín, T. Jensen, P. Chu, T. Campbell, J. Dykes, T. Smith, J. Choi and U. Gravois. 2014. The US Navy coupled ocean-wave prediction system. *Oceanography* 27(3): 92–103, <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2014.71>.

# APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ALTAS PRESIONES A ESPECIES MARINAS: ASPECTOS GENERALES Y EFECTO SOBRE LOS CONSTITUYENTES QUÍMICOS EN PRODUCTOS CONGELADOS

Lucía Méndez, Marcos Trigo, Mónica Carrera, Manuel Pazos, Santiago P. Aubourg

Departamento de Tecnología de Alimentos. Instituto de Investigaciones Marinas.  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Vigo. España.

## VALOR NUTRICIONAL DE LOS ALIMENTOS DE ORIGEN MARINO

La demanda de alimentos de origen marino ha crecido en las últimas décadas de manera que tanto la pesca extractiva como la acuicultura constituyen pilares básicos en la economía de la mayoría de los países. Desde un punto de vista nutricional, las especies marinas proporcionan altos niveles de constituyentes importantes para la dieta humana como son proteínas incluyendo valores altos en aminoácidos esenciales (lisina, metionina, etc.), vitaminas liposolubles (especialmente las A y D), microelementos (I, F, Ca, K, Cu, Zn, Cu, Fe, Se, etc.) y ácidos grasos altamente insaturados. Entre todos estos componentes, la fracción lipídica adquiere en la actualidad una relevancia especial al incluir un alto contenido de los denominados ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) de la serie  $\omega$ 3, los cuales han demostrado un papel importante y positivo en la lucha contra determinadas enfermedades (Simopoulos, 1997).

## PÉRDIDA DE CALIDAD DE LOS ALIMENTOS MARINOS DURANTE EL PROCESAMIENTO

Frente a esta composición química tan positiva, es de destacar que los alimentos de origen marino son altamente perecederos. Esta facilidad para la alteración se explica como resultado de distintos factores tales como que provienen de animales de tipo poiquilotermo, presentan un alto contenido en agua y en compuestos nitrogenados no proteicos, son portadores de un contenido bajo en colágeno y presentan una estructura

muscular blanda, así como una piel delicada en la mayoría de los casos. Asimismo, el alto contenido en AGPI conlleva que dichos productos sean especialmente sensibles a la oxidación lipídica, lo que acarrea grandes pérdidas de calidad sensorial y nutricional como resultado del procesamiento o conservación.

Al objeto de explicar esta rápida pérdida de calidad, se han identificado diversas vías de alteración, pudiéndose resumir todas ellas en ataque microbiano, actividad enzimática endógena, oxidación lipídica, pardeamiento no enzimático y pardeamiento enzimático (Campos *et al.*, 2012). La incidencia relativa de cada una de estas vías de alteración dependerá del tipo de tratamiento tecnológico aplicado, así como de la especie marina involucrada en el proceso.

Se deduce de todo ello que los alimentos marinos requieren un procesamiento rápido y eficiente una vez efectuado el sacrificio o cosecha. De acuerdo con la tendencia creciente de consumo de productos marinos, se hace necesario el empleo de tecnologías eficaces y avanzadas capaces de garantizar, no sólo la retención de las calidades sensorial y nutritiva, sino también la seguridad. Una de estas herramientas es el tratamiento por altas presiones hidrostáticas (APH).

## PROCESAMIENTO POR APH DE ALIMENTOS MARINOS: ASPECTOS GENERALES

Desde un punto de vista físico, un incremento de la presión tiene un importante efecto sobre las moléculas en el sentido que provoca que se encuentren más cerca unas de otras. De

acuerdo con la ley de Le Châtelier, cualquier sistema en equilibrio al que se aplique una fuerza externa tenderá a modificarse en el sentido de adquirir una nueva situación de equilibrio. La aplicación de esta ley al tratamiento por APH de un alimento significaría que todas aquellas reacciones que conlleven un descenso de volumen se verán beneficiadas; y al contrario, aquellas que impliquen un incremento del volumen no estarán favorecidas. El efecto de las altas presiones sería comparable al de la pasteurización. Pero a diferencia de los tratamientos térmicos, los efectos de las altas presiones son uniformes y casi instantáneos a lo largo del alimento, no dependiendo por tanto de la geometría del alimento ni del tipo de equipo empleado.

La experiencia recogida desde los años noventa del siglo anterior a nivel del efecto de las altas presiones sobre los constituyentes de los alimentos y en concreto de los productos marinos se ha centrado en su capacidad para desnaturalizar las proteínas (Aubourg, 2018). Esta desnaturalización no implica por sí sola una pérdida de valor nutritivo; sin embargo, puede facilitar la interacción con otros constituyentes, lo que implicaría una posible pérdida de valor nutritivo. La desnaturalización de las proteínas es irreversible por encima de una cierta presión, alrededor de unos 300 MPa, mientras que se considera que es reversible por debajo de ese valor. A temperatura ambiente, la aplicación de presiones en el rango 150-600 MPa ha demostrado reducir el número de microorganismos e inactivar enzimas endógenas de pescado involucradas en la alteración de los alimentos.

El efecto sobre los microorganismos se produce especialmente alterando la membrana celular, en concreto, las proteínas de membrana. El tratamiento por APH tiene mayor efecto de inactivación en los microorganismos de tipo Gram-negativo que en los Gram-positivo, siendo los primeros precisamente los principales responsables de la pérdida de calidad de los productos de la pesca. La acción se realiza mediante inactivación de las células vegetativas, siendo éstas mucho más sensibles que las esporas al tratamiento por APH; sin embargo, el tratamiento por presurización puede facilitar la germinación de las esporas con lo que, posteriormente, la presurización podría eliminar las células vegetativas resultantes.

A nivel de inhibición de la actividad enzimática endógena de pescado, ésta tiene dos vertientes. Por un lado la inhibición de la hidrólisis de constituyentes (acción de proteasas y lipasas, especialmente), que nos lleva a la formación de moléculas menores y más reactivas como aminoácidos libres, péptidos pequeños, ácidos grasos libres,

inosina, etc.; y por otro lado, la inhibición de la acción enzimática que cataliza la oxidación de lípidos tales como las lipoxigenasas y peroxidasas. En lo que se refiere a la hidrólisis de constituyentes, este tipo de reacción no debería tener demasiada importancia como tal a nivel nutricional. Sin embargo, es un hecho que las moléculas de menor tamaño son más reactivas (a igualdad de otros parámetros) y esto puede llevar a importantes pérdidas de valor nutricional. Por tanto, el tratamiento por APH evitaría estas posibles pérdidas. Asimismo, es digno de destacar que la inhibición de las enzimas endógenas prooxidantes debe llevar a la inhibición del desarrollo de la rancidez, lo cual significaría una notable retención de los valores nutricionales y sensoriales.

## PROCESAMIENTO POR APH DE ALIMENTOS MARINOS: EFECTO SOBRE LOS CONSTITUYENTES

---

En lo que se refiere al efecto del tratamiento de APH sobre los constituyentes marinos, la bibliografía recoge numerosos ejemplos de estudios focalizados en las fracciones proteica y lipídica, siendo muy escasos o inexistentes los relacionados con otros constituyentes como carbohidratos, vitaminas o microelementos. Asimismo, es de destacar que la información más abundante se refiere al efecto directo del tratamiento por APH sobre los constituyentes, sin tener en cuenta un posterior tratamiento tecnológico. Sin embargo, la investigación más reciente comienza a acumular información del empleo combinado de la tecnología de altas presiones con una conservación posterior en refrigeración.

La estructura de las proteínas se ve modificada bajo la influencia de la presión. Una proteína en estado nativo está estabilizada por distintos tipos de enlaces como puentes disulfuro, interacciones electrostáticas, puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas. Como resultado del tratamiento por APH, se produce la ruptura de estructuras nativas de proteínas al verse reducido el volumen del sistema. La presión puede ejercer una gran variedad de efectos, tanto reversibles como irreversibles, llevando a la desnaturalización proteica, agregación o formación de geles. Los enlaces covalentes no se ven afectados por la presión, con la excepción de los enlaces de grupos sulfhidrilo y reacciones de intercambio tiol-disulfuro. En consecuencia, la estructura primaria de las proteínas no se verá modificada especialmente. Sin embargo, las estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria se verán alteradas debido a la ruptura

de enlaces iónicos, enlaces por puente de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas y electrostáticas. Asimismo, el tratamiento por presurización puede llevar a un incremento de la presencia de funciones necesarias para la formación de enlaces por puentes de hidrógeno, por lo que la formación de este tipo de enlaces se verá favorecida.

La bibliografía relacionada con el efecto del tratamiento por APH sobre el desarrollo de la oxidación lipídica, puede considerarse controvertida. La mayoría de los estudios indican un incremento de la oxidación lipídica. Sin embargo, se ha observado una gran estabilidad de los lípidos si previamente se extraen de su medio biológico. Asimismo, el posible efecto prooxidante de las altas presiones sobre los lípidos musculares se elimina si se lleva a cabo un lavado previo del músculo con agua o si se adiciona un agente acomplejante como el AEDT. En consecuencia y como resultado de la presurización, la desnaturalización de las proteínas enlazadas a elementos de transición (fundamentalmente Fe y Cu) facilitaría un incremento del contenido de dichos elementos en estado libre, siendo éstos los responsables de la oxidación lipídica en los productos marinos después de un tratamiento por presurización.

Por otra parte, los problemas ocasionados por la oxidación lipídica pueden tener todavía más consecuencias negativas. Así, los productos de oxidación lipídica (peróxidos, carbonilos y otros compuestos con funciones oxigenadas) son susceptibles de reaccionar con constituyentes presentes en el músculo de pescado que sean portadores de funciones nucleófilas (especialmente los grupos  $-NH_2$  y  $-SH$ ). Entre este tipo de moléculas estarían aminoácidos libres, péptidos pequeños, proteínas de bajo peso molecular, fosfolípidos aminados, etc. Este tipo de interacción (también llamado pardeamiento no enzimático) podría llevar a importantes pérdidas de los valores nutritivo (pérdidas de aminoácidos esenciales y AGPI) y sensorial (modificaciones negativas del olor, color y textura).

De todo ello se implica el interés en conocer los cambios que los constituyentes químicos pueden experimentar como resultado de la presurización. En los siguientes apartados se recoge un conjunto de estudios llevados a cabo por nuestro grupo en distintas especies marinas comerciales donde se aplicó la tecnología de APH como tratamiento previo a una conservación en congelación. En estos trabajos se hizo especial hincapié en la evolución de las fracciones lipídica y proteica, así como en la incidencia que la alteración de dichas fracciones podría suponer sobre la calidad del producto congelado.

### **Caballa del Atlántico (*Scomber scombrus*) congelada**

En un primer estudio (Vázquez *et al.*, 2013), se analizó la alteración lipídica en caballa del Atlántico (*S. scombrus*) conservada en congelación (3 meses a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y previamente sometida a tratamiento por APH (150, 300 y 450 MPa durante 0,0, 2,5 y 5,0 minutos). Se observó una fuerte inhibición de la formación de ácidos grasos libres (desarrollo de la hidrólisis lipídica) y de compuestos fluorescentes (desarrollo de la oxidación lipídica) (Figura 1) a lo largo de la conservación al aumentar la presión o el tiempo de presurización aplicados. Por otra parte, sólo se detectaron pequeñas diferencias en los índices de peróxidos, TBA y polienos. Se concluyó que el tratamiento previo por APH podía significar una importante retención de la calidad lipídica y en consecuencia, un incremento del tiempo de vida útil.

Tomando como base las mismas condiciones experimentales, se analizó de forma paralela el efecto de la presurización sobre las fracciones sarcoplásmica y miofibrilar de músculo de caballa (*S. scombrus*) (Pazos *et al.*, 2014). Para ello, se aplicaron herramientas proteómicas basadas en el análisis de los perfiles electroforéticos, así como la identificación mediante el tándem E. Masas/E. Masas. Como resultado, las proteínas miofibrilares resultaron ser estables bajo presurización en términos de solubilidad y perfiles electroforéticos. Sin embargo, la presurización redujo notablemente la solubilidad de las proteínas sarcoplásmicas, modificó sus patrones electroforéticos mono- y bi-dimensionales y ejerció un efecto selectivo sobre determinadas proteínas sarcoplásmicas. Así, las bandas asignadas a creatina quinasa, fructosa-bisfosfatoaldolasa A, glucógeno fosforilasa y  $\beta$ -enolasa fueron degradadas bajo presiones de 300-450 MPa. El procesamiento por APH (300 y 450 MPa) también indujo la formación de un producto de entrecruzamiento de piruvato quinasa y dos compuestos derivados de tropomiosina. Se dedujo de este estudio la necesidad de optimizar la presión aplicada al objeto de disminuir la alteración de la fracción proteica y sus posibles consecuencias negativas en los valores sensoriales y físicos.

En un estudio posterior (Pazos *et al.*, 2015a), se analizaron los cambios bioquímicos producidos en caballa (*S. scombrus*) congelada en condiciones comerciales (9 meses a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y que previamente se había sometido a tratamiento por APH (125-200 MPa durante 0 min). Como resultado, se observó la inhibición parcial de la formación de ácidos grasos libres y de compuestos fluorescentes (desarrollo de hidrólisis y oxidación lipídicas, respectivamente) durante la conservación en congelación para las muestras previamente tratadas a 175-200 MPa. Después de 3 meses de conservación, el análisis por SDS-PAGE reveló la desaparición de una banda en la

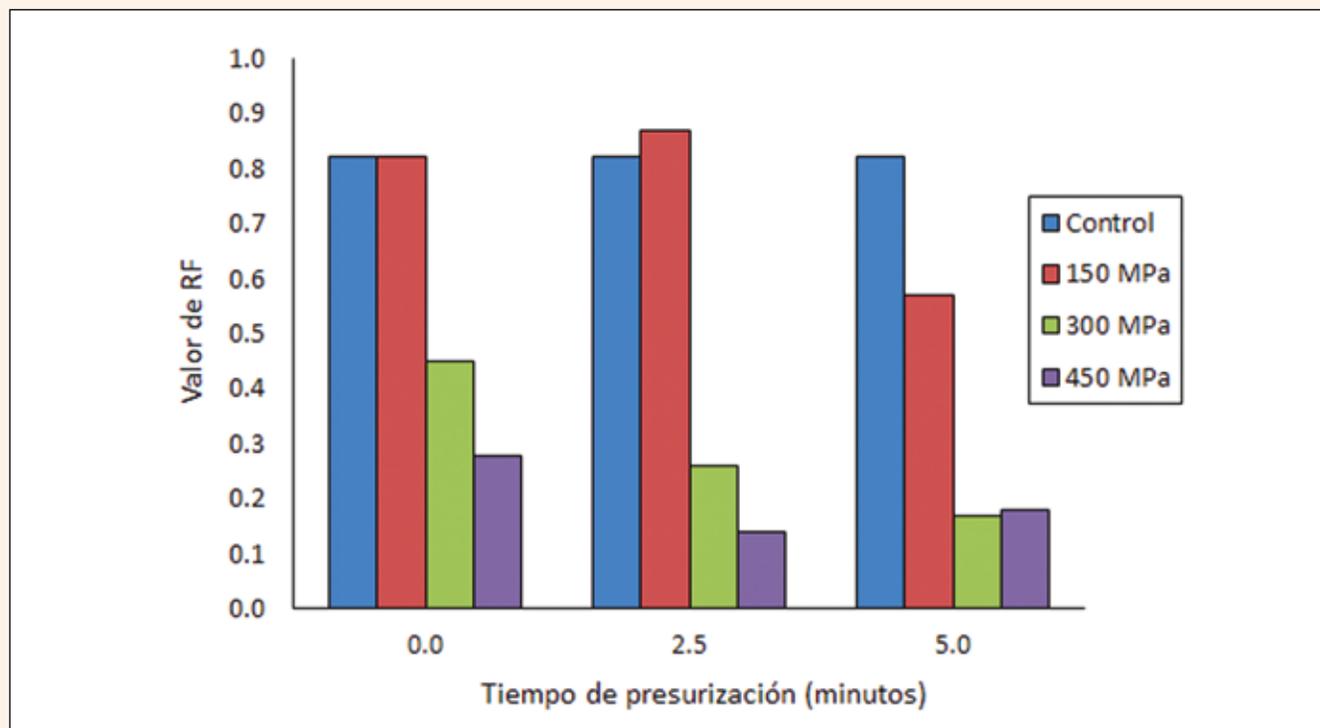


Figura 1: Formación de compuestos fluorescentes (RF, relación de fluorescencia) en caballa conservada en congelación (3 meses a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y previamente presurizada (150, 300 y 400 MPa durante 0.0, 2.5 y 5.0 minutos).

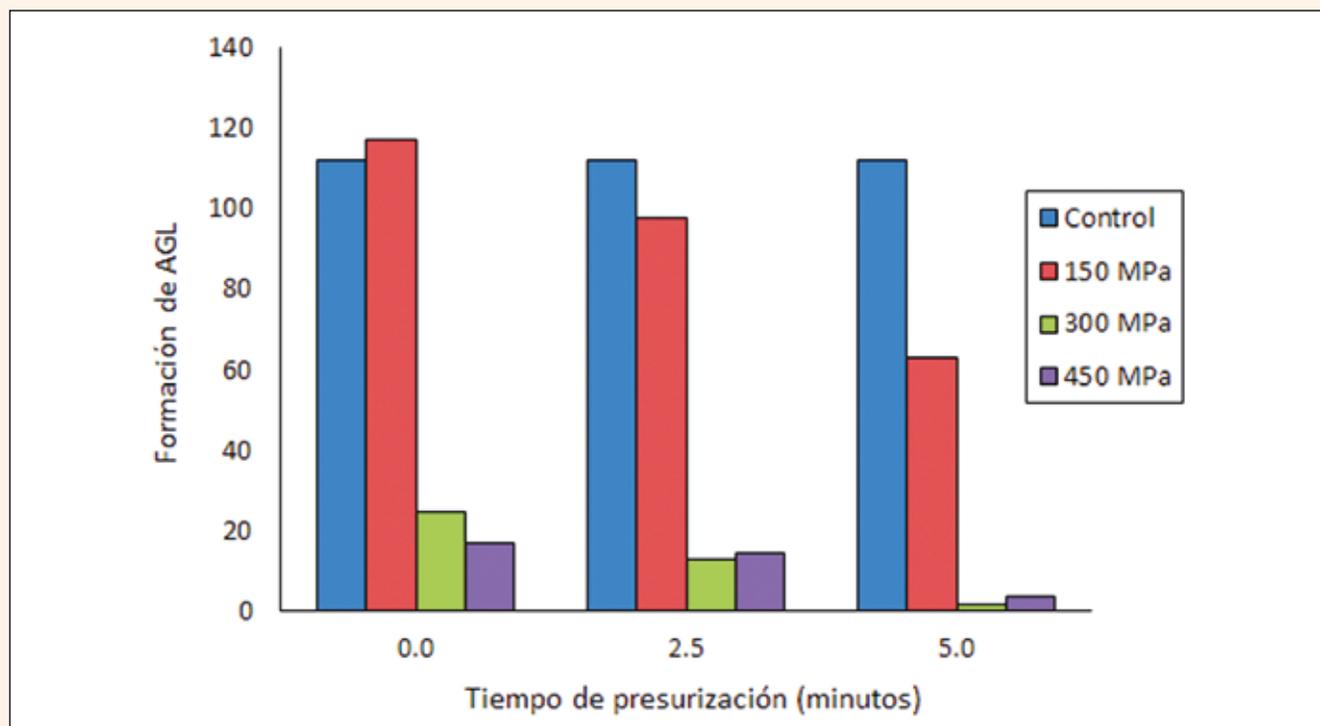


Figura 2: Formación de ácidos grasos libres (AGL; g/kg lípidos) en jurel conservado en congelación (3 meses a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y previamente presurizado (150, 300 y 400 MPa durante 0.0, 2.5 y 5.0 minutos).

fracción sarcoplásmica en el caso de las muestras tratadas a 175 y 200 MPa; el mismo resultado se obtuvo en pescado previamente sometido a 150 MPa si el tiempo de conservación considerado era 9 meses. Después de su extracción del gel, digestión con tripsina, análisis mediante el tándem E. Masas/E. Masas y chequeo en bases de datos apropiadas, la banda fue identificada como fosfoglicerato mutasa-2 (28.7 kDa). Asimismo, el tratamiento por APH no reveló efectos significativos en los valores de trimetilamina, compuestos de oxidación lipídica primaria y secundaria, niveles de AGPI y patrones electroforéticos miofibrilares. El estudio demostró que el empleo de altas presiones en un rango relativamente bajo podía llevar a un mínimo de alteraciones negativas, mientras que los efectos positivos como son la inhibición de la alteración lipídica llevaría a un incremento del tiempo de vida útil.

#### **Jurel (*Trachurus trachurus*) congelado**

Un primer estudio en esta especie se centró en la alteración lipídica del músculo conservado en congelación (3 meses a -10 °C) y previamente sometido a tratamiento por APH (150, 300 y 450 MPa durante 0.0, 2.5 y 5.0 minutos) (Torres *et al.*, 2013). Como resultado, se comprobó la inhibición del desarrollo de la hidrólisis lipídica durante la congelación, tanto al aumentar la presión como el tiempo de presurización en el tratamiento previo (Figura 2). En relación con el desarrollo de la oxidación lipídica, se observó una inhibición importante durante la conservación en congelación al aumentar la presión aplicada (menor formación de peróxidos y compuestos fluorescentes). Se concluyó por tanto un efecto protector por parte del tratamiento por APH sobre la fracción lipídica del músculo congelado. Sin embargo, el tiempo de presurización no reflejó efecto alguno sobre ambos parámetros lipídicos de calidad (oxidación e hidrólisis).

De forma paralela y con las mismas condiciones de presurización y de conservación en congelación que en el estudio anterior, se llevó a cabo un análisis de la alteración de la fracción proteica en jurel (Pazos *et al.*, 2015b). Al igual que en el caso de la caballa, se emplearon herramientas proteómicas tales como el análisis de imagen de geles proteicos por SDS-PAGE y la identificación de bandas electroforéticas mediante el tándem E. Masas/E. Masas. A pesar de que la fracción miofibrilar no reflejó cambios sustanciales como resultado del tratamiento por APH, este tratamiento modificó los perfiles electroforéticos de las proteínas sarcoplásmicas. Así, la aplicación de la presión mayor (450 MPa) provocó una fuerte degradación de fosfoglicerato mutasa-2, glucógeno fosforilasa, piruvato quinasa, beta-enolasa, triosefosfatoisomerasa y fosfoglucomutasa-1. Y al contrario, las bandas asignadas a tropomiosina alfa-1, troponina T y parvalbúmina beta-2 incrementaron su intensidad después de

un tratamiento a 450 MPa. Al igual que en el caso de caballa, se concluyó la necesidad de emplear la tecnología de APH en un rango relativamente bajo.

#### **Sardina europea (*Sardina pilchardus*) congelada**

Se analizaron los cambios bioquímicos producidos en sardina europea (*S. pilchardus*) conservada en condiciones comerciales de congelación (9 meses a -18 °C) y previamente presurizada (150-200 MPa durante 0 minutos) (Méndez *et al.*, 2017). Se observó una inhibición del desarrollo de la hidrólisis lipídica (formación de ácidos grasos libres) que aumentaba con la presión aplicada previamente. Asimismo, algunos parámetros como los índices de peróxidos, ácido tiobarbitúrico (Figura 3), compuestos fluorescentes y polienos indicaron que el tratamiento previo por APH no tenía un efecto claramente determinado sobre el desarrollo de la oxidación lipídica. Por otra parte, los patrones electroforéticos de proteínas sarcoplásmicas y miofibrilares no se vieron modificados. Sin embargo, el tratamiento por APH llevó a un descenso en el contenido de proteínas miofibrilares en pescado congelado, siendo este efecto mayor en el caso de pescado sometido a 175-200 MPa. Aunque no se concluyó un efecto fuerte como resultado de la presurización, los resultados recomendaron llevar a cabo una optimización que satisfaga a la vez la inhibición de la hidrólisis lipídica y la retención del contenido en proteínas miofibrilares.

#### **Merluza europea (*Merluccius merluccius*) congelada**

Se analizó la pérdida de calidad de merluza europea (*M. merluccius*) conservada en congelación (5 meses a -10 °C) y que previamente se presurizó (150-450 MPa durante 2 minutos) (Vázquez *et al.*, 2018). Como resultado del tratamiento previo de presurización, se observó la inhibición de la formación de dimetilamina (Figura 4), ácidos grasos libres, formaldehído, trimetilamina, bases volátiles totales y compuestos fluorescentes. Sin embargo, no se observó efecto en el valor K ni en los índices de peróxidos, ácido tiobarbitúrico y polienos. De todos estos resultados es de destacar la inhibición de moléculas altamente responsables de la pérdida de calidad de merluza congelada como son la dimetilamina, el formaldehído y los ácidos grasos libres. El efecto inhibitor se justifica como resultado de la alteración causada durante la presurización a distintos tipos de enzimas tales como el óxido de trimetilaminaaldolasa, lipasas y fosfolipasas, de manera que su actividad durante la subsiguiente conservación en congelación se ve fuertemente disminuida.

De forma paralela y sobre las mismas condiciones experimentales de presurización y tiempo de conservación en congelación que

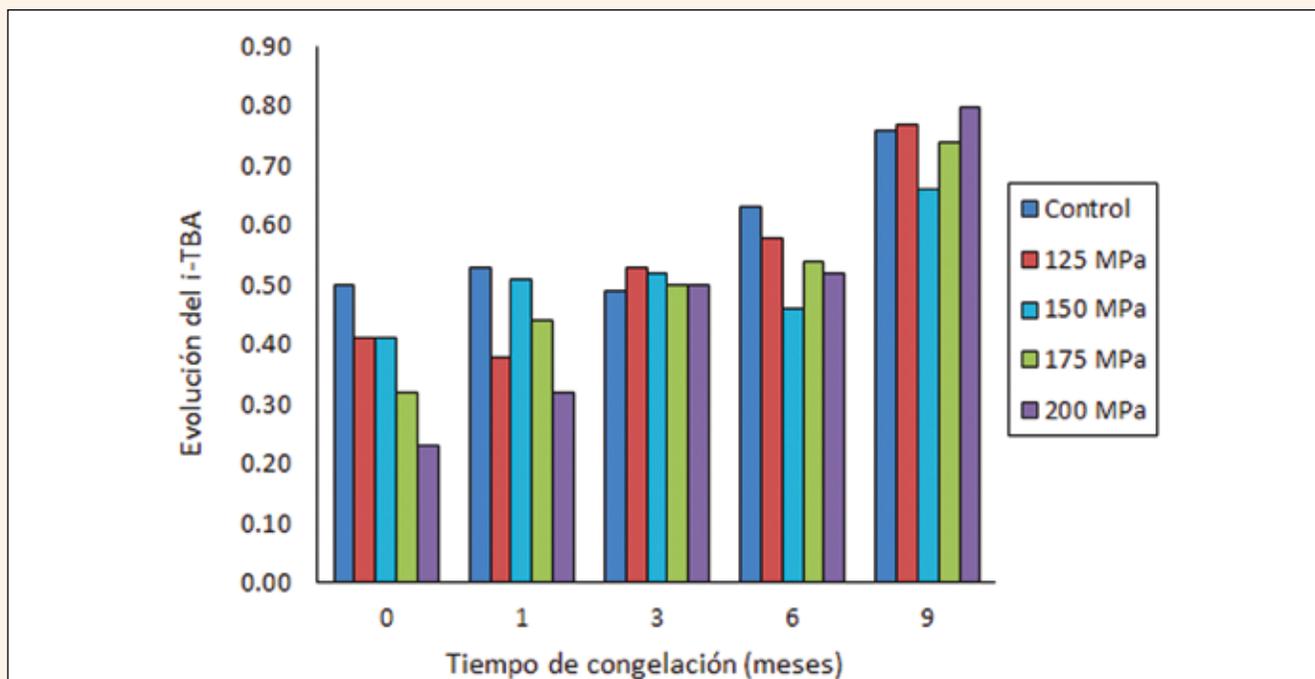


Figura 3: Evolución del índice del ácido tiobarbitúrico (i-TBA; mg malondialdehído/kg músculo) en sardina conservada en congelación (9 meses a -18 °C) y previamente presurizada (125-200 MPa durante 0.0 minutos).

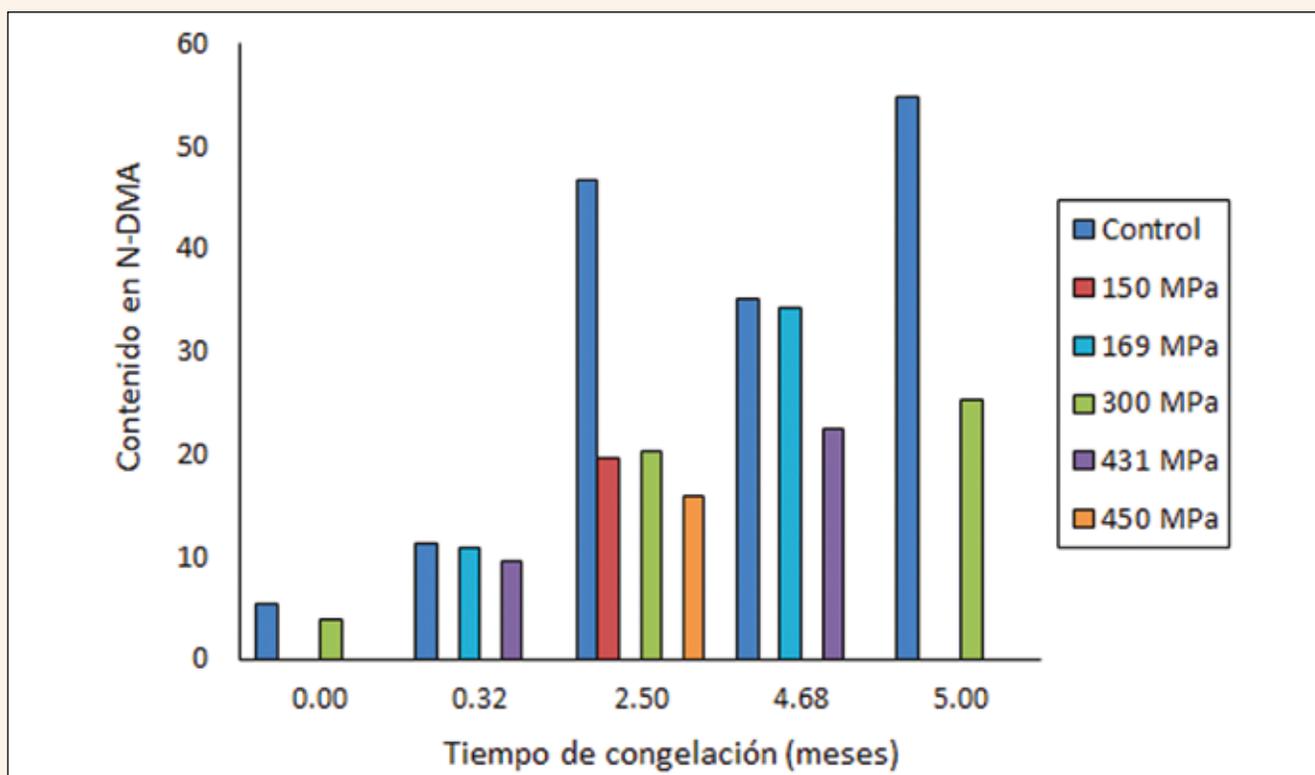


Figura 4: Formación de dimetilamina (DMA; mg N-DMA/kg músculo) en caballa conservada en congelación (5 meses a -10 °C) y previamente presurizada (150-450 MPa durante 2 minutos).

en el estudio anterior, se analizó el efecto de la presurización sobre la fracción proteica del músculo de merluza (Carrera *et al.*, 2018). En relación con la detección de posibles biomarcadores de calidad, se observó una degradación importante en muestras sometidas a una presión superior a 430 MPa en el caso de fosfoglicerato mutasa-1, enolasa, creatina quinasa, fructosa bisfosfatoaldolasa, triosefosfatoisomerasa y nucleósido difosfato quinasa. Al contrario, las bandas electroforéticas asignadas a tropomiosina, gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa y beta-parvalbúmina incrementaron su intensidad como resultado de un tratamiento igual o superior a 430 MPa. Nuevamente se concluyó la necesidad de escoger unas condiciones de presurización que inhiban la formación de moléculas de deterioro, pero que al mismo tiempo retengan en gran medida los perfiles proteicos.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en los distintos experimentos mencionados indican que el seguimiento de la evolución de la calidad química en pescado congelado puede llevar a una cierta controversia a la hora de escoger las mejores condiciones del tratamiento por APH. Así, un tratamiento previo por presurización puede significar la inhibición de la actividad de las enzimas endógenas de pescado, con lo que se puede minimizar la formación de productos químicos derivados de las fracciones lipídicas y de compuestos nitrogenados no proteicos. Sin embargo, una presurización relativamente energética puede implicar importantes modificaciones en la fracción proteica. Al objeto de aprovechar las ventajas tecnológicas del tratamiento por APH se concluye la necesidad de optimizar las condiciones a aplicar (presión, tiempo de presurización y temperatura de presurización) para cada especie marina y para cada tipo de producto involucrado.

Ante la necesidad de ofrecer al consumidor un producto seguro y altamente nutritivo y apetecible, se hace necesaria la evaluación no sólo de los índices químicos de calidad, sino también de todas aquellas propiedades relacionadas con los aspectos sensoriales, microbianos y físicos que puedan incidir en la aceptabilidad del producto.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación proporcionada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC; Proyecto 2017-70E032) y la Xunta de Galicia (Proyecto 10TAL402001PR).

## BIBLIOGRAFÍA

1. Aubourg, S. P. 2018. Impact of high-pressure processing on chemical constituents and nutritional properties in aquatic foods: A review. *International Journal of Food Science and Technology* 53: 873-891.
2. Campos, C.; Gliemmo, M.; Aubourg, S. P., and Barros-Velázquez, J. 2012. Novel technologies for the preservation of chilled aquatic food products. In: *Novel technologies in food science. Their impact on products, consumer trends and environment*. McElhatton, A. and do Amaral, P. (Eds.). Springer, Science and Business, Inc., Heidelberg, Germany, Chapter 13, pp. 299-324.
3. Carrera, M.; Fidalgo, L.; Saraiva, J. A., and Aubourg, S. P. 2018. Effects of high-pressure treatment on the muscle proteome of hake by bottom-up proteomics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 66: 4559-4570.
4. Méndez, L.; Fidalgo, L.; Pazos, M.; Lavilla, M.; Torres, J. A.; Saraiva, J. A.; Vázquez, M., and Aubourg, S. P. 2017. Lipid and protein changes related to quality loss in frozen sardine (*Sardina pilchardus*) previously processed under high-pressure conditions. *Food and Bioprocess Technology* 10: 296-306.
5. Pazos, M.; Méndez, L.; Fidalgo, L.; Vázquez, M.; Torres, J. A.; Aubourg, S. P., and Saraiva, J. A. 2015a. Effect of high-pressure processing of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) on biochemical changes during commercial frozen storage. *Food and Bioprocess Technology* 8: 2159-2170.
6. Pazos, M.; Méndez, L.; Gallardo, J. M., and Aubourg, S. P. 2014. Selective-targeted effect of high-pressure processing on proteins related to quality: A proteomics evidence in Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). *Food and Bioprocess Technology* 7: 2342-2353.
7. Pazos, M.; Méndez, L.; Vázquez, M., and Aubourg, S. P. 2015b. Proteomics analysis in frozen horse mackerel previously high-pressure processed. *Food Chemistry* 185: 495-502.
8. Simopoulos A. 1997. Nutritional aspects of fish. In: *Seafood from producer to consumer, integrated approach to quality*. Luten, J.; Børresen, T. and Oehlenschläger, J. (Eds.). Elsevier Science, London, United Kingdom, pp. 589-607.
9. Torres, J. A.; Vázquez, M.; Saraiva, J. A.; Gallardo, J. M., and Aubourg, S. P. 2013. Lipid damage inhibition by previous high-pressure processing in white muscle of frozen horse mackerel. *European Journal of Lipid Science and Technology* 115: 1454-1461.
10. Vázquez, M.; Fidalgo, L.; Saraiva, J. A., and Aubourg, S. P. 2018. Preservative effect of a previous high-pressure treatment on the chemical changes related to quality loss in frozen hake (*Merluccius merluccius*). *Food and Bioprocess Technology* 11: 293-304.
11. Vázquez, M.; Torres, J. A.; Gallardo, J. M.; Saraiva, J. A., and Aubourg, S. P. 2013. Lipid hydrolysis and oxidation development in frozen mackerel (*Scomber scombrus*): Effect of a high hydrostatic pressure pre-treatment. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 18: 24-30.

# OCEÁNICAS: UN PROYECTO PARA DAR A CONOCER EL PAPEL DE LA MUJER EN LA OCEANOGRAFÍA

Ana Morillas Kieffer

Centro Oceanográfico de las Baleares. Instituto Español de Oceanografía (IEO). Illes Balears. España.

*La iniciativa pretende poner en valor la aportación femenina a las ciencias y tecnologías marinas y fomentar vocaciones científicas en el alumnado.*

**El proyecto de divulgación “Oceánicas: la mujer y la oceanografía” es una actividad impulsada por el Instituto Español de Oceanografía (IEO) con la colaboración de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades que tiene como objetivos dar a conocer el trabajo de científicas de todo el mundo dedicadas al estudio de los mares y océanos y fomentar las vocaciones científicas en la juventud.**

A través de diversas acciones que incluyen una web, entrevistas, blogs, un libro ilustrado de oceanógrafas pioneras, concursos dirigidos a los estudiantes y una jornada de puertas abiertas en todos los centros del IEO, se divulga la vida y obra de estas investigadoras con el objetivo de generar vocaciones científicas en niñas y niños sin sesgo de género y para que adquieran referentes de la oceanografía.

## OCEÁNICAS ES PASADO, PRESENTE Y FUTURO

Oceánicas visita el pasado con el propósito de visibilizar y rendir homenaje a las mujeres pioneras de la oceanografía.

El trabajo en el mar ha sido considerado hasta hace muy poco una tarea de hombres e, incluso, las mujeres tuvieron prohibido embarcar en base a mitos y leyendas sin ningún fundamento. Por ello, el trabajo de la mujer en ciencias marinas se limitó inicialmente a los muestreos en zonas costeras y, sobre todo, al trabajo de laboratorio.

Solo una mujer participó en la época dorada de las grandes expediciones europeas que exploraron el mundo en el siglo XVIII y lo hizo disfrazada de hombre: fue Jeanne Baret, botánica francesa que regresó con una colección de más de 5.000 plantas. Una enorme excepción, ya que tuvieron que pasar más de 150 años para que otra mujer participase en una campaña oceanográfica.

A medida que transcurre el tiempo, las primeras oceanógrafas no solo tenían limitado el acceso a los buques, sino también a los estudios básicos y a la Universidad. Es por ello que las pioneras fueron en su mayoría autodidactas. Por lo general, chicas de clases más bien elevadas, con acceso a bibliografía y un interés asombroso por el mundo natural, como los casos de Jeanne Villepreux, inventora de los acuarios, o Maude Delap, bióloga autodidacta y pionera en criar medusas en cautividad.

Pero poco a poco las mujeres pudieron cursar estudios superiores, embarcar en expediciones oceanográficas y desarrollar su profesión. Sin embargo, en la mayoría de los casos, estas primeras oceanógrafas estuvieron a la sombra de los hombres: embarcaban con sus maridos científicos, publicaban con ellos y en ocasiones su trabajo ni siquiera se reconocía y quedaba en el anonimato.

En Estados Unidos hasta los años 60 del siglo pasado las mujeres no podían embarcar si no era acompañadas de sus maridos. Pioneras como Marie Tharp -geóloga marina que, pese a tener prohibido embarcar, elaboró el primer mapa de los fondos oceánicos atlánticos, demostró la existencia de la dorsal



### Presentación Oceánicas.

mesoatlántica que avaló las teorías de la deriva continental y la tectónica de placas-, o Mary Sears, comandante que dirigió la primera unidad de oceanografía de la marina de EE.UU., trabajaron durante años en sus respectivas disciplinas sin poder acceder a un barco, herramienta habitualmente imprescindible para el desarrollo de la profesión.

Hubo algunas excepciones como la rusa Maria Klenova, que lideró expediciones al Ártico en los años 30, creó el mapa del fondo del Mar de Barents y fue la primera mujer en investigar en la Antártida, o Jimena Quirós Fernández de Tello, primera oceanógrafa del Instituto Español de Oceanografía en 1921 y primera mujer en embarcar en una campaña oceanográfica en nuestro país. Y es que en la España de antes de la Guerra Civil, pese a las dificultades que conllevaba, las mujeres podían embarcar y, de hecho, lo hacían.

Ángeles Alvariño, investigadora del IEO, ha sido nuestra oceanógrafa con mayor proyección internacional y una de las más prestigiosas investigadoras marinas mundiales del siglo XX. Se convirtió en la primera mujer en embarcar en un buque científico inglés y describió 22 nuevas especies planctónicas marinas para la ciencia. Recientemente, el Instituto Español de Oceanografía construyó dos nuevos buques y se bautizó a uno de ellos con su nombre en su honor. En España existe

otro buque oceanográfico perteneciente a la Secretaría General de Pesca del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación dedicado a otra investigadora del IEO, Emma Bardán.

Estas pioneras marcaron el camino hacia la igualdad, pero no fue hasta la década de los 90 del siglo anterior cuando algunas mujeres llegaron a ocupar cargos de responsabilidad. En 1990, Cyndy Lee Van Dover fue la primera mujer, y la única hasta el momento, en pilotar el submarino más importante en la historia de la exploración oceánica: el *Alvin*, y tenemos que superar el umbral del siglo XXI para que una mujer, Jane Lubchenco, fuera nombrada jefa de la Agencia Científica Oceánica y Atmosférica estadounidense (NOAA, por sus siglas en inglés) y asesora científica del presidente Obama durante su mandato.

Y por último, como exponente de una referencia científica y todavía en activo, encontramos a Sylvia Earle, primera científica jefe de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de EE.UU., exploradora de *National Geographic* y recientemente galardonada con el premio Princesa de Asturias de la Concordia.

El presente de Oceánicas se plasma a través de una plataforma en el que las mujeres que trabajan actualmente en ciencias del mar, tanto investigadoras como técnicas, estudiantes, empresarias, etc., comparten con todos su pasión por la

1769



**Jeanne Baret**  
se convierte en la primera  
mujer en dar la vuelta  
al mundo... aunque  
disfrazada de hombre

1914

Odón de Buen  
funda el IEO



1872

Nace la oceanografía  
con la expedición  
Challenger



1943



**Mary Sears**  
crea y dirige la primera  
unidad de oceanografía del  
ejército de EEUU durante  
la II Guerra Mundial

1750

1834



**Jeanne Villepreux**  
inventa los acuarios

1901



**Maude Delap**  
cría medusas en cautividad  
por primera vez

1920



**Jimena Quirós**  
se convierte en la primera  
española en participar en  
una campaña oceanográfica

1953



**Ángeles Alvariño**  
se convierte en la  
primera científica  
en un buque inglés

1977



**Marie Tharp**  
publica el primer mapa  
de los fondos marinos  
del planeta

1990

**Cyndy Lee Van Dover**  
primera mujer  
en pilotar  
el Alvin



¿Y tú  
qué vas  
a hacer?

2050

1949



**Eugenie Clark**  
participa en  
la exploración  
de los fondos  
de la Micronesia

1979



**Sylvia Earle**  
camina por un fondo  
de 381 metros

1971



**Anita Conti**  
denuncia los impactos  
de la pesca industrial

2004

**Concepción Soto**  
primera mujer  
en dirigir el IEO

Línea tiempo.



**Angeles Alvariño (ilustración).**

ciencia y la naturaleza y relatan cómo han hecho de ello su profesión con el objetivo de ayudar a los estudiantes a descubrir su entusiasmo por la ciencia y la naturaleza. Las expertas relatan sus experiencias vitales y profesionales a través de blogs, entrevistas y entradas en la web.

Y por último, el futuro de Oceánicas está dedicado a la juventud. Mediante concursos, talleres y charlas impartidos por las investigadoras e investigadores del IEO y jornadas de puertas abiertas, trata de despertar la curiosidad y el interés a nivel personal de los estudiantes, fomentar su creatividad y promover la comprensión de conceptos y fenómenos científicos con el objetivo de promover las vocaciones científicas en los estudiantes, sobre todo en las niñas, sin sesgo de género y para que adquieran referentes de la oceanografía.

## EL GERMEN DE OCEÁNICAS

Oceánicas surge con motivo de la proclamación del 11 de febrero como el “Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia” promovido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 2015. Desde esa fecha, el personal del IEO



**Jimena Quiros (ilustración).**

se ha involucrado cada vez más en reivindicar la igualdad de género en la ciencia, el acceso y la participación de las mujeres y las niñas en la educación, la capacitación, la ciencia y la tecnología, y el fomento de la igualdad de acceso de las mujeres al pleno empleo a todos los niveles.

La ciencia y la igualdad de género son vitales para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) incluidos en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de la ONU. En los últimos años, la comunidad internacional ha hecho un gran esfuerzo inspirando y promoviendo la participación de las mujeres y las niñas en la ciencia. La inclusión de un mayor número de niñas en la ciencia desde edades tempranas será fundamental para el desarrollo de nuevas investigaciones y nuestro propio entendimiento de las ciencias y su potencial.

Por ello, es preciso que el personal investigador realicemos un esfuerzo importante en la elaboración de proyectos como Oceánicas y motivemos al alumnado, en especial a las niñas, desde edades tempranas a acercarse y conocer el significado de “hacer ciencia” y las maravillas que tiene esta profesión.

Toda la información se puede encontrar en la Web: <http://oceanicas.ieo.es/>, y descarga gratuitamente el libro “Oceánicas: pioneras de la oceanografía” en <http://bit.ly/2vgjuGR>

10 · ANIVERSARIO 10 · ANIVERSARIO



XUNTA DE GALICIA  
CONSELLERÍA DE ECONOMÍA,  
EMPREGO E INDUSTRIA

gain

CCT

INSTITUTO CULTURA, CIENCIA Y TECNOLOGIA