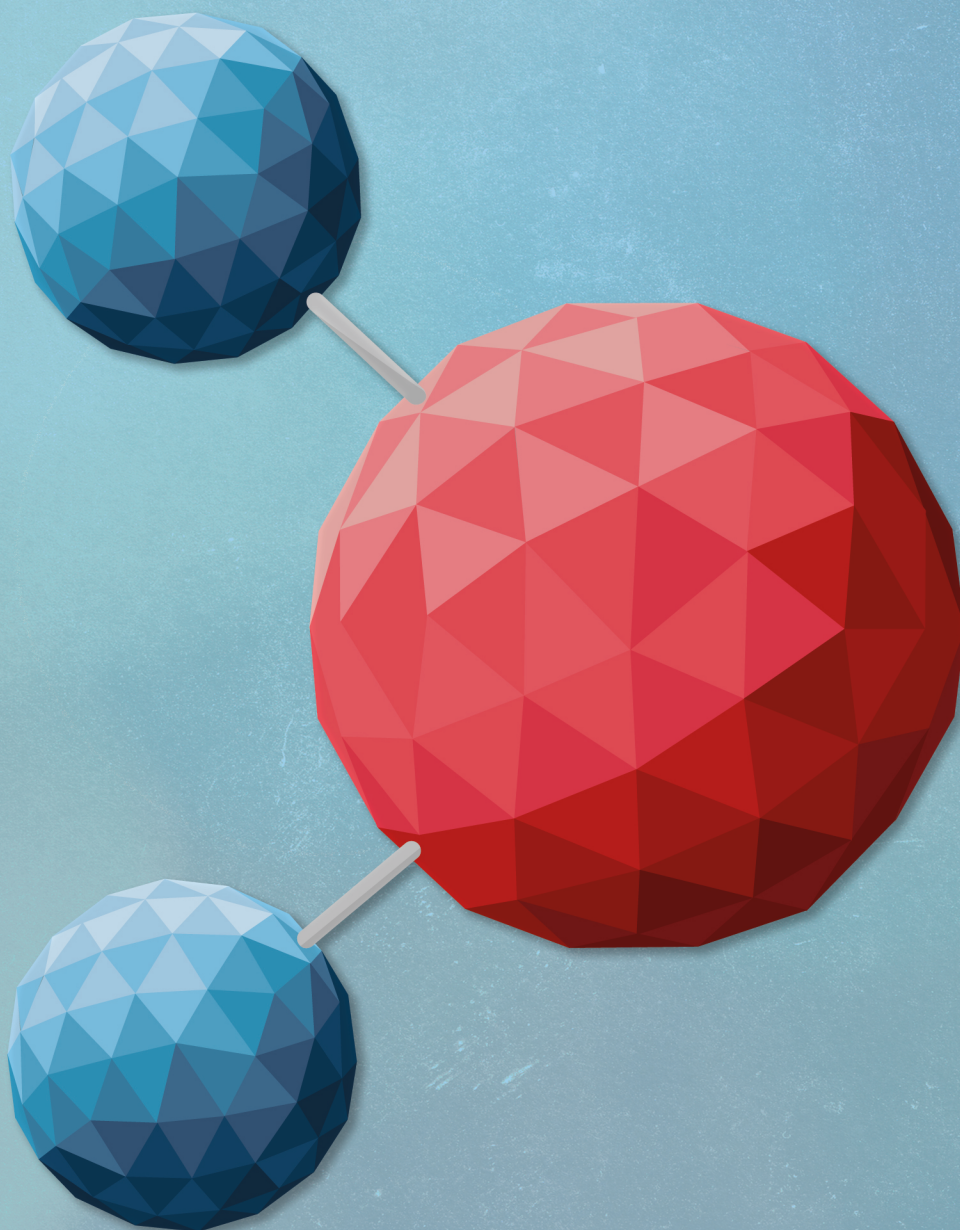


MOLEQLA

Revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide

·Número 25·



Portada

Carmen Santisteban Trigo y María Manuela Valverde

Logotipo y Título de la revista

Juan Manuel García Arcos, Rafael Hoyos Manchado y Rafael Iigo
Roció Escudero Ávila, Inés Maldonado Lasunción y Javier Revello Sánchez

Plantilla de la revista

Norberto Díaz Díaz

Editores de las secciones que aparecen en este número

MoleQla Ambiental: Ana Martín Calvo

MoleQla Celular: Guillermo López Lluch

MoleQla Deporte: Alberto Grao Cruces

MoleQla Educativa: Macarena Estéban Ibañez

MoleQla Energía: Juan José Gutiérrez Sevillano

MoleQla Forense: Sofía Calero Díaz

MoleQla Médica: Ignacio Jáuregui Lobera

MoleQla Patrimonio: María Pilar Ortiz Calderón

MoleQla Química: Patrick J. Merklings

MoleQla Tierra: Manuel Díaz Azpiroz

Responsables de maquetación de las secciones que aparecen en este número

Cristina Guillén Mendoza

Juan Antonio del Castillo

Almudena García Sánchez

Alba Jiménez Díaz

Maquetador Global: Rafael Rastrero Prieto

Información sobre todas las secciones de MoleQla en <http://www.upo.es/MoleQla>

Editores

Sofía Calero Díaz

Ana Paula Zaderenko Partida

Juan Antonio Anta Montalvo

Patrick J. Merklings



ISSN 2173-0903

Editado el 21 de Marzo de 2017

Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España

La primavera es tiempo de renacimiento y regeneración, el mundo natural usa la misma materia molecular con la que superó el invierno para volver a florecer lleno de vigor y energía. El secreto del progreso y de la evolución es precisamente esa sucesión de pequeñas muertes y renacimientos que es el juego de la vida. Del mismo modo, la revista MoleQla, revista de ciencias de la Universidad Pablo de Olavide, inaugura con este número de primavera del 2017 su nueva plataforma **moleqla.upo.es**. Con esta nueva web, el sistema de envío, revisión, edición y publicación de los artículos se simplifica y racionaliza. La apariencia del portal es ahora más moderna y funcional. El equipo editorial tiene que agradecer enormemente el esfuerzo realizado por nuestros compañeros Rafael Rastrero Prieto y Norberto Díaz Díaz de la Escuela Politécnica Superior de la UPO.

Independientemente del envoltorio, este número de primavera viene tan interesante como siempre, con artículos sobre protección del medio ambiente (polución por hidrocarburos policíclicos, erosión de suelos, biocombustibles, contaminación radiológica), de temática forense (envenenamiento por arsénico, el cortisol, el efecto del litio en el transtorno bipolar) y un artículo de la nueva sección de deportes dedicado al imperecedero deporte rey: el fútbol.

La puesta en marcha de la nueva plataforma ha conllevado una serie de problemas técnicos, inevitables cuando se pone a punto un nuevo sistema de gestión. Ello ha motivado un retraso en la salida de este número de primavera, por el que pedimos disculpas. Sin embargo, bien sabemos que el esfuerzo merecerá la pena, y que los brotes de marzo darán en el inmediato futuro sus frutos y de esta forma facilitar el trabajo de autores, editores, y el acceso a la revista de nuestros lectores.

El equipo editorial de MoleQla y todos los que la hacen posible estación tras estación os desean un feliz y florido equinoccio de primavera



Juan Antonio Anta
Editor de la Revista MoleQla

ÍNDICE

1. Moleq̃la Ambiental

- 1.1. Extracción de hidrocarburos aromáticos policíclicos de muestras de interés medioambiental mediante ultrasonidos

2. Moleq̃la Celular

- 2.1. ¿Metástasis?, no gracias
- 2.2. Embarazo y enfermedades autoinmunes

3. Moleq̃la Deporte

- 3.1. Mejora del Rendimiento en Fútbol a través del Entrenamiento Concurrente.

4. Moleq̃la Educativa

- 4.1. La educación ambiental en el currículum escolar del alumnado de educación secundaria obligatoria
- 4.2. Modificación de conductas ambientales desde el Aprendizaje Basado en Proyectos

5. Moleq̃la Energía

- 5.1. La Termodinámica del Metabolismo

6. Moleq̃la Forense

- 6.1. Cannabinoides sintéticos
- 6.2. La 'Droga Cannibal' y la 'Flakka'; características y actualidad
- 6.3. Las bombas suicidas como método de dispersión radiológica
- 6.4. Veo lo que haces y te digo quién eres
- 6.5. Triperóxido de triacetona (TATP)

7. Moleq̃la Médica

- 7.1. La importancia del ácido tánico en nuestros días
- 7.2. Tratamientos y vacunas contra el cáncer de mama

8. Moleq̃la Patrimonio

- 8.1. La consolidación de rocas carbonatadas, pinturas murales, morteros y yesos, mediante nanopartículas de hidróxido cálcico en soluciones coloidales alcohólicas
- 8.2. ¿Y si tenemos un ambiente ácido en el museo?
- 8.3. La tomografía de coherencia óptica como técnica de análisis en pintura de caballete

9. Moleq̃la Química

- 9.1. Litio: Un tratamiento eficaz para el trastorno bipolar
- 9.2. El Cortisol
- 9.3. Arsénico y su interés forense

10. Moleq̃la Tierra

- 10.1. Efectos del uso del territorio en la erosión de suelos en España

Extracción de hidrocarburos aromáticos policíclicos de muestras de interés medioambiental mediante ultrasonidos

María de las Mercedes Aramburu Domínguez

Resumen—Hoy en día se conocen un gran número de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) que suponen una amenaza para la salud y el medio ambiente. La gran estabilidad conferida por su estructura definida mediante anillos aromáticos fusionados entre sí, los convierte en compuestos con una alta persistencia y baja degradabilidad. En este artículo son presentados los ultrasonidos como una técnica que puede ser utilizada por sí misma o ser combinada con otras metodologías para la extracción de dichos compuestos. Respecto a las técnicas convencionales, se busca acortar los tiempos de extracción, reducir el consumo de energía y el uso de disolventes orgánicos y siempre que sea posible, sustituir dichos disolventes orgánicos que supongan un riesgo para el medio o la salud, por otras sustancias más inocuas. Además, los disolventes en ocasiones suponen importantes costes debido al volumen que se precisa para llevar a cabo algunas técnicas convencionales, entrando en conflicto todo ello con principios de la Química Verde.

Palabras Claves— HAPs, Contaminante, Medio ambiente, Ultrasonidos, Química Verde.

1. INTRODUCCIÓN

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) reúnen un importante número de compuestos químicos caracterizados por tener una estructura que resulta de la fusión de al menos dos anillos aromáticos. Las propiedades fisicoquímicas de dichos compuestos vienen dadas por la estructura de cada HAP. Aparecen con frecuencia durante reacciones de combustión incompletas de biomasa y combustibles fósiles. Aunque actualmente se conocen numerosos HAPs, la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA, según sus siglas en inglés) ha identificado y priorizado en una lista los 17 HAPs que suponen un mayor riesgo para el medio ambiente y para la salud. [1] Pertenecen a esta lista, compuestos, algunos clasificables como carcinogénicos en los seres humanos, como el Antraceno, el Fluoreno o el Pireno. El poder para inducir anomalías celulares conocidas como cáncer, de muchos de estos compuestos, atrae la atención de los científicos y motiva el desarrollo de técnicas más avanzadas y eficaces destinadas a su extracción e identificación. En muestras de interés medioambiental, tanto los factores ambientales como el aire, agua y suelo, como la salud humana, pueden verse afectados. La problemática que rodea a los HAPs como contaminantes del medio ambiente, viene dada tanto por la alta persistencia como por la baja degradabilidad que presentan. Según Martínez *et al.* [2], esto se puede explicar gracias a la estructura de anillos aromáticos conjugados entre sí por la que están formados, confiriéndoles además, una particular resistencia a agentes químicos. Por todo ello, son contaminantes con una gran estabilidad y poco susceptibles a la degradación. Con el fin de combatir el perjuicio que supone la presencia de estas sustancias en el medio y los efectos nocivos

que conllevan, se han venido desarrollando diversas metodologías de extracción, algunas de las cuales, hoy en día, son objeto de estudio en los que se pretende disminuir sus costes (económicos y ambientales) y aumentar su eficiencia, optimizando los parámetros que mayor influencia pudieran tener sobre ésta.

2. OBJETIVOS

Existe una gran variedad de metodologías y técnicas de extracción convencionales, todas muy estudiadas y conocidas como la extracción de tipo Soxhlet. Este tipo de extracción en concreto, tiene la desventaja de que requiere de un gasto importante de disolventes orgánicos, disolventes que en ocasiones pueden ser clorados (como el cloruro de metileno) y por lo tanto, traen consigo un mayor impacto para el medio ambiente. Se trata de un trabajo tedioso y largo en el tiempo (el tiempo de extracción puede alargarse desde unas 6 horas, hasta alcanzar 24 horas). Frente a estas debilidades que pueden ser aplicables a otras técnicas convencionales, nacen otras técnicas de extracción que utilizan, por ejemplo, fluidos supercríticos, o que recurren al efecto de las microondas o de los ultrasonidos, con el objetivo de optimizar el proceso de extracción en cuestión, disminuyendo costes económicos y ambientales y por tanto, tomando así en consideración la Química Verde.

A continuación, se expondrá el concepto y fundamento de la extracción mediante ondas ultrasónicas. Una vez conocido esto, trataremos de proponer alternativas en el campo de la extracción de HAPs y contaminantes similares en muestras de interés medioambiental. Buscamos satisfacer determinados objetivos, más exigentes respecto a los de las técnicas convencionales. Entre nuestros obje-

tivos principales se encuentra el que la técnica de extracción mediante ultrasonidos permita reducir el consumo de energía para llevar a cabo la extracción, que suponga una reducción en el tiempo de extracción y que permita sustituir compuestos que traigan consigo un importante impacto sobre el medio y la salud, por otras sustancias más inocuas. En el caso en que no sea posible dicha sustitución, al menos, sería conveniente que nos permitiera disminuir el volumen necesario de dichos compuestos para realizar la extracción del contaminante. Todos estos objetivos que se pretenden alcanzar están íntimamente ligados a principios expuestos y que son definidos por la Química Verde. Incluso en la propia definición de Química Verde, proporcionada por la EPA, incluye como rasgo más distintivo de esta rama, el carácter preventivo respecto a la contaminación. La EPA propone que “la Química verde engloba métodos fundamentales e innovadores para prevenir la contaminación a través de la reducción o eliminación de sustancias peligrosas” [3].

3. ULTRASONIDOS

3.1. Ondas ultrasónicas y equipos

Ultrasonido es el nombre dado a cualquier onda sonora que tenga una frecuencia superior a la frecuencia más alta que el oído humano es capaz de percibir, esto es, más allá de los 16 kHz.

Los aparatos ultrasónicos comerciales más comunes que podemos encontrar en los laboratorios de química, son el baño de ultrasonidos y la sonda ultrasónica. El baño de ultrasonidos consiste en una fuente de irradiación de ondas, ligeramente más asequible en términos económicos que la sonda, y que asegura fácilmente una perfecta distribución de las ondas en el medio sometido, donde está la muestra de interés. También tiene otra ventaja, y es que permite la extracción de varias muestras en un mismo proceso, y es precisamente por eso, que los baños pueden reducir significativamente el tiempo invertido para realizar la extracción. Por otro lado, el uso de la sonda ultrasónica destaca sobre los baños debido a que la potencia puede ser bastante mayor, pero hemos observado que no es el aparato que con más frecuencia encontramos en los laboratorios. En especial, por su menor coste y sencilla distribución de la energía, los baños de ultrasonidos son los más comunes en laboratorios de análisis químico y vienen utilizándose desde hace bastante tiempo para la extracción de HAPs, sobre todo en muestras de suelos contaminados, sedimentos y lodos de depuradora. Así que podemos ver que no se trata de una técnica marginal.

3.2. Fundamento de la extracción mediante ultrasonidos

¿Cómo funcionan los ultrasonidos en la extracción de contaminantes? ¿Cómo podemos utilizarlos en nuestro favor? S. García Alonso *et al.* [4], explica que los ultrasonidos ejercen su efecto mediante lo que llamamos, burbujas de cavitación. La agitación del medio es provocada por las ondas ultrasónicas que a su vez generan ondas de presión cuando se transmiten a través de un disolvente y

como resultado se producen microburbujas o cavidades en el líquido que explotan, dándose la cavitación. A partir de esto, por una parte, se produce un incremento local de temperatura que favorece la solubilidad donde se produjo la explosión de la burbuja, y por otra, se observa un aumento de presión que provoca una mejor penetración del disolvente al interior del sólido.

La ruptura de estas burbujas de cavitación puede generar presiones de cientos de atmósferas y temperaturas de miles de grados en micropuntos del medio, dando lugar a ondas de choque que se dispersan por el medio.

Las ecuaciones que describen la temperatura y presión máxima que se pueden alcanzar vienen definidas por las ecuaciones 1 y 2:

$$T_{m\acute{a}x} = T_o \left[\frac{P_m (k-1)}{P} \right] \quad (\text{Eq.1}) \quad P_{m\acute{a}x} = P \left[\frac{P_m (k-1)}{P} \right]^{k/k-1} \quad (\text{Eq.2})$$

Donde:

T_o = Temperatura del ambiente.

P = Presión en la burbuja en su tamaño máximo.

P_m = Presión en el líquido en el momento de la ruptura.

k = Índice politrópico (relación de calores específicos de la mezcla gas/vapor).

3.3. Optimización en el uso de los ultrasonidos y alternativas a métodos convencionales

Actualmente está siendo investigada con más interés la optimización de parámetros operacionales que van a condicionar la eficiencia de la aplicación de ultrasonidos. A pesar de que algunos estudios han demostrado mediante experiencias en el laboratorio, una eficiencia relativamente baja para la extracción de contaminantes usando esta técnica, en otros estudios se han dispuesto a mejorar dicha eficiencia mediante la optimización de parámetros tales como la presión, la temperatura, composición y volumen de disolvente usado, el tiempo de extracción (en relación con el tiempo al que es sometida la muestra de interés a ondas ultrasónicas), etc. Si conocemos en primer lugar, los parámetros que tienen mayor influencia en la eficiencia del proceso de extracción, y estudiamos mediante experiencias qué valores para esos parámetros nos permiten obtener una eficiencia más alta, estaremos optimizando el proceso de extracción eficazmente y convirtiéndola en una técnica más competitiva frente a la aplicación de técnicas convencionales.

Antes hemos hablado de los baños de ultrasonidos como el aparato para irradiar ondas sonoras que con más frecuencia está presente en los laboratorios de química analítica, frente a la sonda ultrasónica. Una muestra de interés puede ser sometida a un baño de ultrasonidos como único método para extraer los contaminantes, pero también es común hablar del uso de los ultrasonidos combinado con otras metodologías que nos permiten evitar el uso de disolventes, como los medios micelares o la extracción por sorción mediante barra metálica agitadora (SBSE según sus siglas en inglés, *Stir Bar Sorption Extraction*).

Verónica Pino Estévez [5], indica que los medios micelares se caracterizan por contener micelas. Las micelas son

aqueños agregados de dimensiones coloidales que se forman espontáneamente a partir de monómeros de surfactante que se mantienen disueltos en agua pero que se crean una vez se supera una concentración a la que llamamos "Concentración Micelar Crítica" (CMC). Aunque estas micelas gozan de numerosas propiedades, el poder para solubilizar un analito es probablemente la propiedad más importante que presentan y es gracias a esta propiedad que las micelas son un recurso que resulta muy útil para la solubilización de un amplio número de contaminantes orgánicos, entre los que se encuentran los HAPs. También se han venido utilizando los baños de ultrasonidos combinados con otras técnicas de extracción que denominamos como "solvent free", es decir, que no usan disolventes. SBSE es una modalidad más novedosa de la microextracción en fase sólida. Chika Yamaguchi *et al.* [6], lo describe como un método conocido por sus altas recuperaciones y por ser muy eficiente extrayendo contaminantes orgánicos hidrofóbicos y semivolátiles como los HAPs. Alejandra M. Peñalver Hernando [7], por otra parte, habla sobre SBSE, como una técnica de extracción que se basa en un equilibrio de partición del analito (el contaminante que se desea extraer) entre la muestra y el sorbente polimérico que recubre la barra metálica agitadora. Al no precisar de disolventes, la técnica SBSE y los medios micelares satisfacen el carácter preventivo respecto a la contaminación que caracteriza a la Química verde, puesto que con el uso de estas técnicas se está reduciendo y eliminando sustancias que pueden suponer un grave perjuicio para la salud humana y el medio ambiente.

Se muestra a continuación una figura extraída del artículo de Temilola Oluseyi *et al.* [8], en el que se realizó una comparación de distintas técnicas de extracción y limpieza, para la determinación de HAPs en muestras de suelo contaminado.

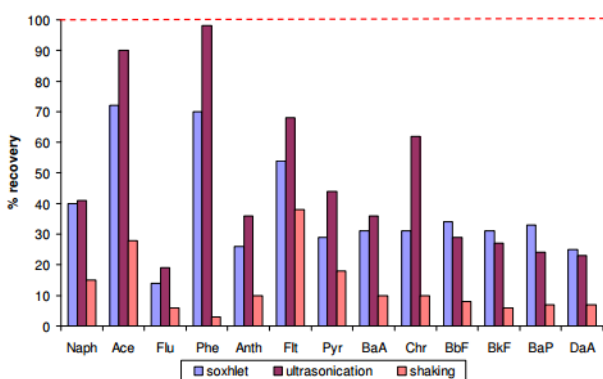


Figura 1. Porcentaje de recuperación de 13 PAHs usando 3 métodos distintos de extracción, (de izquierda a derecha; soxhlet, ultrasonidos y agitación).

Como se puede observar en la figura 1, para los 13 HAPs elegidos, el porcentaje de recuperación varía en función del método utilizado, de manera que para ciertos HAPs, el porcentaje de recuperación es mayor que para otros, dependiendo del método de extracción que se haya usado. Por ejemplo, "las eficiencias de extracción para la mayoría de HAPs usando los ultrasonidos fue más alta que la de Soxhelt, excepto para el BbF, BkF, BaP y DaA. El

tiempo invertido con ultrasonidos fue inferior a 1h, mientras que Soxhelt precisó de 16h. Además, mientras que para la técnica de ultrasonidos fueron consumidos 10ml de disolvente, para la de Soxhelt fueron consumidos 250ml. El método basado en la agitación mecánica tuvo las peores recuperaciones para todos los HAPs" [8].

Por otro lado, se presenta a continuación un estudio realizado por Roberto J. De La Torre-Roche *et al.* [9], en el cual, se quiso optimizar una técnica de extracción de HAPs a través del uso de ultrasonidos, seguido de un enriquecimiento del analito mediante SBSE. La manera en la que se intentó optimizar el proceso de SBSE fue orientada hacia dos variables; el contenido de metanol en agua (prefiriéndolo por ser más "amigable con el medio ambiente" que la acetona y el acetonitrilo) y el tiempo de extracción a lo largo del proceso SBSE.

En la figura 2, perteneciente al último estudio citado, se pueden observar dos claras diferencias acerca de las recuperaciones de los analitos, basándose en el logaritmo del coeficiente de reparto entre octanol y agua ($\log K_{ow}$), o también llamado, coeficiente de partición. Este coeficiente mide la solubilidad de un soluto dado en ambos disolventes, el agua y el octanol, que imita las sustancias lipídicas de la biota. Aquellos HAPs estudiados que tenían $\log K_{ow} < 6$, tenían recuperaciones más altas cuando la concentración de metanol en agua era más baja (10%). Y por el contrario, la mayoría de HAPs con $\log K_{ow} > 6$, presentaban las mayores recuperaciones cuando la concentración de metanol en agua era más elevada (35-40 %).

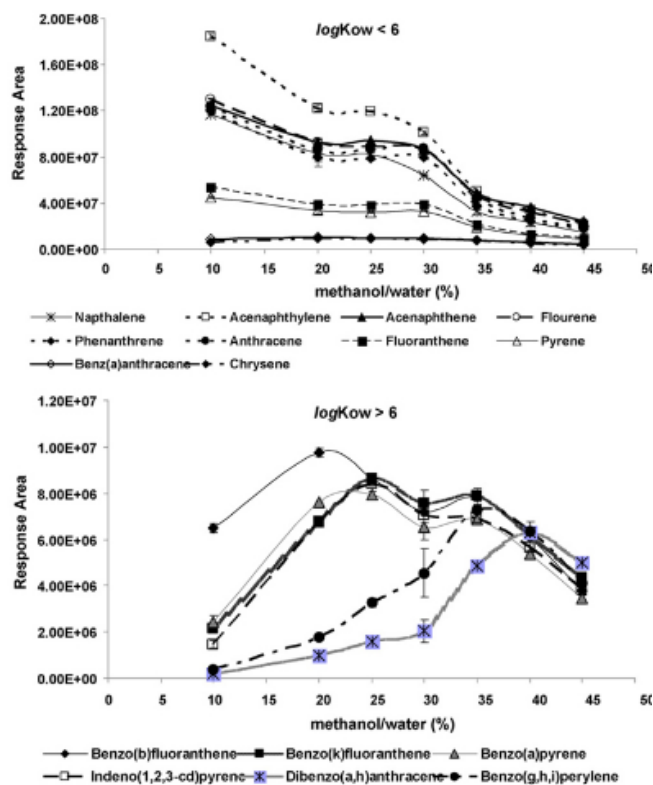


Figura 2. Efecto de la concentración de metanol en el proceso de SBSE para la recuperación de HAPs.

Para el estudio del efecto en la recuperación de HAPs debido al tiempo sometido al proceso de SBSE, se observó que, en general, la mayoría de analitos presentaban bastante altas recuperaciones cuando se sometían durante 4h al proceso de SBSE. Esto se puede ver en la figura 3, que se muestra a continuación.

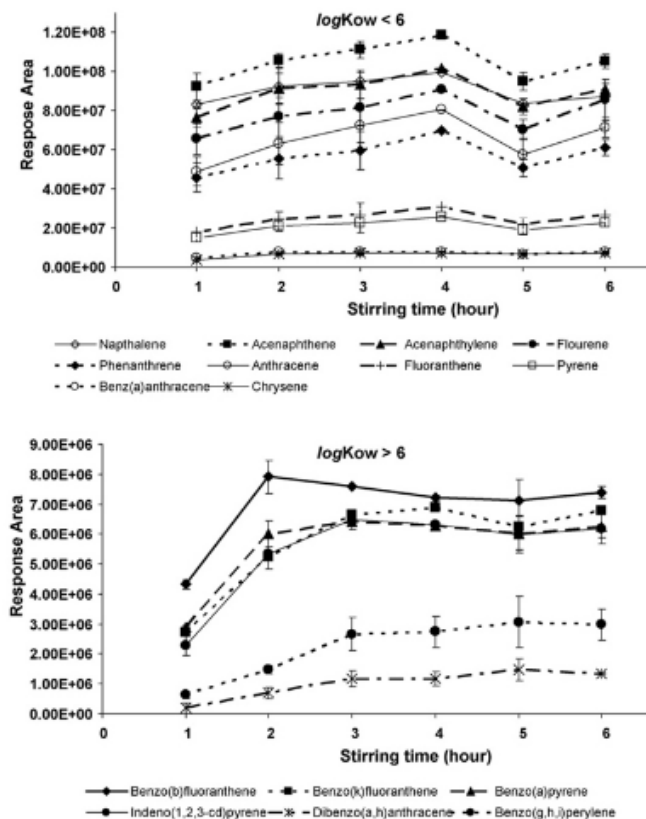


Figura 3. Efecto del tiempo de extracción durante el proceso de SBSE en la recuperación de varios HAPs.

4. CONCLUSIONES

Como hemos podido leer a lo largo de este artículo, el uso de ultrasonidos para llevar a cabo la extracción de HAPs en muestras de interés medioambiental, no es una técnica que no se haya utilizado con anterioridad, habiendo sido aplicada en muestras de suelos, sedimentos y lodos contaminados con HAPs, principalmente. Actualmente, el mayor interés se concentra en el aumento de la eficacia de dicha técnica. Unido a esto, es posible satisfacer los objetivos que nos habíamos marcado con anterioridad en el artículo, cuando nos referíamos a los ultrasonidos como técnica alternativa a los métodos convencionales. Destacamos la combinación de los medios micelares con los baños de ultrasonidos. Esta combinación nos permite sustituir un disolvente orgánico por otro tipo de sustancia como son las micelas. Los disolventes orgánicos resultan indispensables en ciertas extracciones convencionales y pueden traer consigo unos efectos perjudiciales para el medio y la salud debido a su composición, pero gracias a dicha combinación, podemos llevar a cabo una extracción

de contaminantes más segura y limpia, previniendo efectos de la contaminación del medio ambiente.

Sería muy ventajoso y favorable que los aparatos con los que es posible irradiar muestras de interés medioambiental con ondas ultrasónicas, llegaran a estar al alcance de más laboratorios de análisis. Entendemos que suponen un coste que no todos los laboratorios pueden permitirse, pero por sus experiencias positivas a la hora de extraer HAPs de diversas muestras, nos resulta importante destacar el hecho de que la aplicación de esta técnica se pueda extender y con ello, se puedan continuar alcanzando los objetivos propuestos y que son compartidos con principios definidos y defendidos por la Química Verde, que nos van a permitir reducir el impacto sobre el medio ambiente y la salud humana.

REFERENCIAS

- [1] Web de ATSDR en Español. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. <http://www.atsdr.cdc.gov> (http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs69.html)
- [2] Martínez, G., Rodríguez, E., Brito, F., Romero, D., Estudio de línea base en la determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos totales en sedimentos superficiales del sector oriental del Golfo de Cariaco, Venezuela Avances en Química [en línea] 2013, 8 (Enero-Abril) : [Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2016] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93326645007>> ISSN 1856-5301.
- [3] Environmental Protection Agency (EPA). (Agencia de Protección del Medio Ambiente.)
- [4] S. García Alonso, R. M. Pérez Pastor, M. L. Sevillano Castaño, F. J. García Frutos, Informes Técnicos Ciemat, "Método Optimizado de Extracción por Ultrasonidos para la Determinación de PAHs Seleccionados en un Suelo Contaminado con Fuel de Tipo II", Departamento de Tecnología, Ciudad Universitaria, Madrid, 2010.
- [5] Verónica Pino Estévez, "Extracción y preconcentración micelar. Aplicación a la determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en muestras de interés medioambiental", Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología, Universidad de La Laguna, 2002.
- [6] Chika Yamaguchi, Wen-Yee Lee. J Chromatogr A. Author manuscript, "A cost effective, sensitive, and environmentally friendly simple preparation method for determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in solid samples" published on line, 2010 sep 28.
- [7] Alejandra M. Peñalver Hernando, "Aplicación de la Microextracción en Fase Sólida al Aálisis Medioambiental", Departamento de Química Analítica y Química Orgánica, Área de Química Analítica, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona 2002.
- [8] Temilola Oluseyi¹, Kehide Olayinka¹, Babajide Alo¹ and Roger M. Smith², "Comparison of extraction and clean-up techniques for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in contaminated soil samples", Department of Chemistry, University of Lagos, Akoka, Yaba, Nigeria¹ and Department of Chemistry, Loughborough University, Leicestershire, UK², 2011.
- [9] Roberto J. De la Torre-Roche, Wen-Yee Lee y Sandra I. Campos-Díaz, J Hazard Mater. Author manuscript. "Soil-borne polycyclic aromatic hydrocarbons in El Paso, Texas: Analysis of a po-

tential problem in the United States/Mexico border region.",
2009 Jul 20.



M^a de las Mercedes Aramburu Domínguez está matriculada en 4^o curso del Grado de Ciencias Ambientales de la Universidad de Pablo de Olavide.

¿Metástasis?, no gracias

Luis Pedro García-San Segundo Jiménez

Resumen—Una vez instaurado un tumor primario, las células tumorales con capacidad metastásica pueden diseminarse a través del organismo por diferentes vías para formar un nuevo tumor en los órganos diana. Se han realizado a lo largo de la historia numerosos estudios y descubrimientos con respecto al cáncer y sus metástasis, siendo los más recientes las investigaciones referentes al gen TBC1D16 y al receptor de membrana CD36, que abren una ventana de esperanza para el tratamiento de los procesos metastásicos, actuando como dianas terapéuticas.

Palabras Claves— Metástasis, cáncer, CD36, TBC1D16

1. INTRODUCCION

El cáncer es un conjunto de enfermedades que tienen en común la división celular incontrolada en alguna parte del cuerpo y el posible desplazamiento de esas células alteradas [1].

Se conoce que el cuerpo humano está formado por alrededor de 37.2 billones de células, cualquiera de estas células, independientemente de su localización, es susceptible de iniciar un proceso canceroso [2].

Las células no cancerosas en condiciones normales siguen un ciclo celular determinado, y en el momento en que son dañadas o están senescentes, son eliminadas. Sin embargo las células cancerosas no respetan el ciclo celular debido a fallos en el ADN. Estas células se dividen y dividen, y sobreviven a pesar de que deben ser eliminadas. [1]. Esta división incontrolada puede formar masas en los órganos donde se origina, dando lugar a lo que se denomina tumor primario. Si a su vez, estas células cancerosas invaden órganos vecinos o se diseminan por sangre o linfa asentándose en otras zonas del cuerpo y proliferando en ellas, producen tumores secundarios que conocemos como metástasis [3].

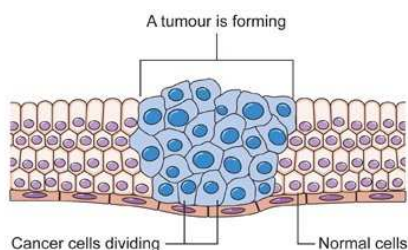


Fig.1: Tumorogénesis

2. BREVE HISTORIA DEL CANCER

El cáncer ha existido siempre en el ser humano moderno habiendo referencias muy antiguas encontradas en los papiros egipcios de Smith (1600 ac) y Ebers (1500 ac)[4]. Hipócrates (Grecia siglo V ac) creó el término cáncer “karkínos” que significa cangrejo para designar aquellos

crecimientos malignos que avanzan. [5]. La historia del cáncer continúa pasando por los siglos hasta llegar al XVIII donde Percivall Pott, cirujano inglés, fue el primero que relacionó el cáncer con una causa (los deshollinadores desarrollaban diversos tumores debido a la inhalación de hollín). Los avances para el estudio de la enfermedad han continuado llegando a su apogeo entre los siglos XX y XXI con el desarrollo de las técnicas quirúrgicas, la higiene, los sistemas de diagnóstico (rayos X, PET, resonancia magnética, TAC), la quimioterapia y los estudios sobre el ADN y la genética. [4]

3. CANCER Y METASTASIS

Cuando se compromete la integridad del ADN debido a alteraciones en el ciclo celular, modificaciones en los telómeros, desactivación de genes de reparación del ADN o alteraciones en los mecanismos de control epigenéticos, se va a producir la alteración de células que van a dar lugar a la formación de un tumor. Por ejemplo, una gran mayoría de los cánceres en el ser humano sufren mutaciones en el supresor tumoral p53, una proteína intracelular que responde al daño celular eliminando a la célula afectada, la pérdida de p53 permite que la célula cancerosa pueda sobrevivir y acumular mutaciones adicionales. Mutaciones heredadas en algunos genes de reparación del ADN están relacionadas con alto riesgo de desarrollar cáncer, como las mutaciones en BRCA1 o BRCA2 en el cáncer de mama. Cada una de las fases de la formación del tumor conlleva condiciones adversas que eliminan a la mayoría de las células cancerígenas por el sistema inmunitario, pero existe una minoría de células cancerosas que presentan la capacidad de vencer cualquier obstáculo, estas minorías en cada fase del desarrollo tumoral quedan seleccionadas convirtiéndose en la estirpe dominante, si además dicha estirpe tiene capacidad propagadora actuando como célula madre tumoral, el tumor se propaga dando lugar a las metástasis, para ello estas células deben tener una serie de características como pérdida de adhesión celular, incremento en la capacidad motora e invasiva, entrada en la circulación, salida hacia el parénquima de órganos distantes y colonización de dichos órganos.[7]

4. MECANISMOS DE METASTASIS

La metástasis es un mecanismo muy complejo que incluye una serie de pasos para su progresión:

- Separación del tumor primario.
- Invasión a través de tejidos y membranas basales.
- Supervivencia en vasos sanguíneos, linfáticos o espacio peritoneal.
- Llegada y anclaje al órgano distante.
- Formación de la nueva lesión, proliferación y angiogénesis, evadiendo la apoptosis y la respuesta inmunológica.

El modelo de progresión más comúnmente aceptado y propuesto por Nowell, sugiere que los eventos mutacionales ocurren en subpoblaciones celulares del tumor primario dando lugar a células que adquieren pleno potencial metastásico.

Las metástasis son muy importantes en el manejo clínico del cáncer ya que la mayoría de la mortalidad por cáncer está asociada con la enfermedad diseminada en lugar de con el tumor primario. [8,9]

La diseminación tumoral va a tener lugar mediante varias rutas:

1.- Diseminación directa: Las células tumorales pueden migrar a lugares distantes del organismo a través de los espacios y cavidades corporales. Dentro de este tipo se encuentra la implantación tumoral por siembra, en donde se observa que los tumores que crecen o penetran en las cavidades corporales como por ejemplo los tumores pulmonares que penetran en cavidad pleural, liberan células al líquido pleural ocasionando metástasis parietales o viscerales. Lo mismo sucedería en cavidad peritoneal. También existe un tipo de diseminación directa ya-trogénica derivada de maniobras quirúrgicas o tras efectuar punciones y aspiraciones, dejando células metastásicas durante el recorrido del instrumental.

2.- Diseminación linfática: Cuando las células tumorales llegan a los ganglios linfáticos regionales pueden progresar siguiendo la vía linfática invadiendo progresivamente las cadenas linfáticas hasta llegar al torrente sanguíneo. Otra forma de transmisión es invadiendo la cápsula ganglionar y la tercera forma es invadiendo los capilares y vénulas del propio ganglio teniendo acceso a la sangre a través de las anastomosis linfático-venosas.

3.- Diseminación hemática: Se produce en varias etapas:

3.1 Primera etapa: Penetración en la luz de los vasos mediante un proceso de desprendimiento pasivo o efectuando movimientos ameboides. El desprendimiento de células tumorales para formar metástasis se puede ver favorecido por la necrosis tumoral al tener las uniones intercelulares de las células neoplásicas disminuidas. También se ve favorecido por la disminución de fibronectina que presentan tales células. Y por otro lado, las inter-

acciones entre el tejido adyacente al tumor, el propio tumor y la microvascularización provocan una reacción inflamatoria celular generando enzimas que facilitan el desprendimiento.

3.2 La segunda etapa es el transporte a través de la sangre donde pueden ser transportadas por mecanismo pasivo o desarrollarse en el sitio de penetración y enviar émbolos tumorales a la circulación, el desprendimiento de estos émbolos se ve favorecido por inhibidores de la adhesión (interleucina 8) generados por las células endoteliales o por el descenso del número de receptores de adhesión celular de las células tumorales por no expresar la E-cadherina.

3.3 La tercera etapa es la parada en el lecho capilar del órgano diana: Debido a la disminución del calibre vascular y la reducción de la velocidad de la sangre se produce una microcoagulación que facilita la adhesión endotelial, esto se ve favorecido a su vez por la respuesta inflamatoria de los polimorfonucleares (PNNs). Un tercer factor favorecedor es la interacción de las células tumorales con las plaquetas. En esta adhesión están implicados también factores químicos como interleucina-1 y TNF que pueden estimular a las células endoteliales para regular la adhesión. Y factores físicos que se forman durante la colisión y facilitan la adhesión son la deformabilidad y morfología de la célula tumoral, las fuerzas de Van de Waals y las fuerzas de las uniones receptor-ligando. Los genes también modulan la adhesión de las células tumorales como el gen CD44 promotor de la adhesibilidad celular. La parada en el órgano diana estará influenciada por varios factores como el tipo y grado de vascularización y la respuesta inflamatoria.

3.4 La cuarta etapa es la extravasación de las células a nivel del lecho capilar.

3.5 La quinta etapa es la proliferación en el espacio extravascular (común para las otras vías de diseminación). [10]

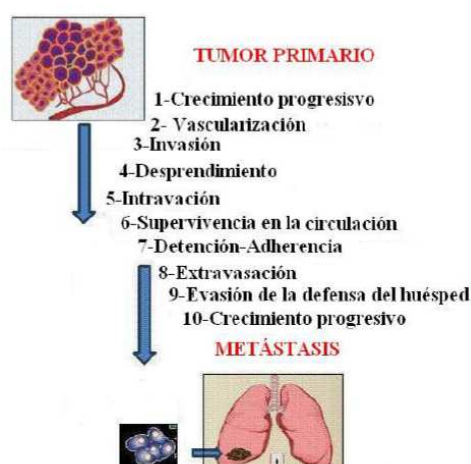


Fig. 2: Pasos secuenciales de metástasis

5. NUEVA VISION DE LAS METASTASIS

Recientemente se han hecho varios estudios de gran interés relativos a las metástasis. Uno de ellos ha sido la identificación de un "gen durmiente" TBC1D16 en investigaciones realizadas en pacientes con melanoma. Este gen se encuentra inactivado en todo el organismo salvo en algunas neuronas y en algunas células madre donde regula vías de señalización intracelular. Se ha visto que este gen activa los oncogenes BRAF y EGFR provocando la transformación de la célula sana en célula cancerígena. Este gen en el tumor primario está inactivado, pero por algún proceso desconocido aún, comienza a activarse en algunas células favoreciendo el comienzo de la metástasis. En este estudio se ha descubierto también que las metástasis dependen absolutamente de estos dos oncogenes para sobrevivir, lo que ha llevado a la obtención de fármacos que actúan contra ellos, los llamados inhibidores de BRAF y EGFR.[11]

Por otro lado, otro reciente estudio ha identificado las células responsables de iniciar las metástasis en diferentes tipos de tumores (carcinoma oral, melanoma, cancer luminal de mama). El estudio hace referencia al receptor CD36, proteína de la membrana celular que absorbe grasas. Se ha visto que los tumores que carecen de CD36 no desarrollan metástasis. Sin embargo en pacientes con carcinoma oral se han detectado células CD36+. Normalmente en estos tumores hay muy pocas células iniciadoras de metástasis, pero en un estudio hecho en ratones, al añadirles CD36 se convierten en células metastásicas. Los investigadores han propuesto que el CD36 es un marcador general específico de células metastásicas. Al ser CD36 receptor de grasas, se investigó si una dieta rica en grasas favorecía la aparición de metástasis, para ello alimentaron ratones con una dieta en grasas y luego les inocularon células de carcinoma oral comprobando que con más grasas en sangre un 80% de los ratones desarrollaban metástasis, en comparación con una dieta normal donde un 30% desarrollaban las metástasis y eran más pequeñas. Por otro lado trataron células de carcinoma oral con ácido palmítico y posteriormente las inocularon a ratones alimentados con dieta normal observando que ese tumor pasaba de una frecuencia metastásica del 50 al 100%. Así se comprobó la relación entre CD36, grasas y metástasis.

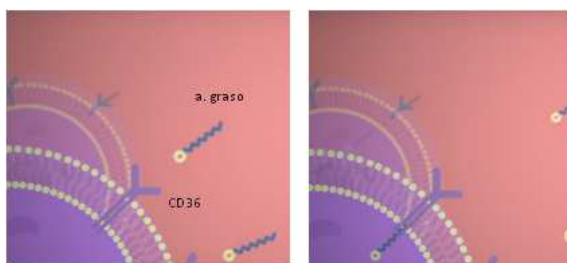


Fig. 3: Entrada de ácidos grasos a la célula a través del receptor CD36

Gracias a este estudio también se ha llegado a la conclusión de que CD36 puede ser una diana terapéutica para las metástasis. Al bloquear dicho receptor antes de inocular el tumor a los ratones se produce un efecto antimetastásico del 100%. Por otro lado la administración de anticuerpos que bloquean al CD36 en ratones con metástasis favorece la reducción del número de focos metastásicos en un 80-90%, reduce el tamaño de las metástasis y en un 20% de los ratones las elimina por completo.[12]



Fig. 4: Bloqueo de CD36 por anticuerpo anti-CD36

6. CONCLUSION

El estudio y manejo clínico de las metástasis es de gran importancia hoy día ya que se sabe que la mayor parte de la mortalidad por cáncer está asociada con las metástasis en vez de con el tumor primario. Se conocen las vías de diseminación de células potencialmente cancerígenas, se conoce la afinidad de ciertos tumores por determinados órganos diana y hay numerosos tratamientos contra el cáncer. Pero hasta hace poco no se había conseguido relacionar la aparición de las metástasis con un gen o una proteína determinada, como es el caso del gen TBC1D16 o de la proteína CD36. Gracias a estos descubrimientos se abre un nuevo y esperanzador futuro para el tratamiento las metástasis.

"El cancer no es sinónimo de muerte, sino de lucha"

Dr. Javier Espinosa

REFERENCIAS

- [1] <https://www.cancer.gov/about-cancer/understanding/what-is-cancer>
- [2] http://www.nationalgeographic.com/es/ciencia/y-tu-cuantas-celulas-tenes_9939
- [3] Generalidades en oncología. ECO Fundación para la excelencia y la calidad en oncología
- [4] A. Graña. Breve evolución histórica del cáncer. 2015 Volumen 5 nº 1
- [5] <https://hipertextual.com/2015/02/historia-del-cancer>
- [6] Karel H.M. van Wely. El cancer, historia de una enfermedad con miles de años 2015
- [7] Joan Massagué. Evolución y metástasis del cáncer. Dossier científico 2009
- [8] Kent W Hunter, Nigel PS Crawford, Jude Alsarraj Review mechanisms of metastasis 2008.

- [9] [http://www.news-medical.net/health/What-is-Metastasis-\(Spanish\).aspx](http://www.news-medical.net/health/What-is-Metastasis-(Spanish).aspx)
- [10] C Román Curto, M Armijo Moreno. El proceso metastásico II: diseminación tumoral directa, linfática y hemática 1º parte Formación médica continuada. Actas dermosifiliograf 1999; 90: 277-290
- [11] M Vizoso, H J Ferreira, P Lopez-Serra, F J Carmona, A Martínez-Cardús, M Romina Girotti, A Villanueva, S Guil, C Moutinho, J Liz, A Portela, H Heyn, S Moran, A Vidal, M Martínez-Iniesta, J L Manzano, M T Fernandez-Figueras, E Elez, E Muñoz-Couselo, R Botella-Estrada, A Berrocal, F Pontén, J van den Oord, W M Gallagher, D T Frederick et al. Epigenetic activation of a cryptic TBC1D16 transcript enhances melanoma progression by targeting EGFR. Nature Medicine 2015; 21: 741-750
- [12] G Pascual, A Avgustinova, S Mejetta, M Martín, A Castellanos, C Stephan-Otto Attolini, A Berenguer, N Prats, A Toll, J A Hueto, C Bescós, L Di Croce & S Aznar Benitah. Targeting metastasis-initiating cells through the fatty acid receptor CD36. Nature 2016 . doi: 10.1038/nature 20791

Fuentes de las Imágenes

- ✓ Fig.1: <http://www.gettingtoknowcancer.org/overview.php>
- ✓ Fig. 2: *Progresión tumoral y metástasis*. F. Arvelo, F. Sojo, C. Cotte
- ✓ Fig. 3: el-pais.com/elpais/2016/12/07/ciencia/1381109831_113259
- ✓ Fig. 4: el-pais.com/elpais/2016/12/07/ciencia/1381109831_113259

Luis Pedro García-San Segundo Jiménez cursa actualmente



cuarto de Grado de Biotecnología en la Universidad Pablo de Olavide. Realizó el Bachillerato con Matrícula de Honor en el Insituto Menéndez Tolosa en La Línea de la Concepción, Cádiz. Realizó las Pruebas de Acceso a la Universidad en el mismo municipio y se trasladó a Sevilla para proseguir con sus estudios.

Embarazo y enfermedades autoinmunes

María Expósito Serrano, Ana Sánchez Molina

Resumen—Cuando una mujer queda embarazada, su sistema inmune tiene que sufrir una serie de alteraciones que le permitan tolerar la presencia del feto y no reconocerlo como algo extraño y “atacarlo”. Este tipo de adaptaciones gozan de una relevancia considerable cuando la mujer en cuestión presenta una enfermedad autoinmune, como por ejemplo la artritis reumatoide o el lupus eritematoso sistémico. En este artículo se trata la relación existente entre el embarazo y las enfermedades autoinmunes, y cómo el primero repercute en el desarrollo de las segundas. Existe una relación bidireccional entre ambas condiciones, que ocurren de la mano de los cambios hormonales y las modificaciones en el sistema inmune que se dan durante el embarazo.

Palabras Claves— Embarazo, Sistema Inmune, Autoinmunidad, Hormonas, Interleuquinas.



1. INTRODUCCIÓN

El sistema inmune de una madre, durante el embarazo, tiene que evitar reconocer las moléculas del feto como extrañas y que así no se produzca un rechazo del mismo. Para ello, reduce la inmunidad celular y potencia la respuesta humoral, entre otros muchos cambios fisiológicos que adaptan a su organismo para tolerar al bebé [1]. El feto en el interior del útero materno puede considerarse un semialoinjerto, debido a que la mitad de su dotación genética es de origen paterno, lo que significa que presentará antígenos tanto propios de la madre como extraños, siendo estos los procedentes del padre [3]. Por tanto, la mitad de los antígenos presentes en el feto, teniendo en cuenta las leyes que rigen los trasplantes inmunológicos, se esperaría que produjeran un rechazo del cigoto por parte del sistema inmune materno, algo que, sin embargo, no se da en la gran mayoría de los casos [6].

Una enfermedad autoinmune puede verse alterada por las adaptaciones que ocurren durante el embarazo, pudiendo producirse empeoramientos o mejoras, pero también abriéndose la posibilidad de que se influya en el resultado del mismo, causando complicaciones. Los avances médicos han permitido que pacientes con enfermedades autoinmunes ya no solo puedan llevar una vida en gran medida normal, sino que además puedan llegar incluso a formar una familia y, en el caso de las mujeres, sean ellas quienes tengan descendencia biológica. Dentro de las enfermedades autoinmunes más comunes y estudiadas encontramos la artritis reumatoide y el lupus eritematoso sistémico, por lo que se dedicará una especial atención en este análisis a cómo el embarazo influye en la progresión de dichas enfermedades [1].

2. REGULACIÓN DEL SISTEMA INMUNE DURANTE EL EMBARAZO

Cuando una mujer queda embarazada se dan una serie de adaptaciones en el organismo, algunas de ellas con el objetivo de generar una tolerancia hacia el semialoinjerto que supone el embrión, como un aumento de los niveles circulantes de estrógeno (cien veces más altos que en el ciclo menstrual), importante ya que eleva la síntesis de proteínas como las del sistema del complemento y la coa-

gulación en cascada o una disminución de la actividad citolítica de las células NK, aunque su número se mantiene dentro de los niveles normales. Además, se observa cierta disminución en los linfocitos T CD4+ [1].

En el tejido trofoblástico normal no se expresan de forma constitutiva los antígenos HLA (complejo mayor de histocompatibilidad) clásicos en la interfase materno-fetal; los genes HLA codifican moléculas que funcionan como antígenos en los trasplantes y regulan la respuesta inmune [1]. El embrión no presenta moléculas del HLA-II en su superficie, pero sí HLA-I, dentro de las cuales se encuentran las moléculas polimórficas HLA-C y las polimórficas HLA-G y HLA-E; las HLA-C que el feto presenta en su superficie son de origen tanto materno como paterno [2]. La madre está expuesta a los antígenos HLA del feto durante la gestación, y desarrolla anticuerpos contra los HLA paternos, aunque estos no perjudican al feto [1]. Las células presentadoras de antígeno (APCs) de la madre podrían ser capaces de presentar esos aloantígenos paternos a sus linfocitos T ayudantes [3], de forma que desencadenaría su proliferación y la liberación de citoquinas, que pueden promover bien la activación del rechazo del semialoinjerto, o bien la activación de la tolerancia, que producen, respectivamente, el fracaso o la supervivencia del embarazo [2].

Existen diferentes tipos de linfocitos T colaboradores cuya participación es determinante durante el embarazo, principalmente los Th1, Th2 y Th17. Los linfocitos Th1 protegen de infecciones por patógenos intracelulares generando IL-2, TNF- β e interferón gamma, los Th2 producen IL-4 e IL5 y se encargan de la defensa contra patógenos extracelulares, y los Th17 defienden contra bacterias intracelulares y participan en la respuesta inflamatoria mediante la producción de varios tipos de interleuquinas [2]. Las citoquinas producidas por los Th1 y Th17 pueden afectar negativamente al embarazo, mientras que inhibiendo las respuestas Th1, las citoquinas del tipo Th2 promueven el éxito del embarazo, favoreciendo que haya una tolerancia al feto [3].

La presencia de citoquinas producidas por las células Th2 es necesaria para que haya tolerancia al feto por parte de la madre. En las mujeres que sufren abortos recurren-

tes se ha visto que hay una producción defectuosa de este tipo de citoquinas. Por el contrario, en mujeres cuyos embarazos son exitosos, las células T CD4⁺ producen IL-4 pero no IFN- γ . Parece ser que la progesterona, en la interfase materno-fetal durante el embarazo, induce la producción de IL-4, inhibiendo la producción de interleuquinas que afecten negativamente al embarazo [3]. Este perfil de las células Th2 podría derivar en una influencia en cuanto a la mejora o empeoramiento de enfermedades autoinmunes en la madre [2]. Las Th17 tienen un papel beneficioso en el embarazo cuando producen IL-4, y en colaboración con las células Th2 son responsables de que se dé una respuesta inmune adecuada frente a los patógenos extracelulares microbianos para la protección materna, así como de que se dé una tolerancia a la presencia del feto junto con otras células del sistema inmune, como las T reguladoras. Sin embargo, cuando actúan conjuntamente Th17 con células Th1 tienen un impacto negativo en el embarazo.

En resumen, las citoquinas que se producen en la interfase feto-materna constituyen una red de regulación de alta complejidad capaz de mantener la homeostasis entre los sistemas inmunes de la madre y el feto [3].

3. ENFERMEDADES AUTOINMUNES Y EMBARAZO

Se conocen alrededor de ochenta trastornos autoinmunes diferentes. Cada uno de ellos afecta a una parte muy pequeña de la población, pero teniendo en cuenta el conjunto de las enfermedades autoinmunes, afecta a un 7,6-9,4%. El desarrollo de enfermedades autoinmunes está influenciado en muchas ocasiones por una predisposición genética, aunque cabe destacar que el componente ambiental tiene también un gran peso. Estas enfermedades están caracterizadas a grandes rasgos por daños tisulares causados por la autoreactividad de diferentes componentes del sistema inmune, como anticuerpos y linfocitos T, contra las propias células del organismo [7]. En relación con la fertilidad, puede haber consecuencias en el embarazo y el parto por estos trastornos autoinmunes. En este sentido, la relación entre reproducción y autoinmunidad es bidireccional, pues hay una influencia del embarazo en la expresión de las enfermedades autoinmunes, así como influencia de la autoinmunidad en el desarrollo del embarazo [2].

En las enfermedades autoinmunes, las células T colaboradoras tienen un papel fundamental. Cuando se da una anomalía en la respuesta inmune mediada por las citoquinas que producen linfocitos como los Th1, Th2, Th17 o T reguladores se producen este tipo de patologías. Por ejemplo, la aparición de artritis reumatoide o de esclerosis múltiple se asocia a alteraciones en la producción del IFN- γ producido por las células Th1, al tratarse de una potente citoquina proinflamatoria. Por otro lado, enfermedades autoinmunes relacionadas con la respuesta humoral están relacionadas con alteraciones en las Th2. Estas células, sin embargo, cuando se encuentran sanas pueden llegar a mejorar una patología causada por Th1. Otros subtipos de células, como las Th17 o las Th22, también contribuyen a la aparición y el desarrollo de diversas

enfermedades autoinmunes [2].

Las enfermedades autoinmunes, además, están influenciadas por el sexo, para lo que se han propuesto diversas hipótesis basadas en factores hormonales o genéticos. Esto se debe a que se ha observado que las enfermedades autoinmunes aparecen o sufren cambios en correlación con alteraciones hormonales, como durante la adolescencia o el embarazo, lo que podría explicar por qué las mujeres son más propensas a desarrollar enfermedades autoinmunes, pudiendo deberse a la estimulación hormonal por parte de las mujeres de la respuesta inmune, así como razones de dosis del cromosoma X. En este sentido, los cambios en los niveles hormonales a lo largo de la vida de la mujer pueden afectar en los patrones de expresión de citoquinas por las células T CD4⁺. El aumento en los niveles de estrógenos que se producen durante el embarazo provoca la disminución en la expresión de citoquinas de tipo Th1, así como el aumento de las citoquinas de tipo Th2, pudiendo producir la mejora de enfermedades autoinmunes tipo Th1. Por otro lado, en el periodo postparto, tiene lugar la disminución de los estrógenos, llevando a una disminución de las citoquinas tipo Th2, o bien un aumento de la respuesta tipo Th1, pueden mejorarse enfermedades autoinmunes de tipo Th2 [Figura 1].

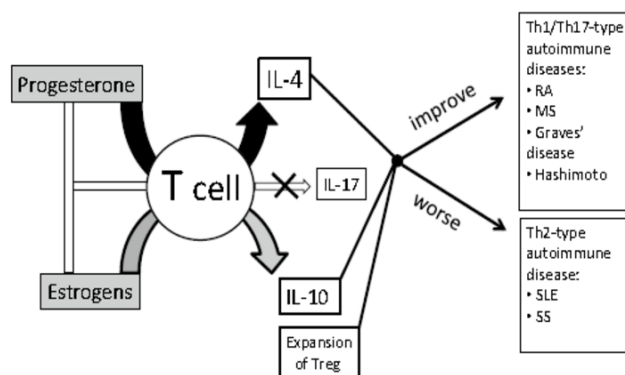


Fig. 1. La respuesta de las células T controlada por hormonas influye en la progresión de enfermedades autoinmunes: progesterona y estrógenos inducen la respuesta tipo Th2 y disminuyen la respuesta Th1/Th17 influyendo en la mejora o el empeoramiento de las enfermedades de tipo Th1/Th17 y tipo Th2, respectivamente [2].

La progesterona también puede reducir las enfermedades inflamatorias y aquellas enfermedades autoinmunes mediadas por IL-17 al reducir la actividad de los linfocitos Th17. Además, es un potente inductor de Th2, y por tanto empeora las enfermedades autoinmunes tipo Th2 y mejora las relacionadas o mediadas por Th1 y los trastornos inflamatorios mediados por Th17/Th1. Debido a que la causa inherente de estas enfermedades radica en el sistema inmune y su regulación, las adaptaciones que se dan durante el embarazo en el organismo presentan una gran interrelación con su desarrollo, pudiendo llegar a repercutir de forma tanto positiva como negativa en estas, existiendo trastornos que pueden llegar incluso a remitir totalmente durante el embarazo [2].

3.1. Artritis reumatoide (AR)

El embarazo se asocia con una mejora de los síntomas de la AR en más del 70% de las pacientes, aunque la enfermedad reaparece tras el parto (unas ocho semanas después). Esta mejoría temporal suele atribuirse al aumento del nivel de estrógenos [1]. Los estrógenos son agentes inmunomoduladores potentes que disminuyen la producción de IL-17 por parte de las células Th17 inhibiendo la diferenciación de estas y la progresión de la enfermedad. También se ha descrito que los andrógenos inducen el desarrollo de enfermedades autoinmunes relacionadas con la producción de citoquinas producidas por linfocitos de tipo Th1 (como la AR) [2]. A las veintiséis semanas después del parto suele ser común un agudizamiento transitorio de la enfermedad, cuyas causas aún se desconocen, por lo que es conveniente informar a las pacientes sobre dicho aspecto previamente al embarazo [4].

3.2. Lupus Eritematoso Sistémico (LES)

La expresión clínica y serológica del LES también se altera notablemente durante el embarazo. En las mujeres embarazadas pueden aparecer erupciones en la piel que se asocian a cambios sinérgicos en las citoquinas de linfocitos Th1 y Th2 que interactúan con hormonas como estrógenos y prolactinas que amplifican el efecto inflamatorio [8]. En mujeres que presentan lesiones glomerulares previas al embarazo, quedar encinta puede suponer que su tasa de filtrado glomerular para la excreción de proteínas esté en el límite de lo aconsejable en un embarazo normal. También se puede desarrollar hipertensión, derivar en preeclampsia, e incluso darse una exacerbación de la nefritis lúpica en el sedimento urinario. Los niveles de óxido nítrico en embarazadas con LES es mucho mayor que la que se esperaría en una mujer sana. Tanto la nefritis lúpica como la preeclampsia aumentan el riesgo de muerte del feto y parto prematuro [1]. Para disminuir los riesgos derivados de esta enfermedad en una mujer embarazada, se busca conseguir una quiescencia de los síntomas, aunque esto depende en gran medida de las características individuales de cada paciente [5]. Existen evidencias que demuestran que los estrógenos favorecen los trastornos autoinmunes relacionados con las citoquinas Th2, como es el caso del LES, lo cual explicaría que los síntomas puedan llegar a agravarse si no se desarrolla en embarazo durante una etapa de quiescencia de la enfermedad [2].

3.3. Enfermedades autoinmunes tiroideas

Las enfermedades autoinmunes tiroideas son trastornos que pueden presentar alteraciones durante el embarazo y complicaciones la recuperación del aparato reproductor tras el parto. La enfermedad de Graves, por ejemplo, mejora durante el embarazo, pero justo tras el parto empeora; por otro lado, la tiroiditis postparto está causada por una tiroiditis destructiva en los primeros meses tras haber

dado a luz [9].

3.4. Esclerosis múltiple

Pacientes con esclerosis múltiple que quedan embarazadas ven reducidos los síntomas durante este periodo. Sin embargo, poco después del parto la enfermedad vuelve a aumentar incluso por encima de como se encontraba el año anterior al embarazo. Entre las razones que dan lugar a este agravamiento parece que hay una disminución fuerte de los niveles de estrógeno tras el parto y pérdida del estado de inmunosupresión del embarazo, aunque no está muy claro el porqué. Se ha demostrado que hormonas como los estrógenos, la progesterona y la testosterona controlan la esclerosis múltiple al influir en las respuestas inmunes y contribuyen a los mecanismos de reparación del sistema nervioso [2].

4. PERSPECTIVAS FUTURAS

Sería conveniente llevar a cabo un estudio más profundo de los factores en los que subyace la mejora o el empeoramiento de las enfermedades autoinmunes durante el embarazo, con el objetivo de realizar una búsqueda de posibles dianas terapéuticas o tratamientos dirigidos a mejorar estas enfermedades, ya no sólo durante la gestación, sino también en cualquier paciente fuera de dicho estado, tanto hombre como mujer. Como ya se ha comentado a lo largo de este análisis, las hormonas estrógenos, andrógenos y progesterona parecen actuar como moduladores de la respuesta inmune, mejorando o empeorando algunas enfermedades autoinmunes durante el embarazo como una consecuencia directa de los cambios que se dan en sus niveles durante la gestación (y durante los periodos de fluctuación hormonal a lo largo de la vida de la mujer), de forma que podrían enfocarse los tratamientos en la regulación de los niveles de dichas hormonas en los pacientes afectados por patologías autoinmunes.

5. CONCLUSIONES

La inmunología del embarazo se basa en la actividad de los linfocitos T colaboradores y el perfil de citoquinas producidos por los mismos. Las enfermedades autoinmunes que padecen las madres afectadas pueden influir en el desarrollo del embarazo, como resultaría lógico pensar; sin embargo, resulta interesante que exista una relación bidireccional, pues también influye el embarazo en cómo se desarrolla la enfermedad en la madre. Las enfermedades autoinmunes debidas a linfocitos de tipo Th1, como la artritis reumatoide o la esclerosis múltiple, podrían verse mejoradas durante el periodo de embarazo por el aumento de citoquinas del tipo Th2, mientras que aquellas que están relacionadas con las células Th2, como el lupus eritematoso sistémico, podrían empeorar por este mismo aumento [Tabla 1].

TABLA 1
INFLUENCIA DEL EMBARAZO EN LA PROGRESIÓN DE LAS ENFERMEDADES AUTOINMUNES

Enfermedad autoinmune	Influencia del embarazo
Artritis reumatoide	Mejora
Lupus eritematoso sistémico	Empeora
Esclerosis múltiple	Mejora
Enfermedad de Graves	Mejora
Esclerosis sistémica	Empeora
Tiroiditis de Hashimoto	Mejora

Atendiendo al periodo postparto, sin embargo, ocurre lo contrario, dándose una disminución de las citoquinas producidas por linfocitos de tipo Th2, de forma que empeorarían las enfermedades autoinmunes relacionadas con células tipo Th1 y Th17, mientras que mejorarían los trastornos de células Th2. El perfil de citoquinas secretado por las células T efectoras CD4+ viene determinado por las hormonas, y como se ha visto, a lo largo de la vida de la mujer y, en especial, durante el embarazo, hay fluctuaciones en los niveles de estas, lo cual se ha asociado a una mejora o un empeoramiento de enfermedades autoinmunes. Esto permite cerrar el ciclo y concluir que en el control de los niveles hormonales podría radicar el desarrollo y la regulación de ciertas enfermedades autoinmunes, abriendo así las puertas a nuevas mejoras y tratamientos hasta el momento inexploradas.

6. REFERENCIAS

- [1] J.P. Buyon, J.L. Nelson, M.D. Lockshin, "The Effects of Pregnancy on Autoimmune Diseases", *Clinical Immunology and Immunopathology*, vol. 78, no. 2, pp. 99-104, Feb 1996, doi:10.1006/clin.1996.0018
- [2] M.P. Piccinni, L. Lombardelli, F. Logiodice, O.Kullolli, P. Parronchi, S. Pomagnani, "How pregnancy can affect autoimmune diseases progression?", *Clinical and Molecular Allergy*, vol. 14, no. 11, pp. 1-6, Sep. 2016, doi: 10.1186/s12948-016-0048-x
- [3] M.P. Piccinni, L. Lombardelli, F. Logiodice, O.Kullolli, S. Pomagnani, P. Le Bouteiller, "T helper cell mediated-tolerance towards fetal allograft in successful pregnancy", *Clinical and Molecular Allergy*, vol. 13, no. 9, pp. 1-5, 2015, doi: 10.1186/s12948-015-0015-y
- [4] G.S. Ngian, A.M. Briggs, I.N. Ackerman, S.V. Doornum, "Management of pregnancy in women with rheumatoid arthritis", *The Medical Journal of Australia*, 2016, vol. 204, no. 2, pp. 62-63, doi:10.5694/mja15.00365
- [5] [1] G. Moroni, C. Ponticelli, "Pregnancy in women with systemic lupus erythematosus (SLE)", *European Journal of Internal Medicine*, Volume 32, Jul 2016, pp. 7-12 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejim.2016.04.005>
- [6] I. Vico Zúñiga, "Inmunología y embarazo", Servicio de Obstetricia y Ginecología, Hospital Universitario Virgen de las Nieves (Granada), 2007.
- [7] N.R. Rose, I.R. MacKay, "The autoimmune diseases". 5th ed. London: Elsevier, Academic Press, 2006.
- [8] LJ Jara, G Medina, P Cruz-Dominguez, C Navarro, O Vera-

Lastra, MA Saavedra, "Risk factors of systemic lupus erythematosus flares during pregnancy", *Immunol Res.* 2014, vol. 60, no. 1, pp. 84-92.

- [9] AP Weetman. "Immunity, thyroid function and pregnancy: molecular mechanisms". *Nat Rev Endocrinol.* 2010; vol 6, no. 3, pp. 11-8.

María Expósito Serrano y Ana Sánchez Molina son dos estudiantes del Grado de Biotecnología de la Universidad Pablo de Olavide, siendo el curso actual (2016/17) su cuarto año en el Grado.

Mejora del rendimiento en fútbol a través del entrenamiento concurrente.

Cristian Tena Caballero

Resumen— El objetivo de este estudio fue examinar los efectos de un entrenamiento de 6 semanas que combinó un entrenamiento de fuerza caracterizado por un alto volumen y una intensidad media-baja con el entrenamiento específico de fútbol. Diecisiete futbolistas semiprofesionales de entre 19 y 38 años fueron divididos en dos grupos: grupo control (GC) y grupo de estudio (GE). Ambos grupos realizaron el mismo entrenamiento específico de fútbol y solo el GE realizó un trabajo de fuerza previo al entrenamiento con el equipo. El tiempo en 20m, el consumo máximo ($VO_{2m\acute{a}x}$) a través del test de George Fisher, el tiempo en 10m de zigzag con 60° de angulación, el tiempo en 505 y los cm en CMJ fueron registrados antes (valores basales) y después de 6 semanas. No se encontraron diferencias significativas entre grupos en ninguna de las variables estudiadas en los valores basales. Los datos obtenidos en el postest demostraron diferencias significativas entre grupos en 505, zigzag por ambos lados y en $VO_{2m\acute{a}x}$. Por otro lado, no hubo diferencias significativas entre grupos en sprint y en salto vertical. Respecto a la diferencia entre pre y post-test, se demostraron mejoras significativas en el GE en todos los valores excepto en el slalom empezando por izquierda, no encontrándose mejoras significativas en ninguno de los parámetros en el GC. Por lo tanto, podemos concluir que 6 semanas con un entrenamiento de fuerza caracterizado por un alto volumen y una intensidad media-baja y un entrenamiento de específico de fútbol en el que predominan ejercicios de juego reducido, provoca unas mejoras significativas en las variables estudiadas (fuerza, resistencia, velocidad y agilidad).

Palabras Claves— Agilidad, Resistencia, Velocidad, Fuerza.

1. INTRODUCCIÓN

Muchos artículos han sido diseñados para dar respuesta a una cuestión que todos los profesionales del deporte se han preguntado alguna vez: ¿es recomendable la combinación del entrenamiento de resistencia y el de fuerza o existe una interferencia negativa entre ambos? Según Wilson et al. [1], la inclusión de entrenamiento resistido (para ganar fuerza, hipertrofia y potencia) combinado con ejercicio aeróbico (para mejorar la resistencia) en un solo programa es conocido como entrenamiento concurrente. El objetivo de este entrenamiento es que los beneficios de ambos tipos de entrenamientos sean adquiridos simultáneamente [2].

La inclusión del entrenamiento concurrente presenta una gran dificultad ya que es una combinación de dos tipos de entrenamientos antagonistas en sus formas más extremas. Lógicamente, las adaptaciones de ambos entrenamientos son muy diferentes, y si no hay una buena programación del entrenamiento, puede provocarse una interferencia negativa entre ambos [3], [4].

El fútbol es un deporte multifacético que exige la combinación de numerosas capacidades: velocidad, capacidad de repetir acciones de alta intensidad y sprints (RSA), agilidad, resistencia, fuerza, potencia y flexibilidad [5], [1]. Durante las situaciones de juego hay situaciones de relativa baja intensidad intercalados con acciones de máxima intensidad. Un futbolista necesita altos niveles de capacidad aeróbica y anaeróbica y la capacidad de ser fuerte en movimientos específicos del fútbol (saltos, entradas y aceleraciones) [6].

Haciendo una revisión específica y actual, solo artículos de los últimos tres años y realizados en futbolistas, podemos sacar unas conclusiones muy esperanzadoras para al uso del entrenamiento concurrente en futbolistas.

En los artículos revisados se encontraron mejoras significativas en la velocidad en 10m [7], 20 metros [8] y 40m [9]. Por su parte, no se han mostrado mejoras significati-

vas en la velocidad en 5m [8], 10m [6], 15m [5] y 30m [6], [10]. Además, se han demostrado mejoras en la fuerza través de 1RM, de la fuerza isométrica máxima (FIM) y del pico máximo de fuerza [8],[9],[6],[7]. Esta mejora también ha sido demostrada a través del salto, incrementando los valores obtenidos en CMJ [9],[5],[7] y SJ [6]. Respecto a la resistencia, también se han encontrado mejoras con el entrenamiento combinado a través del test YO-YO [5],[11],[7]. La agilidad ha sido menos estudiada, no encontrándose mejoras significativas [8], [10].

El objetivo de este estudio fue comprobar los efectos de un entrenamiento de fuerza de 6 semanas, caracterizado por un volumen alto y una intensidad media-baja combinado con el entrenamiento específico de fútbol. La hipótesis planteada en el presente estudio fue que los sujetos que realizaban el entrenamiento de fuerza combinado con el entrenamiento con el equipo, mejoraban más que los que solo entrenaban con el equipo en las variables estudiadas: resistencia, fuerza, velocidad y agilidad.

2. METODOLOGÍA

2.1. Aproximación al problema de estudio

Este estudio se diseñó para determinar los efectos de la inclusión del entrenamiento de fuerza del tren inferior para la mejora del rendimiento en fútbol. El programa se aplicó a un grupo heterogéneo de futbolistas durante un periodo de 6 semanas, realizando dos sesiones semanales.

Para determinar los efectos del entrenamiento se realizaron unos test antes de comenzar el entrenamiento (pre-test) que fueron repetidos tras las seis semanas de entrenamiento (post-test). Los test realizados fueron velocidad (20m), agilidad (505 y 10m de zigzag por ambos lados, salto (Abalakov) y resistencia (test de George Fisher)

Después de los test iniciales, se dividió a los sujetos de manera aleatoria en dos grupos: grupo de estudio (GE) (n=8) que además del entrenamiento con el equipo realizó entrenamiento de fuerza, y grupo control (GC) (n=8) que

únicamente realizó el entrenamiento con el equipo.

2.2. Sujetos

Dieciséis sujetos, entrenados, futbolistas de 1º Andaluza. Divididos en dos grupos, el GC que solo entrenó con el equipo y el GE, que además realizó trabajo fuerza.

El GC tenía unos valores medios de (edad $25\pm 6'65$ años, peso $74,4\pm 6,98$ kg, y estatura $183,25\pm 7$ cm) y el GE tenía unos valores medios de (edad $23,13\pm 2,59$ años, peso $72,51\pm 6,12$ kg y talla $177,38\pm 5,34$ cm). Ninguno de los sujetos tenía experiencia en el entrenamiento de fuerza.

2.3. Procedimiento de los test

Test de velocidad: Los sujetos realizaron la distancia de 20m en el mínimo tiempo posible. La prueba fue grabada en vídeo y posteriormente analizada en "Kinovea" (versión 0.8.15 para Windows 10).

Test de agilidad (505): Los sujetos realizaron la distancia de 15 metros de ida y 5 metros de vuelta en el mínimo tiempo posible. Registrándose sólo el tiempo en realizar los 5 últimos metros del recorrido de ida y los 5 metros del recorrido de vuelta [12]. Analizada con "Kinovea".

Test de agilidad (zigzag) de 10m: Los sujetos realizaron un recorrido en zigzag para evaluar la agilidad. El recorrido constaba de 5 postas con pica, colocadas en zigzag. La separación entre postas fue de 2m con 60° de ángulo de giro, realizándose cuatro giros [13]. Este test fue realizado girando por ambos lados para determinar la lateralidad. Analizada con "Kinovea".

Test de salto, Abalakov: Los sujetos iniciaron la prueba en posición erguida, teniendo que efectuar un salto vertical después de un contramovimiento, pudiendo mover libremente los brazos. En la fase de vuelo y caída las rodillas deben permanecer extendidas hasta el momento de contacto con el suelo [14]. La altura de salto fue grabada con iPhone 5s y determinada a través de la app de Apple "MyJump" (XCode 5.0.5 para Mac OSX 10.9.2; Apple Inc., USA).

El entrenamiento constaba de cuatro ejercicios de tren inferior, tres realizados en régimen de contracción concéntrica (sentadilla+salto, sentadilla y zancada) y uno realizado en contracción excéntrica (femoral tumbado). Fue programado cumpliendo todos los principios del entrenamiento. La carga de entrenamiento se caracterizó por un volumen alto y una intensidad media-baja definida por el porcentaje de peso corporal.

El trabajo de isquiotibiales se realizó en régimen de contracción excéntrica porque en la mayoría de acciones del fútbol los isquios se activan en régimen de contracción excéntrica (frenadas, cambios de dirección, sprint, etc) y para prevenir el riesgo de lesión, ya que un aumento de la fuerza en cuádriceps aumenta el riesgo de debilidad en isquios. La acción excéntrica de los isquiotibiales frena el movimiento de la extremidad inferior, por lo que las necesidades de ejercer fuerza son mayores en aquellos sujetos que presentan una mayor fuerza en el cuádriceps. [17]. El ejercicio realizado fue femoral tumbado. Para buscar un mayor efecto en la fase excéntrica se modificó el ejercicio habitual, levantando el peso (fase concéntrica) con ambas piernas y bajando (fase excéntrica) con una.

El descanso entre series fue de 30" para que no hubiera una recuperación completa, ya que en el fútbol casi nunca se produce una recuperación completa. A partir de la semana 3 y únicamente en el ejercicio de sentadilla con salto, el descanso fue de 1 minuto para aumentar la incidencia en la mejora de la fuerza explosiva. Este también es el motivo de realizar este ejercicio en primer lugar, ya que conseguiremos unas mejoras más significativas si realizamos los ejercicios encaminados a una mejora de la potencia en primer lugar [18]. El entrenamiento programado viene detallado en la tabla 1.

TABLA 1.
ENTRENAMIENTO DE FUERZA PARA EL GE.

SEMANAS	1	2	3	4	5	6
SESIONES	S1 & S2	S3 & S4	S5 & S6	S7 & S8	S9 & S10	S11 & S12
VOL/INT	V-I	V-I	V-I	V-I	V-I	V-I
½ Sentadilla + Salto	3X12 – 15%	4X12 – 15%	4X10 – 20%	4X8 – 25%	4X8 – 30%	4X6 – 35%
½ Sentadilla	3X12 – 50%	4X12 – 50%	4X10 – 60%	4X8 – 70%	4X10 – 70%	4X8 – 80%
Zancada	3X12 – 25%	4X12 – 25%	4X10 – 30%	4X8 – 35%	4X10 – 35%	4X8 – 40%
Femoral tumbado	3X12 – 25%	4X12 – 25%	4X10 – 30%	4X8 – 35%	4X10 – 35%	4X8 – 40%

S= Sesión; V= Volumen; I= Intensidad; ½ Sentadilla = el ángulo de flexión es de 90° ; el descanso entre series será de 30".

Test de Resistencia ($VO_{2m\acute{a}x}$), George Fisher: Los sujetos realizaron la distancia de 2400m en el mínimo tiempo posible. En pista de atletismo, realizando 6 vueltas. El $VO_{2m\acute{a}x}$ fue obtenido de forma indirecta a través de la siguiente fórmula: [15]

$$VO_{2m\acute{a}x} = 88,02 - (0,1656 \times P) - (2,76 \times T) + (3,716 \times S)$$

P: peso corporal (kg) T: Tiempo (minutos) S: sexo (mujeres = 0; hombres = 1).

2.4. Procedimiento del entrenamiento

El entrenamiento se realizó durante 6 semanas con dos sesiones. Se realizó justo antes de empezar el entrena-

2.5. Análisis estadístico

Se emplearon métodos estadísticos estándar para el cálculo de las medias y la desviación estándar. Para valorar las diferencias entre pretest y postest en ambos grupos, se utilizó la prueba T de Students para muestras relacionadas y Anova de un factor fue utilizada para examinar las diferencias entre grupos. Se consideró un nivel de significación estadística del 5% ($p \leq 0,05$). Para dicho análisis estadístico se empleó el paquete informático SPSS

para Windows (versión 17.0, SPSS Inc, Chicago, Illinois, EEUU).

3. RESULTADOS

Tiempo en 20m

El tiempo en 20m (segundos) solo mejoró significativamente en el GE. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre grupos ($p \leq 0,05$) en la magnitud de la mejora.

Tiempo en 505

Una mejora significativa ($p \leq 0,05$) fue observada en el GE en el tiempo (s) empleado en realizar el test de agilidad 505 entre los valores de base y los del post-test. Además, se demostraron diferencias significativas entre grupos.

Tiempo en zigzag (10m)

Solo en GE se encontraron mejoras significativas ($p \leq 0,05$) en el tiempo (s) empleado en realizar los 10m de zigzag empezando por la derecha. Cuando el zigzag empezó por el lado izquierdo, no hubo mejoras significativas en el GE, obteniéndose unos valores significativamente peores en el GC. Además, fueron encontradas diferencias significativas entre ambos grupos.

Altura en CMJ

Una mejora significativa ($p \leq 0,05$) fue observada en la altura en CMJ en el GE. La comparación entre grupos no desveló diferencias significativas entre el GE y GC.

Consumo máximo (ml/kg/min)

Mejoras significativas ($p \leq 0,05$) fueron observadas en el GE en el consumo máximo (ml/kg/min). Además fueron observadas diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre grupos.

Estos resultados vienen detallados en la tabla 2.

por tanto, más difícil será conseguir una mejora. De los artículos revisados solo McGawley y Andersson [7] consiguieron mejoras significativas en una distancia inferior a 20m. Los demás estudios que midieron distancias inferiores a esta [8],[6],[5], no obtuvieron mejoras significativas. La mejora en la velocidad a través del entrenamiento concurrente, podría depender de la elección de los ejercicios. En este estudio la transferencia al sprint es provocada por la zancada [18] y sentadilla [10].

Otros estudios revisados, también han demostrado una mejora de la resistencia [5],[7],[11],[19], todos ellos utilizando un protocolo interválico (mayor componente anaeróbico). En este sentido, el presente estudio demostró que con el entrenamiento concurrente también se puede lograr una mejora en la resistencia en un protocolo continuo (totalmente aeróbico). El motivo de la elección de este test fue comprobar cómo afecta el entrenamiento concurrente en el desarrollo de la resistencia en su forma más extrema (puramente aeróbica). La mejora en esta variable con la adición de entrenamiento de fuerza podría ser debida a: 1) el aumento de la fuerza muscular parece mejorar la eficiencia mecánica, la coordinación muscular y los patrones de reclutamiento motor; 2) un aumento global de la fuerza puede facilitar cambios y correcciones en el modelo técnico y biomecánico de competición; y 3) el aumento de la fuerza muscular y la coordinación puede reducir la intensidad relativa que cada ciclo de esfuerzo supone para el deportista y, por lo tanto, ser más resistente en el tiempo y vencer la resistencia a mayor velocidad [20].

Respecto a la agilidad, se ha mejorado en la prueba de 505 y en el zigzag empezando por la derecha, mientras que no ha habido mejoras significativas cuando el zigzag se ha empezado por la izquierda. En la bibliografía con-

**TABLA 2.
RESULTADOS**

	Grupo Control (GC)					Grupo de Entrenamiento (GE)				
	Pre-test	Post-test	%Cambio	TE	<i>p</i>	Pre-test	Post-test	%Cambio	TE	<i>p</i>
20m	3'24±0'17	3'20 ± 0'19	1'23%	-0'23	0,151	3'19±0'17	3'05±0'12*	4'32%	-0'83	0,003
505	2'78 ± 0'1	2,80 ± 0'09	-0'86%	0'24	0,52	2'76 ± 0,12	2'63 ± 0'15*§	4'66%	-1'05	0,024
Zigzag (dch)	4'94 ± 0'21	4'93 ± 0,18	0'05%	-0'01	0,963	4'77 ± 0'18	4'68 ± 0,18*§	1'89%	-0'51	0,012
Zigzag (izq)	4,93 ± 0'23	5'11 ± 0'21*	-3'81%	0'81	0,006	4'78 ± 0'24	4,77 ± 0'19§	0'10%	-0'02	0,948
CMJ	42'43 ± 7'68	40'93 ± 6'15	-3'51%	-0'19	0,167	43'01 ± 5'57	46 ± 7'32*	6'95%	0'54	0,047
VO2Máx	52'01 ± 2'32	52'39 ± 2'37	0'73%	0'16	0,227	53'81 ± 2'37	55'56 ± 1'55*§	3'26%	0'74	0,014

% cambio = porcentaje de cambio entre pre y post; TE = tamaño del efecto; *p* = significación; CMJ= salto con contra-movimiento; VO2Máx= consumo máximo de oxígeno (ml/kg/min)

* = Diferencias significativas entre pre-test y post-test ($p \leq 0.05$)

§ = diferencias significativas entre grupos ($p \leq 0.05$)

4. DISCUSION

Como en nuestro estudio, numerosos estudios han demostrado la mejora de la fuerza [8],[9],[6],[7],[19],[5]. Esta mejora podría ser provocada por la transferencia positiva existente entre el ejercicio de sentadilla y el salto [18]. Todos estos estudios incluyen la sentadilla en sus ejercicios.

El tiempo en 20m también se ha reducido significativamente en este estudio. Un factor determinante para que haya mejora es la distancia a valorar. A medida que la distancia es más corta, el margen de mejora es menor y

sultada la agilidad ha sido muy poco estudiada, sin encontrarse mejoras en esta variable [8],[7]. La mejora podría ser provocada por la adición de un ejercicio de isquiotibiales en régimen de contracción excéntrica (ninguno de los estudios revisados lo ha hecho). La mejora de fuerza excéntrica en isquiotibiales mejora el rendimiento en acciones de frenada y cambio de dirección, [17] acciones determinantes en los test realizados. Otro dato de interés que hemos podido observar en el estudio de los resultados ha sido unos tiempos mucho peores en el eslabon cuando se empezaba por la izquierda. Esto es debido

a que todos los sujetos analizados eran diestros excepto uno (que sí mejoró en este parámetro). Estos resultados revelan un grave problema de lateralidad, solo utilizan la pierna hábil, por lo que no trabajan la pierna izquierda, sería necesario entrenamiento de lateralidad.

4.1 Limitaciones del estudio

La principal limitación de este estudio fue el poco tiempo disponible para realizarlo. Por esto, el entrenamiento solo se realizó durante 6 semanas y con una muestra algo pequeña, de 16 sujetos. Si el tiempo disponible hubiera sido mayor, se podría haber realizado una mejor progresión de las cargas.

Otra limitación encontrada fue la imposibilidad de la utilización de células fotoeléctricas, por lo que se perdió mucho tiempo en el análisis de vídeo para determinar los tiempos en los test.

5. CONCLUSIÓN

Los hallazgos de este estudio sugieren que 6 semanas de entrenamiento de fuerza con una intensidad media-baja y un volumen alto son suficientes para conseguir unas adaptaciones positivas en algunos de los parámetros determinantes en fútbol (velocidad, agilidad, salto y consumo máximo). Los resultados obtenidos sostuvieron nuestra hipótesis de que este entrenamiento de fuerza mejoraría dichos parámetros.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. J.M. Wilson, P.J. Marín, M.R. Rhea, S.M. Wilson, J.P. Loenneke and J.C. Anderson. "Concurrent Training: A Meta-analysis Examining Interference of Aerobic and Resistance Exercises". *The Journal of Strength and Conditioning Research*, vol 226, no 8, pp 2293-307, 2012.
2. M. Leveritt, P.J. Abernethy, B. Barry and P.A. Logan. "Concurrent Strength and Endurance Training: The Influence of Dependent Variable Selection". *The Journal of Strength and Conditioning Research*, vol 17, no 3, pp 503-8, 2003.
3. J.A. Hawley. "Molecular Responses to Strength and Endurance Training: Are They Incompatible?" *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, vol 34, no 3, pp 355-61, 2009.
4. M. Leveritt, P.J. Abernethy, B. Barry and P.A. Logan, "Concurrent Strength and Endurance Training. A Review". *Sports Medicine*, vol 28, no 6, pp 413-27, 1999.
5. C. Ferrete, B. Requena, L. Suárez-Arrones and E.S de Villarreal. "Effect of Strength and High-Intensity Training on Jumping, Sprinting and Intermittent Endurance Performance in Prepubertal Soccer Players". *The Journal of Strength and Conditioning Research*, vol 28, no 2, pp 413-22, 2014
6. K. Enright, J. Morton, J. Iga and B. Drust. "The Effect of Concurrent Training Organisation in Youth Elite Soccer Players". *European Journal of Applied Physiology*, vol 115, no 11, pp 2367-81, 2015
7. K. McGawley and P. Andersson. "The Order of Concurrent Training Does not Affect Soccer-Related Performance Adaptations". *International Journal of Sports Medicine*, vol 34, no 11, pp 983-90, 2013.
8. J. Brito, F. Vasconcellos, J. Oliveira, P. Krustup and A. Rebelo. "Short-Term Performance Effects of Three Different Low-

Volume Strength-Training Programmes in College Male Soccer Players". *Journal of Human Kinetics*, vol. 40, pp 121-28, 2014.

9. E. Enoksen, M. Staxrud, E. Tonnenssen and S. Shalfawi. "The Effect of Supervised Strength training on Young Elite Male Soccer Players Physical Performance". *Serbian Journal of Sports Sciences*, vol 7, no 4, pp 195-201, 2013.

10. W.J. Styles, M.J. Matthews and P. Comfort. "Effects of Strength Training on Squat and Sprint Performance in Soccer Players". *The Journal of Strength and Conditioning Research*, vol 30, no 6, pp 1534-9, 2016.

11. B. Karsten, E. Larumbe-Zabala, G. Kandemir, T. Hazir, A. Klose and F. Naclerio. "The Effects of a 6-Week Strength Training on Critical Velocity, Anaerobic Running Distance, 30-M Sprint and Yo-YO Intermittent Running Test Performances in Male Soccer Players". *PLoS One*, vol 11, no 3, pp 1-10, 2016.

12. T.J Garbbett, J.N. Kelly and J.M Sheppard. (2008). "Speed, Change of Direction Speed, and Reactive Agility of Rugby League Players". *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol 22, no 1, pp 174-81, 2008.

13. C. Meylan and D. Malatesta. "Effects of In-Season Plyometric Training Within Soccer Practice on Explosive Actions of Young Players". *The Journal of Strength and Conditioning Research*, vol 23, no 9, pp 2605-13, 2009.

14. N. Búa, A. Vanina and G.C. García. "Perfil funcional y morfológico en jugadores de fútbol amateur de Mendoza, Argentina". *Apunts Medicina de l'Esport*, vol 48, no 179, pp 89-96, 2013

15. J.D George, P.R. Vehrs, P.E Allsen, G.W. Fellingham and A.G. Fisher. "VO2máx Estimation from a Submaximal 1-mile Track Jog for FIT College-age Individuals". *Medicine & Science Sports Exercise*, vol 25, no 3, pp 401-6, 1993.

16. H. Arazi, H. Faraji, M.G. Moghadam and A. Samadi. "Effects of Concurrent Exercise Protocols on Strength, Aerobic Power, Flexibility and Body Composition". *Kinesiology*, vol. 43, no. 2, pp 155-62, 2011.

17. M. de Hoyo, J. Naranjo-Orellana, L. Carrasco, B. Sañudo, J.J. Jiménez-Barroca and S. Domínguez-Cobo. "Revisión Sobre la Lesión de la Musculatura Isquiotibial en el Deporte: Factores de Riesgo y Estrategias para su Prevención". *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, vol 6, no 1, pp 28-35, 2013.

18. T.R. Baechle and R.W. Earle, R. W. *Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico*. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana, 2007.

19. P.L. Wong, A. Chaouachi, K. Chamari, A. Dellal and U. Wisløff. "Effect of preseason concurrent muscular strength and high-intensity interval training in professional soccer players". *The Journal of Strength & Conditioning Research*, vol 24, pp 653- 60, 2010

21. J. Calasanz, R. García-Martínez, N. Izquierdo and J. García-Pallarés. "Efectos del Entrenamiento de Fuerza sobre la Resistencia Aeróbica y la Capacidad de Aceleración en Jóvenes Futbolistas". *Journal of Sport and Health Research*, vol 5, no 1, pp 87-94, 2013.



Cristian Tena Caballero recibió el título de Graduado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte por la Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, en 2016.

LA EDUCACIÓN AMBIENTAL EN EL CURRÍCULUM ESCOLAR DEL ALUMNADO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA

M^a Helena Romero Espinosa

Resumen— El presente artículo trata sobre el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y la Educación Ambiental (EA). Expondremos el tratamiento dado a la EA como disciplina en la ESO, la transversalidad en el currículo, la formación del profesorado y hablaremos de Desarrollo Sostenible y Currículum a modo de conclusión.

Palabras Claves— Alumnado, Currículum/o Escolar, Desarrollo Sostenible, Educación Ambiental, Educación Secundaria Obligatoria.

1. INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental que hoy vivimos ha llegado a ser un tema de preocupación, tanto en el conjunto de la sociedad como por parte de organismos internacionales, nacionales y locales. Ya que las consecuencias de nuestros actos están siendo cada vez más evidentes y negativas, lo cual nos lleva a plantearnos la búsqueda de nuevas vías de acción social y educativa, en busca de la mejora de dichas consecuencias en nuestro entorno. La EA debe trabajarse en el contexto de la escuela para propiciar un cambio de actitudes y una participación más responsable en la gestión del Medio Ambiente, “de aquí la importancia de desarrollar en nuestros alumnos una adecuada toma de conciencia que no se limite al simple respaldo de una consigna y que habría que desarrollar a partir del análisis de los valores que subyacen en la toma de decisiones por parte de ellos” (Santana, 2008: punto 2.2.2.). Por eso, nos planteamos conocer la situación actual de la EA en el currículo de la ESO, para motivar la puesta en marcha futura de programas de EA que respalden positivamente la participación activa del alumnado en su entorno. Puesto que es importante además que nuestros estudiantes desarrollen actitudes de responsabilidad con respecto a las consecuencias de nuestras formas de vidas y de nuestras actuaciones diarias en relación con el Medio Ambiente, y en último término su capacidad de tomar decisiones con respecto a la problemática ambiental. Pues bien, en este artículo valoraremos el tratamiento que tiene la EA en el currículo de Secundaria, sirviendo de apoyo para próximas investigaciones en esta línea.

2. DESARROLLO: La Educación Ambiental en el contexto educativo de Secundaria Obligatoria

La ESO es una etapa educativa obligatoria y gratuita que completa la educación básica. Consta de cuatro cursos académicos que se realizarán ordinariamente entre los 12 y los 16 años de edad (Ministerio de Educación, Cultura y Deportes, Educación Secundaria Obligatoria). Según el Ministerio de Educación en su enlace web, la ESO tiene como finalidad:

- Lograr que todos adquieran los elementos básicos de la cultura: humanísticos, artísticos, científicos y tecnológicos.
- Desarrollar y consolidar hábitos de estudio y de trabajo.
- Preparar para la incorporación a estudios posteriores y para su inserción laboral.
- Formar a todos para el ejercicio de sus derechos y obligaciones en la vida como ciudadanos.

Este último objetivo está en la línea de nuestra defensa de formar en el ejercicio de la obligación a los jóvenes en el cuidado y atención al Medio Ambiente, puesto que con sus acciones futuras podrán favorecer o deteriorar el medio en el que vivimos y nos desenvolvemos. Tan vital como que según nuestras acciones, serán las consecuencias directas del desarrollo socioambiental, concordando con el deseado Desarrollo Sostenible al que aspiramos. Después de la evolución del concepto de EA, tal como apunta González (2015) “se presenta hoy con un cuerpo sólido de objetivos y principios y con unos contenidos y una metodología que le son propios. Y al mismo tiempo son ya numerosos los sistemas educativos de distintos países que la han integrado en su seno con distintas fórmulas” (p.15). Está claro que en nuestros días ha ido apareciendo una nueva visión pedagógica que “no basta con enseñar desde la naturaleza utilizándola como recurso educativo, hay que educar para el Medio Ambiente, hay que presentar y aprender conductas correctas hacia el entorno, no solo conocerlo” (González, 1996: p.16). Este cambio en el enfoque educativo y el nuevo interés por la enseñanza del me-

dio, viene originado por la necesidad de detener el deterioro ambiental y por la conveniencia de que la Educación colabore decisivamente a ello, se trata de la necesidad de unir Educación y Medio Ambiente, para propiciar cambios de actitudes ante el mismo, y como consecuencia una mejora del entorno. Si nos centramos en el ámbito escolar, *“el objetivo de la EA se concreta en dotar al alumnado de las experiencias de aprendizaje que le permitan comprender las relaciones de los seres humanos con el medio, la dinámica y consecuencias de esta interacción, promoviendo la participación activa y solidaria en la búsqueda de soluciones a los problemas planteados”* (González, 1996: p. 30). Dichas experiencias de aprendizaje para comprender el entorno las debe adquirir el alumnado con la puesta en marcha de programas de EA, desarrollados en el centro y fuera del mismo, con una clara implicación de toda la comunidad educativa y de las instituciones más cercanas a la misma, como son los Ayuntamientos. Estando de acuerdo con González (1996), cuando dice que *“Todo esto se traduce, una vez más, en que la EA no puede estar desempeñada solo por una nueva asignatura creada al efecto, al menos en los niveles preuniversitarios, sino que se concibe como una dimensión que debe ser atendida desde todas, que debe impregnar el currículo, proporcionándole objetivos y enfoques nuevos”* (p. 33). Está claro ante esta perspectiva, que el sistema educativo debe adaptarse a la necesidad de incorporación “real” de la EA en los centros educativos. Hasta hoy se hace referencia a la misma en los distintos niveles educativos pero a nuestro parecer, se sigue pasando por alto la necesidad imperiosa de que se trate formalmente como es debido. Puesto que entendemos que la EA es la vía de solución, o mejor dicho prevención a muchos de los males sociales y ambientales de hoy día, esta debe de estar refrendada en los centros escolares, dotándole de la importancia que merece y capacitando al profesorado con medios a su alcance para poder ponerla en práctica. Tal como expresa González (1996) existen cinco posibilidades de integración de la EA en el sistema educativo que nosotros compartimos. Serían estas:

1. Tratamiento disciplinar. La EA como disciplina específica.
2. Tratamiento multidisciplinar. Aspectos medioambientales incorporados aisladamente en diversas materias (generalmente de Ciencias Naturales), más o menos coordinadas.
3. Tratamiento interdisciplinar. La EA presente en todas las disciplinas, que la atienden desde sus propios esquemas conceptuales y metodológicos.
4. Tratamiento transdisciplinar. La EA impregna todo el currículo de las distintas etapas desde los objetivos hasta los contenidos, en el contexto del paradigma ambiental.
5. Tratamiento mixto. En alguno de los anteriores modelos, se refuerza el currículo de EA mediante alguna asignatura, generalmente optativa (p. 43)

Nosotros apostamos por el tratamiento transdisciplinar, en la que la EA impregna todo el currículo de las distintas etapas, desde los objetivos a los contenidos, porque es la única vía

factible para su desarrollo “real” y que sirva para “ambientalizar” los centros escolares.

2.1. Incorporación de la Educación Ambiental en los distintos niveles de enseñanza: Secundaria Obligatoria

Conociendo la complejidad del ambiente, se entiende la necesidad de incluir la EA como una dimensión, de manera transversal, que invada el currículo en los diferentes niveles de enseñanza educativos, desde infantil hasta la universidad. Se trata de una dimensión ambiental, que implica unas bases filosóficas, epistemológicas y éticas, para la formación de futuros ciudadanos responsables y consecuentes con su entorno.

Según Tello y Pardo (1996) “es a partir de la promulgación de la LOGSE (1990) que se formaliza la incorporación de la EA considerándola como “un tema transversal que impregna todas las etapas, áreas y materias del currículo” (pp. 135-136). Este paso, dice Pardo (1996), “implicó transitar de un conjunto de propuestas ambientalistas a una estrategia de transversalidad integrada en un proyecto pedagógico que comprende tres dimensiones: una institucional, una curricular y una conceptual” (pp. 87 y 93).

Según la LOGSE (1990) en su Artículo 19, la Educación Secundaria Obligatoria contribuirá a desarrollar en los alumnos distintas capacidades entre ellas nos habla de “Analizar, Valorar y Conocer”, como objetivos a alcanzar en Secundaria en torno al medio. Y estas actitudes parten del profesorado y de la inclusión de la EA en el currículum de Secundaria, en el caso que nos ocupa. Integrar la EA en el currículum de la Educación Secundaria, generando un cambio de conducta y actitud en el alumnado que den como fruto una mejora en el entorno ambiental. Con la actual LOMCE se mantiene el carácter transversal de la EA dentro del currículum, pero a nuestro parecer aún debe impregnar más dicho currículum, tratando de incorporar la EA en el mismo de manera explícita. Tal como expresa González (1996) *“... centrándonos en el ámbito escolar, el objetivo de la EA se concreta en dotar al alumnado de las experiencias de aprendizaje que le permitan comprender las relaciones de los seres humanos con el medio, la dinámica y consecuencias de esta interacción, promoviendo la participación activa y solidaria en la búsqueda de soluciones a los problemas planteados”* (p. 30)

La EA, no “casa” con determinados enfoques de la enseñanza ni con ciertos métodos tradicionales. Necesita de un marco educativo distinto donde poder crecer y no ser abocada al fracaso (González, 1996). Y es aquí donde volvemos a contemplar que a lo largo de los años seguimos en la tesitura de crear un nuevo marco educativo en don-

de desde el currículum se pueda tocar la EA, siendo contemplada en el mismo.

Una de nuestras finalidades es la de favorecer esta implicación de los centros de Secundaria en la puesta en marcha de programas de EA, y su capacidad de afianzamiento en el tiempo, y la de la participación del alumnado en dichos programas, Está claro que para que los fines establecidos sean alcanzados debe haber unión de las partes, por eso apelamos siempre al trabajo en equipo entre Administración, IES (centros escolares), alumnos y familias. Y como no, sin dejar de decir que todo pasa porque la EA sea contemplada en el currículum tal como hemos ido viendo. Dotando de recursos a los centros y de capacidad de gestión en programación de EA. Creemos en nuevas vías de acción socioambiental como prevención y solución a muchos de los problemas que acontecen hoy día, pero debe pasar por la toma "real" de consideración de la EA como herramienta para ello.

2.2. Educación Ambiental y contenidos transversales del currículum

Partimos de la base del tratamiento dado hasta hoy, dese su inclusión con la LOGSE como "eje transversal" de la EA en la escuela, desde una concepción de transversalidad, puesto que se considera que el sistema educativo no debe servir solamente para preparar y capacitar a los alumnos en el desempeño de ciertas habilidades cognitivas y técnicas instrumentales, sino también a ciudadanos críticos y comprometidos con su realidad social y cultural, es decir, como miembros activos y responsables de su sociedad, su cultura y su mundo (Cuc Ical, monografías.com., 2013).

La transversalidad supone un elemento significativo e interesante por dos razones:

- Por considerar la transversalidad como un concepto innovador, por dotar al currículum de una considerable riqueza y variedad de contenidos que pueden ser organizados en infinidad de formas, de manera que den respuesta a las necesidades de los alumnos.
- La transversalidad debe incitar a toda la Comunidad Educativa a reflexionar sobre la posición que mantiene sobre los valores y actitudes que manifiesta y transmite a su alumnado, sobre aquellos que quieren transmitir y los que, por otra parte, propugna consciente e inconscientemente la sociedad.

Según Cuc Ical (2013) una escuela para todos desde la transversalidad significa partir de una serie de valores comunes. Una escuela basada en la igualdad requiere partir de una educación para la vida, donde los aprendizajes significativos deben impregnar todo el proceso edu-

cativo. Ante la crisis de la función normativa de la escuela, se reivindica ahora la dimensión moral, de ahí que todos los contenidos curriculares tienen como tercer componente las "Actitudes" (valores, actitudes y normas)". Y lo más importante, transmitir una nueva escala de valores sociales perdidos o dañados en la actualidad.

Sin dejar de reconocer que en los últimos años, se han producido importantes modificaciones en los escenarios escolares. Ya que, tal como expone Alcalá del Olmo (2002) "de ser lugares destinados a la difusión de saberes y a la asimilación, por parte de los estudiantes, de contenidos conceptuales, han pasado a convertirse en ámbitos de promoción de actitudes y valores, con fines orientados a promover conductas de respeto, tolerancia y cooperación con el entorno" (p. 1). Aún debe ponerse en "valor" dicha promoción de actitudes y valores en los centros escolares, ya que estos forman y capacitan a los futuros ciudadanos. Son muchos los autores que después de entrar en vigor la LOGSE se sitúan ante la nueva forma de entender la Educación afirmando que "la Transversalidad origina una nueva manera de entender los fenómenos educativos. Supone un intento de superación de errores existentes en materia de enseñanza bajo perspectivas tradicionales, a las que se acusa de atender escasamente las necesidades de una sociedad en acelerado proceso de cambio" (Alcalá del Olmo, 2002: p. 2). Pero años después y a las puertas de asimilación de una nueva reforma educativa (LOMCE, 2013), nuestra posición no es tan "positiva" sino que esperamos mucho más de la transversalidad, y por ende mucho más de la puesta en marcha de nuevas vías de acción social a partir de la EA. Debemos de ser optimistas, pero hoy por hoy, aún queda mucho por hacer ante una sociedad que deposita confianzas en la escuela para poder llegar a alcanzar un mundo más justo y solidario. Ante este reto debemos estar los profesionales de la educación, y seguir trabajando en pro de la incorporación de la EA en los centros escolares.

Otro de los aspectos a tener en cuenta, es que los ejes transversales "se enmarcan en torno a una Educación en Valores, que, considerados instrumentos necesarios para llegar a generar un cambio cultural y una transformación social, cumplen un papel dinámico en procesos educativos" (p. 5). Estamos totalmente de acuerdo con esta idea en la que la Educación en Valores entra en juego, para trabajarlos y acercarlos a la escuela, puesto que el actual código de valores sociales está en crisis y se sustenta en motivaciones puramente consumistas y materialistas. Debemos favorecer nuevas formas de trabajo entorno a los valores que rijan una nueva visión social, de cooperación y trabajo en equipo entre los escolares, de prevención

y sensibilización ante problemas medioambientales y de capacitación para la acción futura en la toma de decisiones como ciudadanos comprometidos. Y esto no es discutible, debe de ser asumible por todos, hasta que esto no sea una realidad, aún tendremos mucho por lo que trabajar en pro de una auténtica Educación en Valores. Para favorecer que se trabaje la EA debemos partir del diseño y desarrollo de programas de EA en el centro, y de esto también hay que hablar. Ya hemos comentado el papel fundamental que adquiere el profesorado ante la tarea de trabajar desde la transversalidad aspectos como la EA. Si bien y atendiendo a los distintos tratamientos de integración curricular de la EA, nosotros nos acogemos al transdisciplinar, puesto que *“es aquel en el que la EA transforma el currículum, no hay que encajarla en el currículum sino que es éste el que se transforma para trabajarla. Es un modelo de “Ecoauditorías escolares” más avanzado, de manera que esto sea el motor del desarrollo educativo de centro, o “modelo de integración silenciosa” el centro ha decidido ser un centro sostenible y demostrativo, es un modelo integrado en la vida del centro escolar. Toda la actividad docente gira en torno a la EA”* (Piñuela García y Gutiérrez Tapias, 2012/13: TFG: p. 32).

Se trata de un modelo muy interesante, pero es el que menos es llevado a la práctica por las dificultades que conlleva, puesto que cómo se aborde la EA en el Proyecto Curricular de Centro, decidirá el modelo de tratamiento que se utilizará en cada Centro Escolar. Y es aquí donde entramos nosotros, puesto que los centros tienen “autoridad propia”, y más aún desde la entrada en vigor de la LOMCE, para trabajar aspectos transversales como la EA, debemos con estudios como este evidenciar a los equipos educativos de la importancia de la puesta en marcha de la misma.

3. CONCLUSIONES: Desarrollo Sostenible y Currículum

La Educación para la sostenibilidad es hoy día un enfoque pedagógico todavía minoritario. Han pasado décadas de experiencias, buenas prácticas diseminadas por todo el planeta y numerosos llamamientos de organismos internacionales dando como consecuencia una tendencia expansiva que, aunque de forma lenta pero constante, va permeando las finalidades, formas y modos de hacer educación, tornándolas sensibles a los principios y valores del Desarrollo Sostenible (Murga-Menovo, 2015).

Según Murga-Menovo (2015) *“La idea de que el desarrollo es sostenible o, simplemente, no es tal, se abre paso con fuerza; en apariencia sin retorno. Y, en el camino, arrastra consigo un cambio en la mirada pedagógica que se reorienta buscando dar una respuesta coherente al nuevo planteamiento sociocultural. A nivel internacional, la educación para el desarrollo sostenible*

es la denominación más extendida que en la actualidad se utiliza para designar el modelo educativo surgido ante el reto de la sostenibilidad” (p. 14). Según esto podemos aventurarnos a afirmar que dicho modelo educativo se encuentra en vías de consolidación pues todos los indicios apuntan hacia un incremento de la aspiración generalizada al desarrollo, como finalidad social prioritaria.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) está promoviendo el consenso internacional en torno a una agenda post-2015 que llegue a dar continuidad, durante un nuevo periodo de quince años más, a los avances conseguidos en los Objetivos de Desarrollo del Milenio (2000-2015), marco de acción y colaboración internacional en los últimos quince años. En la preparación de esta nueva etapa, se aprecia un incremento en el uso que el alto organismo internacional hace del concepto de sostenibilidad, con mención explícita, en el propio título de la agenda que se prepara, a la necesidad de lograr Objetivos de Desarrollo Sostenible (2015-2030) (Murga-Menovo, 2015). Con esta iniciativa la ONU pretende ofrecer una guía para definir prioridades en los distintos niveles (mundial, regional, nacional, etc.) y facilitar las metas comunes, respetando la autonomía de los pueblos. Ante este panorama de clara intención de seguir marcando objetivos en torno a la sostenibilidad ambiental, nos parece que el currículo escolar debe de ir en paralelo adquiriendo parte de estos objetivos adaptados al mismo y como obligatorio al hilo del trabajo de organizaciones a todos los niveles.

Según Solís y Valderrama (2015) autores como Novo (2006a), Minget y Solís (2009) entre otros, plantean que es necesario un esfuerzo por incorporar la Educación para la sostenibilidad como una prioridad central en la alfabetización básica de todas las personas, es decir, como un objetivo clave en la formación de los futuros ciudadanos y ciudadanas, por lo que es aún más imprescindible que los docentes de todos los niveles educativos (p. 166). Ante esto surge de nuevo la polémica y controvertida formación del profesorado, tan necesaria y a la vez vinculante a los resultados de éxitos/fracasos de la EA desarrollada, se formen en estas competencias. Al hilo de nuestra investigación entendemos que el profesor implicado en propiciar la puesta en marcha de la EA en el aula, venga en el currículo establecido o por clara intención propia, es de vital importancia este tipo de debates. Se necesita implicación institucional (de la Delegación de Educación), de las familias y del profesorado. Está claro por tanto que el profesorado de ESO necesita de una formación inicial y estamos de acuerdo con Solís y Valderrama (2015) cuando afirman *“la necesidad de incluir criterios de una educación para la sostenibilidad en el proceso de formación*

inicial del futuro profesorado de Educación secundaria” (p. 167). Concluimos por tanto, con la necesidad de formación del profesorado que haga adquirir nuevas concepciones acerca de la EA para su posterior puesta en marcha en Secundaria. Esperamos con investigaciones como esta poder aportar datos que favorezcan además de la formación inicial del profesorado, y la integración de la sostenibilidad en el currículum escolar de Secundaria.

4. REFERENCIAS

- [1] Alcalá del Olmo Fernández, M. J. (2002). *Hacia una definición de la Educación en Valores: los temas transversales del currículum*. Universidad Pontificia de Salamanca, Salamanca. Cuc Ical (2013)
- [2] Desarrollo Sostenible (2004, 26, noviembre). Wikipedia. http://es.wikipedia.org/wiki/Desarrollo_sostenible
- [3] González Muñoz, M. C. (1998). La Educación Ambiental y formación del profesorado (Ejemplar dedicado a Educación Ambiental y Formación: proyectos y experiencias). *Revista Iberoamericana de educación*, ISSN-e 1022-6508, Nº 16, pp. 13-22.
- [4] González Muñoz, M. C. (1996). Monográfico: Educación Ambiental: Teoría y Práctica. Artículo: Principales tendencias y modelos de la Educación ambiental en el sistema escolar. *Revista Iberoamericana de Educación* Nº 11 pp.13-74. LOGSE (1990)
- [5] Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Educación Secundaria Obligatoria. <http://www.mecd.gob.es/educacion-mecd/areas-educacion/sistema-educativo/enseñanzas/educacion-secundaria-obligatoria.html>
- [6] Murga-Menoyo, M. A. (2015). Formar para transformar: Hacia una práctica docente orientada al desarrollo sostenible. Presentación. Foro de Educación, 13(19), 13-18. doi: <http://dx.doi.org/10.14516/fde.2015.013.019.001>
- [7] Naciones Unidas (2015, 11, septiembre). *Punto: Los esfuerzos sin precedentes han resultado en profundos logros. Objetivos de Desarrollo del Milenio: Informe 2015*. <http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Resources/Static/Products/Progress2015/Spanish2015.pdf>
- [8] Piñuela García y Gutiérrez Tapias, 2012/13: TFG: p. 32. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/3094/1/TFG-B.155.pdf>
- [9] Santana Esponda, Y. (2008): *Sistemas de acciones para consolidar la EA de los profesores de la carrera de economía en el IPE “Mario Domínguez Regalado*. (Trabajo de Investigación). Biblioteca Virtual de Derecho, Economía y Ciencias Sociales. Punto 2.2.2. <http://www.eumed.net/libros-gratis/2010f/872/Educacion%20Ambiental%20en%20el%20contexto%20educativo.htm>
- [10] Solís y Valderrama (2015). *La educación para la sostenibilidad en la formación de profesorado. ¿Qué estamos haciendo?* Foro de Educación, vol. 13, Nº 19, pp. 165-192. <http://forodeeducacion.com/ojs/index.php/fde/article/view/379/303>
- [11] Tello y Pardo (1996). Presencia de la Educación Ambiental en el Nivel Medio de enseñanza de los países iberoamericanos. *Revista Iberoamericana de Educación* Nº 11 Monográfico: Educación Ambiental: Teoría y Práctica. <http://rieoei.org/oeivirt/rie11a04.htm>



Mª Helena Romero Espinosa, Lda. Pedagogía y DEA (Diploma de Estudios Avanzados) por la U. de Sevilla. En la actualidad, Doctoranda y Profesora Sustituta Interina en la Facultad de Ciencias Sociales. Dto de Educación y Psicología Social, Área de Teoría e Historia de la Educación de la U. Pablo Olavide donde pertenece al Grupo de Investigación de Acción Socioeducativa (GÍAS). Su interés investigador van en las líneas de investigación de Educación Ambiental, Educación Social y Políticas Sociales y Participación Ciudadana. Ejerce funciones de comunicación en RRSS en la Revista Molecula.

Modificación de conductas ambientales desde el Aprendizaje Basado en Proyectos

Macarena Esteban Ibáñez, Luis Vicente Amador Muñoz

Resumen— Este artículo forma parte de un Proyecto de Innovación Docente aprobado por la Dirección General de Formación e Innovación y el Vicerrectorado de Cultura y Compromiso Social de la Universidad Pablo de Olavide (UPO) para el curso 2016-2017. Su finalidad es la de analizar los conocimientos del alumnado universitario con respecto al Medio Ambiente y la Educación Ambiental para averiguar cuáles serán sus comportamientos y las acciones que llevarían a cabo para mejorar el entorno que les rodea. Para esto se realizarán una serie de actividades que contribuirán a sensibilizar al alumnado sobre la importancia de cuidar nuestro entorno y el papel clave que ellos desempeñan para conseguirlo utilizando el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP).

Palabras Claves— Aprendizaje basado en Proyectos, Innovación, Educación Ambiental

1. PRESENTACIÓN

El siguiente artículo recoge una experiencia educativa en el ámbito universitario a través de una metodología innovadora, como es la del Aprendizaje Basado en Proyectos (a partir de ahora ABP). Lo que se pretende es ofrecer una metodología que rompa con los esquemas tradicionales que rigen actualmente, en la mayoría de los casos, el actual sistema educativo, basándose en un marco teórico que fundamente y sustente estos criterios docentes universitarios. De ahí que el ABP se considere como un método de aprendizaje que favorece el desarrollo de las capacidades, competencias, habilidades y valores del alumnado.

Este trabajo pretende, desde un modelo de investigación en la acción, provocar cambios centrados en el conocimiento y la reflexión desde las manifestaciones del alumnado respecto a las necesidades educativas medio ambientales. Todo ello, para empezar a construir un modelo, centrado en lo que nosotros hemos querido denominar intervención educativa socioambiental. (Amador y Esteban, 2011).

Así mismo, desde las creencias del alumnado y el conocimiento adquirido se pretende incorporar a las aulas la acción hacia la innovación y la mejora en la formación. (Bevins y Price, 2014).

Estas transformaciones conllevan la implicación de los distintos agentes, actores, docentes en este proceso, cambiando sus planteamientos educativos, a partir del conocimiento de las percepciones, creencias y pensamiento del alumnado sobre el objeto de estudio: el medio ambiente. (González Calvo y Barba, 2014).

Pretendemos pasar de la reflexión docente personal a la colectiva, con el objetivo de que los se transfieran, además de al aula, a todos los contextos del colectivo participante. Es evidente que lo que se pretende desde este planteamiento es que la investigación colectiva nos permita afrontar, desde nuevas acciones y campos, buscar planteamientos nuevos a la situación de las creencias que manifiestan los estudiantes respecto del medio ambiente. Por lo que partiendo de su realidad personal y colectiva generen, en el proceso de aprendizaje, nuevos procesos de aprendizaje y formas de afrontarlo y empiecen a manifestar nuevos lenguajes y acciones más inclusivos medioambientales.

2. CONTEXTO ACADÉMICO

Las asignaturas de Desarrollo Sostenible y Educación Ambiental (Grado en Educación Social) e Intervención Social y Educación Ambiental (Grado en Ciencias Ambientales) están diseñadas para ser impartidas de manera coordinada tanto en la distribución de los contenidos teóricos/prácticos y organización docente, como en la consolidación de un equipo de profesorado que se ha afianzado durante los distintos cursos académicos. Este hecho permite que el alumnado conozca las temáticas ambientales desde la transversalidad y en nuestro caso, la Educación Ambiental como futura salida profesional, tanto para el/la Educador/a Social como para el/la Ambientólogo/a. En esta línea, siguiendo las competencias de las Guías Docente emanadas de los Verificas, de los Grados en los que se imparten dichas asignaturas, llegamos a la conclusión que hay una competencia general que se considera fundamental en ambas titulaciones. “Diseñar, planificar, gestionar y desarrollar diferentes recursos, así como evaluar planes, programas, proyectos y actividades de intervención socioeducativa, participación social y desarrollo en todos sus ámbitos” en el caso de Desarrollo Sostenible y Educación Ambien-

Macarena Esteban Ibáñez. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Pablo de Olavide. mestiba@upo.es.

Luis Vicente Amador Muñoz. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Pablo de Olavide. lvamador@upo.es.

tal y “Diseñar, elaborar y ejecutar procedimientos de evaluación de impacto social de planes, programas y proyectos” en el caso de Intervención Social y Educación Ambiental.

Teniendo en cuenta esta similitud, se planteó para el curso 2016-2017, un Proyecto de Innovación encaminado a evaluar la adquisición de estas dos competencias en ambas asignaturas a través del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP). Esta estrategia docente convierte al estudiante en protagonista de su propio aprendizaje, tanto a nivel de adquisición de conocimientos, como de habilidades y actitudes. Se caracterizará, porque el grupo de profesorado y el alumnado realizarán trabajos en grupo sobre temas reales, que ellos mismos irán seleccionando de acuerdo a sus intereses. Esto implica que el alumnado, siguiendo esta estrategia tendrá la opción de adquirir también otras competencias específicas que son fundamentales en ambos Grados para la salida profesional de Educador/a Ambiental, recogida en ambos Verificas y que además de las dos anteriores, también serán evaluadas con las actividades de innovación propuestas. Estas competencias son: a. Transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado. b. Asumir, en un contexto abierto al debate y la reflexión, los comentarios y críticas a los planteamientos propios. c. Desarrollar habilidades de resolución de problemas y toma de decisiones, lo que entraña ser capaz de identificar, analizar y definir los elementos significativos que constituyen un problema, sus causas e importancia desde diversos puntos de vista; de buscar alternativas de solución y resolverlo con criterio y de forma efectiva.

Por último, queremos destacar que aunque el Proyecto de Innovación se llevará a cabo íntegramente en la Universidad Pablo de Olavide, colaboran en el mismo, Profesorado de distintas Universidades Andaluzas como son: Cádiz, Córdoba, Granada, Málaga y Sevilla, que lo irán desarrollando simultáneamente en sus respectivas universidades. Este hecho enriquecerá nuestro proyecto, ya que se van a compartir tanto las competencias de las titulaciones donde imparte docencia el citado profesorado, como las estrategias, técnicas e instrumentos utilizados en el desarrollo del proceso de ABP. Así mismo, y a través de un espacio virtual creado para este fin, se compartirán todos los avances, inquietudes y aspectos relevantes de los procesos seguidos en cada una de ellas, para que se pueda ir modificando, si es ese el caso, las actividades realizadas para la adquisición de competencias en el proyecto de Innovación de la UPO.

3. DESARROLLO

El proyecto se enmarca en la planificación y organización tanto en las Enseñanzas Básicas (EB) como en las Enseñanzas Prácticas de Desarrollo (EPD) de ambas asignaturas. Antes de comenzar la docencia de las mismas y aprovechando que éstas se imparten en el Segundo Se-

mestre, vamos a realizar un cuestionario inicial al alumnado de todos los cursos de los Grados de Educación Social y del Grado de Ciencias Ambientales. Este cuestionario irá destinado a recoger las creencias que sobre temáticas ambientales tienen los estudiantes, considerando las características y funcionamiento en los mismos en relación a: 1. Las creencias relativas a la importancia de la actuación individual y/o colectiva respecto al tratamiento de residuos y su influencia en la mejora del entorno. 2. Las Creencias relativas a los residuos y su influencia en el desarrollo sostenible. 3. Las Creencias y reflexiones personales relativas a la educación ambiental. 4. Las Concepciones y creencias respecto al reciclado y 5. El Comportamiento humano y sostenibilidad medioambiental. También se realizará un cuestionario al profesorado que imparte docencia en ambos Grados sobre en qué medida sus asignaturas son sostenibles o no, que metodologías utilizan para ello y que mejoras pueden aplicarse en ellas. Ambos cuestionarios se realizarán al mismo tiempo en todas las Universidades que colaboran en este Proyecto de Innovación de la UPO. Esto lo hacemos porque pensamos que con ello, se convertirán en participantes activos en su proceso de enseñanzaaprendizaje, en donde dicho aprendizaje devenga en un proceso natural de construcción del conocimiento y acción responsable en la solución de problemas medioambientales, proceso que vamos a seguir en todas las EB. Como la finalidad de ambas asignaturas es la realización de un Proyecto en grupo vamos a partir de los resultados obtenidos en el diagnóstico inicial, la función del profesorado, en las EB será la de asegurarse de que el alumnado tiene todo lo necesario para plantearlo y llevarlo a cabo y que en su desarrollo se consigan las competencias propuestas anteriormente. Para ello además de proporcionarle el contenido necesario del mismo en cada una de las sesiones, lo orientará teórica y metodológicamente para complementarlo con las EPDs. El alumnado, para ello en las EB tendrá que: 1. Seleccionar un tema y planteamiento de la pregunta guía. Elegir un tema ligado a su realidad que los motive a aprender y le permita desarrollar los objetivos cognitivos y competenciales del curso que buscas trabajar. 2. Formación de los equipos. Organiza grupos de tres o cuatro alumnos, para que haya diversidad de perfiles y cada uno desempeñe un rol. 3. Definición del proyecto. Establecer el proyecto que va a desarrollar en función de los objetivos que quieran conseguir. Puede tener distintos formatos: un folleto, una campaña, una presentación, una investigación científica, una maqueta... 4. Planificación. Presentar un plan de trabajo donde especifiquen las tareas previstas, los encargados de cada una y el calendario para realizarlas. Con respecto a las EPDs se llevará a cabo más concretamente el seguimiento del trabajo en equipo 1.- Cada docente asume un grupo de EPD (5 Sesiones) con el que trabaja a lo largo del segundo semestre llevando a

cabo un seguimiento individual y grupal del proyecto que ha de presentarse. En cada sesión se revisa la actividad realizada por el grupo así como la planificación de la siguiente a desarrollar, tanto en el aula como de forma autónoma. Los contenidos y la organización del Proyecto Final se especifican en la guía específica de la asignatura que en la EB que ha sido consensuada con el alumnado para dar respuesta científica a las creencias expuestas en el cuestionario.

Con respecto a las EB, éstas se evaluarán a través de las actividades, que de manera continua, irá planteando el profesorado en clase para que el alumnado desarrolle, a partir de la documentación que se irá proporcionando de acuerdo con los contenidos expuestos en la Guía Docente. Dichas actividades serán también consensuadas con el profesorado de las otras Universidades, ya que en el proceso de debate se puede llegar a detectar que actividad es la más adecuada dependiendo del proceso que están desarrollando el alumnado en el aula. El alumno deberá ir aportando las actividades a través de la plataforma en las fechas consensuada con el profesorado. En relación a las EPDs cada docente tendrá un grupo, hecho que permite un mejor seguimiento del alumnado, por lo que la evaluación puede ser realmente continua de las personas participantes en cada grupo de EPD. Para ésta se diseñará una herramienta común que permita ver cómo y en qué sentido avanza el grupo y adquiere las competencias necesarias para la superación de la asignatura, en esta herramienta se recogerán entre otros aspectos como: participación en las actividades, presencia en el aula, intervenciones realizadas, etc. Al finalizar la actividad se pasará una encuesta al conjunto de personas participante tanto en la asignatura como aquellas que participen en alguna de las sesiones abiertas. En la que, a través de preguntas cerradas, se pueda baremar la percepción por parte del alumnado de la experiencia. Así mismo, se volverá a pasar al alumnado el mismo cuestionario que se pasó antes de comenzar la asignatura para comprobar las diferencias existentes.

4. CONSIDERACIONES FINALES

Los aprendizajes que conlleven esta experiencia pueden ser transferidos a otras materias desde distintos ámbitos e incluso a las distintas materias de las Universidades que colaboran. Al mismo tiempo que nuestro alumnado conozcan las actividades realizadas en otros contextos, ampliará su visión sobre las temáticas ambientales en general y sobre la Educación Ambiental, en particular. A su vez con respecto al ámbito organizativo en general, esta innovación puede ayudar a que: a. Se incorporen, en años sucesivos, en las Guías específicas elementos más concretos referentes a los trabajos a realizar por parte del alumnado, en la línea de favorecer la mejor comprensión y seguimiento de las asignaturas, haciendo de estas guías elementos más útiles. b. Se integren meto-

dologías de este tipo en otras asignaturas para que así ayuden a una mejor comprensión interdisciplinar de la temática ambiental desde el ámbito de las Educación Social y las Ciencias Ambientales. c. Se promueva la elección de las temáticas ambientales del alumnado de Educación Social y Ciencias Ambientales para la elección de sus futuros Trabajos Fin de Grado.

A nivel más particular del alumnado, la introducción del aprendizaje basado en proyectos en otras materias les puede ayudar a: a. Integrar las diferentes asignaturas, reforzando la visión de conjunto de las competencias recibidas en los respectivos Grados. b. Organizar actividades en torno a un fin común, definido a partir de sus intereses y de compromisos adquirido por ellos/as. c. Fomentar la creatividad, la responsabilidad individual, el trabajo colaborativo, la capacidad crítica, la toma de decisiones, la eficiencia y la facilidad de expresar sus opiniones personales. d. Prepararse ante el desarrollo y exposición de los Trabajos Fin de Grado ya que la experiencia promueve una forma de estructuración y presentación pública de los trabajos en contextos propios de la actividad académica y profesional, congresos, simposios, etc., al tiempo que hace participe al grupo de iguales de los progresos e inquietudes del conjunto de su promoción.

REFERENCIAS

- [1] Amador, L y Esteban, (2011): Desde la educación social a la educación ambiental. Hacia una intervención educativa socioambiental. *Revista Humanidades* nº 18, p 147-160.
- [2] Bevins, S., y Price, G. (2014) Collaboration between academias and teachers: a complex relationship. *Educational Action Research*, 22(2), 270-284.
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09650792.2013.869181?queryID=%24%7BresultBean.queryID%7D&>
- [3] González y Barba (2014): Formación Permanente y Desarrollo de la Identidad del Profesorado desde la perspectiva individual y grupal. *Revista de Curriculum y Formación del Profesorado* 18 (1), pp 397-412.



Macarena Esteban Ibáñez es Coordinadora del Master Interuniversitario en Educación Ambiental en la Universidad Pablo de Olavide. Docente en asignaturas relacionadas con temáticas ambientales. Dirección de proyectos de investigación e innovaciones acordes a las temáticas expuestas. Autora de artículos y capítulos en revistas y libros especializados.



Luis Vicente Amador Muñoz es Director del Grupo de Investigación en Acción Socioeducativa (GIAS). Autor y coautor de artículos, capítulos de libros y textos en el ámbito de formación y acción socioeducativa, entre otros en medio ambiente, infancia, familia y cohesión social. Así mismo ha dirigido, dirige y participa en diversos proyectos relacionados con las temáticas expuestas

La termodinámica del metabolismo

Enrique J. Clavijo Bernal

Resumen—El metabolismo, un pilar fundamental de la vida tal y como la conocemos, está íntimamente ligado a procesos termodinámicos que proporcionan materia y energía a los seres vivos. Las biomoléculas, cuya función es mantener vivo al organismo y configurarlo, necesitan energía en su síntesis y la producen en su degradación. El metabolismo engloba a todos los procesos mencionados anteriormente.

Palabras clave—Energía, glúcidos, lípidos, metabolismo, termodinámica.

1. INTRODUCCIÓN.

Comenzaremos con una breve definición de metabolismo: el metabolismo es el conjunto de reacciones bioquímicas y procesos fisicoquímicos que ocurren en una célula y en el organismo con el objetivo de generar materia y energía. Estos complejos procesos interrelacionados son la base de la vida a escala molecular y permiten las diversas actividades de las células: crecer, reproducirse, mantener sus estructuras y responder a estímulos, entre otras. [1]

Las rutas metabólicas son las distintas reacciones que sigue el metabolismo para llevar a cabo sus funciones. En este artículo consideraremos dos principales, de las que se derivarán otras como ejemplos. Las principales rutas son el catabolismo y el anabolismo. El catabolismo consiste en degradar materia orgánica compleja a materia más sencilla obteniendo energía, mientras que el anabolismo consiste en usar esa energía para sintetizar materia orgánica necesaria para la vida.

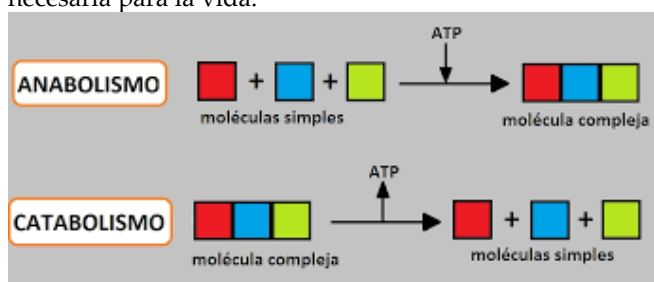


Fig 1. Ilustración de las principales rutas metabólicas.

Como en todos los procesos biológicos, la química y la física juegan un papel muy importante. En este caso vamos a detallar los distintos procesos termoquímicos que tienen lugar en el metabolismo. La energía, la espontaneidad de las reacciones, la entalpía, la entropía (entre otros) son conceptos que influyen en la dinámica de la vida y que a su vez forman parte de la ciencia que relacionaremos en este artículo con la biología: la Termodinámica (más en concreto la Termoquímica, ciencia que consiste en el estudio de las transformaciones que sufre la energía calorífica en las reacciones químicas). [2]

Finalmente, debemos tener claro que la energía ni se crea ni se destruye, siendo ésta conservada y transformada (Primera Ley de la Termodinámica), y que todos los

procesos están influidos por una variable llamada entropía que mide el desorden o el orden generado por los mismos, y que influye a su vez en otros procesos como la espontaneidad de una reacción (Segunda Ley de la Termodinámica). [2]

2. PROCESOS TERMOQUÍMICOS EN ALGUNAS FASES DEL CATABOLISMO.

El catabolismo es un conjunto de procesos que podríamos denominar exotérmico y espontáneo, ya que genera energía (en parte calorífica) que será utilizada posteriormente en otras fases del metabolismo. En este proceso, la energía libre de Gibbs tiene un valor negativo [3], lo que indica la espontaneidad del proceso químico. De la Energía libre de Gibbs obtendremos la ecuación que determinará la espontaneidad de la reacción. Dicha energía es un potencial termodinámico que da la condición de equilibrio y de espontaneidad para una reacción química (a presión y temperatura constantes).

Se simboliza con la letra G mayúscula:

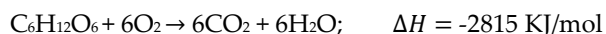
$$\Delta G = \Delta H - T * \Delta S \quad (1) \quad [4],[6].$$

En el caso del catabolismo, la reacción es exotérmica (entalpía, $\Delta H < 0$) y en todos los casos hay un incremento del desorden (entropía, $\Delta S > 0$). Esto se debe a que la materia orgánica compleja pasa a muchas moléculas sencillas y energía liberada, generando desorden. Mediante cálculos matemáticos, en la ecuación (1) obtenemos siempre un ΔG negativo (espontaneidad).

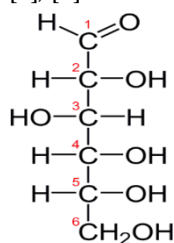
2.1. Catabolismo de glúcidos.

El catabolismo de los glúcidos (principalmente glucosa) y el de los lípidos son bastante importantes desde el punto de vista energético, ya que la mayor parte de la energía en los mamíferos es almacenada en dichas biomoléculas. Éstos tienen un poder de almacenamiento energético de 9,4 kcal/gramo en el caso de los lípidos y de 4,1 kcal/gramo en glúcidos. [5] En el caso de los glúcidos consideraremos como reacción principal la oxidación de la glucosa en

condiciones aeróbicas, es decir, en presencia de O_2 . De esta forma, la glucosa se oxida completamente. La ecuación termoquímica que describe dicha reacción de oxidación sería la siguiente:



[6], [8]



Los pasos que seguiría una molécula de glucosa en su oxidación completa serían los siguientes: [7]

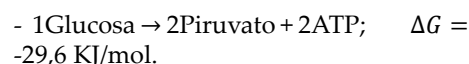


Fig 2. Molécula de glucosa

El piruvato sufre un proceso denominado descarboxilación oxidativa que, mediado por enzimas, lo hace convertirse a acetil-CoA. La reacción sería la siguiente:

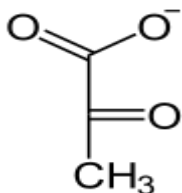


Fig. 3: Piruvato

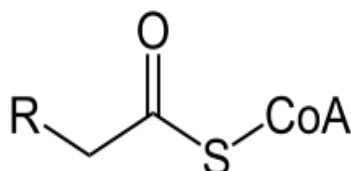


Fig. 4: Acetil-CoA

Finalmente, el acetil-CoA sufrirá unas reacciones de óxido-reducción en la matriz mitocondrial por las que su energía pasará a ser ATP, y poder reductor (NADH, FADH₂), CO₂ y calor disipado. Este proceso es denominado Ciclo de Krebs. Atendiendo a las leyes de la Termodinámica [6], toda la energía se transforma, ninguna se destruye. Como hemos visto, la energía que contenía el polihidroxialdehído glucosa en sus enlaces se ha convertido en energía contenida en otras moléculas como ATP (Adenosín Trifosfato), otras moléculas y calor disipado, que ayuda, entre otras cosas, a mantener la temperatura corporal entre 35 y 37 °C. Atendiendo a la definición de entropía, vemos como en este proceso se incrementa, ya que de una simple molécula de glucosa se han generado muchas moléculas más pequeñas en estado gaseoso, en disolución acuosa y energía, que incrementan el desorden.

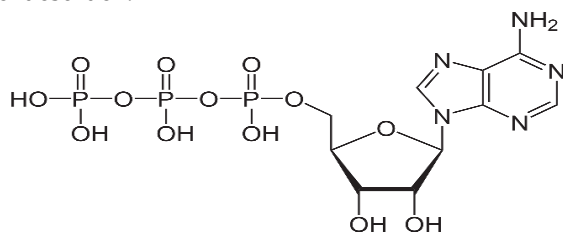
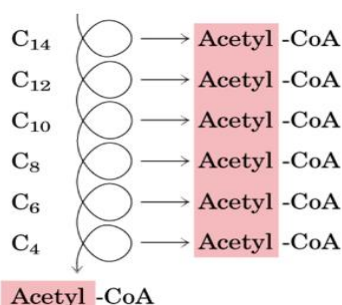


Fig 5. Adenosín Trifosfato

2.2. Catabolismo de lípidos.

Los lípidos siguen una dinámica igual que los glúcidos. La única diferencia es que deben llegar al nivel de acetil-CoA. Para ello siguen un proceso llamado β -oxidación, que tiene como misión la conversión de la larga molécula grasa (entre 12 y 26 carbonos) en moléculas con 2 átomos de

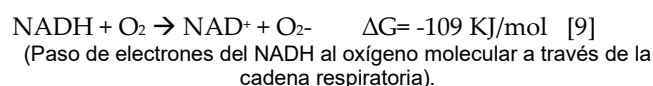


carbono, llamadas acetil, y generando también poder reductor (NADH, FADH₂). Este acetil pasa a ser Acetil-CoA mediante la misma reacción que los glúcidos, y puede entrar en el Ciclo de Krebs. La β -oxidación está mediada por complejos enzimáticos. [8].

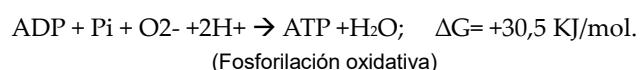
Fig 5. β -oxidación de ácidos grasos.

2.3. Fosforilación oxidativa.

Tras pasar el Ciclo de Krebs, todo el poder reductor obtenido anteriormente generará la mayor parte de la energía metabólica en forma de nucleótidos fosfatados como el ATP. En las crestas mitocondriales, unos complejos enzimáticos bombean los electrones proporcionados por el NADH y el FADH₂.



Esta energía (generada anteriormente por procesos termodinámicamente espontáneos) se usa para bombear protones, creando un gradiente electroquímico entre la matriz mitocondrial y el espacio intermembrana. Cuando el organismo necesita energía, se produce un acoplamiento quimiosmótico generando, gracias al complejo enzimático ATPasa, moléculas de ATP a partir de ADP.



Como podemos apreciar, no se trata de una reacción espontánea, pero gracias a la energía proveniente de glúcidos y lípidos, existe un potencial termodinámico negativo que es aprovechado para solventar este escalón energético, consiguiendo llevar a cabo la fosforilación oxidativa. [8]

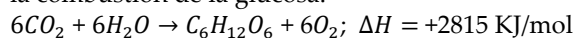
3. PROCESOS TERMOQUÍMICOS EN ALGUNAS FASES DEL ANABOLISMO.

Los procesos anabólicos (en este caso trataremos la fotosíntesis) no son espontáneos ($\Delta G > 0$). A partir de la energía generada en el catabolismo, las células pueden convertir materia simple en otra más compleja y usarla en beneficio propio. Atendiendo a las Leyes de la Termodinámica, una vez más apreciamos cómo la energía no se destruye, sino que se transforma en moléculas

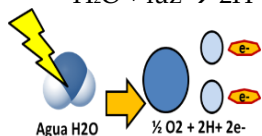
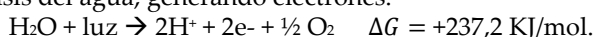
complejas (queda contenida en sus enlaces). Globalmente, el anabolismo lleva a cabo procesos con entropía negativa ($\Delta S < 0$), ya que se pasa de moléculas simples a moléculas complejas, reduciendo el desorden [7],[8],[9].

3.1 Fotosíntesis.

La fotosíntesis se basa justamente en la reacción inversa a la combustión de la glucosa:



La entalpía del proceso es positiva, y la entropía negativa. Por lo tanto, confirmamos que se trata de un proceso no espontáneo. De la ecuación $\Delta G = \Delta H - T * \Delta S$ (1), y con los datos anteriores obtenemos un $\Delta G > 0$. Para sobrepasar este escalón energético, las células fotosintéticas usan la energía solar para producir la fotólisis del agua, generando electrones:



Estos electrones pasan por diversas cadenas de transporte en el cloroplasto, bombeando de una forma similar que en el

Fig 6. Fotólisis del agua. catabolismo los protones necesarios y creando un gradiente electroquímico. Con ello, se vuelve a superar el escalón energético de la fosforilación oxidativa ($\Delta G = +30,5 \text{ KJ/mol}$). Finalmente, con el ATP generado es posible llevar a cabo la reacción global de la fotosíntesis: la síntesis de glucosa, una reacción endotérmica y termodinámicamente no espontánea que usa la energía almacenada en los enlaces químicos del ATP. [9]

Desde el punto de vista termoquímico, este proceso anabólico convierte la energía luminosa en energía química y materia orgánica compleja, que servirán a los organismos productores de las mismas y a los consumidores, que son otros seres vivos que se sirven de los organismos productores para subsistir. [8]

CADENA TRÓFICA



Fig 7. Pirámide trófica. Representa el paso de energía a través de los distintos niveles de organización bioquímica.

4. CONCLUSIONES.

En conclusión, podemos afirmar que la biología, la química y la física son ciencias interrelacionadas. El metabolismo, que es un pilar fundamental de la vida, sigue las leyes de la Termodinámica y lleva a cabo procesos endotérmicos y exotérmicos, espontáneos y no espontáneos. En el caso de los no espontáneos, la energía necesaria siempre es obtenida a partir de otras reacciones o de fuentes externas. De esta forma, muchos procesos se acoplan para que, aunque no sean espontáneos, puedan llevarse a cabo y así obtener toda la materia y energía necesarias para la vida.

REFERENCIAS:

- [1] Enlace web Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Metabolismo>
- [2] enlace web Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Termoquimica>
- [3] <http://www.news-medical.net/life-sciences/Metabolism-Thermodynamics.aspx>
- [4] Enlace web Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_de_Gibbs
- [5] Enlace web Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADpido#Funciones>
- [6] Libro: A.P. Magariños, R.M. Sánchez, A.R. Cardona, A.R. Sáenz de Miera. "Química 2º Bachillerato", McGraw Hill. Páginas 74-108, Termoquímica.
- [7] Enlace web Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Gluc%C3%B3lisis>
- [8] Libro: M.G. Gregorio, M^a.A.G. Papi, J.F. Egea. "Biología 2º Bachillerato", CCIR. Páginas 194-231, Metabolismo, Respiración y Fotosíntesis
- [9] Libro: B.Alberts, A.Johnson, J.Lewis, D.Morgan, M.Raff, K.Roberts, P.Walter. "Molecular Biology of the cell. Sixth edition", Garland Science. Páginas 753-813, Chapter 14: Energy Conversion (Mitochondria and Chloroplasts).



Enrique J. Clavijo Bernal es alumno de la Universidad Pablo de Olavide, estudiando el primer curso del Grado en Biotecnología, Facultad de Ciencias Experimentales.

Cannabinoides sintéticos

Carlos Sánchez Moreno

Resumen—En este artículo vamos a hacer una breve introducción a los cannabinoides sintéticos explicando qué son y cuál fue la historia desde su creación con fines de investigación, por parte de John W. Huffman, hasta su aparición en las calles. Vamos a tratar también tanto la farmacología y toxicología como la detección e identificación de estos, y cómo afectan al cuerpo humano tanto a nivel físico como psicológico.

Palabras Claves— Spice, cannabinoides, JWH-018, drogas, K2.

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2004, laboratorios callejeros comenzaron a producir y vender una nueva droga muy similar a la marihuana en cuanto a su aspecto y forma de consumo, pero mucho más potente y peligrosa. Conocida comúnmente por el nombre de “Spice” o “K2” esta nueva droga llegó a algunos mercados como el de EEUU siendo vendida como incienso y como no apto para el consumo humano, pero debido a sus efectos se usó principalmente como sustituto legal de la marihuana (*Cannabis sativa*) ya que esta sustancia se encuentra fiscalizada (actualmente se ha legalizado el *Cannabis* en algunos estados de EEUU, siendo uno de los objetivos el de evitar que los consumidores recurran a este nuevo tipo de drogas).

El “cannabis” sintético aparentemente es como el convencional, de hecho, afecta también a los receptores cannabinoides del cuerpo humano (CB1 y CB2). Suele ser vendido en bolsitas con dibujos de playas o zonas tropicales y con el logotipo de K2 (Figura 1) en cuyo interior se encuentra una planta seca distinta a la marihuana pero que al ser fumada producen gran variedad de efectos secundarios, entre los que se encuentran: alucinaciones, paranoia, convulsiones, taquicardia, problemas cardiacos, psicosis aguda, vómitos, derrames cerebrales e incluso la muerte. [1]

Dado el desconocimiento sobre esta sustancia, sus efectos y su aparente similitud con la *Cannabis sativa*, vamos a hablar de qué está compuesto el Spice, como afecta a los receptores cannabinoides y que efectos producen en el cuerpo humano.



Fig. 1. Ejemplo de presentación de Spice.

2. LOS CANNABINOIDES SINTÉTICOS

2.1. ¿Qué son?

Según el National Institute on Drug Abuse, los cannabinoides sintéticos hacen referencia a un número creciente de compuestos químicos artificiales que, o bien se rocían sobre diverso material vegetal seco o desmenuzado para ser fumado (incienso herbal), o bien son vendidos en forma líquida para ser vaporizados e inhalados en cigarrillos electrónicos u otros aparatos (inciensos líquidos). [2]

La DEA (Drug Enforcement Administration) define al “Spice” o “K2” como una mezcla de hierbas y especias que son típicamente rociadas con compuestos químicamente similares al delta-9-tetrahydrocannabinol (THC), el componente psicoactivo de la marihuana. [3]

Estos compuestos químicos normalmente son HU-210, HU-211 (Hebrew University), JWH-018 y JWH-073 (John W. Huffman). Se suelen identificar con la sigla del investigador o la universidad que los sintetizaron por primera vez. También se encuentran entre los más conocidos AM-2201 (Alexandros Makriyannis), CP-47,497 (Charles Pfizer), WIN-55,212-2 (Sterling-Winthrop, Inc.). [4]

2.2. John W. Huffman y el JWH-018

John W. Huffman, más conocido por las siglas JWH, obtuvo su doctorado en la Universidad de Harvard y fue profesor en la Universidad de Clemson. Es conocido por

haber sintetizado más de 450 cannabinoides sintéticos, entre ellos el JWH-018 y JWH-073, siendo el inventor más prolífico de cannabinoides sintéticos.

Investigó los receptores cannabinoides examinando la interacción de estos con distintos compuestos sintéticos. Financiado por el National Institute on Drug Abuse produjo cientos de cannabinoides sintéticos, los cuales usaban como herramientas farmacológicas para entender que ocurría en el cerebro, siendo éstos nombrados por la manera en la que interactuaban con su receptor y no por emular los efectos secundarios del alcaloide más famoso de la *Cannabis sativa*.

En aquel entonces su mujer fue diagnosticada de esclerosis múltiple y él mismo reconoció que estaba tan preocupado por la intermediación de su trabajo y su situación familiar que no se dio cuenta de que estaba escribiendo inconscientemente un libro de recetas para fabricar “drogas callejeras”. Según Huffman, la química para fabricar esos compuestos era muy simple y antigua, con solo tres materiales y dos pasos podías fabricar en unos pocos días una cantidad suficiente para causar estragos.

Lo que pasó después no está muy claro, pero se conoce que Huffman sintetizó JWH-018 en 1993 y publicó la fórmula en una serie de revistas y libros llamados “Los receptores cannabinoides”. No se tiene conocimiento de qué artículo fue usado por los químicos clandestinos para fabricarla, pero más tarde en 2008, ese compuesto fue identificado a unas 4500 millas en un laboratorio forense de Alemania. Los fabricantes habían rociado los cannabinoides sintéticos en hojas de plantas secas y las habían puesto en venta junto a otros cannabinoides bajo el nombre de Spice, siendo el JWH-018 el primer cannabinoides sintético identificado como un producto adulterante en Alemania, según la DEA. [5]

En un artículo publicado en Elsevier [6] se dice que, en 2012, la serie JWH de cannabinoides son los dominantes en cuanto a cannabinoides detectados en Spice. Según Huffman en 2009, el JWH-018 (1-pentyl-3-(1-naphthoyl)indole) fue uno de los primeros compuestos en ser usado y probablemente seleccionado por ser de fácil síntesis y tener una alta actividad farmacológica. Hasta la fecha, se realizaron y publicaron más de 40 estudios examinando los efectos *in vitro* e *in vivo* del JWH-018 (mostrado en la figura 2, junto con el JWH-250 y el WIN55.212-2) en PUBMED [7]. Su estructura química está basada en la del WIN 55.212-2, el aminoalquilindol prototipo cannabinoide.

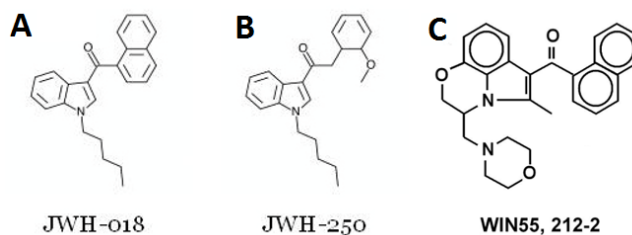


Fig. 2. Representación de las moléculas A) JWH-018, B) JWH-250 y C) WIN55, 212-2. [8]

3. DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SPICE

Ante el peligro para la salud pública que puede suponer una sustancia así en el mercado hay que actuar y desarrollar un método para conocer y especificar qué cannabinoides sintéticos contiene el Spice.

Según Moran en 2011, el constante cambio de la composición del Spice plantea cargas significativas a los laboratorios forenses y de salud pública encargados de caracterizar estas nuevas drogas de abuso. Se hicieron entonces grandes esfuerzos para desarrollar técnicas analíticas para identificar y cuantificar los cannabinoides sintéticos rociados en las plantas del Spice, incluyendo entre estas técnicas la cromatografía líquida con espectrómetro de masas (LC-MS/MS) y la espectrometría de masas MALDI-TOF. Todas estas técnicas cumplen con los requisitos de especificidad, exactitud, precisión y sensibilidad planteados por los laboratorios forenses, incluso cuando se añaden agentes que tratan de ocultar, como la glicerina y amidas de ácidos grasos. Todas las estrategias analíticas requieren la detección del compuesto psicoactivo en bajas concentraciones (0,1-1,0% del peso total). Estas técnicas fueron usadas por Hudson y sus compañeros para detectar cannabinoides previamente reportados y sin reportar en el Spice. Los resultados de estos estudios proporcionaron una base de datos detallada de más de 140 productos químicos asociados a estas “drogas legales”. La mayoría de los detectados hasta la fecha pueden caracterizarse generalmente como aminoalquilindoles originalmente sintetizados por John W. Huffman o Alexandros Makriyannis (JWH-018, JWH-122, AM-2201...), cyclohexyfenoles originalmente sintetizados por Pfizer (como por ejemplo CP-47,497 y los homólogos de C8), benzoylindoles producidos por Research Chemical Suppliers (RCS-4 y RCS-8), o cannabinoides clásicos producidos originalmente en la Universidad de Hebrew (HU-210). [6]

Hasta hace poco, según Moran en 2011, la detección de droga en la orina era difícil debido a ligeras diferencias entre las estructuras químicas presentes en el Spice, la falta de estándares metabólicos de referencia apropiados, y la capacidad de los laboratorios. El JWH-018 y otros cannabinoides sintéticos se miden con mayor frecuencia

en suero humano mediante LC-MS/MS al igual que los metabolitos de diversos cannabinoides sintéticos. [6]

La validación en los procedimientos de prueba en fluidos orales se lleva a cabo usando un dispositivo llamado Quantisal TM, el cual incorpora el uso de extracción en fase sólida y el LC-MS. [6]

El análisis de fluidos orales, tanto en espacios de trabajo como por cumplimiento de la ley, puede proporcionar información de un consumo reciente de droga. El procedimiento analítico descrito por Coulter permitió la detección de JWH-018 después de una sola sesión en la que se fumaron dos marcas diferentes, cuyos nombres son "Blueberry Posh" y "Black Mamba". [6]

4. FARMACOLOGÍA Y TOXICOLOGÍA

Los receptores cannabinoides CB1 son de los receptores GPCRs más abundantes en el cerebro y juegan un papel significativo en la modulación de los neurotransmisores GABA (principal neurotransmisor inhibitorio del SNC) y glutamato. Los receptores cannabinoides CB2 se encuentran predominantemente en células del sistema inmunitario y se cree que median la inmunosupresión al inducir la apoptosis, la inhibición de la proliferación y la supresión de la producción de citoquinas y quimiocinas. [6]

Aunque los efectos del Spice se describen como parecidos a los de la marihuana tras ser fumados o ingeridos, las implicaciones en la salud no están descritas por completo. Los datos disponibles indican que estos compuestos producen un conjunto de efectos parecidos a los producidos por intoxicación por THC, aunque los análisis que relacionan la estructura con la actividad revelan que algunos compuestos pueden exhibir mayor potencia y afinidad por los receptores cannabinoides, según Huffman y Padgett en 2005. A parte de ser más potentes, algunos cannabinoides sintéticos tienen una vida media más larga. [6]

Son los investigadores, científicos y clínicos los encargados de caracterizar las propiedades farmacocinéticas y farmacodinámicas de estas sustancias tóxicas para posteriormente poder caracterizar los efectos a corto y a largo plazo.

Los perfiles farmacocinéticos y farmacodinámicos de los cannabinoides sintéticos son en gran parte desconocidos. El JWH-018 tiene un tiempo de vida media corto en sangre tras ser fumado y muestra afinidad por los receptores de cannabinoides CB1 y CB2, estos últimos se encuentran en mayor concentración en la zona marginal del bazo, las amígdalas y células del sistema inmune, especialmente en macrófagos, células B, células llamadas "natural killer", monocitos, linfocitos T, neutrófilos polimorfonucleares y astrocitos, por lo tanto se puede afirmar que los fármacos

que contienen el Spice, al afectar a los receptores CB2 también pueden afectar al sistema inmunológico modulando la quimiotaxis de los linfocitos T según Ghosh S en 2006, o induciendo la atrofia tímica y la apoptosis. Además, la presencia de receptores CB2 en neuronas y células gliares en el cerebro (Onaivi, 2006) apoya la idea de que JWH-018 y JWH-133 también pueden afectar a procesos celulares neuronales básicos como la proliferación y supervivencia celular (Fernández-Ruiz, 2007). [6]

En cuanto al JWH-018, está clasificado como un agonista completo en los receptores CB1 con una concentración máxima in vitro que rivaliza con algunos de los cannabinoides más potentes como CP-55.940 y es aproximadamente 5 veces más eficaz que el THC (Brents, 2011). En la figura 3 podemos ver una representación esquemática que sintetiza lo que se conoce acerca del metabolismo del JWH-018, la excreción y potenciales interacciones con los receptores CB1 y otros objetivos fisiológicos, como los receptores CB2. [6]

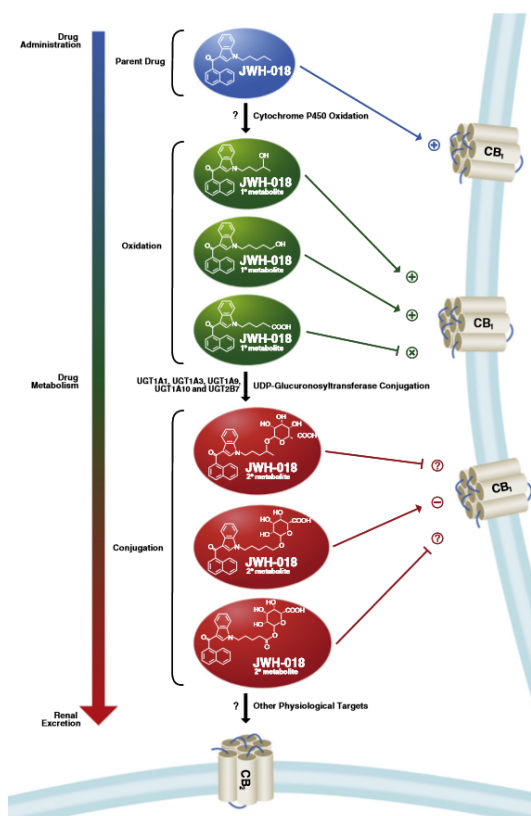


Fig. 3. Representación esquemática que sintetiza lo que se conoce acerca del metabolismo del JWH-018, la excreción y potenciales interacciones con los receptores CB1 y otros objetivos fisiológicos, como los receptores CB2. "+" indica agonismo, "-" indica antagonismo, "X" indica ausencia afín de unión, y "?" indica que no se conoce. [6]

4.1. Efectos

Algunos de los efectos observados en personas que han consumido estos tipos de sustancias son los siguientes: [6]

En cuanto a efectos psicoactivos: agradables, euforia, ansiedad, psicosis, alteraciones de las habilidades cognitivas, irritabilidad, sedación, confusión, somnolencia, cambios en el apetito.

En cuanto a efectos físicos: agitación psicomotora, sudoración abundante, taquicardia, cardiotoxicidad, náuseas, vómitos, pupilas dilatadas, dolor en el pecho, arritmia cardíaca y convulsiones.

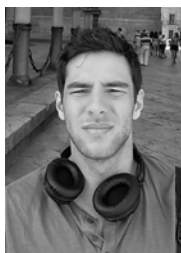
5. CONCLUSIONES

Aunque el Spice tenga un aspecto físico y se realice un marketing similar al de la marihuana, hay que tener claras las diferencias entre ambos. El Spice es una droga relativamente nueva y muy peligrosa que incluso puede llegar a provocar la muerte. Al haber tantos cannabinoides sintéticos y no pasar ningún tipo de control, el consumidor no sabe a priori qué está tomando y esto puede resultar fatal. Si a esto añadimos que los fabricantes van cambiando las formulas para intentar evadir a las autoridades, el descontrol aumenta.

Este es un ejemplo de cómo algunas investigaciones en la ciencia dan a veces giros inesperados, y cómo el trabajo de un investigador se convierte sin quererlo en un problema para la salud pública.

REFERENCIAS

- [1] Forbes - Pharma & Healthcare. <http://www.forbes.com/sites/alicegwalton/2014/08/28/6-reasons-synthetic-marijuana-spice-k2-is-so-toxic-to-the-brain/#712acc8449eb> (Enlace web)
- [2] National Institute on Drug Abuse. <https://www.drugabuse.gov/es/publicaciones/drugfacts/los-cannabinoides-sinteticos> (Enlace web)
- [3] Drug Enforcement Administration. https://www.dea.gov/druginfo/drug_data_sheets/K2_Spice.pdf (Documento web)
- [4] Energy Control. <http://energycontrol.org/infodrogas/otras/rcs-legal-highs-nuevas-sustancias-de-sintesis/articulos-generales/549-cannabinoides-sinteticos.html>
- [5] The Washington Post. https://www.washingtonpost.com/local/social-issues/how-a-chemist-unwittingly-helped-spawn-the-synthetic-drug-epidemic/2015/08/09/94454824-3633-11e5-9739-170df8af8eb9_story.html?utm_term=.9fbf340f9bfa
- [6] ELSEVIER. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.66.9.2053&rep=rep1&type=pdf>
- [7] PUBMED
Biotransformation of synthetic cannabinoids JWH-018, JWH-073 and AM2201 by Cunninghamella elegans. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26907475>
- Data on individual metabolites of synthetic cannabinoids JWH-018, JWH-073 and AM2201 by Cunninghamella elegans. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26977432>
- Toxicological impact of JWH-018 and its phase I metabolite N-(3-hydroxypentyl) on human cell lines. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27054591>
- Development of a mass spectrometric hydroxyl-position determination method for the hydroxyindole metabolites of JWH-018 by GC-MS/MS. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27194519>
- Synthetic cannabinoid JWH-018 and its halogenated derivatives JWH-018-Cl and JWH-018-Br impair Novel Object Recognition in mice: Behavioral, electrophysiological and neurochemical evidence. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27346209>
- [Synthetic Cannabinoid Receptor Agonist-Associated Psychotic Disorder: A Case Report]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27369687>
- JWH-018 ω -OH, a shared hydroxy metabolite of the two synthetic cannabinoids JWH-018 and AM-2201, undergoes oxidation by alcohol dehydrogenase and aldehyde dehydrogenase enzymes in vitro forming the carboxylic acid metabolite. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27421777>
- Evaluation of first generation synthetic cannabinoids on binding at non-cannabinoid receptors and in a battery of in vivo assays in mice. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27449567>
- Effect of the novel synthetic cannabinoids AKB48 and 5F-AKB48 on "tetrad", sensorimotor, neurological and neurochemical responses in mice. In vitro and in vivo pharmacological studies. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27527584>
- Combination Chemistry: Structure-Activity Relationships of Novel Psychoactive Cannabinoids. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27753007>
- [8] SCAHQ - Society of cardiovascular anesthesiologist. <http://www.scahq.org/sca3/newsletters/2011feb/litreview4.html>



Carlos Sánchez Moreno alumno de cuarto año del Grado en Criminología en la Universidad Pablo de Olavide.

La ‘Droga Cannibal’ y la ‘Flakka’; características y actualidad

Juan Manuel Pacheco Montaña

Resumen— En este artículo analizamos la metilendioxipirovalerona (MDPV), también conocida como Droga Caníbal; analizando las verdades y mentiras especuladas sobre ella y los cambios producidos debido a la importancia que ha adquirido en los últimos años.

Palabras Claves— Metilendioxipirovalerona, MDPV, Flakka, Droga Caníbal, Química Forense.

1. INTRODUCCIÓN

Mucho se ha hablado con anterioridad de la Metilendioxipirovalerona (MDPV), conocida popularmente como Cielo de Vainilla o Droga Caníbal por los que efectos que supuestamente producía según las especulaciones del momento. Esta peligrosa droga actúa como un estimulante nervioso bastante potente perteneciente al grupo de la catinona, sustancia activa que también comparte con la planta africana del Khat o con el Bupropion (medicamento usado para dejar de fumar).

Esta sustancia, sintetizada en 1969 por primera vez, nació con finalidad de antidepresivo aunque fue retirado al observarse sus efectos secundarios. Esta situación perdura hasta que en 2005 comienza a usarse con fines lucrativos, llegando a darse incluso su comercialización por Internet de forma totalmente legal junto con otras sustancias que, al igual que esta, no tenían regulada legalmente su situación, como los hongos psicodélicos o la droga de diseño ‘Spice’.

Como ya hemos dicho, mucho es lo que se ha hablado anteriormente de los efectos del MDPV o su relación con los ataques caníbales dados en los últimos años de forma esporádica y sin explicación alguna, y vamos a pasar a analizar alguna de ellas.

2. COMPOSICIÓN QUÍMICA

La cada vez más famosa Metilendioxipirovalerona, con la fórmula de $C_{16}H_{21}NO_3$, se encuentra relacionada con otras drogas como la metanfetamina debido a que comparten ciertas características como tener un único benceno en su composición o el doble enlazado del oxígeno en la feneti-

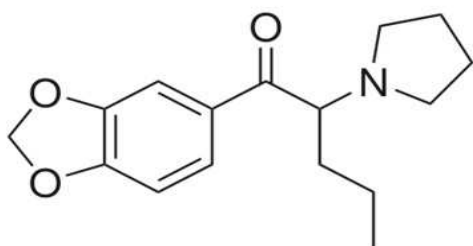


Fig. 1. Estructura de la Metilendioxipirovalerona.

lamina.

Pero también se ha de señalar que su origen puede ser más fácil de explicar de lo que parece, debido a que se establece su relación con el prolintano. Éste es el principio activo de un medicamento estimulante muy usado por estudiantes a principios de siglo, conocido como Katovit, hasta su retirada del mercado. Este principio activo se encontraría presente como una versión modificada en la pirovalerona; y ésta a su vez se puede encontrar en una versión ampliada en el MDPV.

3. LA MENTIRA DEL EFECTO CANÍBAL

Durante un tiempo se ha establecido la creencia de que el consumo esta sustancia era causante de un comportamiento violento y caníbal entre sus consumidores. Esta hipótesis se veía reforzada por ciertos casos, como el joven inglés en Mallorca en el año 2014, o el del joven Austin Harrouff de Florida en agosto de 2016; en los que ambos habían consumido esta sustancia y fueron sorprendidos dando mordiscos a sus víctimas.

Entre los efectos estudiados de esta sustancia se pueden observar euforia, excitación sexual y exaltación emocional, además de otros no tan gratificantes como ataques de ansiedad, tensión mandibular o ataques de pánico y psicosis. Además algunos consumidores afirman sufrir alucinaciones que viven como si fueran reales, desapareciendo sus efectos positivos muy rápido, lo cual favorece su consumo de forma repetitiva. Los efectos negativos, sin embargo, sí perduran durante mucho más tiempo apareciendo, por ejemplo, de forma rápida el síndrome de dependencia hacia ella.

Los estudios han ido revelando que esta reacción violenta observada en algunos casos no dependería de la droga en sí, sino de la situación y características previas del consumidor que desembocaría en una u otra respuesta y posibilitaría esta conducta caníbal en muchos casos si la persona sufre una enfermedad mental.

4. LA FLAKKA

Relacionada con el ya mencionado MDPV tenemos una nueva versión química de esta sustancia, y es que también

la llamada alfa-PVP o Flakka, cuya fórmula es $C_{15}H_{21}NO$, ha ido cobrando importancia en los últimos años. También como estimulador potente y perteneciente al grupo de las catinonas; esta nueva droga se asemeja especial-

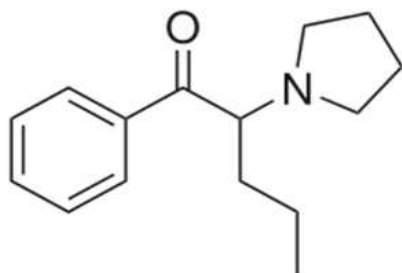


Fig. 2. Estructura de la α -Pyrrolidinovalerofenona.

mente a la Metilendioxipirovalerona en su composición y en los efectos que causa en el organismo.

Este nuevo estimulante sintético ha adquirido importancia debido a que, además de presentar efectos similares al MDPV como ya hemos indicado, presenta un bajo precio en el mercado, comercializándose legalmente debido a que no se ha llevado a cabo aún su regulación penal. Su designación popular es 'la droga de Hulk' debido a las sensaciones de los consumidores, y comienza a tomar cada vez más importancia en lugares recreativos como Magaluf (Mallorca).

5. SITUACIÓN LEGAL ACTUAL

Como ya hemos establecido, estas drogas sintéticas han ido adquiriendo importancia y fama en los últimos años debido al aumento de sus consumidores para fines recreativos y al impacto mediático de algunas de sus consecuencias. Podemos destacar algunas situaciones y noticias características recientes relacionadas con esto, como la desmantelación de una red de traficantes de MDPV en España, vinculado con un hombre finés muerto en Málaga en 2015 tras haber ingerido esta misma sustancia; o el dato publicado por un estudio que asegura que el 46% de los usuarios infectados por MDPV tenían antecedentes de problemas de salud mental diagnosticados.

Otros datos evaluados recientemente son, por ejemplo, los 108 casos de muerte por esta sustancia en 8 de los Estados miembros de la Unión Europea y Noruega, y 525 casos de intoxicación por esta misma en estos países.

Con todos estos datos, se da una situación en la que esta droga, encajada anteriormente en el marco de las sustancias emergentes (que al ser nuevas no tenían regulación legal alguna en el mercado), debe ser registrada en la legislación junto con el resto de sustancias reguladas. Es por ello por lo que los Ministros de la Unión Europea, en septiembre de 2004, aprueban una nueva legislación por la que se prohíben cuatro nuevas sustancias, entre la que se encontraba el MDPV además de la Metoxetamina (droga de diseño derivada de la ketamina), el AH-7921 (droga analgésica opioide de mayor potencia que la morfina) y el 25I-NBOMe (fenetilamina psicodélica de mayor potencia que el LSD; por lo que es conocido como 'el nuevo LSD').

Es por esta situación por lo que en España comienza a encontrarse prohibida esta sustancia, mientras que países como Reino Unido se registra en su listado de sustancias de tipo B, y países como Suecia, en cambio, regula su consumo.

En cambio, la α -Pyrrolidinovalerofenona (o Flakka, como comúnmente se le conoce, haciendo referencia a la expresión popular latina), no se encuentra aún regulada o fiscalizada por la mayoría de países, entre ellos España. Sólo algunos Estados como Reino Unido, la incluye (al igual que el MDPV) en su listado de sustancia de tipo B, u otros como EE.UU. la tiene registrada como sustancia prohibida en su territorio.

Ambas sustancias no pueden detectarse a través de la realización de cualquier prueba, sino que es necesario la realización de una Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas (GC-MS) para poder encontrarla en orina o pelo.

6. VERDADEROS PELIGROS DE ESTAS SUSTANCIAS

Posicionadas estas sustancias como 10 veces más potentes y adictivas que la metanfetamina; el MDPV y el α -PVP no destacan por su efecto cannibal debido a que, como ya hemos indicado con anterioridad, no es una consecuencia directa de la droga en particular sino de las condiciones de su consumidor.

En cambio, sí se presenta como un gran peligro su capacidad de adicción debido a que la poca duración de sus efectos positivos, como son la excitación o la euforia (en el α -PVP aún de menor duración que en el MDPV), conlleva una gran tendencia a repetir las dosis de manera frecuente y cercana, y esto a su vez desembocaría en un síndrome de abstinencia mucho más fuerte que el otras drogas como la cocaína o las anfetaminas. Así, se establece en estas sustancias el fuerte impacto del 'craving' (necesidad e impulso de continuar el consumo).

Además, debido a que su regulación en la legislación penal es reciente (MDPV) o prácticamente inexistente (α -PVP), es posible encontrarlas en el mercado con gran facilidad, especialmente en Internet, camufladas como 'sales de baño' u otros conceptos similares; y a bajos precios en comparación con otras drogas.

Sí es cierto y hay que señalar que actúa, aún en mayor medida, de forma similar a muchas de las drogas empaatógenas y estimulantes, como el MDMA o el éxtasis; pudiendo agravar algunas sobredosis y los episodios de agresividad y violencia en personas predispuestas a ello, aunque también se ha de indicar que la droga que más comúnmente agrava estos episodios es el alcohol, y es consumida de forma legal.

7. CONCLUSIONES

En una situación en la que frecuentemente surgen nuevas drogas, se hace difícil llevar a cabo su regulación de una forma completamente eficaz. Esta situación, a su vez, se ve agravada por el reflejo de los medios de comunicación que incide de forma directa en la concepción de la sociedad sobre estas nuevas sustancias psicotrópicas.

La regulación del MDPV en gran parte de los países europeos sirve de ayuda al control del miedo existente sobre la Metilendioxipirovalerona y sus posibles efectos, aunque la evolución de la situación lleva a la necesidad de comenzar el estudio de la posibilidad de regular nuevas sustancias que se encuentran en ascenso, como es la α -Pyrrolidinovalerofenona, la cual presenta efectos y características similares al MDPV, bajo coste en su comercialización y ausencia de regulación en su entorno, lo cual provoca que la situación y la preocupación al respecto de estas sustancias no se tranquilice.

REFERENCIAS

- [1] Web de Energy Control.
<http://energycontrol.org/infodrogas/nuevas-drogas/390-mdpv.html>
- [2] El Mundo. *Bruselas propone prohibir cuatro peligrosas drogas de diseño.*
<http://www.elmundo.es/salud/2014/06/16/539f2770268e3e271c8b456c.html>
- [3] Blog Dra. Herraiz: Médico y Paciente. *Droga Caníbal: ¡Todo lo que quieras saber sobre ella!*
<https://draherraizmedicoypaciente.com/2014/07/20/droga-canibal-que-mas-da-el-nombre-ninguna-mejorara-tu-vida/>
- [4] Web de Energy Control. Comunicado de prensa: *La Droga Caníbal, ¿realidad o ficción?*
<http://energycontrol.org/noticias/539-comunicado-de-prensa-la-droga-canibal-irealidad-o-ciencia-ficcion-04072014.html>
- [5] El Confidencial. *“El que toma la ‘droga caníbal’ no la vuelve a probar; su experiencia es horrible”*
http://www.elconfidencial.com/sociedad/2014-07-06/el-que-toma-la-droga-canibal-no-la-vuelve-a-probar-su-experiencia-es-horrible_156846/
- [6] Web de Energy Control.
<http://energycontrol.org/infodrogas/nuevas-drogas/514-alfa-vvp.html>
- [7] La Voz de Galicia. *Flakka: indicios de droga caníbal en un estremecedor asesinato en Florida.*
<http://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/internacional/2016/08/18/flakka-indicios-droga-canibal-estremecedor-florida/00031471538941384943292.htm>
- [8] Web de Vice. *Flakka: la nueva droga caníbal.*
<http://www.vice.com/es/read/flakka-la-nueva-droga-canibal-857>
- [9] Web de Psicología y Mente. *‘Flakka’, una nueva y peligrosa droga sintética.*
<https://psicologiaymente.net/drogas/flakka-peligrosa-droga-sintetica#!>
- [10] Web de La Información. *Mallorca detecta 5 casos de droga caníbal en menos de 24 horas.*
http://www.lainformacion.com/espana/mallorca-detecta-5-casos-de-droga-canibal-en-menos-de-24-horas_865X4ERkScozELeiA3N045/
- [11] El Intransigente. *Cielo de Vainilla: la nueva droga que conmociona al Gobierno de EEUU*
<http://www.elintransigente.com/mundo/2011/1/25/cielo-vainilla-nueva-droga-conmociona-gobierno-68206.html>
- [12] Blog ‘El Cerebro de Niños y Adolescentes’, *‘Sales de baño’: Droga emergente Metilendioxipirovalerona o MDPV*
<http://cerebroniad.blogspot.com.es/2016/05/sales-de-bano-droga-emergente.html>

- [13] Web de Clínica de Desintoxicación de Drogas, Belgrado;
Tratamiento de la adicción a MDPV
<http://desintoxicaciondroga-clinica.com/adiccion-a-mdpv>

Juan Manuel Pacheco Montaño. Estudiante de cuarto curso del Grado de Criminología por la Universidad Pablo de Olavide, durante el curso 2016-2017.



Las bombas sucias como método de dispersión radiológica

Antonio Aguilar García

Resumen— Las bombas sucias constituyen uno de los nuevos riesgos del s.XXI al considerarse uno de los medios más probables a través de los cuales los grupos terroristas busquen afectar a un gran número de habitantes en una población determinada. Este artículo se centra en los elementos básicos que las constituyen y algunos de los factores que han de tenerse en cuenta para poder determinar el alcance del daño.

Palabras Claves— Bomba, Dispersión, Isótopo, Radioactivo, Sucia.

1. INTRODUCCIÓN

Las bombas sucias son un subgrupo que pertenece a la familia de los dispositivos de dispersión radiológica (RDD), y estos a su vez integran la categoría de armas radiológicas en la *clasificación de armas de destrucción masiva* establecida por las Naciones Unidas en 1979.

Las armas radiológicas, según esta clasificación se caracteriza por emplear elementos radioactivos persiguiendo la contaminación del objetivo sin recurrir a una explosión nuclear [1] [2] [38].

Esta clasificación, junto con la clasificación de la Agencia Central de Inteligencia de Estados Unidos de 2003 (CIA), distingue 3 grandes grupos de RDD [3].

Por un lado, los RDD pasivo o artefacto de exposición radiológica (RED): consistiría en colocar o dispersar el material radioactivo directamente sobre el objetivo, es decir, se coloca una fuente radioactiva en un lugar donde pueda irradiar a cualquier persona que pase cerca del mismo.

Otro tipo sería el RDD atmosférico: se trata de un dispositivo que vaporiza el material radioactivo para favorecer su dispersión mediante las corrientes de viento, abarcando así todo el medio que pueda.

Y por último, cabe mencionar el RDD explosivo: se trata de mezclar una cantidad determinada de explosivo con el material radioactivo para favorecer su dispersión y contaminar el medio ambiente. En este grupo es en el que se integran las bombas sucias, que son objeto de discusión en este documento.

Sin embargo, esta clasificación queda aún abierta debido a que, de entre todos los radioisótopos empleables para la fabricación de RDDs, cada uno tiene una serie de propiedades físico-químicas específicas y cada uno emite un tipo de radiación distinto, y cada radiación afecta de forma distinta.

Por ejemplo, el Polonio-210 emite partículas alfa muy peligrosas para el organismo, sin embargo la piel es una barrera lo suficientemente eficaz como para detener esta radiación, y únicamente podría incorporarse al organismo por ingestión o inhalación. Uno de los casos más relevan-

tes de envenenamiento con Polonio-210 fue el del ruso Alexander Litvinenko.

2. LOS DISPOSITIVOS DE DISPERSIÓN RADIOLÓGICA EXPLOSIVOS

Los RDD explosivos están constituidos por 2 elementos fundamentales: el material explosivo, cuya detonación pulverizará y dispersará el segundo elemento, el material radioactivo.

2.1. Material Explosivo

Las bombas sucias se fabrican empleando un explosivo convencional, ya sea dinamita, pólvora negra, trinitrotolueno (TNT),...

Su función principal reside en la fragmentación y dispersión del material radioactivo, si bien se le han reconocido varias funciones secundarias [4].

Entre dichas funciones podemos encontrar la de dañar o matar a los que se encuentren en las inmediaciones del aparato explosivo, si bien el objetivo principal de una bomba sucia es la de contaminar a una gran población o ambiente, por lo que la potencia explosiva del artefacto no debería ser tan excesiva como para destruir o afectar a edificios y construcciones.

Asimismo, se busca además la generación de pánico e histeria colectiva que dificulten las capacidades psicológicas de las personas que se encuentren a su alrededor e impida la correcta evacuación del lugar donde se produce la explosión, provocando así que el tiempo de exposición a la sustancia radioactiva aumente.

2.2. Material Radioactivo

Se trata de la característica intrínseca a todos los dispositivos de dispersión radiológica.

Los materiales radioactivos se encuentran bajo una estricta regulación que determina casi todos los aspectos de las sustancias, sus usos, sus transportes, su compra-venta,... Si bien es perfectamente posible conseguir material radioactivo en el mercado negro fundamentalmente por 2 motivos [4].

Principalmente, a existencia de un uso para la población de estas sustancias, ya sean con fines médicos, industriales, académicos,... hace que sea relativamente fácil el acceso a las mismas; pero también se ha de tener en cuenta que según el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), el 65% del material radioactivo que ha sido objeto de robo entre 1993 y 2008 no ha podido recuperarse.

El material radioactivo que se emplean en este tipo de artefactos son isótopos. Los isótopos son átomos de un elemento cuyo número de neutrones en el núcleo son distintos. Por tanto tendrían el mismo número atómico (número de protones) pero difieren en el número másico (suma de los protones y los neutrones del núcleo). [5]

La OIEA y la Comisión Reguladora Nuclear (NRC) han establecido una lista con los radioisótopos más susceptibles de ser empleados en una bomba sucia, de los cuales hablaremos a continuación.

Conocido por su uso industrial y médico tenemos el Cobalto-60, que se emplea como fuente de radiación de aplicación industrial, así como terapia de radiación en los hospitales. Emite partículas Beta y rayos Gamma. [6]

El Selenio-75 se usa en el ámbito médico para evaluar la absorción de ácidos biliares y otras enfermedades gástricas e intestinales, como trazador en la visualización en radiografías,... Emite rayos Gamma.[7][8]

Otro que se emplea para la industria y la medicina es el Estroncio-90, pero también es uno de los residuos producidos en los reactores nucleares. Emite partículas Beta.[9]

El Cesio-137 se emplea en aparatos médicos para tratar cánceres y en aparatos que miden los niveles de radiación (contadores Geiger) y el caudal de líquido de las cañerías. Emite partículas Beta y rayos Gamma.[10]

El Iterbio-169 tiene su uso en aleaciones, electrónica y materiales magnéticos .Emite partículas Beta[11][12]

El Tulio-170 se emplea en la fabricación de aparatos de rayos X portátil con múltiples aplicaciones. Emite rayos Gamma.[13]

Otro elemento con importante presencia en la industria es el Iridio-192, el cual se emplea como elemento fundamental en algunas ramas de la radiografía industrial (mirar el interior de tuberías, canalizaciones,...). Emite partículas Beta y rayos Gamma.[14][15]

Sin duda, el más conocido por todos es el Polonio-210. Éste se emplea como fuente ligera de calor para satélites y sondas, y además está presente en fertilizantes fosfatados, con lo que llega a los consumidores de las plantas sobre las que se aplica. Emite radiación Alfa.[16][17]

El Radio-226 constituye de uno de los productos en los que se desintegran el uranio hasta alcanzar la estabilidad. Se empleó históricamente en tratamientos médicos y para la iluminación pasiva de los indicadores en aviones. Emite partículas Alfa, Beta y rayos Gamma.[18]

Otro muy conocido es el Plutonio, del cual distinguimos 2 isótopos, el Plutonio-238, que antiguamente se empleó como fuente de calor para componentes eléctricos de satélites y como fuente de alimentación de los mismos. Emite partículas Alfa[19]; y el Plutonio-239, que se emplea para la fabricación de armas nucleares, y es un subproducto de las operaciones en reactores nucleares y explosiones nu-

cleares. Emite también partículas Alfa.[19] Pertenecientes a la zona de los actínidos (tierras raras), tenemos 3 isótopos radioactivos:

Primero, el Americio-241, el cual se encuentra en las zonas de prácticas nucleares, y también en algunos detectores de humo. Emite partículas Alfa y rayos Gamma (débiles).[20]

En honor al matrimonio Curie encontramos el Curio, cuyo isótopo Curio-244 constituye una fuente compacta de calor debido a que su alta inestabilidad lo lleva a degradarse. Cuando entra en el organismo destruye el mecanismo de formación de la pared celular, por lo que es muy peligroso. Emiten partículas Alfa. [21]

Por último cabe nombrar el Californio-252 que se emplea como fuente de emisión de neutrones para los reactores nucleares. Sus neutrones se emplean también para ciertas dolencias médicas cuando no existe otro remedio. Emite partículas Alfa, y se degrada para formar curio-248.[22][23][24]

3. RADIACIONES

En el apartado anterior, a medida que íbamos desgranando las posibles fuentes de radiación que podrían emplearse con mayor probabilidad para fabricar una bomba sucia, hemos ido indicando que tipo de radiación emite cada elemento.

De forma básica distinguimos 4 tipos de radiación. [25][26][27]

3.1. Partículas Alfa

Las partículas Alfa son un fragmento del núcleo del átomo que se encuentran cargadas positivamente, ya que se componen de 2 protones (cargados positivamente) y 2 neutrones (eléctricamente neutros).

La afectación a la salud por parte de las partículas Alfa depende mucho de la forma en la que el individuo se expone a las mismas.

Estas partículas carecen de la energía necesaria para penetrar la capa externa de la piel, con lo que la exposición a la misma no es un problema demasiado grave. Sin embargo, una vez que penetran en el organismo pueden dañar gravemente tejidos y órganos principales.

Se trata de la radiación más peligrosa debido a que afecta a la integridad de la célula, pero también afecta al ADN.

3.2. Partículas Beta

Las partículas Beta son la otra cara de las partículas, son pequeñas y rápidas, y se encuentran cargadas negativamente (se trata de un electrón).

Su capacidad de penetración a través de la piel es mayor, pero el daño que causan a tejidos y órganos es menor, debido a que su acción no se encuentra tan concentrada como la de las partículas Alfa.

3.3. Rayos Gamma

Se trata de energía pura emitida por los isótopos en forma de fotón, que se origina en el interior del núcleo del átomo.

Al carecer de masa y ser pura energía se trata de una radiación que afecta al organismo completo, y es capaz de superar la mayoría de las barreras contra la radiación de partículas.

Los rayos Gamma causan daños por ionización en tejidos y en el ADN.

3.4. Rayos X

Son similares a los rayos Gamma, discrepando únicamente en la procedencia de la energía dentro del átomo, procediendo del exterior del núcleo.

Su nivel energético es menor a los Gamma, y por tanto son menos penetrantes.

Tienen un extendido uso médico para producir imágenes con detalle de los huesos y del tejido blando del cuerpo.

4. USOS DE BOMBAS SUCIAS EN LA HISTORIA

Los DDR explosivos no han sido muy usados a lo largo de la historia debido a su baja letalidad a corto plazo, si bien su desarrollo ha estado íntimamente ligado a la industria bélica militar.

Se tiene constancia de que los primeros intentos de empleo de este tipo de dispositivos en el área militar se hallan en reportes acerca de la guerra Irán-Irak (que sucede entre 1980 y 1988) y en la Guerra del Golfo (que tiene lugar entre 1990 y 1991). [28]

Su desarrollo se basó en que en estos ambientes de conflicto y control era imposible obtener los materiales necesarios para la fabricación de armas nucleares o no era factible su obtención ya fabricada.

Mediante ensayos y pruebas se descubrió en 1987 la baja letalidad de estos dispositivos practicando con una bomba sucia de una tonelada, así como la necesidad de unas condiciones atmosféricas ideales para la buena difusión del material radioactivo en el ambiente. Por ello se desestimó su uso a nivel militar. [4]

En el ámbito del terrorismo, se empleó en 1995 una bomba sucia con 5kg de explosivo y Cesio-137 en Moscú por los rebeldes chechenos como método de coacción y demostración de fuerza, si bien no llegaron a detonarla. [28]

Esto supuso el principio de la incertidumbre de que los diversos grupos terroristas podrían tener en su poder bombas sucias y podían emplearlas para sembrar el terror y el desastre en grandes poblaciones. Sin embargo, a día de hoy no se ha usado un RDD explosivo para atentar por parte de ningún grupo terrorista hasta el punto de detonarla.

Hay que tener en cuenta el miedo existente por parte de los Estados a sufrir ataques de este tipo para poder comprender la intensa y extendida regulación y persecución de este tipo de bombas y de los materiales que la constituye, como se hace notar en la Resolución GC 48/RES/11 de 2004 [4] de la OIEA, que alcanzó los 168 miembros en Febrero de 2016 [29].

Esta resolución ha sido la fuente del mayor control de los materiales radioactivos, informándose de una gran cantidad de material radioactivo que era susceptible de ser obtenido por grupos terroristas.

De entre todos los descubrimientos de posible tráfico de material radioactivo, destaca la detención en el aeropuerto de Chicago en 2002 de una célula terrorista de Al-Qaeda de la que formaban parte José Padilla, Adham Amin Hassoun y Kifah Wael Jayyousi por conspirar para detonar una bomba sucia en una ciudad estadounidense sin determinar. No se enfrentaron a ese cargo en el juicio, no siendo así para el delito de apoyar y financiar a una banda armada, a lo que fueron condenados a 17 años y 4 meses, 15 años y 8 meses, y 12 años y 8 meses respectivamente a cada integrante, si bien se había solicitado la cadena perpetua para los tres por parte de la acusación. Tras la apelación, en septiembre de 2014 José Padilla vio incrementada su condena hasta los 21 años. [30] [31] [32]

También cabe destacar el caso de Dhiren Barot, un indio convertido al Islam que se desplazó a vivir a Reino Unido con su familia desde su infancia. Barot fue detenido el 2 de agosto de 2004 acusado de una multitud de cargos que se relacionaban con la conspiración para detonar una bomba sucia oculta en un camión cisterna o limusinas. Su objetivo, según determinaron los investigadores, eran una serie de trenes, así como el London's Tube (la denominación de la red de transporte de metro que se encuentra en el subsuelo de la ciudad). Fue condenado a cumplir al menos 40 años de prisión el 7 de noviembre de 2016, que se ratificó en posteriores alegaciones. [33] [34]

5. DISPERSIÓN

A la hora de determinar la posible toxicidad o efectividad de un RDD explosivo, existen múltiples factores que han de tenerse en cuenta.[35]

Principalmente cabe mencionar la cantidad de material explosivo. Este elemento será el que determine la mejor o peor pulverización del material radioactivo, así como la extensión de la dispersión inmediata del radioisótopo.

A continuación, por mención del anterior, cabe destacar la cantidad de material radioactivo, la cual influirá mucho en la cantidad de explosivo necesario para pulverizarlo adecuadamente y, sobre todo, acerca del radio inicial de dispersión del compuesto.

Otro elemento importante a tener en cuenta es material radioactivo elegido, ya que de él dependerán los posibles efectos que se desencadenen sobre la población que resulte irradiada, así como las medidas necesarias para prevenir la irradiación y llevar a cabo la descontaminación de las zonas afectadas.

Asimismo, como elementos circundantes a la composición de la DDR, cabe mencionar 3 factores relevantes:

Uno sería la situación del artefacto explosivo explosivo. En sí misma, la localización del dispositivo determinará el radio de dispersión, ya que si se encuentra a mayor altura abarcará un radio mayor. Además influirá si se encuentra en el interior o al aire libre, ya que en un lugar cerrado la dispersión no es libre.

Otro de los factores externos serían las condiciones atmosféricas, que serán las que favorezcan o dificulten la posible dispersión del material radioactivo. Si el material radioactivo ya pulverizado se ve expuesto a corrientes de aire, o circulación del mismo, se desplazará en la dirección que lleve el viento, encontrándose suspendido en el mismo.

Por último, cabe mencionar como último de los factores externos a la composición del DDR explosivo el medio en el que es liberado el material radioactivo. El material radioactivo no se distribuye igual por el medio si se libera en el aire o se libera en cualquier otro que permita su dispersión, como el agua, ya que cada uno presenta características propias que marcan como se desplazan los compuestos suspendidos en ellos.

El Laboratorio Nacional Lawrence Livermore ha creado un simulador que estudia los factores físicos de accidentes en los que están involucrados elementos radioactivos, centrándose en 4 elementos: Resuspensiones, Fuegos, Explosiones y "Plume" (se trataría de la formación de columnas del material radioactivo en el aire). [36]

Este simulador se conoce como HotSpot® [37]. Determina, entre otras cosas, un modelo de dispersión atmosférica del material radioactivo y de los efectos producidos por la radiación emitida. El sistema presenta limitaciones debido a que es simplemente un constructor de modelos: solo sirve para emisiones que se encuentren cerca del nivel del suelo, el rango de determinación de dispersión es menor a 10km y únicamente simula un periodo de tiempo menor a 24h.

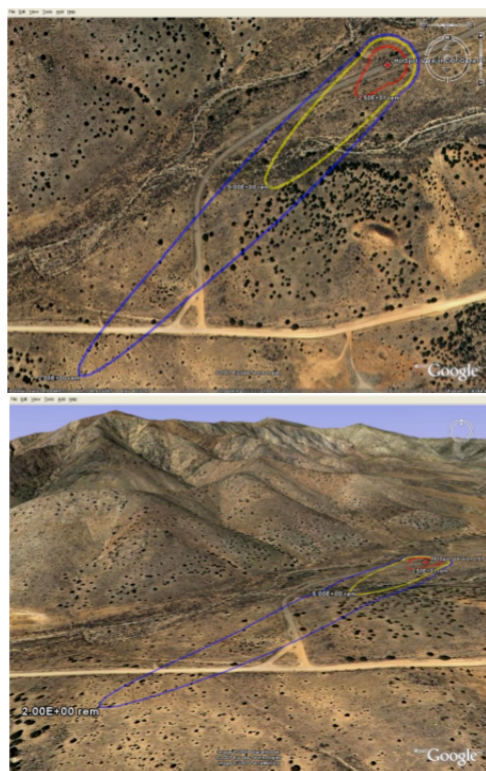


Fig. 1. Modelo de la deposición de elementos radioactivos. [37]

Además existen otros softwares adicionales que permiten calcular otros elementos que están circunscritos a la explosión del DDR, como sería la exposición a la radiación a la que se somete un punto determinado (empleando Rad Pro Calculator©) o para el blindaje necesario para transporte del material radioactivo limitando su efecto (con el programa Micro Shield®) [35]

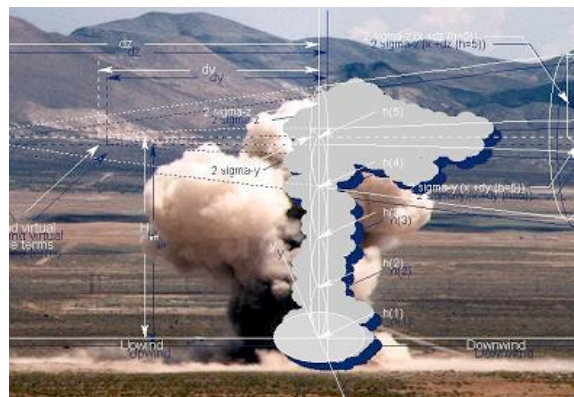


Fig. 2. Modelo de dispersión atmosférica. [36]

6. CONCLUSIONES

Queda claro que, si bien en ninguna ocasión ha conseguido usarse un DDR explosivo como arma, el riesgo de que sea empleada por grupos terroristas es elevado y muy real. Es por ello que los diferentes estados del mundo han estado regulando en esta materia y se tiene en cuenta en las directrices de seguridad de la mayoría de ellos.

El problema de la radiación emitida por estos dispositivos es que no puede ser sentido, olfateado, oído, ..., por lo que nuestros sentidos no pueden advertirnos de que un explosivo convencional que explotase fuese en realidad una bomba sucia, con lo que se necesitan aparatos específicos que detecten radiación para saber si nos estamos exponiendo o no. [4]

Además, los efectos de estos dispositivos en la sociedad abarcan muchas esferas: económicas, psicológicas, sociales, políticas, biológicas. La explosión de un DDR supondría que debería llevarse a cabo una reubicación de los habitantes de la zona afectada, así como proceder a la descontaminación del área, algo que resulta muy costoso de realizar (esfera económica). Asimismo, las enfermedades que aparecen como resultado de la radiación, los daños psicológicos del desarraigo consecuencia del traslado de las familias fuera de su entorno, los daños a la política del Estado al coordinar las actuaciones para solucionar la explosión y a la hora de tomar decisiones que pudiesen parecer erróneas para afrontar la situación aparecen como ejemplos de los efectos anteriormente descritos.

Por ello las bombas sucias son dispositivos que, si bien su letalidad a corto plazo es baja, la mella que hacen en la sociedad es muy grande, y por ello son armas dignas de temer y de controlar. [4] [35]

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a Ana García Gómez la revisión ortográfica realizada sobre este documento y el apoyo dado para la redacción del mismo.

REFERENCIAS

- [1] Naciones Unidas, The United Nations and Disarmament: 1945-1985
- [2] René Pita y Óscar Nogués, "Inteligencia NBQ: La amenaza del terrorismo nuclear". *Inteligencia y seguridad: Revista de análisis y prospectiva* N°6, 2009, pp. 165-196
- [3] José María Fuente Sánchez, "La defensa biológica: sus grandes carencias". *Boletín de Información* N° 325, 2012, pp. 7-23
- [4] Instituto Universitario General Gutiérrez Mellado, Luces y sombras de la seguridad internacional en los albores del s.XXI. 2010. Tomo III, La amenaza del terrorismo nuclear: bombas sucias. Una forma de guerra de cuarta generación (Miguel Ángel Solana Campins) págs. 451-470
- [5] American Chemical Society, *Química: un proyecto de la American Chemical Society*. Reverté, 2005. Capítulo 3: El origen de los átomos (Pág.164).
- [6] Web de la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos. <https://www.epa.gov/radiation/radionuclide-basics-cobalt-60#tab-2>
- [7] Web de Onmeda. [http://www.onmeda.es/medicamentos/principio-activo-selenio-\(75-se\)-acido-tauroselcolico-V09DX01.html](http://www.onmeda.es/medicamentos/principio-activo-selenio-(75-se)-acido-tauroselcolico-V09DX01.html)
- [8] John William Hill, Doris K. Kolb, *Química para el nuevo milenio*. Pearson Prentice Hall, 1999. Capítulo 4: Química nuclear (Pág. 88 Tabla 4.3)
- [9] Web de la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos. <https://www.epa.gov/radiation/radionuclide-basics-strontium-90#tab-2>
- [10] Web de la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos. <https://www.epa.gov/radiation/radionuclide-basics-cesium-137#tab-2>
- [11] Web de EcuRed. <https://www.ecured.cu/Iterbio>
- [12] Albert Stwertka, *A guide to the Elements*. Oxford University Press, 1998.
- [13] Web de CIENCIANET. <http://ciencianet.com/tm.html>
- [14] Braggerly, L.L., "The radioactive decay of Iridium-192", Tesis Doctoral, Instituto de Tecnología de California, 1956.
- [15] Web de Xakata. <http://www.xakata.com/investigacion/que-es-el-iridio-192-y-por-que-es-peligroso>
- [16] Barisic D, Lulic S, Miletic P, "Radium and uranium in phosphate fertilizers and their impact on the radioactivity of waters". *Investigación*, 1992.
- [17] Scholten LC, Timmermans CWM, "Natural radioactivity in phosphate fertilizers". *Nutrient cycling in agroecosystems*, 1992.
- [18] Web de la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos. <https://www.epa.gov/radiation/radionuclide-basics-radium#tab-2>
- [19] Web de la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos. <https://www.epa.gov/radiation/radionuclide-basics-plutonium#tab-2>
- [20] Web de la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos. <https://www.epa.gov/radiation/radionuclide-basics-americiium-241#tab-2>
- [21] Web de EcuRed. <https://www.ecured.cu/Curio>
- [22] Web de Triplenlace Química. <http://triplenlace.com/2015/05/25/californio-la-sustancia-quimica-ms-cara-del-mundo/>
- [23] Web de la Universidad Autónoma de Madrid. <https://www.uam.es/docencia/elementos/spV21/sinmarcos/elementos/cf.html>
- [24] D.A. Hicks, John Ise, Robert V. Pyle, "Multiplicity of Neutrons from the Spontaneous Fission of Californium-252", *APS physics*, Vol 97, Iss.2, Enero 1955.
- [25] Web de la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos. <https://www.epa.gov/radiation/radiation-basics#tab-2>
- [26] Web de la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos. <https://www.epa.gov/radiation/radiation-health-effects#tab-4>
- [27] Stein, J. *Isótopos radiactivos*. Alhambra, 1973
- [28] Jorge Pozzo, "La nueva amenaza: artefactos radiológicos. Desde las pestes y los gases a las bombas sucias". *Cuadernos de Marte* N°9, 2015, Ago/Dic 2015.
- [29] Web de la Agencia Internacional de Energía Atómica. <https://www.iaea.org/about/governance/list-of-member-states>
- [30] Web del periódico El Mundo. <http://www.elmundo.es/elmundo/2007/08/16/internacional/1187290050.html>
- [31] Web del periódico El Mundo. <http://www.elmundo.es/elmundo/2008/01/22/internacional/1201021987.html>
- [32] Web de la cadena de noticias Fox News. <http://www.foxnews.com/us/2014/09/09/convicted-terrorist-jose-padilla-faces-longer-prison-term.html>
- [33] Web de la cadena de noticias BBC. http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/6121084.stm
- [34] Web de la cadena de noticias BBC. http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/6123236.stm
- [35] Juan Martín Cañizares Martínez, "La defensa civil contra incidentes nucleares-biológicos-

químicos (N.B.Q), aplicación a un ataque con una 'bomba sucia' en la ciudad de Valencia", Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería química y nuclear, Universidad Politécnica de Valencia, 2009

[36] Web del Centro Nacional de Asesoría para la Liberación Atmosférica (NARAC).
<https://narac.llnl.gov/hotspot>

[37] Web de la NARAC.
<https://narac.llnl.gov/content/assets/docs/HotSpot-UserGuide-3-0.pdf>

[38] Matthew E. Johl, Química e investigación criminal. Una perspectiva de la ciencia forense. Reverte, 2008.



Antonio Aguilar García estudió la enseñanza obligatoria y el bachillerato en el Colegio Internacional Europa (Espartinas). Actualmente es estudiante de cuarto año del Grado en Criminología en la Facultad de Derecho de la Universidad Pablo de Olavide, de la promoción 2013/2017

“Veo lo que haces y te digo quién eres”

Lorena Roca Romero

Resumen— Las diferentes técnicas relacionadas con la nanotecnología que pueden ayudar a esclarecer un hecho delictivo.

Palabras claves — Nanotecnología, Química Forense, Criminología, Escena del crimen, Indicios.



1. INTRODUCCIÓN

Vivimos en un mundo donde no nos conformamos con lo que tenemos, sino que queremos más. Más en todos los sentidos; más dinero, más oportunidades, más trabajo, más comida, siempre más en todo lo que nos produce bienestar y satisfacción personal. Y en este caso tampoco iba a ser menos, vengo a referirme a más técnicas desarrolladas. Las más recientes pertenecen al campo de la ciencia, al de la nanotecnología. En este caso queremos más, pero utilizando menos. Cuando hablo de menos, hablo de cantidad, ya que con la nanotecnología se estudia, diseña, crea, sintetiza, manipula y aplica materiales, a través de una unidad de medida muy pequeña como es la nano escala. Es decir, se pretende conseguir y llegar a lugares donde antes no se ha llegado o sí se ha llegado, pero con un avance mayor, y unas unidades menores, como son los átomos y moléculas de los materiales que se pretendan estudiar.

2. NANOTECNOLOGÍA

Si comenzamos separando la palabra “Nanotecnología” y miramos en la herramienta más cercana y general del territorio español, el diccionario de la RAE (Real Academia Española), el significado de ambas palabras por separado, nos encontramos lo siguiente:

- Nano, “indica relación con las nanounidades. Nanotecnología”
- Tecnología, “conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico”. [1]

Como vemos, dentro de la definición de nano, ya nos hacen referencia a la palabra Nanotecnología, que definida por este diccionario es la “tecnología de los materiales y de las estructuras en la que el orden de magnitud se mide en nanómetros, con aplicación a la física, la química y la biología.”

De esta nanotecnología vamos a hablar, la relacionada sobretudo con la química y la biología y que afecte de alguna manera a la Criminología.

Es una ciencia, que no lleva mucho tiempo de cara a la galería, es relativamente nueva. Se menciona a mitad del siglo XX, en una reunión de la Sociedad Americana de

Física, donde un científico menciona que no se viola ningún postulado al manipular los átomos y moléculas de los elementos. Hasta entonces era desconocida la palabra para la sociedad. [2]

Es curioso como algo tan pequeño, puede ser tan importante para futuros avances en química, biología o física. Por ello, por esta nueva ciencia se apuesta fuerte y se estudia para mejorar lo que hoy día está a nuestro alcance, visual como mínimo.



Fig. 1. La nanotecnología trabaja a escala de una milionésima parte de un milímetro.

2.1. Relación con la Química Forense y la Criminología

¿Qué intereses se pueden despertar en la actualidad, con esta nueva ciencia, en la química forense y la Criminología?

Desde mi punto de vista, muchos, pero hasta la actualidad se han desarrollado muy pocos, imagino que por la complejidad que esto supone, el coste y las herramientas necesarias. No creo que sea por falta de ideas, ya que el pensamiento es infinito, y no hay barreras para soñar, imaginar e inventar.

Donde más avances han surgido ha sido en otros campos; en biología y medicina, con la mejora de fármacos, desarrollo de nanomateriales para instrumental y equipos analíticos; en productos de consumo, cosméticos, protectores solares, tintes, textiles; en ingeniería electrónica, en el diseño de dispositivos de almacenamiento de datos de menor tamaño, más rápidos y con un menos consumo de energía, etc. Y así podríamos seguir con una larga lista de numerosos avances en la actualidad que utilizan la nanotecnología para progresar y mejorar. [3]

Pero lo que me interesa es la nanotecnología relacionada con la química forense y la Criminología. Lo más so-

nado dentro de este campo ha sido poder detectar huellas digitales antiguas, secas y débiles, a través del análisis de



Fig. 2. Primer plano de una huella dactilar. [4]

los aminoácidos que se encuentran habitualmente en el sudor. Los responsables de poner en conocimiento esta nueva metodología, fueron científicos pertenecientes a los Departamentos de Ciencias Forenses de las Universidades de Sidney y Camberra y al Departamento de Química y Bioquímica de la Universidad de Illinois. [4]

3. ESCENA DE UN CRIMEN

Uno de los muchos temas que aterran a la sociedad son los relacionados con los asesinatos, los homicidios, en resumidas cuentas, con las muertes. Cuando no nos afecta en primera persona, no le ponemos tanto énfasis a encontrar al culpable de las muertes ocasionadas por terceros, sí por el contrario, cuando nos convierten en víctimas. Cuando es un familiar, un amigo, un conocido el que ha sido asesinado, sí queremos esclarecer el hecho delictivo, que se coja al culpable, que pague con la mayor pena recogida en el Código Penal o que a ser posible no salga de la cárcel.

Para saber quién es el culpable de un hecho delictivo, hay que tener pruebas que lo incriminen y que a su vez coincida con el conjunto de evidencias analizadas. No obstante, esto nos puede llevar hasta el culpable si hay pruebas válidas, si hay pruebas que se puedan analizar y dar un paso más en la investigación, pero de no ser así, ¿cómo podemos encontrar al culpable de un hecho delictivo?

Muchas veces se encuentran huellas viejas, débiles o inaccesibles que son muy complicadas de analizar o que no se pueden llegar a procesar. Para estos casos había que buscar una solución, ya que si debe ser frustrante no encontrar huellas, más frustrante aún debe ser encontrarlas y no poder acceder a ellas y por consiguiente revelar a quién pertenece.

3.1. Indicios

Si nos encontramos en la escena de un crimen donde vemos a una mujer en el suelo, con una soga al cuello, sangre a su alrededor y una nota a su lado, ¿qué es lo primero que harían los investigadores al llegar? La inspección ocular técnica, que consta de los siguientes pasos: preparar y comprobar el material y equipo técnico,

proteger el lugar de los hechos, observar el lugar, fijar el lugar, recolectar indicios y trasladar los indicios al laboratorio de investigación.

De estos seis pasos, nos interesa la recolección de indicios. De todos los indicios que se puedan recolectar de la escena, nos quedamos con las huellas encontradas, la nota presente y la sangre. Seleccionamos estos tres, porque a través de nuevas técnicas que utilizan la nanotecnología pueden ofrecer información. Sobre cómo acceder a las huellas inaccesibles, a través de la nanotecnología han encontrado la forma de acceder a ellas y averiguar a quién pertenecen; para la nota encontrada, usan un procedimiento que examina los pasos de tinta y determina por ejemplo, cuál de las dos líneas se ha escrito sobre la otra; y por último con la sangre se puede averiguar si ésta lleva mucho tiempo en la superficie. [5]

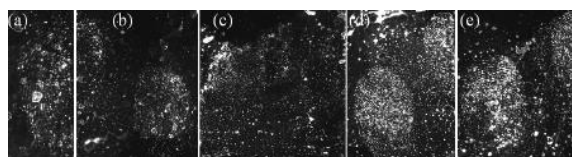


Fig. 3. Una evaluación cualitativa del rendimiento del reactivo de anticuerpo anti-L-aminoácido en 2 semanas de edad. Marcas de dedos latentes biseccionadas. (A) anticuerpos anti-L-aminoácidos libres, (b) nanopartículas de citrato de oro, (c) oro-Nanopartículas recubiertas con HS-OEG3-COOH, (d) reactivo anti-L-aminoácido preparado usando el método 1, y (e) Reactivo anti - L - aminoácido. [6]

4. PRUEBAS

¿Cómo relacionar la nanotecnología con las huellas, la nota y la sangre?

Como dijimos anteriormente, en Sidney, se llevó a cabo una nueva técnica para conseguir huellas inaccesibles hasta el momento. Los científicos a través de la detección de aminoácidos secretados por el sudor, pretenden realizar un rastreo de éstos a través de anticuerpos que se unieran a ellos de forma específica. Estos anticuerpos se han conjugado previamente con nanopartículas de oro, lo cual hacen resolutive la técnica. Una vez conjugados, se depositan sobre la muestra y por especificidad se unirán a los aminoácidos que presenta la misma. Finalmente, se irradia la muestra, se obtiene una señal y se detecta la(s) huella(s) dactilar(es). [6]

En el caso de la nota y la sangre, se utilizaría el Microscopio de Fuerza Atómica (AFM), muy usado en los laboratorios de nanotecnología. Con el AFM, se ve los detalles de una superficie a nivel de nanoescala y se pueden medir las fuerzas ejercidas entre una punta afilada microscópica y los átomos de la superficie. Por esta razón puede llegar a ser utilizado para examinar los trazos de tinta; y determinar si disponemos de dos líneas, cuál se ha escrito sobre la otra, en el caso de la nota. Y por último, para la muestra de sangre, se puede averiguar cuánto tiempo lleva la sangre en la superficie. Para ello, el AFM nos avisa, ya que a medida que la sangre tiene más tiempo, la punta del AFM necesita más fuerza para salir de la superficie de la sangre. [5]

5. RESULTADOS

Con las técnicas descritas donde predomina la nanotecnología, podemos ayudar en la investigación de numerosos crímenes o hechos delictivos, aportando técnicas más avanzadas y dando resultados fiables.

Sin todas las aportaciones, tanto de pruebas, como de mejoras en técnicas, no se podría llegar hasta el esclarecimiento de hechos delictivos, o sí, lo que se deja ver es que con la ciencia más avanzada se puede llegar más rápidamente y con garantías.

6. CONCLUSIONES

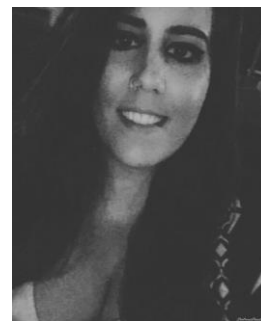
La nanotecnología se ha convertido es una ciencia que ayuda a la mejora de otras ciencias. En la actualidad es relativamente nueva y en el campo de la química forense no hay mucho avance aún, pero se está dejando ver con algunas técnicas como las descritas en el artículo; la posibilidad de detección de huellas inaccesibles, las notas o contratos con enmiendas controvertidas o el averiguar el tiempo que lleva una muestra de sangre en una superficie.

El autor del hecho delictivo actúa, y los profesionales, “ven y dicen quién es”.

REFERENCIAS

- [1] Web de la Real Academia Española. <http://www.rae.es/>
- [2] Blog de Nanoquímica- Métodos químicos para sintetización de nanopartículas. Artículo “La nanotecnología en la química”. <https://nanoquimica68.wordpress.com/2012/10/19/la-nanotecnologia-en-la-quimica/>
- [3] Web Green Facts. Publicaciones de Nanotecnología. <http://copublications.greenfacts.org/es/nanotecnologias/index.htm#2>
- [4] Web periódico digital, EL MUNDO. Sección Ciencia. Artículo “La ciencia cierra el cerco sobre los delincuentes.” <http://www.elmundo.es/elmundo/2011/06/06/nanotecnologia/1307377847.html>
- [5] Web The Guardian. “Nanotechnology on the crime scene”. Michele Catanzaro. <https://www.theguardian.com/what-is-nano/nanotechnology-on-the-crime-scene>
- [6] Xanthe Spindler, Oliver Hofstetter, Andrew M.McDonagh, Claude Roux, Chris Lennard. “Enhancement of latent fingermarks on non-porous surfaces using anti-L-amino acid antibodies conjugated to gold nanoparticles”. <http://www.rsc.org/suppdata/cc/c0/c0cc05748g/c0cc05748g.pdf>
- [7] Rolanda Lam, Oliver Hofstetter, Chris Lennard, Claude Roux, Xanthe Spindler. “Evaluation of multi-target immunogenic reagents for the detection of latent and body fluid-contaminated fingermarks”.
- [8] Revista Nanociencia y nanotecnología. “Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro”.

Lorena Roca Romero alumna de cuarto de Criminología de la Universidad Pablo de olavide, en el curso 2016/2017.



Triperóxido de triacetona (TATP)

Francisco José Jiménez Jiménez

Resumen— El triperóxido de triacetona se ha configurado como un explosivo al alcance de cualquier persona, lo que supone un grave riesgo para la sociedad ya que, además, las medidas de detección del mismo no están actualmente desarrolladas en su totalidad.

Palabras Claves— Acetona, Cromatografía, Detonación, Explosivo, Triperóxido.

1. INTRODUCCIÓN

Los peróxidos de acetona son peróxidos orgánicos cuyas principales características son que presentan una gran inflamabilidad y una gran capacidad de explosión.

Dentro de estos peróxidos, es el triperóxido de triacetona (TATP) el que presenta mayor relevancia al ser el que más sensibilidad a la explosión tiene.

El triperóxido de triacetona es una sustancia altamente explosiva, que en los últimos tiempos ha sido utilizada en las guerrillas y por diversos grupos terroristas.

Se trata de una sustancia muy sensible a la fricción, al impacto y a la temperatura, lo que hace que el triperóxido de triacetona sea un explosivo con una gran peligrosidad tanto en lo relativo a su manejo como a los efectos que puede llegar a producir. Hasta tal punto alcanza su peligrosidad que, tanto grupos terroristas como medios de comunicación lo han calificado como “la madre de Satán”.

Lo llamativo de este explosivo es la supuesta facilidad con la que puede producirse en el ámbito doméstico, tema que abordaremos a continuación, ya que éste es un factor a tener en cuenta, pues el hecho de que cualquier persona pueda producir, manejar e incluso utilizar con fines ilícitos una sustancia explosiva de tal calibre aumenta su peligrosidad exponencialmente.

2. TRIPERÓXIDO DE TRIACETONA

2.1. Fundamentos químicos

El triperóxido de triacetona es una sustancia orgánica ya que presenta una base de carbono, y se obtiene tras la mezcla de acetona y peróxido de hidrógeno usando un ácido como catalizador, que habitualmente es ácido sulfúrico aunque también puede llegar a obtenerse con ácido clorhídrico, ya que lo verdaderamente importante aquí es que el ácido sea fuerte para catalizar la reacción.

La fórmula química del triperóxido de triacetona es $C_9H_{18}O_6$, donde vemos reflejado que nos encontramos ante un trímero, que es su forma primaria al tener tres elementos que componen dicha sustancia.

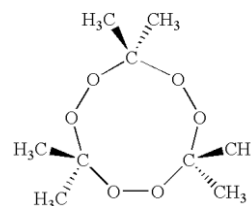


Figura 1. Estructura de una molécula de TATP

Es este hecho el que hace que las moléculas de Triperóxido de triacetona sean muy inestables y que, por lo tanto, funcione como explosivo.

2.2. Mecanismo de detonación

Como todo explosivo, el triperóxido de triacetona requiere de un proceso de combustión al que hay que agregar los factores de confinamiento y dispersión.

La detonación del triperóxido de triacetona depende de la cantidad en la que se encuentre esta sustancia confinada. De esta forma, se producirá una deflagración cuando entre en contacto con una llama en cantidades inferiores a 2 gramos.

Sin embargo, en cantidades superiores a 2 gramos, esta sustancia detona. Esto se debe a que, a diferencia de otros explosivos como por ejemplo el trinitrotolueno (TNT), el triperóxido de triacetona genera cientos de litros de gases en una fracción de segundo con una cantidad muy pequeña de sustancia producida por la liberación de tres moléculas de acetona y una molécula de ozono debido a la formación de enlaces, lo que acarrea como consecuencia de la producción y liberación de energía así como la recombinación de sus distintos componentes moleculares. Existen diversas formas de clasificar a los explosivos. Una de las clasificaciones principales que se realizan es en función de su velocidad de descomposición, es decir, en función de la velocidad a la que la sustancia en cuestión se descompone. Y es en esta clasificación donde el triperóxido de triacetona ocupa la posición de explosivo de alto poder o HE (high explosive), lo que nos emite una perspectiva más sobre el poder de este explosivo, ya que

en esa clasificación, además de los explosivos de alto poder nos encontramos con los explosivos de bajo poder, siendo la principal diferencia entre unos y otros la velocidad de detonación. Sentada esta base, el poder de un explosivo dentro de esta clasificación, va en función de la velocidad a la que se descompone, a saber, cuanto mayor sea dicha velocidad, más poder tendrá el explosivo en cuestión.

Para la formación de esta sustancia, se debe estar siempre a una temperatura inferior a 10°C, ya que si la temperatura se elevase lo más mínimo, la sustancia, como antes se ha dicho, por su sensibilidad a la temperatura, podría explotar, de ahí que se forme en bancos de hielo de ácido nitroso, para trabajar con seguridad y evitar posibles explosiones.

Si bien, hay que destacar que este explosivo es mucho más sensible cuando se encuentra seco que cuando aún se encuentra humedecido por su proceso de formación.

Es en este punto donde cabe hacer mención a la facilidad con la que se puede conseguir fabricar triperóxido de triacetona, y es que, como hemos apuntado antes, una cantidad muy pequeña puede generar una gran mole de gases así como una importante explosión. Por tanto, aunque este explosivo no sea utilizado por las fuerzas militares, sí que lo es por grupos guerrilleros y terroristas, ya que con cantidades ínfimas de productos domésticos como acetona, o peróxido de hidrógeno, y usando un catalizador relativamente sencillo de obtener como los anteriormente mencionados, cualquier persona con unos mínimos conocimientos de química puede llegar a tener en sus manos un explosivo con una gran peligrosidad.

Este es el motivo por el que numerosos Estados han incluido en sus legislaciones textos en los que se prohíbe la producción, uso y distribución de explosivos caseros, entre los cuales podríamos incluir al triperóxido de triacetona, y cuyo incumplimiento acarrea sanciones de gran calibre.

3. ANÁLISIS FORENSE DEL TATP

Para realizar un análisis químico-forense del triperóxido de triacetona debemos utilizar diversas técnicas. Al tratarse de un explosivo, podemos utilizar la Cromatografía de Gases, o alguna de sus variantes, como la Espectrometría de Movilidad Iónica, cuyo fin principal es la detección de explosivos, armas químicas o drogas, más específica que la Cromatografía de Gases que sirve, además, para detectar cualquier otro tipo de sustancias; con el fin de identificar las distintas sustancias que el mismo depósito en un lugar o de las que el mismo pueda estar compuesto.

En esta línea, existen diversos estudios al respecto donde se somete al triperóxido de triacetona a la Cromatografía de Gases para determinar, por ejemplo, la densidad de sus gases tras la explosión.

En uno de estos estudios, se compara el triperóxido de acetona con un explosivo como el trinitrotolueno, y se llega a la conclusión, tras la realización de los análisis por la técnica antes citada, que el conjunto de gases emitido por el triperóxido de triacetona es 1300 veces más denso

que el emitido por el trinitrotolueno, lo que nos puede hacer ver el poder que el explosivo que analizamos posee. Continúa este estudio indicando que investigadores de la Universidad de Rhode Island han desarrollado una técnica para la detección de triperóxido de triacetona mediante entrenamiento canino, lo que puede significar un gran avance en cuanto a la prevención de los posibles riesgos que esta sustancia pueda generar en la sociedad.

Por otro lado, existen otras técnicas basadas en la fluorescencia y desarrolladas en el año 2010 en Estados Unidos por Steven Andrew McDonald donde se detecta el triperóxido de triacetona basándose en la luminiscencia de algunos de los radicales de esta sustancia tras su descomposición en éstos mediante la aplicación de una luz ultravioleta a una distancia determinada.

Este tipo de técnicas, aunque eficaces y útiles, no son totalmente rentables, ya que para llevarlas a cabo es necesaria una gran inversión tanto económica como técnica y de recursos humanos, aunque sí que serían de gran utilidad en zonas o lugares donde la seguridad es indispensable como pueden ser aeropuertos, zonas militares o zonas con grandes concentraciones de personas.

4. CASOS DONDE SE HAYA UTILIZADO TATP

Existen numerosos casos donde se ha especulado con la utilización o no de triperóxido de triacetona como explosivo para llevar a cabo atentados terroristas en cualquier parte del mundo, o como arma en las guerrillas. Sin embargo, existen otros casos en los que se ha demostrado la utilización de este explosivo, como por ejemplo, en el caso Reid, donde un hombre embarcó en un vuelo desde Francia hacia Estados Unidos con triperóxido de triacetona en el zapato. Afortunadamente no hubo consecuencia alguna ya que no llegó a detonar el explosivo. Fue el FBI quien, tras ponerlo bajo custodia federal y analizar la muestra de explosivo, determinó que dicha sustancia era triperóxido de triacetona y había sido obtenida de forma artesanal.

5. CONCLUSIONES

Tras un somero análisis sobre el triperóxido de triacetona, podemos llegar a la conclusión de que se trata de un explosivo cuanto menos peligroso, ya que por las características que presenta así como por la facilidad para obtenerlo, puede llegar a suponer una auténtica amenaza para cualquier población.

Igualmente, existen numerosas técnicas para detectar este tipo de explosivos, algunas de las cuales están a día de hoy plenamente desarrolladas, y otras aún por implementarse, como puede ser el adiestramiento de caninos para su detección o el desarrollo de algunas patentes.

Como se puede comprobar, si relacionamos los hechos relatados en el apartado anterior con las características del triperóxido de triacetona, podemos observar cómo en el interior de un zapato consiguió una persona de forma artesanal incluir un explosivo que pudo haber provocado una enorme catástrofe, lo que conlleva a convencernos de la necesidad de implementar las técnicas de detec-

ción de dichas sustancias explosivas para tal fin.

Referencias

- [1] Web: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/tatp.htm> (Última visita: 08/12/16)
- [2] Web: https://es.wikipedia.org/wiki/Per%C3%B3xido_de_acetona (Última visita: 08/12/16)
- [3] Web: [http://www.fsijournal.org/article/S0379-0738\(04\)00542-0/abstract](http://www.fsijournal.org/article/S0379-0738(04)00542-0/abstract) (Última visita: 08/12/16)
- [4] Google Books. (2016). Patent US7829345 - Remote detection of peroxide compounds via laser induced fluorescence. (Última visita 08/12/2016)
- [5] Tema 3 Química Forense, Grado en Criminología, Universidad Pablo de Olavide, año 2016
- [6] Tema 4 Química Forense, Grado en Criminología, Universidad Pablo de Olavide, año 2016
- [7] Jimmie C. Oxley*, James L. Smith, and Heng Chen; *Decomposition of a Multi-Peroxidic Compound: Triacetone Triperoxide (TATP)*; recurso electrónico; Propellants, Explosives, Pyrotechnics 27, pp. 209 -216 (2002)
- [8] Jimmie C. Oxley*, James L. Smith, Kajal Shinde, and Jesse Moran; *Determination of the Vapor Density of Triacetone Triperoxide (TATP) Using a Gas Chromatography Headspace Technique*; recurso electrónico; Propellants, Explosives, Pyrotechnics 30 (2005), No. 2 pp. 127-130



Francisco José Jiménez Jiménez, estudiante del 5º curso del Doble Grado en Derecho y Criminología en la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla

La importancia del ácido tánico en nuestros días

Alberto Pineda Santaella & Guillermo Ureña Bailén

Resumen— El ácido tánico es solo un ejemplo del gran potencial que pueden ofrecer los metabolitos vegetales secundarios en diversas aplicaciones multidisciplinarias. Se ha postulado como un agente antioxidante muy beneficioso con numerosas aplicaciones industriales y medicinales. Sin embargo, en altas concentraciones puede causar graves perjuicios en el organismo inducidos por importantes daños oxidativos, incluso llegando a provocar la muerte. En este artículo se pretende resaltar las bondades de esta molécula y las posibilidades actuales de incluirla en terapias antitumorales.

Palabras Claves— Ácido tánico, nanotecnología, tratamiento selectivo de tumores, metabolitos vegetales secundarios

1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, los metabolitos vegetales secundarios han sido considerados como moléculas sin función esencial en las plantas. No han recibido suficiente atención al suponerse en un principio como productos de desecho de distintos procesos metabólicos primarios sin función conocida. Sería a finales del SXIX cuando la Química Orgánica comienza a estudiarlos para emplearlos en la elaboración de distintos productos industriales como antibióticos, insecticidas, herbicidas, saborizantes, aceites y drogas medicinales [1].

Los metabolitos vegetales secundarios pueden clasificarse atendiendo a sus orígenes biosintéticos, así encontramos principalmente terpenoides, alcaloides y polifenoles (Figura 1). Muchos de ellos resultan interesantes por las características biológicas que poseen. Estas propiedades van dirigidas a la interacción de la planta con su entorno: atracción de polinizadores, defensa contra patógenos y predadores, agentes alelopáticos (moléculas que ejercen su efecto sobre otras plantas), etcétera [1].

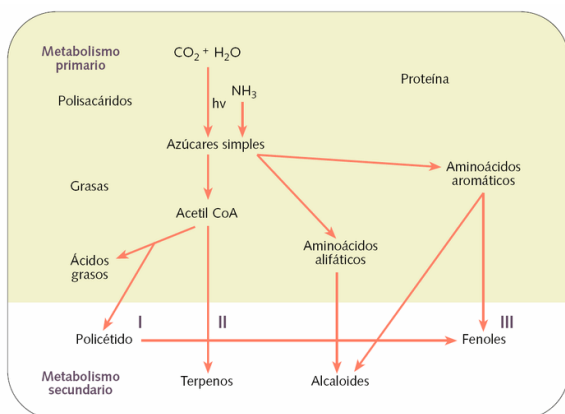


Fig. 1. Metabolismo primario y secundario de las plantas [1]

Dentro del grupo de los polifenoles, en la familia de los taninos, encontramos una molécula muy singular, el ácido tánico, que ha sido tradicionalmente usado en la industria textil, aunque diversos estudios recientes lo postulan como un agente antitumoral y antioxidante de gran

relevancia [2].

El propósito de este artículo es comentar las aplicaciones más innovadoras y actuales del ácido tánico.

2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁCIDO TÁNICO

Desde un punto de vista químico, el ácido tánico es un compuesto polimérico constituido por una molécula de glucosa cíclica asociada a cinco moléculas de ácido digálico. La fórmula general es $\text{C}_{76}\text{H}_{52}\text{O}_{46}$ con peso molecular de 1701,20 u [3, 4, 5]. Este tanino destaca por su gran número de grupos fenólicos (figura 2), lo que le hace susceptible a establecer numerosos puentes de hidrógeno con otras moléculas y generar estructuras complejas como micelas y multicapas [2]. Esto además promueve una fácil disolución en agua y solventes orgánicos como acetona y glicerol, haciendo de ella una molécula anfipática de gran potencial e interés [5].

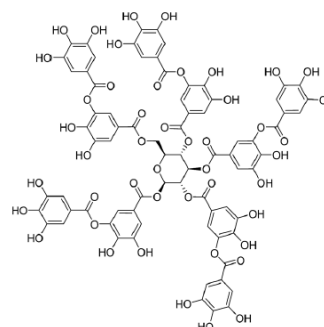


Fig. 2. Estructura química del ácido tánico [2]

Esta molécula se encuentra sobre todo en la corteza y raíces de plantas como la encina, el roble y el abeto, también en algunos alimentos como el vino tinto, las espinaacas o el café. Asimismo, puede producirse de forma artificial, y se comercializa como un polvo amarillento de sabor astringente no amargo para diversos fines [3, 4, 5].

3. APLICACIONES DEL ÁCIDO TÁNICO

Las aplicaciones del ácido tánico son numerosas y de muy diversa índole. Tradicionalmente ha tenido un importante uso industrial en el tratado y curtido del cuero, también como mordiente para fijar los colores de los tejidos textiles [4]. En la industria alimentaria, se emplea en la industria vinícola y cervecera para la clarificación de la bebida [3]. En cosmética, se usa como astringente, agente queratoplástico y tónico [5]. También tiene usos medicinales, los cuales serán tratados de forma más detallada a continuación.

El ácido tánico ha sido usado como adyuvante junto con químicos tradicionalmente usados en quimioterapia al observarse su efecto sinérgico en la inhibición del crecimiento de las células tumorales. Por ejemplo, la combinación de ácido tánico con mitomicina C o 5-fluorouracilo ha demostrado reducir el exporte celular de dichos químicos y la expresión de los transportadores de membrana responsables de su eliminación, reduciendo el crecimiento y viabilidad de células tumorales de colangiocarcinoma, un tumor de células epiteliales de la vesícula biliar [6]. Asimismo, se ha reportado su capacidad para modular negativamente la activación del receptor del factor de crecimiento epidérmico (EGFR), una glicoproteína de membrana con actividad kinasa involucrada en regular proliferación celular, diferenciación y supervivencia entre otras funciones celulares, que en última instancia ayudan al crecimiento y desarrollo de tumores de pulmón, colon u ovario [7].

Este ácido también tiene diversas propiedades curativas. Antiguamente, se explotaba como antídoto contra tóxicos derivados de hongos, plantas o bacterias en los siglos XIX y XX y como tratamiento de quemaduras, muy usado en la Primera Guerra Mundial por los soldados [8, 9]. Más recientemente, se ha usado como materia prima para producir tanato de albúmina, un antidiarreico, o sales de tanato de diversos principios activos para aumentar la estabilidad y asimilación de las mismas, como antihepatomáticos y antitusivos. Más allá, el ácido tánico también se ha empleado por su capacidad de promover la coagulación, reducir la presión sanguínea y la necrosis hepática, aumentar el nivel de lípidos séricos y modular la respuesta inmunitaria [10].

Pero sin duda, una de las aplicaciones más innovadoras del ácido tánico reside en su capacidad de producir nanopartículas, más concretamente aquellas involucradas en el tratamiento selectivo de tumores [2]. Actualmente, se han desarrollado métodos fabricación de nanopartículas de ácido tánico estables por métodos de síntesis química (figura 3). Estos métodos explotan la capacidad de esta molécula de conjugarse de forma pasiva junto con los componentes restantes que construyen la nanopartícula mediante puentes de hidrógeno gracias a sus numerosos grupos hidroxilo. Estas partículas son esféricas, con un radio hidrodinámico de un par de cientos de nanómetros y una remarcada carga neta negativa otorgada por dichos grupos hidroxilo, la cual ha demostrado mantenerse pese a su combinación con otros componentes neutros. De hecho, este aspecto del mantenimiento de una carga neta en la nanopartícula es crucial para el mantenimiento de su

integridad estructural ya que afecta a las fuerzas electrostáticas que mantienen unidos los diferentes componentes que construyen la partícula. Como es común en el campo de fabricación de nanopartículas, se suelen usar uno o varios polímeros que bien desempeñan una función por sí mismos (ej. protección de elementos externos), o bien recubren estas nanopartículas y sirven como anclaje para la unión de proteínas que permiten la unión de otros componentes [2].

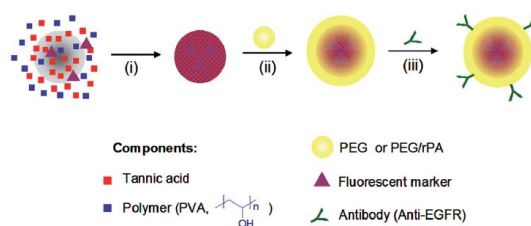


Fig. 3. Síntesis de nanopartículas de ácido tánico [2]

Estos componentes accesorios pueden ser de diversa naturaleza, dando unas características especiales que dependen de la aplicación concreta en la que se usen las nanopartículas. El tipo de polímero usado para recubrirlas es un factor crucial en las características fisicoquímicas (sobre todo, hidrofobicidad) y consecuente comportamiento de las mismas en los sistemas biológicos. Por ejemplo, se ha demostrado que el uso de polímeros como el poli(vinil-alcohol) reduce significativamente la internalización de las nanopartículas por parte de las células [2, 10].

4. CONCLUSIONES

El ácido tánico es sólo uno de los muchos ejemplos de metabolitos secundarios vegetales que ofrecen incontables aplicaciones para el ser humano.

En el marco tradicional, sin tener una idea exacta sobre su naturaleza química o el mecanismo de actuación, el ácido tánico se ha usado con fines terapéuticos para tratar heridas, envenenamiento, diarreas, hemorragias y como inmunorregulador.

En la actualidad, con un conocimiento más profundo y detallado sobre las características físico-químicas de esta molécula, las aplicaciones del ácido tánico son mucho más variadas y sofisticadas. Entre éstas, destacan por su relevancia en campos como la Medicina su uso como adyuvante junto con químicos anticancerígenos y, además, como un novedoso componente de nanopartículas para el tratamiento selectivo de tumores.

Con vistas al futuro, sería interesante seguir ahondando en la investigación de nuevas aplicaciones potenciales del ácido tánico, tanto en el campo industrial-alimentario como en el ámbito terapéutico, con vistas al tratamiento de enfermedades aún incurables, sobre todo el cáncer.

Igualmente, tal y como se demuestra con el caso del ácido tánico, resulta evidente que vale la pena invertir esfuerzo en investigar las características y posibles aplicaciones de otros metabolitos secundarios, cuyo origen y actividad biológica queda aún por ser descubiertos.

REFERENCIAS

- [1] Lock de Ugaz, O. (1994) *Investigación fitoquímica: métodos en el estudio de productos naturales*. Pontificia Universidad Católica del Perú
- [2] Aguilera, J. R., Venegas, V., Oliva, J. M., Sayagués, M. J., de Miguel, M., Sánchez-Alcázar, J. A., Arévalo-Rodríguez, M. & Zaderenko, A. P. (2016) *Targeted multifunctional tannic acid nanoparticles*. The Royal Society of Chemistry Advances, Vol 6, p7279-7287
- [3] EcuRed, enciclopedia cubana. <https://www.ecured.cu/>
- [4] Wikipedia, la Enciclopedia Libre. <https://es.wikipedia.org/>
- [5] Ficha de información técnica del ácido tánico. Acofarma S.A. http://www.acofarma.com/admin/uploads/download/6432-a175fe63b69e09cac550795ec24a86f574818dd9/main/files/cido_t_nico.pdf
- [6] Peter Naus, Roger Henson, Grant Bleeker, Hania Wehbe, Fan-yin Meng, and Tushar Patel, (2007) *Tannic acid synergizes the cytotoxicity of chemotherapeutic drugs in human cholangiocarcinoma by modulating drug efflux pathways*, Journal of Hepatology, vol. 46, issue 2, pp. 222-229.
- [7] M. Cichocki, M. Dałek, M. Szamałek and W. Baer-Dubowska, Nutr. Cancer, 2013, 66, 308-314.
- [8] Sturmer, J. W. (1899) *Pharmaceutical Toxicology*, The Pharmaceutical Era. vol. 21, pp. 472-474
- [9] Chung, King-Thom, Wong, Tit Yee, Wei, Cheng-I, Huang, Yao-Wen, Lin, Yuan (1998) *Tannins and Human Health: A Review*, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, vol. 38, no. 6, pp. 421-464.
- [10] Sahoo SK, Panyam J, Prabha S, Labhasetwar V. (2002) *Residual polyvinyl alcohol associated with poly (D,L-lactide-co-glycolide) nanoparticles affects their physical properties and cellular uptake*, Journal of Controlled Release vol. 18, issue 82, no. 1, pp. 105-114.

Alberto Pineda y Guillermo Ureña cursan actualmente el cuarto año en el Grado de Biotecnología en la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla.

Tratamientos y vacunas contra el cáncer de mama

Sara Ruiz García

Resumen— En la actualidad, el cáncer es una enfermedad muy común que muchas personas sufren a lo largo de su vida. Por ello, la investigación pone todos sus medios en la búsqueda de nuevos tratamientos continuamente para mejorar la calidad de vida de las personas que sufren esta enfermedad. Uno de los cánceres más comunes en mujeres es el cáncer de mama, contra el que se están intentando desarrollar tratamientos basados en el uso de anticuerpos y vacunas, ambos basados en la proteína Her2, sobreexpresada por las células tumorales en algunos tipos de cáncer de mama, de forma que estas células tumorales sean diana del propio sistema inmune y éste pueda eliminar el tumor.

Palabras Claves— Cáncer, Her2, Inmunoterapia, Trastuzumab, Vacunas.

1. INTRODUCCIÓN

El cáncer de mama es uno de los cánceres más comunes en mujeres en la actualidad. Aproximadamente, el 25-30% de ellos presentan sobreexpresión de la proteína Her2, lo cual los hace especialmente agresivos.

La proteína Her2 es una glicoproteína de 185 kDa, y el gen que la codifica se encuentra en la región cromosómica 17q12-21. Pertenece a la familia de receptores de membrana con actividad tirosina quinasa en su dominio citoplasmático. Her2 es un receptor para el factor de crecimiento epidérmico humano, siendo clave para la división y el crecimiento de las células. Por lo tanto, su sobreexpresión conlleva un aumento del crecimiento y una tasa de división celular muy elevada, lo que puede acabar por originar un tumor y una forma de cáncer muy agresivo, que suele acabar en metástasis.

Este tipo de cáncer Her2 positivo, presenta normalmente una mayor resistencia a los tratamientos convencionales (como el tamoxifeno), por lo que la búsqueda de otros tratamientos ha sido fundamental para aumentar la tasa de supervivencia de las pacientes. Entre ellos, han cobrado gran importancia los relacionados con la inmunoterapia, concretamente los basados en el uso de anticuerpos monoclonales contra la proteína Her2 y las vacunas contra esta proteína. [1], [2].

2. MECANISMOS DE ACTIVACIÓN DE HER2

La activación de la función quinasa del receptor Her2, requiere de un ligando, que al unirse hace que Her2 homodimerice o heterodimerice con otros receptores de su familia Her, sobre todo con Her3, amplificando las señales de estos otros receptores. [3], [4].

Sin embargo, cuando Her2 se sobreexpresa, su activación se puede dar independientemente de ligando, y en este caso se produce una activación constitutiva de los mecanismos de señalización celular que median la división y el crecimiento, por lo tanto en estos casos, Her2 actúa como un potente agente oncogénico promoviendo la división descontrolada de las células.

Cuando Her2 dimeriza con Her3, se autofosforila y se activa, iniciando la señalización celular vía PI3K-AKT-mTOR.

Se activa PI3K, una quinasa que fosforila el fosfatidil inositol bifosfato (PIP₂) de la membrana celular, convirtiéndolo en fosfatidil inositol trifosfato (PIP₃), que atrae y promueve a su vez la activación de proteínas como AKT, que promueve la proliferación celular. AKT va a fosforilar y activar a mTOR (mammalian target of rapamycin), otra quinasa que fosforila a muchos sustratos y participa en varios procesos como la supervivencia celular. (Figura 1). [3], [5].

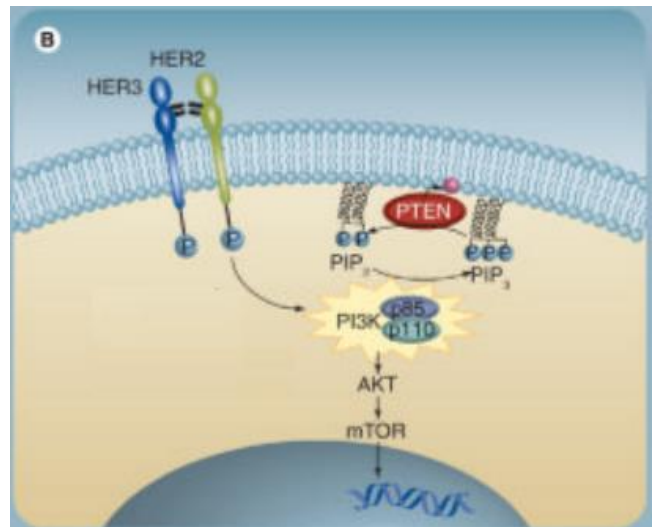


Fig. 1. Heterodímeros de Her2-Her3 activan la ruta de señalización PI3K-AKT-mTOR. [3]

Por otro lado, PTEN (phosphatase and tensin homolog) cataliza la hidrólisis de PIP₃ a PIP₂, regulando negativamente esta ruta de señalización.

Además, AKT inhibe por fosforilación a BAD (Bcl2-associated death promoter), impidiendo que se produzca la apoptosis, lo que también contribuye a la formación del tumor.

Por otra parte, otra ruta activada por la familia Her es la ruta ERK1/2 MAP kinasa. Cuando la proteína Grb2 o Shc se unen a estos receptores Her, llevan a la activación de Ras/Raf/MEK y ERK1/2, que activa otras quinasas y factores de transcripción que promueven la división celular. (Figura 2).

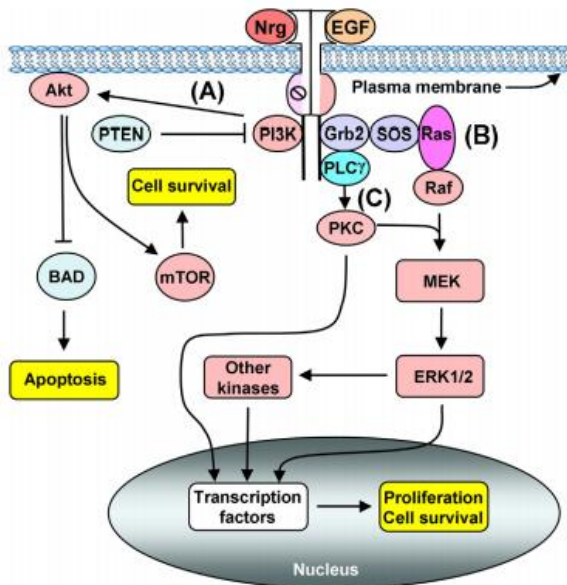


Fig. 2. Diferentes rutas de señalización activadas por la familia HER. [5]

También, los receptores Her activan otra ruta mediante PLC γ (fosfolipasa C), que de nuevo promueve la proliferación celular. [5]

Además, Her2 puede activar a la ciclina D1, que también se sobreexpresaría, mediante los factores de transcripción SP1 y E2F. La expresión de la ciclina D1 también se puede ver aumentada por Ras, Raf, Rac y MEK, siendo todas ellas proteínas que participan en la cascada de señalización activada por Her2. [3], [5].

Todos estos mecanismos conllevan finalmente un aumento de la supervivencia celular por inhibición de la apoptosis y un aumento de la división celular, ya de forma descontrolada, lo que acabaría originando un tumor.

Por lo tanto, sabiendo todo esto, los nuevos tratamientos se basan en inhibir todas estas rutas y por tanto la división celular y la progresión del tumor.

3. TRASTUZUMAB.

Recientemente se está desarrollando la inmunoterapia como tratamiento frente a los cánceres Her2+, con resultados satisfactorios, basados en el uso de anticuerpos como Trastuzumab en combinación con la quimioterapia, lo que aumenta la tasa de supervivencia y la calidad de vida de las pacientes afectadas.

Trastuzumab es un anticuerpo monoclonal murino humanizado dirigido contra Her2, concretamente contra

su dominio extracelular, con efectos anti tumorales en las células que lo sobreexpresan, ya que disminuye su expresión y bloquea su dimerización independiente de ligando con Her3, además de impedir el corte proteolítico del dominio extracelular, lo que disminuye los niveles de las formas más activas de Her2.

Como resultado de todos estos efectos, Trastuzumab regula negativamente las vías de señalización dependientes de Her2, como son la vía de PI3K/AKT y de los mediadores del ciclo celular como la ciclina D1, provocando finalmente la apoptosis celular [3], [5].

Además, este anticuerpo media una respuesta inmune contra las células tumorales que sobreexpresan Her2, ya que se une a los receptores Fc de algunas células del sistema inmune como las natural killer (células NK), que matan al tumor por liberación de perforina, granzima y citoquinas. Todo esto conlleva una citotoxicidad celular mediada por anticuerpo. [5]

3.1. Uso combinado con quimioterapia

Trastuzumab se puede usar solo como tratamiento para inhibir el crecimiento del tumor, sin embargo, tiene efectos sinérgicos cuando se utiliza en combinación con la quimioterapia estándar, mostrando una mejor respuesta de esta forma en las pacientes con cáncer de mama metastásico con sobreexpresión de Her2, frente al uso de quimioterapia solo o Trastuzumab solo.

Se determinó que esta combinación de quimioterapia con Trastuzumab era el tratamiento más efectivo, asociándose con que la enfermedad progresara de forma más lenta, con una mayor tasa de respuesta y siendo ésta más duradera, una menor tasa de muerte en pacientes y por tanto, mayor tasa de supervivencia, reduciéndose hasta en un 20% el riesgo de muerte. [2], [5].

El beneficio de usar Trastuzumab de forma complementaria a la quimioterapia es más que evidente. Sin embargo, no está muy claro si el beneficio es mayor cuando se usa de forma simultánea a la quimioterapia, o de forma posterior a ésta.

Algunos estudios parecen demostrar una mayor eficacia cuando se administra de forma simultánea, sin embargo, el tratamiento con Trastuzumab se suele prolongar después de finalizar la quimioterapia, ya que reduce significativamente el riesgo de recaída, algo muy común en este tipo de cáncer. [6], [7], [8]

3.2. Efectos secundarios

Trastuzumab, como la gran mayoría de los tratamientos, tiene ciertos efectos secundarios. Uno de los efectos adversos más evidentes es que existe cierta cardiotoxicidad, ya que en el corazón existen receptores de Her2, [9]

Esta cardiotoxicidad debe ser tenida en cuenta sobre todo en pacientes con factores de riesgo de enfermedad cardiovascular, como son la edad avanzada, obesidad, hipertensión, etc.

Sin embargo, este efecto depende mucho de la combinación que se haga con otras sustancias. Por ejemplo, se sabe que combinar el Trastuzumab con el uso de antraciclina aumenta el riesgo de disfunción cardíaca, por lo tanto se deben evitar las antraciclina en estos pacientes de alto riesgo. También se debe evitar prolongar demasiado el tratamiento, puesto que esto también aumenta los efectos de la cardiotoxicidad.[6], [10].

Sin embargo, diversos estudios han confirmado que existe una seguridad relativa respecto a la cardiotoxicidad del producto, ya que muchos de los efectos se dan solamente durante el tratamiento y son reversibles al finalizar el mismo. [6]

4. VACUNAS

Actualmente, se están desarrollando vacunas contra el cáncer de mama basadas en Her2, ya que constituye un marcador de células tumorales cuando se sobreexpresa, cualidad que sirve para distinguirlas de las células normales y que el sistema inmune las ataque.

Las vacunas que poseen antígenos asociados a tumores, constituyen una forma de inmunoterapia para el tratamiento del cáncer. En el caso del cáncer de mama, el antígeno sería Her2, en concreto, péptidos de la proteína que van a ser presentados por el complejo mayor de histocompatibilidad de clase I (MHC I). Estos péptidos derivados de Her2, se usan en combinación con el factor estimulador de colonias granulocíticas y macrófagos (GM-CSF), con lo que se pretende estimular a los linfocitos T CD8+ o linfocitos T citotóxicos, para que maten a las células tumorales. De esta forma, se previene la recurrencia de la enfermedad, con una tasa de supervivencia a los 5 años de un 90% en pacientes vacunadas.

Algunos de los péptidos derivados de Her2 que se utilizan son E75 (nelipepimut-S) y GP2, que se van a unir al HLA-A2, haciéndolo E75 con mayor afinidad. Sin embargo, GP2 posee más flexibilidad en el centro del péptido, lo que puede aumentar su inmunogenicidad al poder asumir múltiples conformaciones, y por tanto, estimular a múltiples poblaciones de linfocitos T con diferentes receptores TCR. Por tanto, al final ambos péptidos inducen una respuesta T CD8+ similar. [11], [12].

La inmunidad celular creada por esta vacuna está mediada por linfocitos T citotóxicos CD8+, pero también por linfocitos T ayudantes CD4+. Los linfocitos CD8+ van a reconocer a estos péptidos de Her2 o antígenos asociados al tumor, que se presentan en los MHC de clase I, y van a producir IFN- γ , induciendo apoptosis a las células tumorales, junto con la acción de los macrófagos.

Los linfocitos T CD4+ por otra parte, van a complementar la actividad de los CD8+, promoviendo la supervivencia de las células efectoras y de memoria CD8+, e impidiendo la tolerancia. Además, los linfocitos Th1 CD4+ producen IL2, TNF- α y IFN- γ , que promueven la proliferación de los linfocitos T CD8+ y la función de las

células NK, además de inducir la expresión de MHC de clase II en las células tumorales, promover la actividad de las células presentadoras de antígenos (APC) en el entorno del tumor y favorecer la senescencia del mismo induciendo la apoptosis.

Así es como el sistema inmune ataca a las células tumorales, siendo más que evidente la importancia de la inmunidad mediada por linfocitos T CD4+ debido a sus múltiples efectos. Sin embargo, muchas pacientes producen muy poca cantidad de linfocitos Th1, por lo que podría ser interesante combinar en la vacuna la adición de las citoquinas que producen estas células. Otra estrategia interesante son las vacunas con células dendríticas, que promueven la inmunidad mediada por linfocitos Th1, al inducir la diferenciación de los linfocitos CD4+ a linfocitos Th, con una duración del efecto de la vacuna de hasta 60 meses, creando una inmunidad más dura. [12]

4.1. Toxicidad

Esta vacuna basada en los péptidos E75 y GP2 es segura, con una toxicidad local mínima, siendo los efectos secundarios más comunes eritema (enrojecimiento de la piel), induración (endurecimientos de la zona) y pruritis o picor.

Respecto a la toxicidad sistémica, también es mínima, incluyendo síntomas como fatiga o dolor de cabeza. [11]

6. CONCLUSIONES

Estos tratamientos basadas en el uso de anticuerpos monoclonales como Trastuzumab junto con el uso de vacunas contra Her2, abren la puerta al uso de la inmunoterapia como principal forma de tratamiento. Las ventajas de estos tratamientos son más que evidentes, y los resultados obtenidos hasta ahora son esperanzadores, lo que lleva a seguir la investigación contra el cáncer en esta dirección, ya que nuestro propio sistema inmune podría ser el arma más eficaz contra esta enfermedad tan común y agresiva que es el cáncer.

REFERENCIAS

- [1] Dennis J. Slamon, Brian Leyland-Jones, Steven Shak, Hank Fuchs, Virginia Paton, Alex Bajamonde, Thomas Fleming, Wolfgang Eiermann, Janet Wolter, Mark Pegram, Jose Baselga, and Larry Norton. (2001). Use of Chemotherapy plus a monoclonal antibody against HER2 for metastatic breast cancer that overexpresses HER2. *The New England Journal of Medicine*, 344(11), pp.783-792.
- [2] C. M. Cabrera Morales. (2005). Estudio comparativo de la amplificación de Her2/neu mediante FISH y PCR cuantitativa en tiempo real en tumores de mama. *Oncología*, 28(10), pp.472-476.
- [3] Devika Gajria and Sarat Chandarlapaty. (2011). HER2-amplified breast cancer: mechanisms of trastuzumab resistance and novel targeted therapies. *Expert Review of Anticancer Therapy*, 11(2), pp.263-275.
- [4] Anton Arkhipov, Yibing Shan, Eric T Kim, Ron O Dror, David E Shaw. (2013). Her2 activation mechanism reflects evolutionary preservation of asymmetric ectodomain dimers in the human EGFR family. *eLife*, 2.

- [5] Robert Roskoski Jr. (2014). The ErbB/HER family of protein-tyrosine kinases and cancer. *Pharmacological Research*, 79, pp.34-74.
- [6] Ana Catarina Pinto, Felipe Ades, Evandro de Azambuja, Martine Piccart-Gebhart. (2013). Trastuzumab for patients with HER2 positive breast cancer: Delivery, duration and combination therapies. *The Breast*, 22, pp.152-155.
- [7] Martine J. Piccart-Gebhart, Marion Procter, Brian Leyland-Jones, Aron Goldhirsch, Michael Untch, Ian Smith ... Richard D. Gelber.. (2005). Trastuzumab after Adjuvant Chemotherapy in HER2-Positive Breast Cancer. *The New England Journal of Medicine*, 353(16), pp.1659-1672.
- [8] Gustavo A Viani, Sergio L Afonso, Eduardo J Stefano, Ligia I De Fendi and Francisco V Soares. (2007). Adjuvant trastuzumab in the treatment of her-2-positive early breast cancer: a meta-analysis of published randomized trials. *BMC Cancer*, 7(153).
- [9] Robert Roskoski Jr. (2004). The ErbB/HER receptor protein-tyrosine kinases and cancer. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 319.
- [10] Heikki Joensuu, Pirkko-Liisa Kellokumpu-Lehtinen., Petri Bono, Tuomo Alanko, Vesa Kataja, Raija Asola ... Jorma Isola. . (2006). Adjuvant Docetaxel or Vinorelbine with or without Trastuzumab for Breast Cancer. *The New England Journal of Medicine*, 354, pp.809-820.
- [11] Elizabeth A. Mittendorf, Alexandros Ardavanis, Jennifer K. Litton, Nathan M. Shumway, Diane F. Hale, James L. Murray ... George E. Peoples. (2016). Primary analysis of a prospective, randomized, single-blinded phase II trial evaluating the HER2 peptide GP2 vaccine in breast cancer patients to prevent recurrence. *Oncotarget*, 7(40), pp.66192-66201.
- [12] Nadia F. Nocera, M. Catherine Lee, Lucy M. De La Cruz, Cinthia Rosembli and Brian J. Czerniecki. (2016). Restoring Lost Anti-HER-2 Th1 Immunity in Breast Cancer: A Crucial Role for Th1 Cytokines in Therapy and Prevention. *Frontiers in Pharmacology*, 7(356).



Sara Ruiz García.

Estudiante de 4º curso de Grado en Biotecnología.

La consolidación de rocas carbonatadas, pinturas murales, morteros y yesos, mediante nanopartículas de hidróxido cálcico en soluciones coloidales alcohólicas

Cándida Bermejo Palomino

Resumen— Los estudios desarrollados en los últimos años sobre el uso de nanopartículas de hidróxido de calcio, en tratamientos de consolidación de los materiales carbonatados, han permitido comprobar la importancia e interacción de las condiciones ambientales y las características físicas y químicas del producto consolidante y del sustrato en el proceso de carbonatación; así como los efectos causados sobre las propiedades de los materiales tratados.

Palabras Claves— Consolidación, nanotecnología, nanopartículas, hidróxido de calcio, Nanorestore®, CaLoSil®, patrimonio petreo, piedra, caliza, dolomía, yeso, pintura mural.



1. INTRODUCCIÓN

Las dispersiones en alcohol de nanopartículas de hidróxido de calcio, se están convirtiendo en un producto efectivo para la consolidación de materiales carbonatados que forman parte del Patrimonio Cultural. Su uso se basa en la compatibilidad del agente consolidante con el material a consolidar, la posibilidad de obtener una mayor penetración, gracias al pequeño tamaño de la partícula, y la no movilización de sales solubles [1], [2].

Actualmente, existen en el mercado productos comerciales a base de nanopartículas de hidróxido de calcio en soluciones coloidales alcohólicas que han sido objeto de diversos estudios. La mayoría, encaminados a evaluar su estabilidad ante diferentes factores que pueden condicionar su actuación sobre el sustrato, tales como la humedad relativa, el tipo de dispersante utilizado, su concentración, etc. [3].

El objetivo del artículo es establecer un estudio comparativo, entre las investigaciones realizadas en los últimos años, acerca de la consolidación de sustratos de naturaleza carbonatada mediante nanopartículas de hidróxido de calcio, sin que se produzcan efectos dañinos.

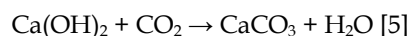
2. CONSOLIDACIÓN CON NANOPARTÍCULAS DE HIDRÓXIDO DE CALCIO

2.1. El proceso de carbonatación

La consolidación con nanopartículas de hidróxido de calcio se produce por la transformación del hidróxido cálcico, tras la evaporación del alcohol, en calcita (CaCO_3), al reaccionar con el dióxido de carbono de la atmósfera, en un proceso muy similar a los morteros de cal tradicionales.

El medio dispersante se evapora, sin dejar residuos, y no se produce la formación de componentes que puedan dañar el material tratado [4].

La ecuación química del proceso de carbonatación es:



2.2. Factores que condicionan el proceso de carbonatación

La mayoría de los estudios consultados trata de evaluar la estabilidad de estos productos consolidantes ante diferentes factores como: la humedad relativa, el tiempo transcurrido desde la aplicación, el medio dispersante empleado, la concentración de la suspensión coloidal, el grado de penetración y las propiedades petrofísicas del sustrato [3], [6].

2.3. Nanopartículas estudiadas

De entre los tipos de nanopartículas, objeto de estudio, se han seleccionado dos productos comerciales: Nanorestore® y CaLoSil®, por su importancia para la Restauración, al estar siendo utilizados sobre el Patrimonio Cultural. Sus principales características son:

- Nanorestore®**: compuesto por nanocristales de Ca(OH)_2 de forma similar a placas hexagonales, de tamaño <100 nm, dispersas en alcohol isopropílico, en una concentración de 5 g. / l., [9], [10].
- CaLoSil®**: a base de nanopartículas de Ca(OH)_2 constituidas por cristales tabulares de hábito hexagonal [7], de tamaño medio de 150 nm, dispersas en alcohol isopropílico, n-propanol o 2-propanol, en concentraciones típicas de 5 a 25 g./l. [8].

2.4. Estudio comparativo de las condiciones experimentales

Las nanopartículas Nanorestore[®] y CaLoSil[®], fueron aplicadas sobre distintos materiales o estudiadas directamente tras la evaporación del medio dispersante.

Las tablas 1 y 2 reflejan las principales variables utilizadas en los experimentos consultados:

TABLA 1
NANORESTORE[®]: PRINCIPALES CONDICIONES EXPERIMENTALES UTILIZADAS EN DIFERENTES ESTUDIOS
(T^a: temperatura. HR: humedad relativa. Conc: concentración)

Ref.	Dispersante	Conc	Principales condiciones del ensayo	Aplicación
[10]	Alcohol isopropílico	5g/l.	T ^a :20°C. HR: 75% y 33%. CO ₂ : 530ppm. Plazo: 20 días.	Estudio directo del producto y sobre dolomía de Redueña
[12]	Alcohol isopropílico	5g/l	T ^a : 20 ° C. HR: 33%, 54%, 75% y 90%. Sin flujo extra CO ₂ (530 ppm aprox). Plazo: 7, 14, 21, 28 días.	Estudio directo del producto
[5]	2-propanol	5g/l.	T ^a ambiente. HR: 60 % y 75%. CO ₂ : 1000 ± 100 ppm. Plazo: 5 meses.	Pinturas murales: Campeche y Puebla (México)
[9]	Alcohol isopropílico	5g/l.	T ^a : 18±1°C. HR: 59±11%. T ^a : 18±1°C. HR: 87±1%. T ^a 20 ± 1°C. HR: 87±7%. CO ₂ : 2.500 ppm. Plazo: 28 días.	Piedra caliza de Leccese (Italia) y Novelda (España)

TABLA 2:
CALOSIL[®]: PRINCIPALES CONDICIONES EXPERIMENTALES UTILIZADAS EN DIFERENTES ESTUDIOS
(T^a: temperatura. HR: humedad relativa. Conc: concentración)

Ref.	Dispersante	Conc	Principales condiciones del ensayo	Aplicación
[7]	Alcohol isopropílico	-	T ^a : 20°C. HR:90%. Sin flujo extra CO ₂ Plazo: 7, 14, 21, 28 días	Estudio directo del producto
[11]	Alcohol isopropílico	2g/l.	T ^a : 20°C. HR: 75%. Sin flujo CO ₂ . Plazo: 28 días.	Dolomía de Redueña
[9]	Alcohol isopropílico	25g./l	T ^a : 18±1°C.HR: 59±11%. T ^a : 18±1°C.HR:87±1%. T ^a 20 ± 1 °C.HR: 87±7%. CO ₂ : 2.500 ppm. Plazo: 28 días	Piedra caliza de Leccese (Italia) y Novelda (España)

2.5. Técnicas de análisis

Para valorar el efecto de los tratamientos de consolidación se debe efectuar un estudio del material a consolidar, antes y después del tratamiento.

La finalidad de este estudio es determinar las propiedades químicas, morfológicas, físicas e hídricas del material antes y después del tratamiento, y caracterizar la transformación de la fase portlandita a los polimorfos de carbonato de calcio de tipo calcita, aragonito y vaterita [3], [9], [10].

A continuación, se exponen las técnicas analíticas que han sido propuestas en los diferentes trabajos consultados, para realizar el citado estudio:

- Análisis de las propiedades químicas, morfológicas, físicas e hídricas de las muestras, antes y después del tratamiento mediante: microscopía electrónica de barrido con analizador de energía dispersiva de rayos X (SEM EDX) , espectrofotometría, absorción de agua por capilaridad, absorción de agua bajo vacío, ultrasonidos, resonancia nuclear magnética (proyección de imagen y relaxometría) y análisis óptico de la rugosidad de la superficie. [3], [10].
- Caracterización de las transformaciones morfológicas y mineralógicas de las nanopartículas mediante: microscopía electrónica de barrido (SEM), microscopía electrónica de transmisión (TEM) y difracción de Rayos X (DRX) [9], [10].

3. RESULTADOS

Los resultados de diferentes estudios consultados sobre los efectos consolidantes de las suspensiones coloidales de nanopartículas de hidróxido de calcio, coinciden en afirmar que, en general, se trata de un método de consolidación natural y compatible con las características petrológicas del sustrato que, en la mayoría de los casos, no genera daños secundarios sobre el material tratado, resultando eficaz para la mejora de la durabilidad de rocas carbonáticas, pintura mural, morteros y yesos [1], [5], [11].

Otras conclusiones que se pueden extraer de los resultados obtenidos en estos estudios son:

1. La velocidad de carbonatación depende de la temperatura y la humedad relativa. En condiciones normales (entre 20° C y 50% de humedad relativa) la transformación del hidróxido cálcico en carbonato cálcico suele concluir al cabo de 2-3 semanas [6].
2. Teniendo en cuenta la estructura porosa del sustrato, para conseguir una penetración adecuada del consolidante, se deberá ajustar la concentración mediante dilución y seleccionar el procedimiento de aplicación adecuado [1], [6].
3. Cuando se utilizan etanol o alcohol isopropílico como medio dispersante del hidróxido de calcio, la velocidad de aglomeración se ralentiza y se reduce

la tendencia a formar una película blanca en la superficie [10]; si bien, la aparición de velos blanquecinos, también dependerá del grado de absorbencia del sustrato y de la concentración utilizada [6].

4. El alcohol, no sólo proporciona una gran estabilidad coloidal a las partículas de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, sino que también afecta a la cinética de la carbonatación y formación del polimorfo de CaCO_3 [2].
5. La humedad relativa alta favorece y acelera la carbonatación [10]. La formación de nanogotas de agua es necesaria para que el CO_2 gaseoso reaccione con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, [9]; sin embargo, el tratamiento de piedra muy húmeda provoca la formación de aglomerados [6]. Además la humedad relativa alta ralentiza la evaporación de alcohol cuya presencia aumenta en la atmósfera y propicia un incremento de la tasa de la formación de polimorfos de CaCO_3 , como vaterita y aragonito, menos estables que la calcita [9].
6. El suministro de CO_2 mejora el proceso y los resultados de la carbonatación; no obstante, se sigue investigando cómo aportarlo, ya que resulta complicado obtener fuentes de CO_2 económicas, fiables y de fácil manejo [9].

4. CONCLUSIONES

Los tratamientos de consolidación con nanopartículas de hidróxido cálcico pueden contribuir a la conservación de los Bienes Culturales de naturaleza carbonática deteriorados, ya que mejoran su cohesión y sus propiedades mecánicas, consiguiendo una mayor durabilidad y capacidad de resistencia ante ciertos agentes de deterioro.

Para optimizar este tipo de tratamiento es necesario, previamente a su intervención y en cada caso, determinar el método y condiciones de aplicación idóneas, de acuerdo a las propiedades físicas y químicas del material a tratar.

Tal como afirman algunos autores, aún es necesario continuar investigando las propiedades de envejecimiento del material consolidado, así como su eficacia en presencia de sales solubles, cuestiones de gran importancia que todavía no se han estudiado en detalle [1].

REFERENCIAS

- [1] Daehne, A. & Herm, C., "Calcium hydroxide nanosols for the consolidation of porous building materials - results from EU-STONECORE", *Heritage Science*, vol. 1, no. 1, pp. 1-11, 2013, doi: 10.1186/2050-7445-1-11.
- [2] Rodríguez-Navarro, C., Suzuki, A. & Ruiz-Agudo, E. "Alcohol dispersions of calcium hydroxide nanoparticles for stone conservation", *Langmuir: the ACS journal of surfaces and colloids*, vol. 29, no. 36, pp. 11457, 2013, doi.org/10.1021/la4017728 1.
- [3] L.S. Gómez-Villalba, P. López-Arce, R. Fort, M. Álvarez de Buergo y A. Zornoza-Indart, "Aplicación de nanopartículas a la consolidación del patrimonio pétreo", *La ciencia y el arte III. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio*, pp. 38-57, 2011, NIPO: 551-11-103-6.
- [4] Web de Agar. Agar. http://www.agaragar.net/Galerias/archivos/CaLoSiL_aplicacion.pdf

- [5] Baglioni, P., Chelazzi, D., Giorgi, R., Carretti, E., Toccafondi, N. & Jaidar, Y. "Commercial $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nanoparticles for the consolidation of immovable works of art", *Applied Physics A*, vol. 114, no. 3, pp. 723-732, 2014, doi: 10.1007/s00339-013-7942-6
- [6] Web de IBZ Salzchemie GmbH & Co. http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/CaLoSiL_ES.pdf
- [7] L.S. Gómez-villalba, P. López-Arce, M. Álvarez de Buergo & R. Fort, "Comportamiento Cristalino de Nanopartículas de Portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) en Condiciones de Alta Humedad Relativa", *Revista de la sociedad española de mineralogía*, "Macla", no. 13, pp. 103-104, Sep 2010
- [8] Web de grupo Español de Conservación <http://www.ge-ic.com/files/Nanorestore/NANORESTORE.pdf>
- [9] Lopez-Arce, P. & Zornoza-Indart, A., "Carbonation acceleration of calcium hydroxide nanoparticles: induced by yeast fermentation", *Applied Physics A*, vol. 120, no. 4, pp. 1475-1495, 2015, doi: 10.1007/s00339-015-9341-7
- [10] P. López-Arce, L.S. Gomez-Villalba, L. Pinho, M.E. Fernández-Valle, M.Á. de Buergo & R. Fort, "Influence of porosity and relative humidity on consolidation of dolostone with calcium hydroxide nanoparticles: Effectiveness assessment with non-destructive techniques", *Materials Characterization*, vol. 61, no. 2, pp. 168-184, 2010, doi: 10.1016/j.matchar.2009.11.007
- [11] L.S. Gómez-Villalba, P. López-Arce, A. Zornoza, M. Álvarez de Buergo y R. Fort, "Evolución del tratamiento de consolidación de dolomías mediante nanopartículas de hidróxido de calcio en condiciones de alta humedad relativa", *Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio*, 50 (2), pp. 85-92, 2011, doi: 10.3989/cyv.122011
- [12] P. López-Arce, L.S. Gómez-Villalba, S. Martínez-Ramírez, M. Álvarez de Buergo, R. Fort, "Influence of relative humidity on the carbonation of calcium hydroxide nanoparticles and the formation of calcium carbonate polymorphs", *Powder Technology*, 205(1), pp. 263-269, 2011, doi: 10.1016/j.powtec.2010.09.026



Cándida Bermejo recibió el título en Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la especialidad de escultura por la Escuela Superior de Arte del Principado de Asturias en 2015 y de Técnico Superior en Artes Aplicadas a la Piedra en 2000, Escuela de Arte de Oviedo. Actualmente, cursa el Máster de Diagnóstico del Estado de conservación del Patrimonio Histórico que imparte la Universidad Pablo de Olavide.

¿Y si tenemos un ambiente ácido en el museo?

Teresa Palomar Sanz

Resumen— En el interior de los museos se pueden encontrar numerosas especies contaminantes que pueden proceder de la atmósfera exterior o, incluso, ser emanados por materiales del museo. Unas de las especies más dañinas son los contaminantes ácidos que pueden inducir alteraciones, deterioro, degradación o corrosión en los materiales históricos. La monitorización de estas especies se puede realizar mediante diferentes metodologías: probetas metálicas, captadores pasivos, sensores ópticos de acidez ambiental y microextracción en fase sólida (SPME).

Palabras Claves— Contaminantes ácidos, museos, polución, sistemas de monitorización.

1. INTRODUCCIÓN

Los museos son edificios complejos formados por salas y galerías de exposición, así como almacenes, talleres, oficinas, salas de máquinas, y otras salas de uso común. Generalmente, los museos están localizados en edificios históricos en el centro de la ciudad y, por ello, están expuestos a una elevada contaminación ambiental por el tráfico de la ciudad. Además, al estar situados en edificios históricos, las condiciones ambientales del interior del museo son difíciles de controlar. Estudios previos han demostrado que los contaminantes del exterior pueden entrar a través de las ventanas, puertas y sistemas de ventilación, así como a través de las ranuras del edificio [1, 2].

La concentración de los contaminantes en el interior de los museos depende de su origen y de su velocidad de difusión [3]. Los contaminantes de origen externo más importantes son dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O_3) y sulfuro de hidrógeno (H_2S); mientras que el ácido fórmico (HCOOH) y el ácido acético (CH_3COOH) suelen proceder de emanaciones de ciertas maderas, adhesivos, resinas y siliconas. Moléculas como el SO_2 y el O_3 suelen presentar una baja concentración en el interior de los museos debido a su elevada reactividad ya que tienden a adsorberse rápidamente. Por el contrario, las moléculas de NO_2 y H_2S tienen una reactividad menor acumulándose en el ambiente [2, 3].

Los turistas también alteran la atmósfera del museo ya que irradian calor, y con su respiración emiten vapor de agua y CO_2 . Además pueden transportar contaminantes del exterior adsorbidos en la ropa [3].

Este trabajo se ha centrado en los contaminantes ácidos ya que suponen un importante riesgo para la conservación de los materiales del patrimonio cultural, porque en función de su naturaleza y su concentración pueden inducir alteraciones, deterioro, degradación o corrosión [4].

2. CONTAMINANTES ÁCIDOS

Las especies atmosféricas de carácter ácido más agresivas en el interior de los museos son SO_2 , NO_x y VOCs.

La principal fuente de SO_2 es la combustión del transporte y la industria. El SO_2 puede reaccionar con el oxígeno y el agua ambiental para formar H_2SO_4 , que puede dañar gravemente los materiales, en especial los objetos de carbonato cálcico (mármol, caliza), celulosa (papel, algodón, lino), seda, hierro o acero [5].

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) en un ambiente húmedo pueden formar ácido nítrico, el cual puede causar o intensificar la corrosión del metal, así como acelerar la hidrólisis de la celulosa [5], dañar el material fotográfico, decolorar los tintes o debilitar las fibras textiles [1].

Los compuestos orgánicos volátiles (VOC, por sus siglas en inglés) son sustancias químicas basadas en el carbono que suelen encontrarse en forma de gas. Los VOC más estudiados han sido el ácido fórmico (HCOOH) y el ácido acético (CH_3COOH), ya que ocasionan graves efectos sobre el material calcáreo, cerámica, vidrio, metales, celulosa y papel. La principal fuente de ácido acético y fórmico son las emisiones de las maderas utilizadas en vitrinas, expositores y almacenes; las siliconas y otros productos de sellado de juntas; así como, las lacas, disolventes, barnices y pinturas [6].

La US National Bureau of Standard en su informe NBSIR 83-2795 titulado "Air quality criteria for storage of paperbased archival records" sugiere que el valor límite para conservar el material gráfico es $4.75 \mu\text{g m}^{-3}$ para NO_2 , $26 \mu\text{g m}^{-3}$ para O_3 y menos de $1 \mu\text{g m}^{-3}$ para SO_2 [7].

3. MONITORIZACIÓN AMBIENTAL

Dada la gravedad de los efectos que ocasionan los contaminantes ácidos en los materiales históricos, es necesario controlar la concentración de éstos en el interior de museos, en salas, vitrinas, almacenes, etc. En este trabajo se recogen cuatro de las técnicas de monitorización de contaminantes ácidos más utilizadas actualmente: probetas metálicas, captadores pasivos, sensores ópticos de acidez ambiental y microextracción en fase sólida (SPME).

3.1. Probetas metálicas

La corrosividad de la atmósfera se cuantifica mediante el ataque por corrosión de probetas normalizadas de cuatro metales de referencia (acero al carbono, cinc, cobre y plata) (Fig. 1) [8, 9], aunque también se están probando otros metales, como el plomo [10]. El tiempo de exposición suele ser un mes, un trimestre o un año.



Fig. 1. A la izquierda, probetas metálicas; a la derecha, captadores pasivos. Imagen extraída de la ref. [6].

Esta metodología actúa como un dosímetro en el que cada metal es activo para diferentes contaminantes (Tabla 1). Se puede determinar la velocidad de corrosión por mediciones de la variación de la masa, por reducción catódica electrolítica o por mediciones de la resistencia [9]. El avance en las técnicas de deposición, ha permitido diseñar equipos de pequeño tamaño capaces de alertar sobre las variaciones en la atmósfera del museo [11].

TABLA 1
COMPORTAMIENTO ANTE LA CORROSIÓN DE METALES EN
AMBIENTES INTERIORES [8]

Metal	Comportamiento ante la corrosión
Acero	Muy sensible a la humedad relativa y al SO ₂ Sensible a los compuestos orgánicos en atmósferas de interior
Cinc	Efectos sinérgicos de SO ₂ , NO ₂ y O ₃ Sensible a la humedad relativa y a una amplia gama de contaminantes
Cobre	Influencia significativa del H ₂ S y SO ₂ Efectos sinérgicos con SO ₂ , NO ₂ y O ₃
Plata	Muy sensible al H ₂ S y al Cl ₂
Plomo	Bastante reactivo con los gases atmosféricos comunes

3.2. Captadores pasivos

Los captadores pasivos son unos tubos formados por una malla de acero inoxidable recubierta por un agente químico que puede reaccionar específicamente con el contaminante de interés (Fig. 1). Se denominan “pasivos” porque funcionan gracias a la difusión del gas a través del tubo. El periodo de exposición de los tubos suele ser de 2 a 4 semanas. Los captadores más habituales en los museos son los que detectan NO₂ y SO₂.

Para detectar NO₂, la malla se recubre con trietanolamina, que reacciona con el óxido formando un derivado nitroso. Posteriormente, éste se transforma en un tinte azo morado y se cuantifica mediante espectrofotometría [12]. Para cuantificar el SO₂, se utiliza KOH como captador que convierte el SO₂ en H₂SO₃, más tarde se trata con H₂O₂ para oxidarlo a sulfato, el cual se determina cromatográficamente [13].

3.3. Sensores ópticos de acidez ambiental

Los sensores ópticos son sensibles a las especies ácidas o

básicas del medio. Están formados por una capa vítrea de ~350 nm de espesor depositada sobre un portamuestras de vidrio convencional mediante el procedimiento sol-gel. A esta capa se incorpora un colorante orgánico sensible a los cambios de pH en el intervalo de interés [14].

En el caso específico de los sensores aplicados para la conservación preventiva en museos, el colorante orgánico utilizado es rojo de clorofenol, sensible a los cambios de acidez entre pH = 5 (amarillo) y pH = 8 (violeta) (Fig. 2) [15].

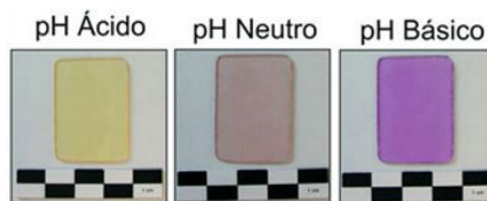


Fig. 2. Variación del color en los sensores ópticos en función del pH. Imagen extraída de la ref. [14].

Los sensores tienen una precisión de ± 0.1 unidades en la escala de pH y proporcionan información en menos de 24 horas, pero no muestran especificidad para las especies ácidas o básicas, sino que miden el pH total.

3.4. Microextracción en fase sólida (SPME)

La microextracción en fase sólida es una técnica que permite analizar la concentración de diferentes tipos de moléculas, volátiles y no-volátiles, presentes en un líquido o gas. El dispositivo de extracción cuenta con una fibra recubierta por la fase extractora, que puede ser un polímero o un sólido adsorbente (Fig. 3). Si se deja el tiempo suficiente para que se alcance el equilibrio entre el medio y la fibra, la cantidad de analito extraída será proporcional a la concentración de la atmósfera. Tras la extracción, los analitos se pueden analizar mediante cromatografía de gases o espectrometría de masas.

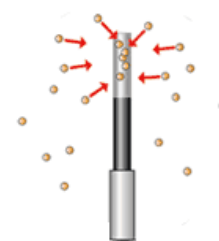


Fig. 3. Esquema de captación de la microextracción en fase sólida (SPME). Imagen modificada de <http://www.schambeck-sfd.com>.

La SPME es un método rápido y libre de disolventes. El tiempo de medida puede ser de 35 minutos pero para que alcance el equilibrio es recomendable realizar exposiciones de 24 horas. Está especialmente indicado para analizar pequeños volúmenes de aire como vitrinas y cajas de almacenamiento con concentraciones de 50-500 $\mu\text{g m}^{-3}$ para el ácido acético y 10-510 $\mu\text{g m}^{-3}$ para el ácido fórmico [16].

4. CONCLUSIONES

La presencia de contaminantes ácidos en los museos pone en riesgo los materiales del patrimonio histórico, ya que

pueden ocasionar daños irreversibles sobre éstos. Su monitorización, por tanto, es fundamental para la conservación preventiva de los bienes culturales. En la actualidad, se están aplicando cuatro metodologías diferentes para analizar los contaminantes ácidos: probetas metálicas, captadores pasivos, sensores ópticos de acidez ambiental y microextracción en fase sólida (SPME). Las dos primeras metodologías actúan como dosímetros, los contaminantes se van acumulando durante el periodo de exposición; mientras que los sensores ópticos y la SPME actúan por equilibrio entre el material y atmósfera, es decir, permiten conocer la concentración de contaminantes de la atmósfera en el momento de la medida.

En el caso de los sensores ópticos, permiten cuantificar el pH total, incluyendo las especies básicas como el NH₃; las probetas metálicas permiten cuantificar el daño producido en determinados metales, pero que puede ser debido a uno o varios contaminantes; y los captadores pasivos y la SPME permiten conocer la concentración específica de cada contaminante.

Para la correcta monitorización de la atmósfera del museo, sería recomendable utilizar varios de estos sistemas, de forma que se pueda obtener la mayor información posible.

REFERENCIAS

- [1] B. Krupińska, R. Van Grieken, K. De Wael, "Air quality monitoring in a museum for preventive conservation: results of a three-year study in the Plantin-Moretus Museum in Antwerp, Belgium", *Microchemical Journal*, vol. 110, pp. 350-360, 2013, doi: 10.1016/j.microc.2013.05.006.
- [2] S. López-Aparicio, J. Smolík, L. Mašková *et al.*, "Relationship of indoor and outdoor air pollutants in a naturally ventilated historical building envelope", *Building and Environment*, vol. 46, nº 7, pp. 1460-1468, 2011, doi: 10.1016/j.buildenv.2011.01.013.
- [3] D. Camuffo, R. Van Grieken, H.-J. Busse *et al.*, "Environmental monitoring in four European museums", *Atmospheric Environment*, vol. 35, pp. S127-S140, 2001, doi: 10.1016/S1352-2310(01)00088-7.
- [4] P.B. Hatchfield, *Pollutants in the museum environment: practical strategies for problem solving, exhibition and storage*. Archetype Publications, 2002.
- [5] G. Pavlogeorgatos, "Environmental parameters in museums", *Building and Environment*, vol. 38, nº 12, pp. 1457-1462, 2003, doi: 10.1016/S0360-1323(03)00113-6.
- [6] D. Lafuente, "Conservación preventiva del patrimonio cultural metálico en museos. Estudio de la presencia de ácidos orgánicos mediante captadores pasivos: la aplicación de técnicas de análisis", *Estrat Crític*, vol. 5, nº 3, pp. 69-81, 2011, doi.
- [7] R.G. Mathey, T.K. Paison, S. Silberstein, *Air quality criteria for storage of paperbased archival records*. National Bureau of Standards Report NBSIR 83-2795, 1983.
- [8] UNE-EN ISO 11844-1, *Corrosión de metales y aleaciones. Clasificación de la baja corrosividad de las atmósferas de interior. Parte 1: Determinación y estimación de la corrosividad de las atmósferas de interior*, 2009.
- [9] UNE-EN ISO 11844-2, *Corrosión de metales y aleaciones. Clasificación de la baja corrosividad de las atmósferas de interior. Parte 2: Determinación del ataque por corrosión en las atmósferas de interior*, 2009.
- [10] M. Ryhl-Svendsen, "Corrosivity measurements of indoor museum environments using lead coupons as dosimeters", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 9, nº 3, pp. 285-293, 2008, doi: 10.1016/j.culher.2008.01.005.
- [11] M. Kouril, T. Prosek, B. Scheffel, F. Dubois, "High sensitivity electrical resistance sensors for indoor corrosion monitoring", *Corrosion Engineering, Science and Technology*, vol. 48, nº 4, pp. 282-287, 2013, doi: 10.1179/1743278212Y.0000000074.
- [12] D. Shooter, "Nitrogen Dioxide and its determination in the atmosphere: A simple method for surveying ambient pollution concentrations", *Journal of Chemical education*, vol. 70, nº 5, p. A133, 1993, doi: 10.1021/ed070pA133.
- [13] K.J. Hargreaves, D.H.F. Atkins, S.L. Bennett, *The measurement of sulphur dioxide in the outdoor environment using passive diffusion tube samplers*. Institute of Terrestrial Ecology, AERE-R 12569, 1991.
- [14] M.Á. Villegas Broncano, M. García Heras, J. Peña Poza *et al.*, *Sistema para la determinación de acidez ambiental y método que hace uso del mismo*. Patente española ref. P201031071. Propietarios: CSIC y UPM, 2012.
- [15] N. Carmona, M. Villegas, J.F. Navarro, "Optical sensors for evaluating environmental acidity in the preventive conservation of historical objects", *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 116, nº 3, pp. 398-404, 2004, doi: 10.1016/j.sna.2004.05.009.
- [16] M. Ryhl-Svendsen, J. Glastrup, "Acetic acid and formic acid concentrations in the museum environment measured by SPME-GC/MS", *Atmospheric Environment*, vol. 36, nº 24, pp. 3909-3916, 2002, doi: 10.1016/S1352-2310(02)00335-7.



Teresa Palomar Sanz, doctora en Química por la Universidad Autónoma de Madrid (2013). Ha trabajado en diversos institutos y centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Actualmente se encuentra cursando el Máster de Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico en la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla.

La tomografía de coherencia óptica como técnica de análisis en pintura de caballete

Joan Escudé González

Resumen—La tomografía de coherencia óptica (OCT) es una técnica analítica no invasiva de desarrollo relativamente reciente que presenta un abanico de aplicaciones amplio e interesante en aquellos materiales semitransparentes que absorban y dispersen débilmente la luz. Aunque su uso se extiende a varios tipos de materiales patrimoniales, en este caso nos centraremos en sus aplicaciones en el ámbito de la pintura de caballete.

Palabras Claves— Tomografía de coherencia óptica, OCT, Técnica analítica no invasiva, Pintura de caballete.

1. INTRODUCCIÓN

El examen científico en obras patrimoniales juega un papel primordial en la investigación técnica e histórica, y también como complemento para tratamientos de conservación y restauración. De entre las diferentes características materiales que pueden aportar información relevante, el conocimiento de la estructura física de los objetos puede ser útil para evaluar aspectos tales como la autenticidad, la atribución artística, la determinación del origen, así como para reconocer procesos y causas de degradación y establecer las intervenciones necesarias. El diagnóstico de la estratigrafía de objetos complejos ha sido comúnmente abordado mediante la observación con técnicas de microscopía de secciones en lámina delgada, generalmente muestreadas en unas pocas zonas determinadas y restringidas, siempre intentando limitar al mínimo el daño que estas técnicas invasivas llevan asociado en la toma de muestras [1].

Por este motivo, cada vez se es más proclive a la utilización de técnicas no invasivas y sin contacto con la obra, como es el caso de la OCT. Esta técnica, de aplicación relativamente reciente, ofrece la posibilidad de determinar y visualizar la estructura interna de objetos semitransparentes que absorban y dispersen débilmente la luz [1], [2].

La técnica OCT fue presentada en 1991 por Huang *et al.* [3] para la observación in vivo de la retina a través del iris del ojo. Desde entonces sus aplicaciones médicas se han multiplicado, no sólo en oftalmología, sino también en dermatología, oncología, gastrología, ginecología y, desde el año 2004, también en patrimonio cultural [4].

Las primeras aplicaciones de ésta técnica en patrimonio histórico se centraron en la observación de la estructura interna de objetos de cerámica vidriada, fayenza y jade [5], [6]. No obstante, es en el ámbito de la pintura de caballete donde se han realizado el mayor número de aplicaciones, especialmente en lo referente a las características de las capas de barniz, su grosor, estado de conservación, cambios físicos naturales o inducidos por tratamientos, etc. También se han obtenido prometedores resultados en

la observación de dibujos subyacentes no visibles a simple vista por estar bajo las capas de pintura [1].

Las posibilidades de la técnica son numerosas y cada día van en aumento, aunque siempre limitadas a aquellos materiales con un grado de transparencia suficiente para que puedan ser penetrados por la luz [2].

2. PRINCIPIOS TÉCNICOS

La OCT basa su principio en el análisis mediante interferometría de Michelson entre la luz reflejada y/o dispersada por los detalles de la estructura interna del objeto al que se ha enfocado el haz primario y la luz reflejada de otro haz secundario orientado a un espejo de referencia [2], [7]. La información obtenida en lo referente a la intensidad retrodispersada y su retraso temporal permite la reconstrucción de un escaneado lineal denominado *A-scan* que representa la localización de los puntos de reflexión y retrodispersión distribuidos en el objeto a lo largo del recorrido de penetración del haz. El desplazamiento lateral de este haz a posiciones adyacentes permite generar una imagen bidimensional en sección de la estructura del objeto, este es el escaneado que aporta información visual y se denomina *B-scan* [1].

Se utilizan fuentes de luz blanca de banda ancha, de alta coherencia y baja intensidad, por lo que es una técnica inocua para todo tipo de material patrimonial. Aunque depende del tipo de luz, su rango de penetración se encuentra aproximadamente en 1,6 mm [6]. Existen además instrumentos portátiles aptos para análisis *in situ* [2].

Las tomografías *B-scan* obtenidas se presentan normalmente en falso color (Fig. 1), donde las zonas en las que no se detecta señal (perfectamente transparentes o más allá del rango de penetración) permanecen de color

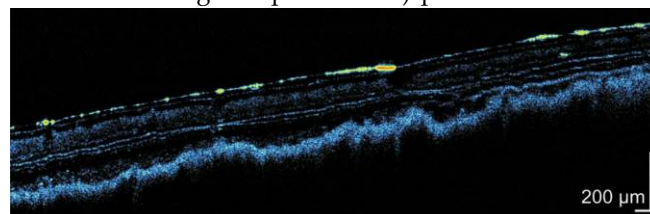


Fig. 1. *B-scan* de OCT de un lienzo del siglo XVII con múltiples capas de barniz. [2]

negro mientras que las zonas que devuelven luz reflejada o dispersada se presentan en colores fríos a calientes según su intensidad. Generalmente la fuente de luz se sitúa en la parte superior de la imagen y la primera línea presenta una alta intensidad y se identifica como la frontera entre el aire y la capa más superficial del material [2].

Otro aspecto que acompaña casi siempre las imágenes de OCT es esta escala vertical elongada que marca la diferencia entre la resolución axial y la lateral (como se indica, la resolución axial es mayor). También debemos tener en cuenta que las imágenes obtenidas representan distancias ópticas y deben realizarse cálculos correctivos para trasladar estos valores a distancias geométricas [2].

Una interesante posibilidad de este tipo de escaneados tomográficos es que, igual que en las aplicaciones médicas, se pueden generar escaneados 3D mediante la combinación de tomografías 2D paralelas y realizadas de forma seriada. Por otro lado, además, mediante la manipulación con software de una serie de *B-scans* se puede generar también un escaneado, denominado *en-face*, que mostrará la imagen de cualquier nivel paralelo a la superficie a una profundidad determinada aunque limitada a la penetrabilidad de la técnica [8].

3. APLICACIONES COMO HERRAMIENTA DE ESTUDIO Y DIAGNÓSTICO

3.1. Análisis estructural en pintura de caballete

La determinación de la estructura multicapa de las pinturas al óleo es importante para su estudio histórico y para el diagnóstico de su estado de conservación y la conformación de una hipotética propuesta de intervención.

Para este fin y desde la década de los años 30 del siglo pasado, es una práctica común la toma de muestras y su examen en sección mediante microscopía [7]. El escaneado mediante OCT supone una alternativa no invasiva y que puede proporcionar una información equivalente a la obtenida mediante observación microscópica en sección, tal y como demostraron Arecchi *et al.* [9] al comparar una imagen de escaneado OCT y una microfotografía de sección de una muestra del mismo punto (Fig. 2).

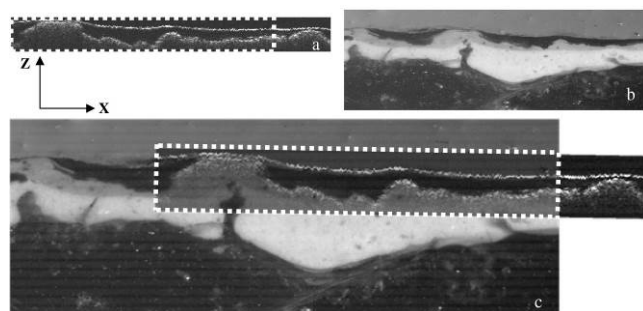


Fig. 2. Comparación directa de una imagen OCT (a) con una microfotografía de sección (b). En la superposición de ambas (c) se puede observar como coincide la estructura de las capas. [9]

Debido a que es una técnica no invasiva, la observación mediante OCT puede realizarse en cuantas localizaciones se deseen y cuantas veces sea necesario, dando idea de la estructura de la pintura en grandes áreas e incluso en su totalidad, ya que se pueden obtener resultados más representativos que con las limitaciones de la

toma de muestras [2]. La eficacia de la técnica viene limitada por la transparencia de las capas de pigmento, ya que el barniz, por muy envejecido y amarillo que esté, siempre acostumbra a ser suficientemente transparente para ser penetrado por el componente infrarrojo del haz de luz. Así, una primera aplicación directa es la determinación del grosor de la capa de barniz a lo largo de la superficie de una pintura [1].

3.2. Examen de la firma del artista

Otro prometedor campo de investigación se encuentra en la observación de la zona de la firma del artista. Esta zona se considera intocable y para preservar su integridad solo puede ser examinada mediante técnicas no invasivas. El análisis de este área de la pintura es importante no solo para la correcta atribución de su autoría sino también para corroborar su autenticidad. Normalmente, los repintes y otros añadidos se detectan mediante observaciones con luz UV, ya que solo los barnices antiguos presentan reacción fluorescente a esta fuente de luz. No obstante, existen métodos de falsificación que aplican una laca de envejecimiento que genera una fuerte fluorescencia inducida frente a la iluminación con luz UV. En estos casos nos podemos servir de la observación con OCT para comprobar que el estrato de la firma se encuentra en el mismo nivel que el resto de la pintura y que, por tanto, se realizó en el mismo momento que ésta (Fig. 3).

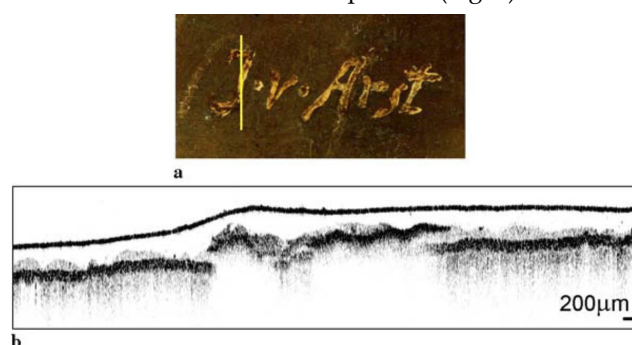


Fig. 3. Examen de una firma en un lienzo. La barra amarilla en (a) indica la zona donde se realizó la tomografía (b) en la que se puede observar el estrato separado de la firma, por encima del resto de la pintura. [1]

3.3. Observación de dibujos subyacentes

La posibilidad de desarrollar imágenes *en-face* a partir de las escaneados OCT ha permitido la observación de dibujos subyacentes o preparatorios bajo las capas de pintura. Este tipo de análisis son llevados a cabo por norma general mediante reflectografías de IR, pero la alta coherencia de las fuentes de luz utilizadas para la OCT y la posibilidad de establecer profundidades de escaneado más selectivas, proporcionan como resultado imágenes más nítidas y contrastadas [2] (Fig. 4). Así, no solo podemos observar los dibujos subyacentes, sino también saber a qué profundidad se encuentran [6], [7].

No obstante, el inconveniente principal para la aplicación de esta técnica es su limitado campo de escaneado. Esto lo hace un método muy adecuado para zonas concretas o pequeños detalles, pero el escaneado de todo un lienzo generaría un volumen de datos y de trabajo demasiado grandes [2].

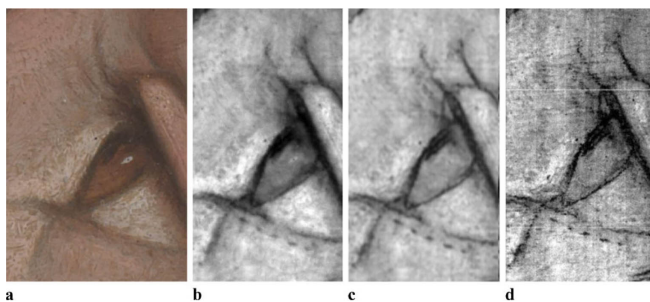


Fig. 4. Comparación de un detalle de 10 por 15 mm de la pintura de la National Gallery *Virgen y niño con ángel* de Francesco Francia (a) examinada con una cámara de infrarrojo CCD a 880 nm (b), con una cámara SIRIS a 900-1700 nm (c) y mediante escaneado en-face OCT a 930 nm (d). [6]

4. APLICACIONES COMO COMPLEMENTO EN PROCESOS DE INTERVENCIÓN

4.1. Monitorización del proceso de eliminación con láser de un barniz

La eliminación láser de los barnices alterados es un procedimiento cada vez más extendido, especialmente en casos en los que las limpiezas mecánicas o químicas tradicionales no son efectivas o no pueden aplicarse. Dado que la capa de barniz no acostumbra a tener una estructura y grosor homogéneos se hace necesario disponer de una técnica para monitorizar el proceso de ablación de la capa de barniz comprobando su eliminación y al mismo tiempo asegurándose de no llegar a las capas de pintura inferiores [2], [4]. Se ha planteado la utilización del LIBS para este fin, pero el hecho de poner el límite al detectar trazas de pigmentos en la pluma de ablación implica ya haber llegado una vez a incidir sobre la policromía y no es un método que pueda ser útil en caso de que se quiera proceder a una eliminación parcial del grosor de la capa de barniz o en caso de que se utilicen láseres en la zona del IR, que no generan pluma de plasma [1].

El método de la OCT puede generar imágenes de la capa de barniz durante la ablación, lo que nos proporciona una visión en tiempo real del grosor que estamos eliminando y del que queda aún por retirar, permitiendo detener la intervención en el nivel que se desee.

4.2. Otros usos

La técnica OCT ha desarrollado también técnicas para la monitorización de los procesos de secado y humectación de barnices y policromías, para detectar deformaciones en lienzos debidas a cambios ambientales de humedad, ventilación o vibraciones, para detección de grietas subyacentes ocultas bajo la capa de barniz, como complemento auxiliar de la técnica LIBS para controlar la penetración de cada pulso durante el proceso de ablación e incluso se han realizado medidas no invasivas de los índices de refracción de diferentes capas de barniz [2], [6], [8].

5. CONCLUSIONES

Las intervenciones de conservación deben tender cada vez más a la mínima intervención. Por eso el desarrollo de técnicas no destructivas como la OCT abre posibilidades muy interesantes de obtención de información con un

mínimo o nulo impacto sobre la integridad de la pieza. Al ser una técnica no invasiva y sin contacto, permite el análisis de zonas de las que no sería posible o practicable extraer una muestra (como la firma del artista).

No obstante, como siempre sucede con las técnicas analíticas, no es un método que nos pueda proporcionar toda la información que necesitemos ya que, aunque nos permita observar las capas que componen la estructura interna del objeto de estudio, probablemente serán necesarias otras técnicas para su interpretación, identificación y estudio compositivo.

REFERENCIAS

- [1] P. Targowski, B. Rouba, M. Góra, L. Tymińska-Widmer, J. Marczak, and A. Kowalczyk, "Optical coherence tomography in art diagnostics and restoration," *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.*, vol. 92, no. 1, pp. 1-9, 2008.
- [2] P. Targowski and M. Iwanicka, "Optical coherence tomography: Its role in the non-invasive structural examination and conservation of cultural heritage objects-A review," *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.*, vol. 106, no. 2, pp. 265-277, 2012.
- [3] D. Huang, E. A. Swanson, C. P. Lin, J. S. Schuman, W. G. Stinson, W. Chang, M. R. Hee, T. Flotte, K. Gregory, and C. A. Puliafito, "Optical coherence tomography," *Science*, vol. 254, no. 5035, pp. 1178-81, 1991.
- [4] P. Targowski, G. Michalina, J. Marczak, A. Rycyk, and B. J. Rouba, "Optical coherence tomography holds promise for conserving art," pp. 2-4, 2004.
- [5] M.-L. Yang, C.-W. Lu, I.-J. Hsu, and C. C. Yang, "The Use of Optical Coherence Tomography for Monitoring the Subsurface Morphologies of Archaic Jades," *Archaeometry*, vol. 46, no. 2, pp. 171-182, May 2004.
- [6] H. Liang, B. Peric, M. Hughes, A. G. Podoleanu, M. Spring, and S. Roehrs, "Optical Coherence Tomography in archaeological and conservation science - a new emerging field," *Proc. SPIE*, vol. 7139, no. 15, pp. 1-9, 2008.
- [7] H. Liang, M. Cid, R. Cucu, G. Dobre, a Podoleanu, J. Pedro, and D. Saunders, "En-face optical coherence tomography - a novel application of non-invasive imaging to art conservation," *Opt. Express*, vol. 13, no. 16, pp. 6133-6144, 2005.
- [8] H. Liang, B. Peric, M. Hughes, A. Podoleanu, M. Spring, and D. Saunders, "Optical Coherence Tomography for Art Conservation & Archaeology," in *SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 2007, vol. 6618, no. 05, July, pp. 1-12.
- [9] T. Arecchi, M. Bellini, C. Corsi, R. Fontana, M. Materazzi, L. Pezzati, and A. Tortora, "Optical coherence tomography for painting diagnostics," *Opt. methods arts Archaeol.*, vol. 5857, no. August, 2005.



Joan Escudé González es diplomado y graduado en Conservación y Restauración de Bienes Arqueológicos por la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Cataluña. Actualmente está cursando el Máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico de la Universidad Pablo de Olavide.

Litio: Un tratamiento eficaz para el trastorno bipolar

Jonathan González Santos

Resumen— Podría definirse el término «estabilizador del ánimo» como aquel fármaco empleado para el tratamiento de los trastornos psicológicos que se caracterizan por fluctuaciones del estado anímico. En este artículo se pretende introducir la importancia del litio en la historia de este grupo de fármacos, a la vez que se hace un breve repaso de algunas de sus propiedades físico-químicas y farmacológicas.

Palabras Claves— Litio, Trastorno bipolar, Manía, Estabilizador del ánimo.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día debido a la fuerte repercusión que la industria cinematográfica y demás medios de comunicación tienen en nuestra sociedad nos resultaría raro pensar que alguien no tenga al menos una idea aproximada de los síntomas que acompañan al trastorno bipolar. No obstante, la visión descafeinada que nos aportan algunos de los más conocidos productos de Hollywood equidista mucho de la realidad a la que se enfrentan las personas que sufren esta enfermedad, y es que, desgraciadamente este trastorno -o trastornos, ya que realmente existen varios tipos que pertenecen al mismo espectro- se trata de una enfermedad mental grave que puede limitar dramáticamente la calidad de vida de aquellos que la padecen [1].

Tal y como se acaba de anticipar, cabe señalar que existen diferentes tipos de trastorno bipolar, los cuales se caracterizan por la presencia de diferentes fases con unas implicaciones cognitivas y conductuales determinadas. Sin embargo, a modo de resumen podríamos decir que esta enfermedad se compone de episodios maníacos o hipomaníacos (menos graves, que no interfieren de una forma señalada con la vida cotidiana del paciente) caracterizados por síntomas como euforia, agitación, aceleración del pensamiento, psicosis, etc., añadidos a episodios de depresión mayor. Dichos episodios puede aparecer de manera aislada o al mismo tiempo (episodios mixtos) [1], [2], [3].

A pesar de que tanto la psicoeducación como la terapia cognitivo-conductual se han mostrado eficaces en el tratamiento de los trastornos bipolares es importante aclarar que deben considerarse como terapia aditiva, nunca como sustituta de la farmacológica, siendo recomendado al personal psicológico encargado del tratamiento no admitir a pacientes no medicados [1]. Para el tratamiento farmacológico se emplean estabilizadores del ánimo como los anticonvulsivos o el litio [4].

El litio es el elemento que posee el átomo más pequeño de los metales alcalinos y la más alta energía de ionización. Algunas de sus propiedades aparecen en la tabla 1:

TABLA 1
ALGUNAS PROPIEDADES DEL LITIO [5].

	Li
Número atómico	3
Configuración electrónica de la capa de valencia	2s ¹
Radio atómico, pm	152
Radio iónico (Li ⁺), pm	59
Electronegatividad	1,0
Primera energía de ionización, kJ/mol	520,2
Potencial de electrodo E ⁰ , V (a)	-3,040
Punto de fusión, °C	180,54
Punto de ebullición, °C	1347
Densidad, g/cm ³ a 20°C	0,534
Dureza (b)	0,6
Conductividad eléctrica (c)	17,1
Color de la llama	Carmín
Líneas de emisión visibles principales, nm	610 671

(a) Para la reducción $\text{Li}^+(\text{aq}) + e^- \rightarrow \text{Li}(\text{s})$.

(b) En la escala de Mohs, que varía desde talco (0) a diamante (10).

(c) En una escala relativa en la que la plata tiene valor 100.

Al igual que el resto de los elementos del grupo 1 de la tabla periódica es uno de los metales más activos. Tiene el mayor radio atómico de su periodo y una relación de masa por unidad de volumen baja (es decir, una densidad baja) que le confiere la propiedad de flotar en el agua. Además, su potencial de electrodo es grande y negativo. Esto que implica que los iones $\text{Li}^+(\text{aq})$ difícilmente se reducen a $\text{Li}(\text{s})$ y, a su vez, los metales se oxidan a $\text{Li}^+(\text{aq})$ con facilidad. Lo que favorece su transporte en medio acuoso [5].

El tamaño de su radio junto con el hecho de tener un solo electrón en su capa de valencia hace su enlace metálico bastante débil, confiriéndole un carácter blando y un punto de fusión bajo. Su solubilidad en agua permite obtener compuestos como cloruros, sulfatos o carbonatos. Es este último compuesto, el carbonato de litio, el que se comercializa actualmente como fármaco [5].

Su primera aplicación como tal fue en 1949, cuando Cade descubrió sus propiedades sedantes en animales, pero no fue hasta 1970 cuando la Food and Drug Administration (FDA) lo aprobó para la manía aguda y para la profilaxis del trastorno bipolar. Aun así, no pudo ser comercializado fácilmente, ya que las compañías farmacéuticas rechazaban su producción debido a que no podían patentarlo. No obstante, su eficacia y buena relación coste-efectividad le ha valido para mantenerse hasta la actualidad como uno de los tratamientos de primera línea para el trastorno bipolar [6].

2. PERFIL FARMACOLÓGICO

El litio no sufre biotransformación, apenas se une a proteínas y se elimina por vía renal [6]. Posee un índice terapéutico estrecho, por lo que se requiere un control cuidadoso de sus concentraciones plasmáticas [6]. Para ello es necesario realizar controles hemáticos de litemia cada 3 meses una vez que se ha estabilizado, así como una revisión anual del funcionamiento renal, tiroideo y cardíaco. Además, las mujeres que deseen quedarse embarazadas deben comunicarlo, ya que este tratamiento puede relacionarse con malformaciones en el feto. [7]

3. FARMACOCINÉTICA

En la Tabla 2 se resume la farmacocinética del litio.

TABLA 2
FARMACOCINÉTICA DEL LITIO [7], [8].

	Li+
Absorción	Casi completa en 6 - 8 horas. Concentraciones plasmáticas máximas en 30 - 120 minutos [8].
Dilución	En el agua corporal total; entrada lenta en el compartimento celular. El volumen inicial de distribución aumenta desde 0,5 hasta 0,7 - 0,9 L/kg. Se produce un cierto secuestro en los huesos [8].
Metabolismo	No se metaboliza [8].
Excreción	Casi totalmente en la orina [8].
Dosis	400 - 1600 mg [7].
Niveles plasmáticos	0,6 - 1,0 mmol/l [7].
Vida media plasmática	20 horas aproximadamente [8].
Formas de administración	Oral (2 - 3 tomas/día) [7].

4. MECANISMO DE REACCIÓN

A pesar de que el litio se ha utilizado para el tratamiento del trastorno bipolar durante más de 50 años, el mecanismo por el que actúa aún no ha podido ser definido [3], [4], [6], [8]. Resultados de investigaciones clínicas han confirmado que este ion altera el transporte de sodio en las células musculares y nerviosas al reducir sus concen-

traciones intracelulares. También se sabe que inhibe la inositolmonofosfatasa, perturba el metabolismo intraneuronal de catecolaminas, disminuye la actividad de la proteína quinasa C y modifica la actividad de las proteínas G, mediadoras de la señalización intracelular. A su vez, el litio también puede inhibir la liberación de noradrenalina y dopamina en las terminaciones nerviosas, pero no la de serotonina, la cual puede llegar a acumularse parcialmente en el hipocampo. Sin embargo aún se desconoce cuál o cuáles de estos mecanismos, u otros, pueden estar implicados en la acción del litio como estabilizador del ánimo [3]. La hipótesis principal en la actualidad para esto supone que los efectos en el recambio de fosfoinositol son parte del inicio de alteraciones intracelulares. Entre ellas, la modificación de la señalización mediada por la proteína quinasa C, que alteraría la expresión de genes y la producción de proteínas implicadas en eventos neuroplásticos a largo plazo [8].

5. EFICACIA

El tratamiento con litio es muy eficaz en el control de las fases maníacas y en la profilaxis secundaria del trastorno bipolar. Esto, junto con su amplia experiencia hace que se valore como el fármaco de primera elección. El inicio de sus efectos suele apreciarse entre las primeras dos semanas del tratamiento. Con respecto a la duración del tratamiento profiláctico, debe ser indefinida en aquellos que padecen trastorno bipolar con una historia de más de dos episodios maníacos [3].

Aunque la eficacia del litio está más que demostrada, el cumplimiento terapéutico es por lo general malo y la tasa de fracasos es del 20-40%, en particular entre los cicladores rápidos (trastornos bipolares que presentan al menos cuatro episodios, tanto depresivos como maníacos o hipomaníacos, en un período de 12 meses [2]) en los que falla el 72-82%. La retirada del tratamiento implica un mayor riesgo de recurrencia que el reconocido en la evolución natural del trastorno bipolar, el cual puede persistir hasta varios meses después. En los casos en los que la retirada es brusca, puede producirse una descompensación en aproximadamente el 50% de los pacientes. Este porcentaje disminuye con la reducción gradual de la dosis. Por ello, en pacientes no cumplidores, cicladores rápidos o aquellos que presentan fases mixtas se suele considerar otros fármacos como el valproato de primera línea de elección [3].

6. EFECTOS ADVERSOS E INTOXICACIÓN

El litio se asocia a menudo con efectos adversos entre los que se encuentran síntomas gastrointestinales como diarrea, náuseas y vómitos, además de ganancia de peso, acné, caída de cabello, sedación, temblor, reducción de la función cognitiva y descoordinación [4].

Los síntomas asociados con la intoxicación por litio incluyen algunos de los anteriores como diarrea y vómitos, además de convulsiones, coma y, en ocasiones, muerte. La diálisis se ha mostrado eficaz como método de desintoxicación [3].

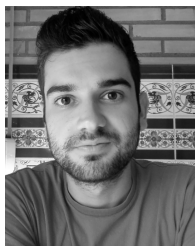
7. CONCLUSIONES

El descubrimiento de las propiedades farmacológicas del litio como antimaníaco y estabilizador del ánimo supuso un hito importante en la historia de la psicofarmacología clínica. Su eficacia y la posibilidad de adquirirlo en forma de genérico hacen que actualmente se siga considerando como tratamiento de primera línea para el trastorno bipolar, a pesar del aumento cada vez mayor de las opciones farmacológicas disponibles. No obstante, la necesidad de un seguimiento médico riguroso sumado a una serie de efectos adversos, dificultan considerablemente su efectividad.

Aunque ya se conocen algunas de las dianas terapéuticas del tratamiento con litio, su complejidad nos lleva a pensar que aún queda bastante camino por recorrer hasta que se consiga comprender de manera precisa cuál es su mecanismo de acción. Tarea que se presenta ardua debido a la falta de apoyo por la investigación privada. No obstante, quizás la investigación con litio también podría resultar de interés en el futuro para la industria farmacéutica, ya que en esta podría estar la clave para esclarecer la etiología del trastorno bipolar. Esto podría facilitar la síntesis y producción de nuevos fármacos que sean igualmente eficaces, pero no conlleven la aparición de los efectos adversos característicos del tratamiento con litio, y dado que dichos efectos son precisamente los causantes, en su mayoría, de su tasa de fracaso, se podría llegar a establecer un tratamiento con buena adherencia. Lo que sin duda mejoraría la calidad de vida de las personas que sufren esta grave enfermedad.

REFERENCIAS

- [1] V.E. Caballo, I.C. Salazar & J.A. Carrobes, *Manual de psicopatología y trastornos psicológicos*. Madrid: España, pp. 338-354, 2011.
- [2] A. Belloch, B. Sandín & F. Ramos, *Manual de psicopatología vol. II*. Madrid: España, pp. 234-265, 2009.
- [3] P. Lorenzo, A. Moreno, I. Lizasoain, J.C. Leza, M.A. Moro & A. Portolés, *Farmacología básica y clínica*. Madrid: España, pp. 318-320, 2009.
- [4] S.M. Stalh, *Psicofarmacología esencial de Stalh. Bases neurocientíficas y aplicaciones prácticas*. Madrid: España, pp. 370-387, 2014.
- [5] R.H. Petrucci, W.S. Harwood & F.G. Herring, *Química general*. Madrid: España, pp. 872-876, 2003.
- [6] A.F. Schatzberg & C.B. Nemeroff, *Tratado de psicofarmacología*. Barcelona: España, pp. 597-610, 2006.
- [7] M.F. Bravo, *Psicofarmacología para psicólogos*. Madrid: España, pp. 77-86, 2002.
- [8] B. G. Katzung, *Farmacología básica y clínica*. México, pp. 473-477, 2005.



Jonathan González Santos estudiante de primer curso del grado en Biotecnología en la Universidad Pablo de Olavide, Sevilla.

El cortisol

Beatriz González Almécija

Resumen— En este artículo vamos a estudiar una de las hormonas esteroideas originadas en las glándulas suprarrenales, el cortisol. El cortisol es un tipo de glucocorticoide que se encarga de regular las concentraciones de glucosa en el cuerpo, además de la producción y consumo de las grasas y de las proteínas, teniendo una gran importancia en el correcto funcionamiento del organismo.

Palabras Claves— Hormonas esteroideas, cortisol, glándulas suprarrenales, corticoide.

Beatriz González Almécija. Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad Pablo de Olavide. bgonalm@upo.es

1. INTRODUCCIÓN

El cortisol es un tipo de glucocorticoide sintetizado en las capas fascicular (media) y reticular (interna) de la corteza de las glándulas suprarrenales. Los glucocorticoides son un grupo de hormonas esteroideas que preparan el cuerpo ante situaciones de estrés, e intervienen en el metabolismo de proteínas e hidratos de carbono. [1]

1.1. Estructura. De Colesterol a Cortisol

El cortisol tiene una estructura similar al resto de hormonas esteroideas, ya que parten de una base común: el anillo de esterano o ciclopentanoperhidro-fenantreno característico del colesterol (Fig.1). El colesterol LDL es el precursor de todo este tipo de hormonas. [2]

El colesterol suprarrenal se transforma en el esteroide C-21, denominado pregnenolona, por una serie de reacciones en las que intervienen oxidasas de función mixta. La pregnenolona da lugar a la 17 ahidroxipregnenolona y a la progesterona, que sufren una serie de reacciones de oxidación para finalmente sintetizar cortisol. [3]

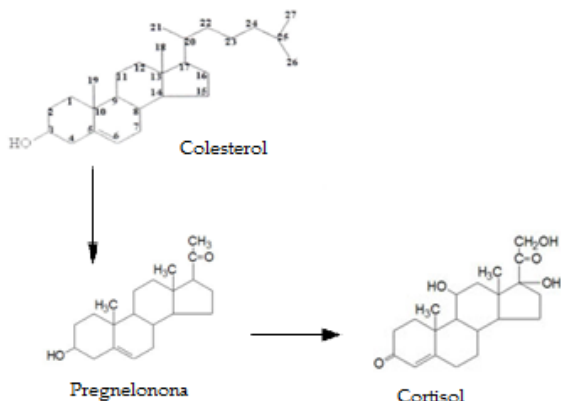


Fig. 1. Formación del cortisol a partir del colesterol [4],[5],[6]

Las enzimas que participan en la síntesis de las hormonas esteroideas adrenales son conocidas como P450, cuya abreviación es CYP y se encuentran en la mitocondria de las células productoras de esteroides

1.2. Regulación del cortisol

La hormona peptídica encargada de sintetizar la producción de cortisol es la Hormona Adrenocorticotrópica (ACTH). [7]

El proceso de regulación está controlado por el hipotálamo. A él llega el estímulo correspondiente y, como respuesta, segrega la corticotropina, que es transportada hasta la hipófisis anterior e induce la producción de ACTH. Estas hormonas son reconocidas por los receptores de ACTH de las membranas plasmáticas en la corteza suprarrenal y dan lugar a un segundo mensajero, el cAMP. El aumento de cAMP activa enzimas intercelulares que formarán las hormonas corticosuprarrenales. Una de esas enzimas es la proteína quinasa A, encargada de transformar el colesterol en cortisol [8] (Fig. 2)

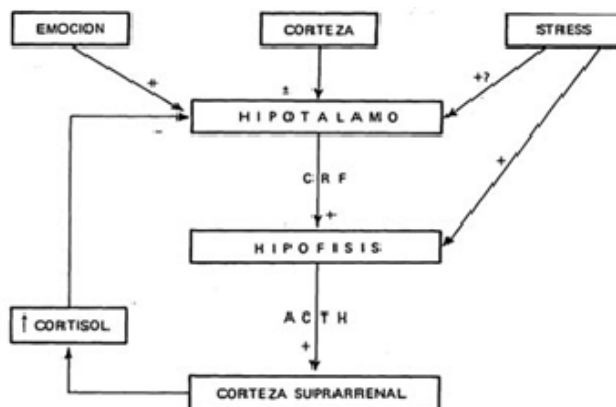


Fig. 2. Regulación del cortisol

1.3. Funciones

Casi todo tipo de estrés, ya sea físico o mental, induce a la formación de ACTH y por tanto a la secreción de cortisol. [9].

Esta hormona hace que el organismo libere glucosa a la sangre para enviar cantidades masivas de energía a los músculos y así superar la situación de alarma. Las funciones anabólicas que suele realizar nuestro organismo en situaciones normales, se ven paralizadas para acumular esa cantidad masiva de energía necesaria.

Para hacer frente a estas situaciones, el cortisol es imprescindible.

Por otro lado, es el encargado de transformar los nutrientes en energía. Además, también es usado como antiinflamatorio debido a su capacidad para estabilizar la membrana de los lisosomas intracelulares, impidiendo la liberación de enzimas proteolíticas, causantes de la inflamación [11]

2. ENFERMEDAD DE ADDISON. HIDROCORTISONA

2.1. ¿Qué es?

La enfermedad de Addison se produce por una disminución importante de la producción de cortisol en la glándulas suprarrenales. Las manifestaciones clínicas de este trastorno incluyen fatiga, pérdida de peso, hiperpigmentación de la piel, debilidad general y cansancio. Esto último se debe a su implicación en el metabolismo, ya que se ve afectada la capacidad de transformar los alimentos en energía. Además, las personas que padecen esta enfermedad no son capaces de superar situaciones adversas como el estrés. [12]

Debido a que su diagnóstico clínico no está muy definido, puede llegar a darse crisis agudas de Addison, pudiendo ser mortal para el paciente [13].

2.2. Tratamiento

Debido a la dependencia que el organismo tiene del cortisol, los pacientes con esta insuficiencia necesitan reemplazarlo por hormonas sintéticas, los corticoides. Pueden llegar al organismo por vía oral (HIDROCORTISONA) o por vía oral (CORTISONA). Sólo ante una crisis Addisoniana se suministra la cortisona.

Sin embargo, el sistema de regulación no está activo, por lo que se tiene que regular de forma individual dependiendo de la situación en la que el paciente se encuentre. Dar con la dosis exacta es casi imposible. Cuando la ingesta no es suficiente, el organismo no es capaz de hacer frente a la situación de alarma, y entra en crisis hasta que recibe más cantidad de corticoide. Pero hay que tener cuidado. Debemos de tener en cuenta que un exceso de cortisol eleva el azúcar en sangre, aumenta la presión arterial, produce entre otras cosas, osteoporosis, debilidad muscular, obesidad del tronco y agotamiento.

3. CONCLUSIÓN

El cortisol es una hormona esencial para la vida que interviene en numerosos procesos metabólicos. Su importancia queda demostrada en enfermedades como el Addison, donde las glándulas suprarrenales no son capaces de producir la cantidad de cortisol necesaria pudiendo ser mortal en el caso de no ser tratada correctamente.

4. REFERENCIAS

Aunque en esta sección se deben repasar los conceptos fundamentales del artículo, no reproduzca el resumen como conclusión. Una conclusión debe desarrollar la importancia del trabajo o sugerir aplicaciones o extensiones. No aluda a las diferentes figuras y/o tablas en las conclusiones – ellas deben referenciadas en el cuerpo del artículo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Rosana Almécija por su ayuda y colaboración. Es una paciente que sufre Addison y ha estado dispuesta a aportar toda la información necesaria para la realización de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] <http://es.thefreedictionary.com/glucocorticoides>
- [2] <http://atvb.ahajournals.org/content/4/1/59.full.pdf+html>
- [3] <http://www.monografias.com/trabajos11/imp cort/imp cort.shtml>
- [4] http://www.aristeosegura.com.mx/filemgmt_data/files/7.pdf
- [5] <https://books.google.es/books?id=rXvW2Y2130wC&pg=PA231&lpg=PA231&dq=reacciones+que+dan+lugar+al+cortisol+quimica+organica&source=bl&ots=o5mbTET6KT&sig=OKEyxk1crXqPLkN-1XVwEOlrLRs&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwif9vCKnMPMAhVCbRQKHbfqBgsQ6AEIMTAD#v=onepage&q=cortisol&f=false>
- [6] <http://themedicalbiochemistrypage.org/es/steroid-hormones-sp.php>
- [7] <http://themedicalbiochemistrypage.org/es/steroid-hormones-sp.php>
- [8] <https://es.wikipedia.org/wiki/Glucocorticoide>
- [9] <http://www.monografias.com/trabajos11/imp cort/imp cort2.shtml#funciondea>
- [10] <http://www.enbuenasmanos.com/el-cortisol>
- [11] <http://www.monografias.com/trabajos11/imp cort/imp cort2.shtml#funciondea#ixzz47u70FanL>
- [12] <http://www.medicina21.com/articulos/ver/1555>
- [13] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27016277>



Beatriz González Almécija es estudiante del primer curso del Grado en Biotecnología en la Universidad Pablo de Olavide. Alumna interna en el Departamento de Biología Celular, en el servicio de Fisiopatología Celular y Bioenergética desde octubre del 2015.

Arsénico y su interés forense

Belén María Zamora Bermudo

Resumen — Existen cantidad de elementos químicos presentes en la naturaleza, pero es importante conocer el efecto que éstos producen en el ser humano. Por ello, un elemento clave en esto es el arsénico, saber qué cantidad es la mínima permitida que puede introducirse en nuestro organismo sin causar efectos irreversibles y qué cantidad puede detectarse en el organismo.

Palabras Claves — Inorgánico, Orgánico, Arsina, Tóxico.

1. INTRODUCCIÓN

El arsénico (As) es un elemento químico que forma parte de los denominados metaloides o semimetales y que se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza, representando aproximadamente un 0,0005% de los elementos. Es un componente natural de la corteza terrestre que puede encontrarse en las rocas, en el suelo, en el agua y en el aire de manera natural, además es incoloro, insípido e inodoro. La fuente natural más importante es la proveniente de la acción volcánica. Este elemento puede encontrarse de forma inorgánica y orgánica. El inorgánico se encuentra en aguas subterráneas utilizadas como agua potable en ciertos países como Bangladesh, India y Taiwán, mientras que el arsénico orgánico, es decir, el que contiene carbono, se encuentra en organismos marinos y terrestres siendo menos tóxico que el arsénico inorgánico. [1], [2]

A pesar de la toxicidad de este elemento, es utilizado habitualmente para la fabricación de cobre y plomo; en pesticidas e insecticidas, y es añadido a los alimentos de algunos animales para prevenir enfermedades. Aunque estos sean sus usos actuales, antiguamente ha sido principalmente empleado como veneno, ya que difícilmente era detectable, y para crear armas biológicas durante guerras.

2. LA PRUEBA DE MARSH

Debido a la alarmante situación de muertes por envenenamientos y su difícil esclarecimiento, las autoridades de diferentes países recurrieron al asesoramiento de peritos médicos y químicos, lo cual propició el desarrollo de la verdadera toxicología analítica. Inmerso en este desarrollo, James Marsh, en 1836, descubre un procedimiento para investigar el arsénico. Pero cuatro años antes, Marsh fue llamado en un juicio por asesinato en el que se acusaba a John Bodle por envenenar a su abuelo con arsénico. En este juicio, realizó la prueba que defendía en ese momento, una mezcla de sulfuro de hidrógeno y ácido clorhídrico que reaccionaba con la supuesta muestra que contenía arsénico. A la hora de mostrar la prueba al jurado, la prueba se presentaba deteriorada, teniendo como resultado la frustración del químico y su consecuente mejora. [3], [4]

2.1. Caso Lafarge

Fue entonces, en torno a 1840, cuando James Marsh fue llamado de nuevo para un juicio en el que las pruebas forenses no eran concluyentes para demostrar la presencia de arsénico en el estómago de Charles Lafarge. El caso se trataba de que el sujeto había sido supuestamente asesinado por su mujer, Marie Lafarge. En este juicio es donde fue practicada la mejorada prueba de Marsh, la cual fue todo un éxito, ya que podía detectar 0,00002 gramos de arsénico. “El fundamento de este test consistía en añadir zinc metálico y ácido sulfúrico a la muestra sospechosa de contener arsénico. Si efectivamente se encontraba esta sustancia, la reacción química resultante convertía el arsénico en arsina o arsano (AsH_3), un compuesto gaseoso venenoso que fluía a través de un capilar de cristal calentado a 250–300 °C por una llama. De esta forma, la arsina o hidruro de arsénico se descomponía por el calor y el arsénico metal se depositaba en las paredes del capilar, dejando una capa de residuo oscuro-plateado.” [3] (Figura 1)

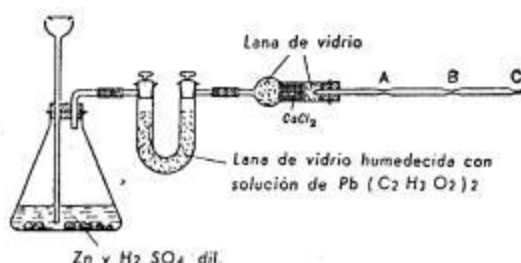


Fig. 1. Prueba de Marsh

El jurado, integrado por Mateo Orfila entre otros, llegó a la conclusión de que Marie Lafarge había asesinado a su marido, puesto que la prueba de Marsh demostró que las trazas de arsénico encontradas en el cadáver no procedían de la tierra que lo rodeaba, sino de una cantidad que debía haber sido suministrada. Esto se basaba en la premisa de Paracelso: “*sola dosis facit venenum*”, no es suficiente la presencia de un tóxico en el organismo, sino que hay que cuantificar dicho tóxico [4]. La explicación de que en el cadáver de Charles Lafarge se encontrara tal cantidad de arsénico, era causa de un envenenamiento. De esta manera, su esposa fue condenada a pena de muerte.

3. COMPUESTOS DEL ARSÉNICO

Como se ha mencionado antes, existen dos formas de encontrarse el arsénico: orgánica (contiene carbono) e inorgánica. Entre ésta última forma se distinguen compuestos trivalentes y compuestos pentavalentes. Además, cada compuesto es utilizado para una función concreta: [5]

TABLA 1
COMPUESTOS DEL ARSÉNICO

Compuestos inorgánicos	Trivalentes	Tricloruro de arsénico	Industria cerámica
		Trióxido de arsénico	Conservante de cuero y madera, decoloración y refinamiento del vidrio
		Arsenito cálcico	Herbicida, inhibidor de la corrosión
		Arsenito sódico	Herbicida, inhibidor de la corrosión
	Pentavalentes	Ácido arsénico	Fabricación de vidrio, tratamiento de madera
		Pentóxido de arsénico	Herbicida, fabricación de vidrio
		Arseniato cálcico	Insecticida
Compuestos orgánicos	Ácido cacodílico	Herbicida	
	Ácido arsánico	Cebo para saltamontes	

4. TOXICOCINÉTICA DEL ARSÉNICO

El arsénico principalmente es introducido en el organismo a través de la inhalación, la ingestión, y la absorción cutánea. La vía digestiva es la que más cantidad absorbe. No obstante, los compuestos orgánicos son absorbidos mejor que los inorgánicos. Una vez que el arsénico se absorbe, es distribuido por la sangre llegando al hígado y a los riñones, donde es rápidamente eliminado a través de la vía urinaria. El arsénico tiene una vida media de unas diez horas para las formas inorgánicas y 30 horas para las orgánicas. [5], [6]

El arsénico es detectable en el cerebro, en el corazón, en el útero, en los pulmones, en el pelo, en los dientes, en las uñas, en la piel, en los huesos, en los músculos e, incluso atraviesa la placenta afectando al feto. Pero a largo plazo es en las uñas, en el pelo, en los huesos y en los músculos donde sigue siendo detectable. [6]

5. FUENTES DE EXPOSICIÓN DEL ARSÉNICO COMPUESTOS DEL ARSÉNICO

La exposición de arsénico puede deberse al consumo de agua contaminada, a su uso para la preparación de comidas, por el riego de cultivos o al consumo de tabaco y alimentos contaminados [7]. Las Guías para la calidad del agua potable que creó la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1993, fija un valor de 0,01 mg/l de arsénico en el agua potable, basándose en la preocupación por su capacidad cancerígena en el ser humano. [8] Los compuestos de arsénico inorgánicos (como los que se encuentran en el agua) son extremadamente tóxicos, en tanto que los compuestos de arsénico orgánicos (como los que se encuentran en pescados y mariscos) son menos perjudiciales para la salud. [7]

La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) mantiene que una persona de 60 kg, posee un límite diario de ingesta de 0,018 gramos de arsénico por kilogramo de alimento. [9]

6. CONCLUSIONES

Tal y como ha quedado expuesto, el arsénico está presente en cualquier elemento de la naturaleza, de ahí la importancia que tiene su control. Una exposición moderada de arsénico puede tener como consecuencia irritación, náuseas, vómitos, diarreas e incluso puede llegar a provocar cáncer, aunque siempre dependerá de la dosis y de la forma en que se presente el arsénico: orgánico o inorgánico. Pero el control de la exposición del arsénico es muy complicado dado que es encontrado de forma natural en el ambiente. La principal fuente de exposición es a través de los alimentos, especialmente de los mariscos, el cual está principalmente en una forma orgánica llamada arsenobetaina, que es mucho menos peligrosa.

La prueba de Marsh marcó un antes y un después en su detección. Gracias a su prueba se pudo frenar la ola de envenenamientos, sin embargo, en la actualidad no es utilizado como un veneno por los homicidas. Para una detección de arsénico más eficaz se realiza un análisis de orina si la exposición ha transcurrido en semanas, o de pelos y uñas para su detección a largo plazo. Por ello, en relación con el interés forense un análisis a largo plazo del arsénico puede ser mas efectivo, ya que se mantiene durante meses en pelos y uñas. De esta manera, en un caso de supuesta muerte por arsénico, si se encuentra una cantidad consistente de dicho elemento en el cadáver, puede confirmarse la muerte por arsénico tal y como ocurrió en el caso Lafarge, cuantificando la cantidad.

AGRADECIMIENTOS

A Sofía Calero por enseñarme los primeros conocimientos de química.

REFERENCIAS

- [1] Green Facts. Facts on Health and the Enviroment. Arsénico <<http://www.greenfacts.org/es/arsenico/>> [Consulta: 4 de noviembre de 2016]

- [2] Lenntech. Tabla periódica. Elementos. Arsénico
<<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/as.htm#ixzz4Of4DUUjq>> [Consulta: 4 de noviembre de 2016]
- [3] Mundo Forense. Mata Mendoza, G. (2016) Toxicología Forense. "La Batalla del Arsénico"
<<http://revistamundoforense.com/toxicologia-forense-la-batalla-del-arsenico/>> [Consulta: 4 de noviembre de 2016]
- [4] Durand Alegría, J., Fernández Hernando, P. y Garcinuño Martínez, R. (2008) *Toxicología Analítica*. pp. 10-12 UNED. Fac. Ciencias. Dpto. Ciencias Analíticas < <http://www2.uned.es/dpto-ciencias-analiticas/Posgrado/ToxiAna/toxiana.pdf>> [Consulta: 5 de noviembre de 2016]
- [5] Blog del Químico Clínico. Sánchez Rodríguez, W. (2008) *Toxicología arsénico*. pp 1-3
<<https://es.scribd.com/doc/8740640/TOXICOLOGIA-ARSENICO>> [Consulta: 6 de noviembre de 2016]
- [6] Galvão, L. y Corey G. (1987). Arsénico. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud (México) pp. 11
<<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/005131.pdf>>
- [7] Organización Mundial de la Salud. Centro de Prensa. Arsénico
<<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/>> [Consulta: 6 de noviembre de 2016]
- [8] Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable, Volumen 1 (2006) pp. 250-251
<http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf>
- [9] Revista del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición nº 16. pp 15
<http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/evaluacion_riesgos/informes_comite/MATERIALES_CONTACTO_ALIMENTOS_.pdf>



Belén María Zamora Bermudo. Estudiando el último curso del Grado en Criminología en la Universidad Pablo de Olavide.

Efectos del uso del territorio en la erosión de suelos en España

Cintia Fernández Lorenzo, David Bueno Herrero, Olaya García Ruiz

Resumen— España es un país con una larga trayectoria de erosión en sus suelos. Esta erosión, está condicionada por ciertos factores como son la climatología y litología, la cubierta vegetal y la pendiente del terreno, así como las actividades humanas (agricultura, ganadería y el abandono de tierras). Otra causa que ha producido una elevada erosión en el suelo, es la llegada a España de las Políticas Agrarias Comunes, cuyo fin ha sido recompensar económicamente a los agricultores que realicen cultivos de secano. Un factor importante a tener en cuenta, es el crecimiento de las ciudades en España, el cual ha provocado un aumento del cultivo de cereales y olivares, cambios en los usos del suelo, abandono de tierras con sus consecuentes cambios en las estructuras de los suelos. Todos estos cambios conllevan a un continuo progreso de la desertificación.

Palabras Claves— Erosión, Cubierta Vegetal, Pendiente, Cultivos de Secano, Desertificación.

1. INTRODUCCIÓN

En España, siempre se ha utilizado el suelo para distintos usos y en beneficio humano, cambiando sus características a medida que se han ido utilizando. Por este motivo, cada vez los suelos se encuentran más antropizados debido a la explotación de estos conllevando su mayor o menor deterioro.

Los objetivos de este trabajo son identificar los factores que producen la erosión de los suelos de España, así como el efecto que producen estos. Los factores más importantes que influyen en la erosión del suelo en España son la vegetación y los usos del suelo, seguidos de las precipitaciones y la pendiente de la zona. En este estudio nos centraremos en los usos agrícolas que se le da al suelo y en la vegetación del mismo.

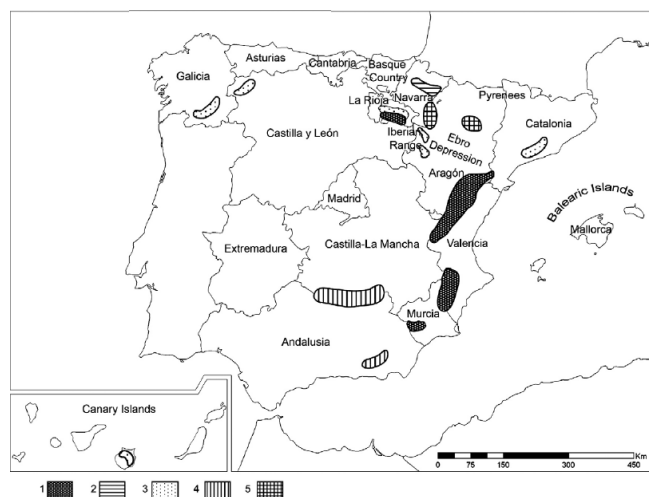


Fig. 1. Principales problemas de erosión del suelo en España para actividades agrícolas. 1: Abandono de tierras de cultivo en terrazas de banco y campos inclinados. 2: Cultivos de cereales en zonas

montañosas. 3: Viñedos en áreas relativamente empinadas. 4: Huertos de olivos y almendros en pendientes empinadas. 5: Degradación del suelo en áreas de regadío.

Tal y como se observa en la Fig.1, en las zonas montañosas del mediterráneo, existen mayores problemas de erosión debido a factores que influyen en estas áreas, siendo los más representativos, la intensa demografía, las fuertes pendientes y las precipitaciones abundantes e intensas. [1]

2. SISTEMA TRADICIONAL AGRARIO

La fisonomía del paisaje español ha cambiado mucho entre los siglos XVI y XIX debido a algunos factores, siendo los más importantes la expansión de los cultivos de cereales y la ganadería, además del crecimiento de las industrias navales, pero fue a partir del siglo XIX cuando el auge de la desamortización en los bosques junto con su deforestación para la venta pública de estas tierras, construcción de infraestructuras viarias y el aumento de la demografía, intensificó el uso de estos suelos de manera notoria. Hasta los inicios del siglo XX se continuó con la tradición de la deforestación y pérdida de grandes masas forestales como el encinar de la Depresión del Ebro lo que favoreció al aumento de los cultivos de viñedos. [1]

3. ABANDONOS DE LAS TIERRAS

La despoblación de las zonas rurales desde los años 60 y su migración a las grandes ciudades, ha propiciado el abandono de estas grandes zonas. Además, la maquinaria actual para la labranza de las tierras (debido a sus grandes dimensiones) ha provocado el abandono de las zonas con grandes pendientes.

Según la experiencia, se ha observado que la pérdida de suelo por erosión está en torno a 3 toneladas por hectárea de suelo y provoca un aumento de la infiltración de agua, en aquellos que estén abandonados y en barbecho donde la vegetación es nula. La existencia de vegetación, ya sea de crecimiento espontáneo o cultivada, producirá

Cintia Fernández Lorenzo. Facultad de ciencias experimentales. Universidad Pablo de Olavide. cferlor@alu.upo.es

David Buenos Herrero. Facultad de ciencias experimentales. Universidad Pablo de Olavide. dbueher@alu.upo.es

Olaya García Ruiz. Facultad de ciencias experimentales. Universidad Pablo de Olavide. ogarrui@alu.upo.es

una tasa de erosión menor en comparación con los suelos desnudos, de esta manera se demuestra que la cubierta vegetal es un factor que disminuye la erosión de los suelos. [2]

Otras prácticas agrícolas que han disminuido en España es el barbecho. El descanso del cultivo de las tierras como tradición en España, se ha perdido y ha favorecido la rotación de los cultivos; debido a la demanda económica, social y cultural. [2]

4. CULTIVOS DE SECANO

Los cultivos de secano más representativos de la agricultura de España son los cereales, la vid y el olivo seguidos de los almendros.

Los cultivos de cereales, brindan mayor seguridad frente a la erosión que otros cultivos de secano, principalmente debido a la alta densidad cultivada, siendo estas tierras más vulnerables a la erosión en las épocas de lluvias, especialmente cuando superan la media de 380 milímetros (mm). [2]

En los terrenos cultivados por vid en la región mediterránea se producen unas altas tasas erosivas, esto es debido a su gran extensión en el territorio español. Este cultivo tiene como característica una baja densidad dejando grandes zonas del terreno desnudas; acentuado en los meses de invierno y principios de primavera, donde la vid carece de hojas, siendo el suelo más vulnerable a la erosión, aportando poca protección frente a la precipitación. Además el espacio entre las vides es otro factor que repercute en una mayor erosión de estos suelos, estando desprotegidos de cubierta vegetal incluso los meses de verano donde el follaje es mayor. La erosión también se verá aumentada por las malas prácticas y manejo de las tierras, consiguiendo el control de las escorrentías y por la dimensión del grano de la que depende la capacidad de filtración del suelo. [1]

Gracias a las subvenciones de las Políticas Agrarias Comunes (PAC) los frutales (como el olivo) se han visto favorecidos y expandidos a otras zonas. La región de España con mayor cultivo por hectárea (Ha) de olivos es Andalucía. Debido a los nuevos sistemas de plantación la densidad de cultivo del olivo se ha visto aumentada, aún así, la separación entre olivos persiste favoreciendo el paso de la maquinaria y dejando zonas desnudas a su paso. Las áreas de cultivo destinadas al olivo, son susceptibles a la erosión debido a varios factores como la climatología mediterránea, la distancia entre olivos, las fuertes pendientes habituales en los olivares como no ocurre en las terrazas de olivos y sotobosque, con menos pendiente y por lo tanto con tasas de erosión más bajas. Si el suelo entre olivos tiene una cubierta vegetal disminuye la pérdida de suelo. No existen muchos estudios referentes a la erosión en los cultivos de almendro, aunque la erosión se podría comportar de la misma manera que para el olivo. [1]

5. PREVISIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA EROSIÓN EN ESPAÑA

La mayor parte de los recursos mundiales de suelos se encuentran muy degradados, estando el 33 % de la tierra con nivel alto o muy alto de degradación. Las causas que lo provocan son la salinización de los suelos, su acidificación, compactación, contaminación, eliminación de la cubierta vegetal para cultivos o pastos y la erosión. [3]

Como se observa en la Fig.2, los estados erosivos para el conjunto del territorio español, presentan una alta tasa de erosión, con la consiguiente pérdida de suelo, siendo las más afectadas las cuencas hidrográficas del sur de España, siendo el porcentaje de pérdidas superior a 50 t/ha.año afectando a más del 22% de su superficie. [3]

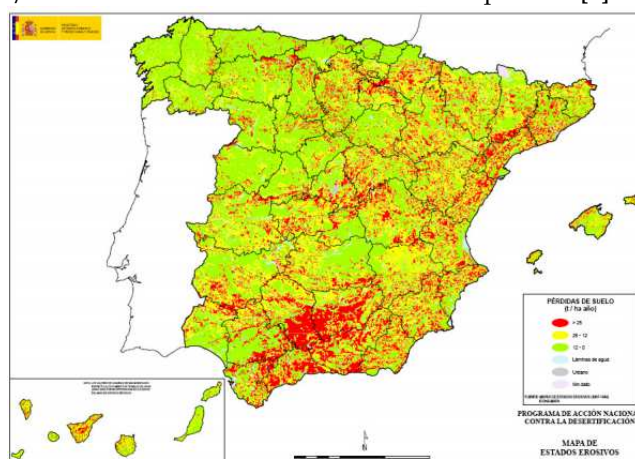


Fig. 2. Mapa de estados erosivos (PAND, agosto de 2008).

ESTRATO	SUPERFICIE (ha)	PÉRDIDAS MEDIAS (t/ha-año)
Cultivos de regadío	3.054.078	10,35
Cultivos arbóreos y viñedos de secano	5.113.437	78,93
Cultivos herbáceos de secano	14.804.776	30,53
Erial a pastos, matorral disperso y arbolado con cubida cubierta <0,2	8.231.174	17,46
Pastizales permanentes	2.141.306	8,08
Arbustos y matorral	5.200.907	19,14
Arbolado con cubida cubierta entre 0,2 y 0,7	5.984.709	8,36
Arbolado con cubida cubierta >0,7	4.535.843	5,16

Tabla 1. Valor medio de las pérdidas de suelo según sus usos (PAND, agosto de 2008).

En la Tabla 1, se muestran los valores medios de las pérdidas de suelo para los distintos usos, datos en los que se han basado para la realización del mapa anterior.

Según los datos obtenidos, se observa como los usos con mayor tasa de erosión son los debidos a cultivos de secano, tanto arbóreo como viñedos y los que menos tasa han obtenido son aquellos en la que la cobertura vegetal sobretodo arbórea, cubre la mayor parte del terreno. Como se ha mencionado en apartados anteriores tanto la pendiente como la acción antrópica son factores muy influyentes en la pérdida de suelo. Estos efectos conllevan que los suelos deriven a tierras poco productivas y de difícil recuperación, potenciándose los riesgos naturales como por ejemplo avenidas catastróficas. [3]

El estudio de la desertificación en España, se realizó a través del Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND), el cual expone en 2008 un diagnóstico de la situación en España del medio natural y antrópico, analizando las características edafológicas, hidrológicas y riesgos naturales como los incendios forestales; clasificando los suelos en tres categorías: áridas, semiáridas y sub-húmedas secas. En la Fig.3. se observa que la zonificación con mayor riesgo de desertificación son aquellas áreas que se representan en naranja y rojo, encontrándose estas zonas en el sureste peninsular y archipiélago canario. Prácticamente la única zona de España donde el riesgo es bajo es el norte peninsular representado en color azul. [3]

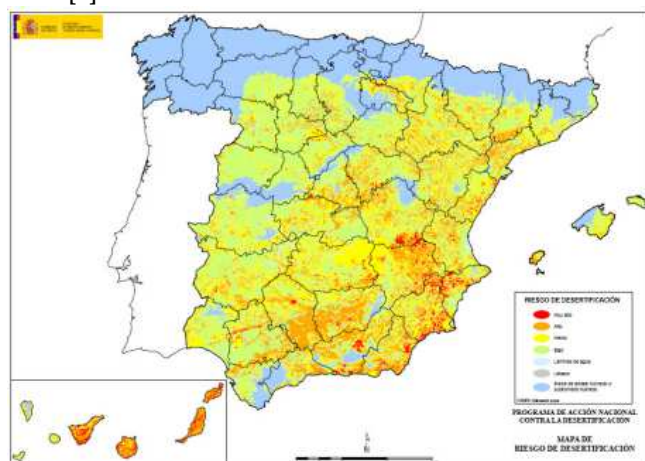


Fig.3. Mapa de riesgo de desertificación (PAND, agosto de 2008).

Se establecen unas medidas tanto preventivas como restauradoras y estrategias futuras dentro de un enclave sostenible. En el sistema agrario en particular, las medidas propuestas son aquellas acciones encaminadas a disminuir y prevenir la degradación de los suelos y reparar las zonas agrarias con elevadas pendientes. La erosión del suelo, no solo afecta al sistema agrario y a la economía de un país, sino que también se ve afectada la biocenosis, debido al cambio progresivo del hábitat cada vez más degradado. [3]

5. CONCLUSIONES

En España, las tasas predominantes de erosión corresponden a los cultivos de viñedos siendo muy superiores a las de los cereales; esto es debido a que la erosión en los cultivos de cereales se produce fundamentalmente durante los eventos de lluvias, en el caso de los viñedos, las pérdidas de suelo se producen en cualquier época del año.

La cubierta vegetal es uno de los factores que más influyen en las tasas erosivas de los suelos, siendo una protección frente a la erosión hídrica. Por el contrario, los suelos desnudos como por ejemplo aquellos que se encuentran en barbecho son los que más sufren erosión.

Una de las consecuencias que produce la erosión es la progresiva pérdida de la materia orgánica de la parte superficial de los suelos, repercutiendo en la capacidad de intercambio catiónico y provocando una disminución de

la fertilidad, así como el aumento de la compactación del suelo. La disminución de la fertilidad de los suelos repercute en la rentabilidad de los cultivos. Otro obstáculo que influye en menor productividad de los cultivos es la cantidad de sales presentes en el suelo, así como la acidez de los mismos. [4]

La Política Agraria Común se centra en ofrecer primas económicas que favorecen a unos cultivos en vez de otros sin primar la conservación del suelo, no teniendo en cuenta las Buenas Prácticas Agrícolas; por lo que tanto las políticas como las buenas prácticas agrícolas deben ir de la mano, para favorecer las condiciones más óptimas del suelo dentro de un régimen sostenible.

El siguiente escalón a la erosión de los suelos va encaminado a la desertificación de estos, un claro ejemplo es la evolución del suelo de España. El PAND, estudia como combatirla, tanto con políticas dirigidas a reducir la erosión como con líneas estratégicas que hagan frente a la desertificación.

Si no se toman medidas al respecto para mitigar esta situación, las consecuencias pueden ser graves, como por ejemplo la reducción de las áreas productivas, además de la disminución del rendimiento de los cultivos y la capacidad del suelo para almacenar y completar el ciclo del carbono, nutrientes y agua.

Por tanto, podemos considerar la erosión no solo como una de las mayores causas de la desertificación sino también como el síntoma de ésta.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al profesor Miguel Rodríguez Rodríguez, por animarnos a no cambiar el tema de estudio de este trabajo, ya que gracias a ello hemos descubierto que el tema "Erosión" es muy interesante.

REFERENCIAS

- [1] José M. García-Ruiz. The effects of land uses on soil erosion in Spain. *Revista Catena* 8, 1-11. (2010).
- [2] Bienes, R.; Moscoso Del Prado, J.; Del Olmo, A. y Rodríguez, C. Pérdida de suelo por erosión hídrica en un suelo agrícola de la zona centro de España provocada por una tormenta de corta duración. *Servicio de Investigación Agraria. Comunidad de Madrid y Subdirección General de Coordinación y Programas. INIA*
- [3] Web del Plan de Acción Nacional contra la Desertificación. (PAND) (2008). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. http://www.mapama.gob.es/es/ desarrollo-rural/temas/Politica-forestal/desertificacion-restauracion-forestal/lucha-contra-adesertificacion/lch_pand_descargas.aspx
- [4] Grupo Técnico Intergubernamental sobre los Suelos de la FAO (2015). Web de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/ic Ode>



Cintia Fernández Lorenzo alumna de tercer curso en Grado de ciencias ambientales en la Universidad Pablo de Olavide. Técnico superior en salud ambiental y en laboratorio de diagnóstico clínico. Actualmente trabaja en el Excmo. Ayuntamiento de Sevilla como Técnico-Inspector del servicio de salud.



David Bueno Herrero alumno de tercer curso en Grado de ciencias ambientales en la Universidad Pablo de Olavide. Técnico superior en salud ambiental y en química ambiental. Actualmente trabaja en el Excmo. Ayuntamiento de Sevilla como Técnico-Inspector del servicio de salud.



Olaya García Ruiz alumna de tercer curso en Grado de ciencias ambientales en la Universidad Pablo de Olavide. Técnico superior en salud ambiental y en laboratorio de diagnóstico clínico. Actualmente trabaja en el Laboratorio de ecofisiología de la Estación Biológica de Doñana perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas.