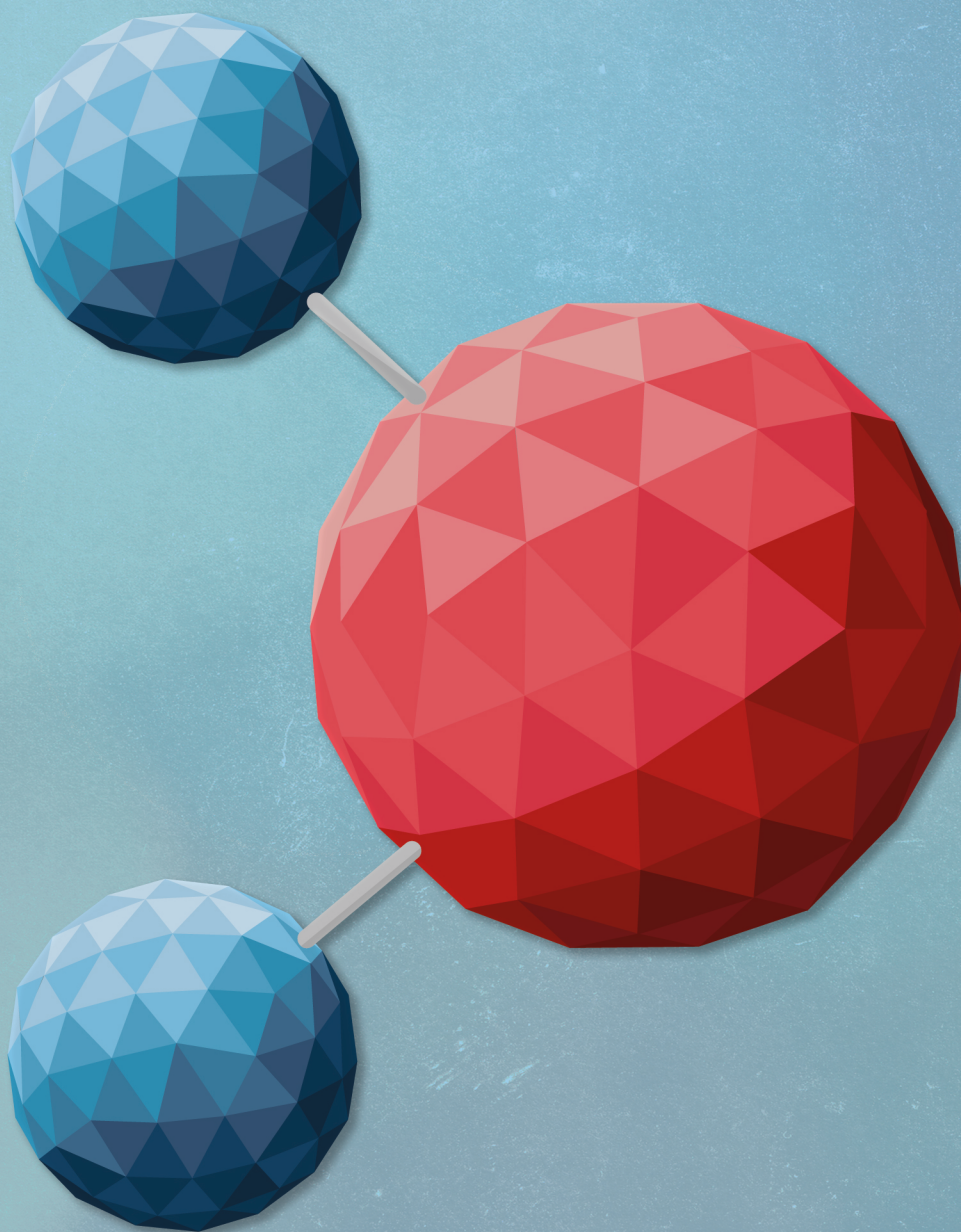


# MOLEQLA

Revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide

·Número 24·



**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 Patrimonio:* María Pilar Ortiz Calderón

*MoleQla Deportes:* Alberto Grao Cruces

*MoleQla Ambiental:* Ana Martín Calvo

*MoleQla Educativa:* Macarena Estéban Ibañez

*MoleQla Nanotecnología:* Ana Paula Zaderenko Partida

*MoleQla Química:* Patrick J. Merklings

*MoleQla Forense:* Sofía Calero Díaz

**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 Diciembre de 2016

Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España

## Editorial

El que usualmente es nuestro número de Navidad, sale esta vez con el nuevo año. Sin embargo, este retraso está motivado por una buena causa. Hemos mejorado la aplicación MoleQla para hacer que ésta sea accesible a todo el mundo a través de la web <https://moleqla.upo.es/revista/inicio/inicio.jsp>. A partir de ahora los autores podrán inscribirse y enviar sus trabajos de forma telemática a las distintas secciones de la revista. También recibirán notificación automática del estado de su manuscrito y sabrán cuándo y cómo se publica.

Las secciones de la revista MoleQla también han sufrido algunas modificaciones. Desaparece (al menos temporalmente) la sección de cristalografía, pero a cambio hemos incorporado otras como Educación o Biotecnología. Esperamos que os guste nuestra nueva aplicación y que esto os anime a publicar en la revista que, como siempre y con mucha ilusión llevamos entre todos.

Termino esta editorial deseando a todos un feliz y provechoso 2017.

Sofía Calero

Editora Jefe de la Revista MoleQla

# ÍNDICE

---

## **1. MoleQla Deportes**

- 1.1. Revisión sobre la influencia de la actividad física en la enfermedad del Parkinson
- 1.2. Emociones del alumnado en las clases de Educación Física. Una revisión sistemática

## **2. MoleQla Educativa**

- 2.1. La educación inclusiva como nuevo paradigma educativo

## **3. MoleQla Nanotecnología**

- 3.1. Terapia Fototérmica en Cáncer mediante Nanopartículas de Oro

## **4. MoleQla Química**

- 4.1. Uso del fruto del jaboncillo (*Sapindus saponaria*) como base de detergentes ecológicos

## **5. MoleQla Forense**

- 5.1. Lluvia ácida
- 5.2. La metanfetamina siguiendo 'Breaking Bad'
- 5.3. El agente naranja: De herbicida a arma química

## **6. MoleQla Ambiental**

- 6.1. ¿Los biocombustibles son el futuro? La realidad del comercio
- 6.2. Generación de biocombustibles a partir de ricino, caña común y remolacha; e interés económico de su producción

## **7. MoleQla Patrimonio**

- 7.1. Riesgos derivados de los factores ambientales en colecciones del patrimonio histórico y su control
- 7.2. Riesgos derivados de los factores ambientales en colecciones del patrimonio histórico y su control  
El análisis isotópico y la determinación del origen del alabastro
- 7.3. Riego sísmico y conservación preventiva
- 7.4. La aplicación de sistemas coloidales en la limpieza de pinturas sobre tela
- 7.5. La fotografía y su análisis mediante Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)
- 7.6. Uso LIBS en el Patrimonio Arqueológico sumergido
- 7.7. Conservación preventiva en colecciones geológicas

# Revisión sobre la influencia de la actividad física en la enfermedad de Parkinson.

Andrés Lemus González

**Resumen**— El objetivo de esta revisión fue conocer la relación entre la práctica de actividad física y la enfermedad de Parkinson, y cuáles son sus efectos y beneficios sobre el grado de dolor y calidad de vida de estos pacientes. La búsqueda de los artículos de estudio se llevó a cabo mediante la base de datos PubMed, utilizando ("Parkinson's Disease") AND ("Physical Activity") como estrategia de búsqueda. De los 191 resultados obtenidos inicialmente, se evaluaron de manera más detallada 20 artículos de estudio. Los estudios analizados hacen un recorrido por diferentes tipos de actividad física, como la danza o el trabajo del equilibrio, para mejorar la sintomatología de los pacientes con Parkinson. En conclusión, la actividad física juega un papel primordial en el tratamiento de este tipo de enfermedad.

**Palabras Claves**— Enfermedades Neurodegenerativas, Enfermedad de Parkinson, Fitness, Ejercicio y Entrenamiento.

## 1. INTRODUCCIÓN

La enfermedad de Parkinson es un trastorno crónico y degenerativo que afecta al sistema nervioso central, de lenta progresión, y que con el tiempo va incapacitando a la persona que la padece. Esta enfermedad es la segunda afección neurodegenerativa, asociada con la edad, más común después del Alzheimer [1], [16], [17].

Las personas que padecen la enfermedad de Parkinson, sufren un deterioro motor debido a la disfunción de los ganglios basales, así como una pérdida de neuronas dopaminérgicas de la sustancia negra del cerebro [1]. Esto provoca el deterioro en la marcha, y una serie de síntomas como son el temblor, la bradicinesia, la rigidez y la inestabilidad postural, junto con una serie de síntomas no motores, como son la depresión o el trastorno del sueño [2], [3].

Para el tratamiento de la enfermedad, una combinación de tratamiento farmacológico, tratamiento quirúrgico y terapia física, es la forma más generalizada para paliar los síntomas de este trastorno neurodegenerativo [4]. Aunque, se ha demostrado como la terapia física provoca las principales mejoras sobre los síntomas de estos pacientes [1], [5]. Así, se ha comprobado que la actividad física mejora la marcha y la calidad de vida de aquellas personas que tienen esta afección [5], [6]. Aunque a pesar de la existencia de numerosos estudios [5], [7], [8], donde se apoya que un programa de ejercicio es la mejor forma de tratamiento para aliviar los síntomas que padecen estos pacientes, uno de los principales problemas es la falta de adherencia a los programas de actividad física, así como a la práctica regular de ejercicio físico [5], [6], [19].

Por último, cabe destacar la importancia que tiene el trabajo del equilibrio dentro de estos programas de ejercicios, porque además de mejorar esta cualidad, también

proporcionan una mayor seguridad frente al miedo de sufrir caídas en las personas que sufren la enfermedad [9], [10], [18].

## 2. OBJETIVOS

El objetivo principal de esta revisión fue revisar la literatura científica para ver la influencia de la actividad física en la enfermedad de Parkinson, y comprobar las mejoras sintomatológicas que estos programas de intervención provocan sobre los pacientes con dicho trastorno neurodegenerativo.

## 3. METODOLOGÍA DE BÚSQUEDA

Esta revisión se llevó a cabo utilizando la base de datos electrónica PubMed. El primer artículo de estudio, de esta revisión, publicado en relación con la enfermedad de Parkinson y la actividad física fue elegido como fecha inicial de la búsqueda, que en este caso data de enero de 2008. La estrategia de búsqueda utilizada en la base de datos electrónica PubMed fue establecida como: ("Parkinson's Disease") AND ("Physical Activity").

### 3.1. Criterios de Inclusión

Los estudios que se han propuesto para la inclusión de esta revisión han seguido los siguientes criterios de inclusión:

- a) Año de publicación. En este caso los artículos publicados desde enero de 2008 hasta junio de 2016.
- b) Artículos que relacionen la actividad física con la enfermedad de Parkinson.
- c) Artículos escritos en inglés o español.

- d) Aquellos artículos a los que se tuviera acceso al texto completo desde la Universidad de Cádiz.

### 3.2. Criterios de Exclusión

Por lo tanto, los artículos excluidos en esta revisión fueron los siguientes:

- Todos aquellos artículos publicados antes de enero de 2008.
- Aquellos artículos de estudios publicados como un resumen.
- Revisiones narrativas o sistemáticas que se relacionaran con esta temática de búsqueda.

## d) 4. RESULTADOS

El proceso de selección de los artículos elegidos para la revisión se muestra en la siguiente figura:

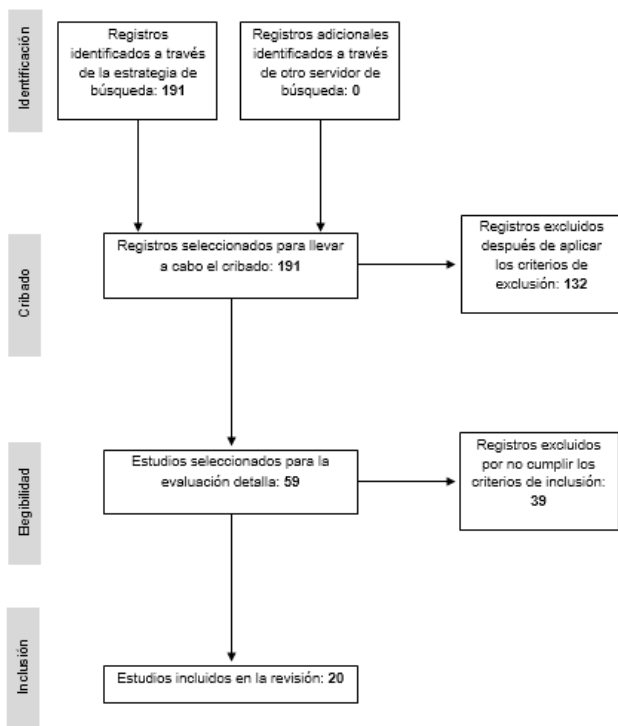


Fig. 1. Diagrama de flujo. Proceso desde el inicio de búsqueda hasta la inclusión final.

Además, para llevar a cabo el control de calidad metodológica se utilizó una versión modificada de la escala de JADAD [21], que se les pasó a los 20 artículos de estudio seleccionados para la revisión (ver Tabla 1).

En la escala de JADAD se mide principalmente la aleatorización de los artículos de estudio, y para que sea de una alta calidad metodológica, necesita tener una puntuación igual o superior a 3.

TABLA 1  
RESULTADOS DEL CONTROL DE CALIDAD METODOLÓGICA

| Autor                  | Preguntas |   |   |   |   | Puntuación |
|------------------------|-----------|---|---|---|---|------------|
|                        | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 |            |
| Nero et al. [1]        | 0         | 0 | 0 | 0 | 1 | 1          |
| Blandy et al. [6]      | 0         | 0 | 0 | 0 | 1 | 4          |
| Toosizadeh et al. [3]  | 1         | 1 | 1 | 1 | 0 | 5          |
| Conradsson et al. [10] | 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1          |
| Nakae et al. [4]       | 0         | 0 | 0 | 0 | 1 | 0          |
| Lattari et al. [2]     | 0         | 0 | 0 | 0 | 0 | 1          |
| Yang et al. [8]        | 0         | 0 | 0 | 0 | 1 | 1          |
| Carvalho et al. [16]   | 0         | 0 | 0 | 0 | 1 | 3          |
| Zhu et al. [17]        | 1         | 1 | 1 | 0 | 0 | 0          |
| Natbony et al. [5]     | 0         | 0 | 0 | 0 | 0 | 5          |
| Pan et al. [18]        | 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 4          |
| Volpe et al. [14]      | 1         | 1 | 1 | 1 | 0 | 5          |
| Nimwegen et al. [11]   | 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 3          |
| Roland et al. [12]     | 1         | 1 | 1 | 0 | 0 | 5          |
| Goodwin et al. [19]    | 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 3          |
| Crispim et al. [15]    | 1         | 1 | 1 | 0 | 0 | 3          |
| Nimwegen et al. [7]    | 1         | 1 | 0 | 0 | 1 | 5          |
| Nimwegen et al. [20]   | 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 3          |
| Canning et al. [9]     | 1         | 1 | 0 | 0 | 1 | 1          |
| Thacker et al. [13]    | 0         | 0 | 0 | 0 | 1 | 1          |

## 5. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE LA EVIDENCIA CIENTÍFICA

Varias líneas de evidencia científica, sugieren que la participación regular en la actividad física podría ser importante para aquellos pacientes que sufren la enfermedad de Parkinson [7], [11], [20].

En relación con esta línea de investigación, algunos estudios de carácter prospectivo, han encontrado evidencias científicas de que la práctica regular de actividad física se asocia con un menor riesgo de sufrir la enfermedad de Parkinson [8].

Además, otros estudios, han ido más allá, y centrándose en la intensidad de la actividad física han demostrado como la práctica física moderada o vigorosa, como por ejemplo la marcha llevada a cabo por este tipo de pacientes, puede conferir ese carácter protector de padecer la enfermedad, tanto en hombres como en mujeres [12], [13]. Por otro lado, parámetros relacionados con la velocidad y la amplitud de movimiento durante la marcha,

pueden ser un punto sensible para las personas que sufren la enfermedad de Parkinson. Por ello, es necesaria la creación de nuevos programas de intervención para mejorar la calidad de vida de estos pacientes [3].

Siguiendo esta línea de investigación, en algunos estudios se ha comprobado la importancia que tiene la velocidad de la marcha en estos pacientes, puesto que en función de esa velocidad, puede haber mejoras a nivel motriz. Para ello, a través de la acelerometría (medida objetiva de niveles de actividad física) se han establecido puntos de corte demostrándose que la velocidad óptima de marcha está entre 1m/s y 1.3 m/s. Los puntos de corte resultantes se pueden utilizar para cuantificar el comportamiento de la actividad física de esta población, además de determinar la velocidad media de la marcha en su día a día [1].

En cuanto a las actividades relacionadas con la danza o el baile en esta población, se ha demostrado como un programa de tango argentino puede presentar numerosos beneficios para este tipo de pacientes, como por ejemplo, la mejora del equilibrio, la reducción del número de caídas y algunas mejoras significativas en los síntomas depresivos [6]. Además, algunos estudios han demostrado como un programa de danza Irlandesa ha mejorado los síntomas de estos pacientes, relacionados principalmente con el equilibrio y el movimiento [14].

Otros estudios, han evidenciado como un programa de intervención de diez semanas orientado al trabajo del equilibrio y la marcha, ha mejorado significativamente el control postural, el equilibrio y el rendimiento en la marcha de este tipo de pacientes [10].

También se ha comprobado como los programas de ejercicios realizados en el hogar, consistentes en estiramientos y caminatas, son eficaces y necesarios para personas que sufren la enfermedad de Parkinson [4].

Por otro lado, y como novedad, las actividades tales como los videojuegos, basados en la baile, más concretamente el videojuego conocido como "Dance Dance Revolution", están ganando importancia como un método alternativo para la práctica física en este tipo de pacientes. Las personas con la enfermedad de Parkinson que han realizado el programa de intervención, han encontrado mejoras en cuanto al equilibrio y la capacidad física [5].

Finalmente, se ha demostrado como los pacientes que sufren la enfermedad de Parkinson sintetizan una gran cantidad de homocisteína, un aminoácido importante en el metabolismo celular, considerado influyente en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares. Tras un programa de ejercicio físico, esos niveles de homocisteína se redujeron a niveles similares de los controles sanos, algo muy importante para este tipo de pacientes [15].

## 6. CONCLUSIONES

El ejercicio físico, a través de programas de intervención, llevando a cabo el trabajo de capacidades físicas como son la fuerza, la velocidad y el equilibrio, así como actividades físicas, tales como la marcha, e incluso terapias físicas en casa, disminuyen la sintomatología de los pacientes con Parkinson, siendo esta la base de la mejora en aspectos físicos y psicológicos.

Cabe destacar la reciente aplicación de programas de intervención basados en la danza, como por ejemplo, la danza irlandesa o el tango argentino, que han sido utilizadas en estos programas para mejorar la calidad de vida y las relaciones sociales de estos pacientes.

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer la oportunidad de publicar esta revisión en la Revista MoleQla a su profesor y tutor de Trabajo de Fin de Grado, Daniel Camiletti Moirón, ya que sin su implicación y correcta ayuda esto no hubiera sido posible.

## REFERENCIAS

- [1] H. Nero, M. Wallén, E. Frazén, A. Ståhle and M. Hagströmer, "Accelerometer cut points for physical activity assessment of older adults with Parkinson's disease," *PLoS ONE*, vol. 10, no. 9, pp. 1-11, Sep 2015, doi: 10.1371/journal.pone.0135899.
- [2] E. Lattari, P.P. Pereira-Junior, G. Albuquerque Maranhão Neto, M. Khede Lamego, A.M. de Souza Moura, A. Souza de Sá, R. R. Rimes, J. Paulo Manochio, O. Arias-Carrión, G. Mura, A. E. Nardi1 and S. Machado, "Effects of chronic exercise on severity, quality of life and functionality in an elderly Parkinson's disease patient: case report," *Clinical practice and epidemiology in mental health : CP & EMH*, vol. 10, pp. 126-128, Jul 2014, doi: 10.2174/1745017901410010126.
- [3] N. Toosizadeh, J. Mohler, H. Lei, S. Parvaneh, S. Sherman and B. Najafi, "Motor performance assessment in Parkinson's disease: Association between objective in-clinic, objective in-home, and subjective/semi-objective measures," *PLoS ONE*, vol. 10, no. 4, pp. 1-15, Apr 2015, doi: 10.1371/journal.pone.0124763.
- [4] H. Nakae and H. Tsushima, "Effects of Home Exercise on Physical Function and Activity in Home Care Patients with Parkinson's Disease," *Journal of Physical Therapy Science*, vol. 26, no. 11, pp. 1701-1706, Nov 2014, doi: 10.1589/jpts.26.1701.
- [5] L. Natbony, A. Zimmer, L.S. Ivanco, S.A. Studenski and S. Jain, "Perceptions of a Videogame-Based Dance Exercise Program Among Individuals with Parkinson's Disease," *Games for Health Journal - Mary Ann Liebert, Inc. publishers*, vol. 2, no. 4, pp. 235-239, 2013, doi: 10.1089/g4h.2013.0011.
- [6] L.M. Blandy, W.A. Beevers, K. Fitzmaurice and M.E. Morris, "Therapeutic Argentine Tango Dancing for People with Mild Parkinson's disease: A Feasibility Study," *Frontiers in neurology*, vol. 6, no. 122, pp. 1-7, May 2015, doi: 10.3389/fneur.2015.00122.
- [7] M. van Nimwegen, A.D. Speelman, S. Overeem, B.P. van de Warrenburg, K. Smulders, M.L. Dontje, G.F. Borm, F.J. Backx, B.R. Bloem and M. Munnike, "Promotion of physical activity and fitness in sedentary patients with Parkinson's disease: randomised controlled trial," *British Medical Journal*, vol. 346, no. 1576, pp. 1-11, Mar 2013, doi: 10.1136/bmj.f576.

- [8] F. Yang, Y. Trolle Lagerros, R. Bellocco, H. Adami Fang Fang, N.L. Pedersen and K. Wirdefeldt, "Physical activity and risk of Parkinson's disease in the Swedish National March Cohort," *Brain, A Journal of Neurology*, vol. 138, no. 2014, pp. 269-275, 2015, doi: 10.1093/awu351.
- [9] C.G. Canning, C. Sherrington, S.R. Lord, V. Fung, J. Close, M.D. Latt, K. Howard, N.E. Allen, S.D. O'Rourke and S. Murray, "Exercise therapy for prevention of falls in people with Parkinson's disease: a protocol for a randomised controlled trial and economic evaluation," *BioMed Central Neurology*, vol. 9, no. 4, pp. 1-7, Jan 2009, doi: 10.1186/1471-2377-9-4.
- [10] D. Conradsson, N. Löfgren, H. Nero, M. Hagströmer, A. Ståhle, J. Lökk and E. Franzén, "The Effects of Highly Challenging Balance Training in Elderly With Parkinson's Disease: A Randomized Controlled Trial," *Neurorehabilitation and neural repair*, vol. 29, no. 9, pp. 827-836, 2015, doi: 10.1177/1545968314567150.
- [11] M. van Nimwegen, A.D. Speelman, K. Smulders, S. Overeem, G.F. Borm, F. Backx, B.R. Bloem and M. Munneke, "Design and baseline characteristics of the ParkFit study, a randomized controlled trial evaluating the effectiveness of a multifaceted behavioral program to increase physical activity in Parkinson patients," *BioMed Central Neurology*, vol. 10, no. 70, pp. 1-9, 2010, doi: 10.1186/1471-2377-10-70.
- [12] K.P. Roland, K.M.D. Cornett, O. Theou, J.M. Jakobi and G.R. Jones, "Physical activity across frailty phenotypes in females with Parkinson's disease," *Journal of Aging Research*, vol. 2012, no. 468156, pp. 1-8, Jun 2012, doi: 10.1155/2012/468156.
- [13] E.L. Thacker, H. Chen, A.V. Patel, M. L. McCullough, E.E. Calle, M. J. Thun, M.A. Schwarzschild and A. Ascherio, "Recreational physical activity and risk of Parkinson's disease," *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*, vol. 23, no. 1, pp. 69-74, Jan 2008, doi: 10.1002/mds.21772.
- [14] D. Volpe, M. Signorini, A. Marchetto, T. Lynch and M.E. Morris, "A comparison of Irish set dancing and exercises for people with Parkinson's disease: a phase II feasibility study," *BioMed Central Geriatrics*, vol. 13, no. 54, pp. 1-6, 2013, doi: 10.1186/1471-2318-13-54.
- [15] C. Nacimiento, F. Stella, C. Garlipp, R. Santos and L. Gobbi, "Serum homocysteine and physical exercise in patients with Parkinson's disease," *Psychogeriatrics: The Official Journal of the Japanese Psychogeriatrics Society*, vol. 11, no. 2, pp. 105-112, 2011, doi: 10.1111/j.1479-8301.2011.00356.x.
- [16] R. Carvalho, L. Nogueira de Araujo, F. Cardoso and F. Rodrigues-de-Paula, "Main determinants of physical activity levels in individuals with Parkinson's disease," *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, vol. 74, no. 2, pp. 112-126, Oct 2015, doi: 10.1590/0004-282X20160009.
- [17] D. Zhu, G. Liu, Z. Lv, S. Wen, S. Bi and W. Wang, "Inverse associations of outdoor activity and vitamin D intake with the risk of Parkinson's disease," *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, vol. 15, no. 10, pp. 923-927, Jul 2014, doi: 10.1631/jzus.B1400005.
- [18] W. Pan, S. Kwak, F. Li, C. Wua, Y. Chen, Y. Yamamoto and D. Cai, "Actigraphy monitoring of symptoms in patients with Parkinson's disease," *Physiology & Behavior: Official journal of the International Behavioral Neuroscience Society*, vol. 119, no. 22, pp. 156-160, Jul 2013, doi: 10.1016/j.physbeh.2013.05.044.
- [19] V.A. Goodwin, S.H. Richards, W. Henley, P. Ewings, A.H. Taylor and J.L. Campbell, "An exercise intervention to prevent falls in people with Parkinson's disease: a pragmatic randomised controlled trial," *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, vol. 82, no. 11, pp. 1232-1238, Aug 2011, doi: 10.1136/jnnp-2011-300919.
- [20] M. van Nimwegen, A.D. Speelman, E.J.M. Hofman-van Rossum S. Overeem, D.J.H. Deeg, G.F. Borm, M.H.L. van der Horst, B.R. Bloem and M. Munneke, "Physical inactivity in Parkinson's disease," *Journal of Neurology*, vol. 258, no. 12, pp. 2214-2221, May 2011, doi: 10.1007/s00415-011-6097-7.
- [21] S.A. Olivo, L.G. Macedo, I.C. Gadotti, J. Fuentes, T. Stanton and D.J. Magee, "Scales to Assess the Quality of Randomized Controlled Trials: A Systematic Review," *Physical Therapy: Journal of the American Physical Therapy Association*, vol. 88, no. 2, pp. 156-175, Feb 2008, doi: 10.2522/ptj.20070147.



**Andrés Lemus González** finalizó sus estudios de Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte en la Universidad de Cádiz en el año 2016. Actualmente está cursando el Máster en Actividad Física y Salud en la misma Universidad.



# Emociones del alumnado en las clases de Educación Física. Una revisión sistemática

Ana Rodríguez Carrillo

**Resumen**— El presente trabajo realiza una revisión sistemática con el objetivo de conocer las emociones de los alumnos en las clases de Educación Física. Se seleccionaron un total de 13 artículos y se pudo llegar a la conclusión de que la materia de Educación Física favorece la aparición de las emociones en los alumnos y en función de cómo se plantee la práctica deportiva aumentarán o disminuirán las emociones positivas, negativas y ambiguas.

**Palabras Claves**— Educación emocional, Estudiantes, Actividad Física, Juegos motores, Competencias emocionales.



## 1. INTRODUCCIÓN

Entendemos emoción como “el estado complejo del organismo que se caracteriza por una excitación o perturbación que predispone a una respuesta organizada” [1]. Según el grado en que las emociones afectan al comportamiento del sujeto las emociones se clasifican en positivas, negativas, ambiguas y estéticas; y dentro de estas obtendríamos un total de 13 emociones: alegría, humor, amor, felicidad, ira, miedo, tristeza, vergüenza, aversión, sorpresa, esperanza, compasión y aquellas reacciones ante manifestaciones artísticas (literatura, pintura, esculturas, música, danza...) [1].

La educación emocional es un complemento indispensable en el desarrollo cognitivo y una herramienta fundamental de prevención, ya que muchos problemas tienen su origen en el ámbito emocional [2].

La finalidad de la educación emocional es desarrollar las competencias emocionales, entendiéndolas como “el conjunto de conocimientos, capacidades, habilidades y actitudes necesarias para tomar conciencia, comprender, expresar y regular de forma apropiada los fenómenos emocionales” [3]. Nos sirve para solucionar gran parte de nuestros problemas personales y sociales, comprendiendo tanto nuestros sentimientos como los ajenos.

La salud debe ser uno de los objetivos de la asignatura de Educación Física. El concepto de salud ha dejado de estar asociado a la ausencia de enfermedad, para entenderse como un estado completo de bienestar físico, mental y social [4]. El concepto de salud debe relacionarse también al de bienestar social y emocional, ya que la persona que se siente bien tiene una percepción positiva de la realidad y hace un uso adecuado de sus emociones tanto consigo mismo como con los demás, y esto repercute positivamente en su salud [5].

Las propuestas pedagógicas dirigidas a la educación de competencias emocionales mediante la Educación Física son muy escasas [6]. No existen demasiados estudios sobre las emociones de los alumnos en las clases de Educación Física, pero los que hay nos muestran con claridad que la actividad física provoca gran cantidad de emociones y casi todas ellas positivas.

## 2. OBJETIVOS

Los objetivos de la presente revisión sistemática fueron conocer las emociones que sienten los alumnos en las clases de Educación Física, los programas que ayudarían a mejorar la educación emocional en dichas clases y cómo afectan las distintas técnicas de enseñanza en las emociones de los alumnos.

## 3. METODOLOGÍA DE BÚSQUEDA

Para poder realizar esta revisión sistemática se buscaron artículos en las siguientes bases de datos: SPORTdiscus, WEB OF SCIENCE (WOS), CSIC : ISOC - Ciencias Sociales y Humanidades (ISOC - Psicología), ERIC (Educational Resources Information Center) y ResearchGate - Share and discover research. Se utilizaron distintas combinaciones de las siguientes palabras clave: emotional education, physical education, emotions, students.

### 3.1. Criterios de inclusión

Se incluyeron todos los artículos científicos:

1. Que hayan sido publicados hasta marzo de 2016
2. Que hayan sido escritos en inglés, español o italiano
3. Que hayan sido llevados a cabo en primaria, ESO, Bachillerato, ciclos formativos o Universidades
4. Que la muestra superara los 20 sujetos
5. Que trate las emociones de los alumnos en clases de Educación Física
6. Cuyos instrumentos de valoración tengan demostrada su fiabilidad

### 3.2. Criterios de exclusión

Se excluyeron todos los artículos científicos que aun cumpliendo los criterios de inclusión antes mencionados:

1. No se traten de artículos originales
2. Aquellos artículos repetidos

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Revisados todos los artículos según los criterios de inclusión y de exclusión nos quedamos con los 13 artículos que forman nuestra revisión sistemática. Los estudios incluidos en la revisión sistemática tienen muestras, edades, duraciones y temáticas distintas:

- Muestra: 25-1008 personas
- Edades: 8-30 años
- Duración: 1-30 sesiones

TABLA 1  
TEMÁTICA Y AUTORES DE LOS ARTÍCULOS

| TEMÁTICA  | AUTORES  |
|---|--|
| Emociones provocadas en las clases de EF.   | Gil y Martínez [7]   |
| Competencias emocionales desarrolladas en las clases de EF                                | González et al. [8]  |
| Emociones que provocan distintas técnicas de enseñanza                                    | Amado et al. [9]   |
| Emociones al realizar técnicas de relajación y mindfulness                                | Ruiz et al. [10]   |
| Emociones provocadas al practicar juegos de distinto dominio de acción                    | Duran et al. [11], Lavega et al. [12], Araujo et al. [13], March et al. [14], Zamorano et al. [15] |
| Bienestar emocional en función de la práctica deportiva                                   | Fernández et al. [16]  |
| Emociones provocadas en función de la intensidad del ejercicio                            | Cervelló et al. [17]   |
| Emociones provocadas al practicar deportes de riesgo                                      | Robazza y Bortoli [18]   |
| Cambio emocional al fomentar el aprendizaje social y emocional en deportes de competición | Chonh y Dawn [19]  |

El objetivo de este estudio fue investigar el impacto que tiene la práctica deportiva en clases de Educación Física a la hora de provocar emociones a los alumnos. Al analizar los 13 artículos incluidos en este estudio obtuvimos los siguientes resultados.

La actividad física en general y la práctica deportiva en particular que realizan los alumnos en clase de Educación Física provoca bienestar y genera gran cantidad de emociones en los alumnos. La mayoría de estas emociones son positivas [7] y [16].

La aplicación de técnicas de relajación y mindfulness en las clases de Educación Física como introducción en el mundo de la inteligencia emocional favorece la aparición de emociones positivas y actúa reduciendo el estrés. Por esto sería oportuno que estas técnicas estuvieran integradas en las clases [10].

La competencia emocional que perciben con mayor intensidad en clase es la de solidaridad y la que perciben con menor intensidad es la de liderazgo. La competencia emocional de solidaridad favorecería un mejor clima de clase a la vez que mejoraría las relaciones inter-personales de los alumnos [8].

En función a la técnica de enseñanza los alumnos muestran emociones distintas, siendo la técnica de enseñanza de instrucción directa la que mayores emociones positivas genera en los alumnos, ya que estos asimilan más fácilmente los conceptos, aumentando los sentimientos de satisfacción. A diferencia de la instrucción directa, en la técnica de indagación el alumno se encuentra más expuesto y esto provoca mayores emociones negativas [9].

Entre los 13 artículos que forman parte de este estudio encontramos 5 que tratan las emociones que sienten los alumnos al practicar juegos de distintos dominios de acción en las clases de EF. Los juegos en general provocan gran cantidad de emociones, pero son los juegos cooperativos los que provocan mayores emociones positivas mientras que los juegos psicomotores son los que generan menores emociones positivas. El éxito en los juegos competitivos genera gran cantidad de emociones positivas mientras que la derrota genera la mayor cantidad de emociones negativas [11], [12], [13], [14] y [15].

A la hora de introducir la competición en cualquier deporte o actividad realizada en clase es importante hacerlo poco a poco, proponiendo objetivos asequibles a los alumnos que irán aumentando de nivel con la práctica. De esta manera aprenden a manejar mejor el fracaso y aumentan las emociones positivas a la vez que disminuyen las emociones negativas [19].

Cuando a los alumnos se les plantea deportes o actividades nuevas a las que no están acostumbrados a practicar en clase sienten emociones negativas ya que no controlan la situación y se sienten inseguros, pero estas emociones cambian a emociones positivas al finalizar las sesiones en mayor medida que cuando practicaban deportes habituales en clase [18].

Al igual que el tipo de actividad, la técnica de enseñanza y la presencia o no de competición otro factor que condiciona las emociones de los alumnos sería la intensidad de la actividad. Las mayores emociones positivas se dan después de actividades vigorosas mientras que cuando se practica actividad a intensidad leve no se encuentran aumento significativo de las emociones positivas al finalizar la sesión [17].

## 5. CONCLUSIÓN

Como hemos podido ver en este estudio la materia de Educación Física y la práctica deportiva en general es una herramienta muy útil a la hora de provocar emociones. A través de este estudio hemos podido conocer el tipo de práctica que favorecen la aparición de emociones positivas como son la introducción de la relajación y el mindfulness o la práctica de juegos cooperativos, y como disminuir las emociones negativas en deportes de competición proponiendo objetivos adaptados a las capacidades de los alumnos haciendo que sean asequibles para ellos y así disminuyendo la sensación de fracaso.

Las emociones no solo afectarán a la actitud del alumno en clase sino que estas emociones repercutirán en

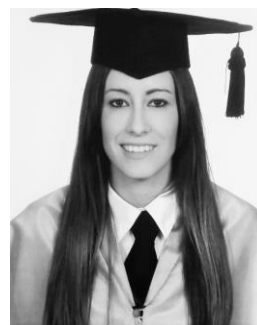
el alumno fuera de esta, en su vida diaria. Por este motivo se debería poner mayor atención a las emociones de los alumnos e intentar llevar a cabo distintas estrategias que mejoren la educación emocional de los mismos.

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer la oportunidad de publicar esta revisión sistemática en la Revista Moleqla.

## REFERENCIAS

- [1] R.Bisquerra, *Educación emocional y bienestar*. Barcelona: Praxis, pp 61, 2000.
- [2] J. Delors, *La educación encierra un tesoro*. Madrid: Santilla-Ediciones UNESCO, 1998.
- [3] R. Bisquerra "Educación emocional y competencias básicas para la vida". *Revista de investigación educativa*, 2003, vol. 21, no. 1, pp. 7-43, 2003.
- [4] L. Vega-Franco, "Ideas, creencias y percepciones acerca de la salud". *Reseña histórica. Salud pública México*, pp 258-265, 2002.
- [5] D.Danner, D.Snowdon, W.Friesen. "Positive emotions in early life and longevity:findings from the nun stud"y, *Journal of personality and social psychology*,pp 804-813, 2001.
- [6] Miralles, R. "La relació entre els jocs motors i les emocions en el cicle superior d'educació primària:Adjudant els mestres a prendre decisions". Lleida: Universidad de Lleida, 2013.
- [7] P.Gil , M.Martínez. "Emociones percibidas en Educación Física en 6º curso de primaria". *Educación 21*,vol 19, no.2, 2016.
- [8] I.González-Martí, O.Contreras, P.Gil, "Percepción de la competencia emocional en las clases de Educación Física en educación primaria" *Multiaérea.Revista de didáctica*, no. 6, pp 355-365, 2014.
- [9] D.Amado, T.García-Calvo, J.Marreiros, J.M. López-Chamorro, F. del Villar, "Analysis of students' emotions in agreement with the dance teaching technique used" *European Journal of Human Movement*,vol 34, pp 123-138, 2015.
- [10] G.Ruiz, L.Lorenzo, A.García., "El trabajo con la inteligencia emocional en las clases de Educación Física: Valoración de una experiencia piloto en educación primaria", *Journal of Sport and Health Research* ,vol 5, no. 2, pp 203-210, 2013.
- [11] C.Duran, P.Lavega, A.Planas, R.Muñoz, G.Pubill, "Educación Física emocional en secundaria. El papel de la sociomotricidad", *Apunts.Educación Física y Deportes*, no. 117 ,pp 23-32, 2014.
- [12] P.Lavega, J.Alonso, J.Etxebeste, F.Lagardera, J.March, "Relationship Between Traditional Games and the Intensity of Emotions Experienced by Participants", *Research Quarterly for Exercise and Sport*, vol 85, no. 4, pp 457-467, 2014.
- [13] P.Lavega, P.Arājujo, A.R.Jaqueira, "Teaching motor and emotional competencies in university students", *Cultura, ciencia y deporte: revista de ciencias de la actividad física y del deporte de la Universidad Católica de San Antonio*, no. 22, pp 5-15, 2013.
- [14] P.Lavega, J.March, G.Filella, "Juegos deportivos y emociones. Propiedades psicométricas de la escala GES para ser aplicada en la Educación Física y el deporte", *Revista de Investigación Educativa*, vol 31, no. 1, pp 151-165, 2012.
- [15] P.Gil, D.Zamorano, A.Prieto, "Emociones generadas por distintos tipos de juegos en la clase de Educación Física", *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, submitted for publication.
- [16] E.Fernández, B.Almagro, P.Sáenz-López, "Inteligencia emocional percibida y el bienestar psicológico de estudiantes universitarios en función del nivel de actividad física.", *Revista CCD*, vol 10, no. 28, pp 31-39, 2014.
- [17] E.Cervelló, D.González-Cutre, V.J.Beltrán-Carrillo, J.A. Moreno, "Ejercicio, bienestar psicológico, calidad de sueño y motivación situacional en estudiantes de Educación Física", *Cuadernos de Psicología del Deporte*,vol 14, no. 3, pp 31-38, 2014.
- [18] C.Robazza, L.Bortoli, "Changing students' attitudes towards risky motor task: An application of the IZOF model", *Journal of Sports Sciences*, vol 23, no.10, pp 1075-1088, 2005.
- [19] S.Chong, D.Penney, " Promoting social and emotional learning outcomes in physical education: insights from a school-based research project in Singapore", *Asia-Pacific Journal of Health, Sport and Physical Education*, vol 4, no. 3, pp 267- 286, 2013.



**Ana Rodríguez Carrillo** finalizó sus estudios de Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte en la Universidad Pablo de Olavide en junio de 2016. Actualmente está cursando el Máster de Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas en la misma Universidad.

# La educación inclusiva como nuevo paradigma educativo

José Luis Rodríguez-Díez, Victoria Pérez-de-Guzmán

**Resumen**— En lo que a integración de la persona con diversidad funcional se refiere hemos avanzado desde la exclusión lisa y llana del sistema hasta la actual tendencia integracionista. Al reconocer la diversidad en los centros escolares atenderla se convierte en un principio básico de los sistemas educativos actuales. La inclusión aparece como un movimiento destinado a transformar los sistemas educativos para responder a la diversidad del alumnado y hacer efectivo el derecho a la educación con igualdad de oportunidades. Aunque se ha avanzado mucho es este sentido la realidad práctica nos indica que falta mucho aún para que la inclusión sea el determinante común en los colegios.

**Palabras Claves**— Educación inclusiva, diversidad funcional, paradigmas educativos.

## 1. INTRODUCCIÓN

La educación ha pasado de ser un beneficio de la clase alta a un derecho de todos y todas y finalmente, como reconoce la UNESCO [1], a una obligación por parte de los Estados. Haciendo un poco de historia en lo que a integración de la persona con diversidad funcional se refiere hemos avanzado desde la exclusión lisa y llana del sistema hasta la actual tendencia integracionista. Al reconocer la diversidad en los centros escolares atenderla se convierte en un principio básico de los sistemas educativos actuales e implica no sólo la obligación del alumnado a asistir a clase sino también obliga al centro educativo a proporcionar los medios para su máximo desarrollo personal y posibilidades de integración social [2].

Cuando hablamos del modelo inclusivo como nuevo paradigma educativo es porque así lo definía Banathy [3] hace más de tres décadas aunque no ha sido hasta hace relativamente poco tiempo en el que la inclusión realmente se está aplicando. En la imagen 1 vemos la evolución de los paradigmas educativos.

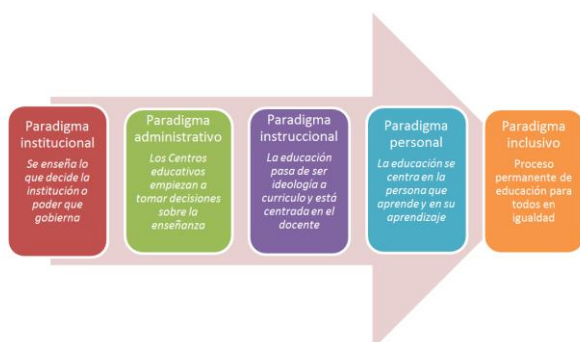


Fig. 1. Paradigmas de la educación

## 2. DE SERES ESTIGMATIZADOS A PERSONAS CON DIVERSIDAD FUNCIONAL

Las palabras llevan asociadas ideas y conceptos que representan valores culturalmente aceptados. Si queremos cambiar estas ideas o conceptos se hace necesario cambiar las palabras que los nombran. La evolución del concepto diversidad funcional se ha fundamentado en los siguientes modelos [4]:

**Modelo preformista o negativista:** Es el que prevalece hasta el siglo XVII. En épocas anteriores a la Revolución Francesa se pensaba que las deficiencias se formaban en el momento de la concepción o eran el resultado de designios de fuerzas divinas. Según las distintas culturas, las personas con diversidad funcional eran segregadas, perseguidas, institucionalizadas en forma permanente o se practicaba la eugenesia con ellos, o en otros casos se reverenciaba o deificaba a quienes tenían estos estigmas.

**Modelo predeterminado médico:** Se extiende desde el siglo XVII hasta finales del siglo XIX. Se consideraba que las diversidades funcionales tenían origen biomédico. En esa época, quienes no podrían ser curados se institucionalizaban independientemente de la diversidad funcional que presentaran. Las órdenes religiosas eran las que primordialmente se ocupaban de estas personas.

**Modelo determinista funcional:** Se extiende desde finales del siglo XIX hasta la década de los 80 del siglo XX. Se desarrolla el criterio de rehabilitación y de educación especial.

**Modelo interaccionista o estructuralista:** Comienza a desarrollarse el concepto de desventaja y a enfatizarse los factores ambientales. En este periodo se implanta la normalización en la educación. Se reconoce el valor de la prevención para eliminar las barreras físicas y estructurales.

**Modelo inclusivo de los derechos humanos:** Se reconoce que los derechos humanos son fundamentales y se los incluye en la ejecución de programas.

### 3. EDUCACIÓN INCLUSIVA

La inclusión aparece como un movimiento destinado "a transformar los sistemas educativos para responder a la diversidad del alumnado y hacer efectivo el derecho a la educación con igualdad de oportunidades" [5]. En las escuelas inclusivas todo el alumnado debe aprender junto siempre que ello sea posible al igual que los centros educativos ordinarios deben reconocer y responder a las diversas necesidades educativas del alumnado, estableciendo un continuum de servicios que responda a estas necesidades [6]. La integración escolar parte del concepto de normalización, pero éste no surge del ámbito educativo sino del ámbito social; por lo tanto, no se centra en el individuo o en su situación particular sino más bien en las relaciones que se establecen entre las personas. No se trata de "normalizar la diversidad" sino más bien de normalizar las relaciones que se mantiene con ella. No debe entenderse que este cambio en las relaciones signifique dar facilidades en cuanto a sus posibilidades; significa también exigir, porque de esta manera respetamos y valoramos sus posibilidades.

La educación inclusiva es, ante todo, una posición frente a los derechos humanos. La escuela debe producir una respuesta educativa a las necesidades de todos los estudiantes y al principio de igualdad de oportunidades educativas, sin segregar a ninguna persona como consecuencia de su diversidad funcional o dificultad de aprendizaje, género o pertenencia a una minoría. Incluir significa ser parte de algo, formar parte del todo. Por tanto enfatiza en cómo apoyar al alumnado para que desarrolle sus potencialidades dentro de una comunidad educativa de tal manera que se sientan bienvenidos, seguros, y alcancen el éxito en base a un aprendizaje significativo centrado en el individuo [7]. De esta manera las estrategias de trabajo se van construyendo y constatando en la atención más personalizada que requiere el alumnado con diversidad funcional, sobre todo en lo que al manejo del tiempo y el espacio se refiere. Las experiencias realizadas hasta el momento han permitido, lo que podríamos llamar, un aprendizaje social en cuanto a que tanto el alumnado, la familia y el profesorado han podido constatar la posibilidad de establecer una relación normalizada con los niños y niñas que presentan algún tipo de diversidad funcional; sin embargo, el sistema paralelo de la educación especial debe mantener sus espacios propios para brindar la atención especializada necesaria en cada caso, sin que esto genere una lucha de poderes o espacios en cuanto a la pertenencia de un alumno/a.

### 4. CONCLUSIONES

Si bien la integración se remonta en la agenda política de los países europeos occidentales a los años sesenta o

principio de los setenta [7] y desde la legislación española, en los últimos años, se han realizado numerosas aportaciones para abordar con rigor y garantías el problema de la integración en los centros educativos y la educación en actitudes, valores y normas del alumnado la realidad práctica nos indica que falta mucho aún para que la inclusión sea el determinante común en los colegios. Por lo que animamos desde aquí a toda la comunidad educativa a seguir trabajando para lograr una integración educativa y social real y no teórica del alumnado con diversidad funcional.

### REFERENCIAS

- [1] UNESCO, *Declaración mundial sobre educación para todos y marco de acción para satisfacer las necesidades básicas de aprendizaje*. Nueva York: WCEFA, 1990.
- [2] M. García-García, D. García Corona, CH. Biencinto y C. González Barberá. De la exclusión a la inclusión: una forma de entender y atender la diversidad cultural en las instituciones escolares. *Revista Psicopedagogía*, vol. 26, no. 79, pp. 108-123, 2009.
- [3] B: Banathy. *Systems design in the context of human activity systems*. San Francisco. 1984.
- [4] E. Amate y A. Vázquez. *Discapacidad: todo lo que todos debemos saber*. Washington, D.C: OPS (Publicación Científica y Técnica n°. 616). 2016
- [5] J.M. Fernandez Batanero y A. Hernández Fernández. Liderazgo directivo e inclusión educativa. Estudio de casos. *Perfiles Educativos*, vol. 35, no. 142, pp. 27-41. 2013.
- [6] P. Arnáiz, P. Innovación y diversidad: Hacia nuevas propuestas didácticas. En J.A. Torres (Coord.), *La innovación de la Educación Especial*. Jaén: Servicio de Publicaciones de la Universidad. pp. 333-358, 1997.
- [7] N. Pardo Rodríguez. *Educación especial e inclusión*. 2000. Recuperado de [http://www.sordoceguera.org/vc3/biblioteca\\_virtual/archivo\\_s/22\\_educacion\\_especial\\_inclusion.pdf](http://www.sordoceguera.org/vc3/biblioteca_virtual/archivo_s/22_educacion_especial_inclusion.pdf).
- [8] B.M. Franklin. *Interpretación de la discapacidad*. Barcelona: Palomares-Corredor, S.A. 1996.



**José Luis Rodríguez-Díez** es Licenciado en Psicología por la Universidad de Sevilla y Doctor por el Departamento de Educación y Psicología Social de la Universidad Pablo de Olavide. Profesor colaborador en el mismo Departamento. Líneas de investigación: educación de personas adultas y adultas mayores, envejecimiento activo, calidad de vida, diversidad funcional.



**Victoria Pérez-de-Guzmán** es Doctora en Pedagogía. Profesora titular en el Departamento de Educación y Psicología Social de la Universidad Pablo de Olavide. Líneas de investigación: se centran en el campo de la Pedagogía Social y la Educación Social, concretamente en: personas adultas y mayores, animación sociocultural y desarrollo comunitario, familia, valores y educación.

# Terapia Fototérmica en Cáncer mediante Nanopartículas de Oro

Irene Aizpirarte Morán

**Resumen**— El cáncer es una de las principales causas de mortalidad en todo el mundo, lo que pone de manifiesto que las terapias disponibles hoy en día, no son óptimas, siendo en muchos casos los efectos secundarios el gran problema. La nanotecnología está adquiriendo gran interés en este campo, en concreto, la aplicación de nanopartículas en la terapia del cáncer. Entre las distintas nanopartículas, las nanopartículas de oro han demostrado ser prometedoras en una amplia gama de aplicaciones biomédicas tanto en diagnóstico como, en terapia (ya sea en la terapia por hipertermia como en la de vectorización de fármacos). Estas aplicaciones son posibles gracias a las propiedades ópticas que poseen estas nanopartículas derivadas de su plasmón de superficie. Una de las perspectivas futuras de las nanopartículas de oro es poder combinar la terapia y la diagnosis en cáncer, denominada teragnosis.

**Palabras Claves**— Nanopartículas de Oro, resonancia de Plasmon Superficial, efecto fototérmico, imagen fototérmica, teragnosis.

## 1. INTRODUCCIÓN

La continua lucha contra el cáncer está demostrando ser una batalla más difícil de lo que se esperaba. Hasta la fecha de hoy, los métodos más utilizados en el tratamiento del cáncer son la cirugía, la radioterapia y la quimioterapia. En lo que se refiere a la quimioterapia, es necesaria la investigación de nuevos tratamientos que sean capaces de eliminar las células cancerosas sin causar daño al tejido sano. Para ello, la nano-medicina es un área en continuo desarrollo que está demostrando ser una herramienta muy valiosa en la batalla contra esta enfermedad. Entre las distintas nanopartículas, aquellas basadas en oro (NPO) han recibido una gran atención debido a sus propiedades ópticas, tanto por sus aplicaciones en terapia fototérmica, y en la administración de fármacos antitumorales, como en sus aplicaciones como agentes de imagen [1], [2].

## 2. PROPIEDADES DE LAS NANOPARTICULAS DE ORO

Las partículas de oro poseen unas propiedades ópticas, derivadas de su plasmón de superficie (LSPR), que las hacen únicas entre todos los nanomateriales. El LSPR, es la oscilación colectiva de los electrones de la nanopartícula al interactuar con la luz (Figura 1) [3]. Gracias a esta propiedad, las NPOs son capaces de absorber y dispersar la luz incidente, así como convertir la energía de resonancia en calor. Modificando parámetros de la síntesis de las NPOs es posible modular su tamaño y su forma, lo que ha permitido obtener NPOs cuyo LSPR se encuentra en las longitudes de onda del infrarrojo cercano, permitiéndoles absorber y convertir esta energía en calor, alcanzando temperaturas de hipertermia [4]. Debido a ello, las

NPOs tienen un gran interés para la aplicación localizada de hipertermia, en la eliminación de células cancerígenas, en la que se están aplicando ya en ensayos clínicos. Otras de las características que las hacen especiales son su gran biocompatibilidad y carácter inerte. Todas estas propiedades las hacen prometedoras para diversas aplicaciones biomédicas, en especial en el diagnóstico y terapia del cáncer [1], [2].

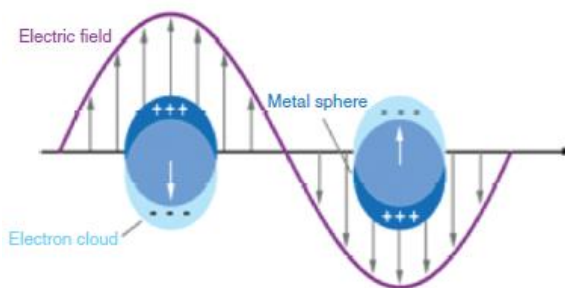


Fig. 1. Representación esquemática de la formación del plasmón de superficie cuando se aplica un campo electromagnético de frecuencia adecuada a las NPOs. Imagen modificada de la referencia [3].

## 3. DIRECCIONAMIENTO

Los tratamientos actuales contra el cáncer, como los fármacos quimioterapéuticos tradicionales, afectan a todo el cuerpo en términos generales, dando lugar a efectos secundarios adversos severos, debido a las interacciones no específicas del fármaco con las células sanas. En cambio, las nanopartículas, se pueden direccionar al tumor, tanto por direccionamiento pasivo como activo. El direccionamiento pasivo ocurre in vivo gracias al efecto conocido como "aumento de la permeabilidad y retención". Los tumores sólidos en crecimiento, dan lugar a vasos sanguíneos "defectuosos" con una alta porosidad, debido a

la rápida angiogénesis. Esto conlleva, a que las nanopartículas se filtren más fácilmente en el tumor y puedan permanecer allí durante un periodo largo de tiempo debido a la disminución del drenaje linfático, lo que lleva a una mayor concentración de nanopartículas en la región del tumor que en los tejidos sanos. Este efecto se puede incluso mejorar, revistiendo las nanopartículas con compuestos como el polietilenglicol (PEG), de esta manera se evita la agregación y adsorción de proteínas del suero de la sangre en la superficie, reduciendo así la absorción por el hígado y de esta manera se logra que las nanopartículas estén más tiempo en circulación y tengan más probabilidad de acumularse en el tumor.

En cuanto al direccionamiento activo, este consiste en la conjugación de las nanopartículas con ligandos dirigidos a receptores o antígenos que se sobreexpresen en la superficie de las células tumorales. De este modo, si una nanopartícula está recubierta con ligandos que se unen específicamente a estos receptores, se podría mejorar la acumulación de las nanopartículas en la región del tumor. Además, el gran área superficial que caracteriza las nanopartículas permite conjugar una gran cantidad de ligandos en su superficie.

Una de las ventajas de usar NPOs es la facilidad con la que se puede modificar su superficie añadiendo diferentes aditivos para funcionalizar la superficie de las nanopartículas, en especial aquellos enlaces que se producen entre los grupos tiol y la NPOs, que aportan un segundo grupo funcional al que se puede unir la molécula de interés biomédico, como anticuerpos. Además de unirse a los receptores que se encuentran en la membrana celular, la unión del ligando con el receptor también puede iniciar endocitosis mediada por endosoma, internalizando así las NPOs dentro de la célula [1].

## 4. EFECTO FOTOTÉRMICO

Como se ha mencionado antes, gracias a la propiedad de las partículas metálicas, LSPR, la luz que absorben puede convertirse en calor, proceso denominado como "efecto fototérmico", generando un aumento de la temperatura que se puede controlar. El calor generado por el efecto fototérmico se puede emplear directamente para eliminar de las células cancerígenas, para generar la liberación de un fármaco quimioterapéutico transportado por las NPOs o incluso aplicaciones de detección del tumor.

### 4.1. Hipertermia

La aplicación del calor en el tratamiento del cáncer no es nueva, y se ha estado utilizando desde 1900. En la hipertermia tradicional, la región del cuerpo que contiene el tumor se calienta unos cuantos grados por encima de la temperatura fisiológica, 40-45°C [5]. El calor generado, provoca cambios en la fisiología de la célula, que incluyen el mal plegamiento de las proteínas y su agregación, alteraciones en las señales de transducción, cambios en el potencial y una disminución de la perfusión y oxigenación del tumor, llevando finalmente a la célula a la apoptosis [6]. La hipertermia tradicional se ha utilizado en combinación con la quimioterapia y la radiación, para

eliminar algunos tipos de tumores.

Hoy en día, debido a los avances en nanotecnología, se pueden utilizar NPOs para generar calor y dañar células cancerígenas. La diferencia entre la hipertermia tradicional y la terapia fototérmica, es que el calor fototérmico ocurre directamente solo en el área alrededor donde se encuentran las nanopartículas de oro. El calor local generado por la acumulación de las NPOs en el tumor, puede aumentar entre decenas o cientos de grados por encima de la temperatura fisiológica, provocando la entrada en apoptosis y su posterior muerte celular. Esto implica que el calor fototérmico generado es específico a los tumores, evitando así los efectos secundarios de la terapia.

El tejido del tumor es más hipóxico, más ácido y más deficiente en nutrientes comparando con el tejido normal. Esto hace que algunas células tumorales se han más sensibles al calor. De todas maneras, se ha observado la sobreexpresión de proteínas de choque térmico en algunos tumores. Estas proteínas las hacen más resistentes, por lo que los efectos de la terapia fototérmica no son universales para todo tipo de cánceres [6].

### 4.2. Administración de fármacos

Hay un gran interés en desarrollar nuevos métodos que sean capaces de desencadenar de una forma controlada la liberación de compuestos biológicos bioactivos en el momento y lugar específicos. Para ello se han desarrollado sistemas poliméricos que cambian de un estado extendido a un estado colapsado cuando la temperatura alcanza un valor crítico. Estos polímeros se pueden unir a una superficie porosa de una nanoestructura metálica hueca, de esta manera, esta transformación se puede utilizar para abrir o cerrar los poros liberando el contenido de una forma controlada (Figura 2).

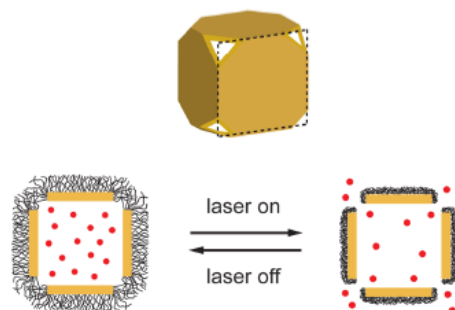


Fig. 2. Esquema que ilustra la liberación del fármaco en una NPO recubierta de cadenas poliméricas. Imagen modificada de la referencia [1].

Por debajo de la temperatura de transición, el polímero se encuentra en una forma hidrofílica extendida, bloqueando que el fármaco o compuesto activo se escape entre los poros. Cuando la temperatura se calienta por encima de la temperatura de transición las cadenas del polímero se colapsan y se convierten hidrofóbicas, dejando abiertos los poros, permitiendo que el contenido en-

capsulado se difunda en el entorno. El calor necesario para cambiar de una conformación a otra se puede aplicar directamente calentándolo o irradiando la región deseada con un láser mediante el efecto fototérmico [1].

### 4.3. Detección del Tumor mediante Imagen Fototérmica

Uno de los problemas críticos en la eliminación del cáncer es la reaparición de la enfermedad. Entre los pacientes que se someten a cirugía, entre el 20-30 % requieren de una segunda operación debido a una eliminación incompleta. En la actualidad, los tumores se analizan mediante test histológicos convencionales que normalmente son analizados después del procedimiento quirúrgico. De todas formas, aunque se han desarrollado en los últimos años métodos para la detección del tumor en tiempo real, es necesario un método más sensible, reduciendo así el riesgo de recurrencia del cáncer y la necesidad de una reintervención.

Durante la última década, muchas investigaciones se han centrado en el desarrollo de nanopartículas que mejoran la dispersión o absorción en la región del infrarrojo próximo, debido a la relativamente alta transmitancia del tejido en esta región, entre ellas se encuentran las NPOs. En un trabajo realizado por Jakobsohn y sus colaboradores, han demostrado la detección de células tumorales *in vitro* mediante la imagen fototérmica, utilizando NPOs. Mediante el aumento de la temperatura de forma selectiva de las NPOs (que específicamente se dirigen a la superficie de las células cancerígenas) han podido distinguir entre células tumorales y no tumorales. Este método, tiene la habilidad de discriminar la sensibilidad entre concentraciones adyacentes de NPOs, cuando la muestra es calentada unos cuantos grados Celsius.

Cuando se utiliza la cámara térmica, la imagen fototérmica que se obtiene, supera la señal de fondo que se produce por la dispersión que es generada a partir del tejido. Ya que una ventaja importante de esta técnica de imagen es el uso de las propiedades de absorción de las NPOs en lugar de sus propiedades de dispersión, lo que lleva a un alto contraste entre las células tumorales y el tejido normal [7].

## 5. COMBINACIÓN DE HIPERtermIA Y ADMINISTRACIÓN DE FÁRMACOS

El tratamiento de la hipertermia representa un enfoque prometedor en la terapia contra el cáncer, aunque contiene algunas limitaciones como la distribución no uniforme del calor, en especial en áreas que se localizan cerca de grandes vasos sanguíneos, donde el calor puede ser disipado rápidamente en la sangre circulante. La termotolerancia celular es otra de las limitaciones que limita a la hipertermia, puesto que las células tratadas con una baja intensidad de manera constante mediante la hipertermia, son capaces de mantener su viabilidad, mediante una serie de respuestas de supervivencia celular.

En la lucha contra el cáncer se pueden lograr tratamientos combinatorios mediante la construcción de NPOs

que sean capaces de generar simultáneamente la hipertermia y la administración de fármacos quimioterapéuticos para mejorar la eliminación de células tumorales. Además, la hipertermia aumenta la perfusión del tejido tumoral, permitiendo una absorción más fácil del fármaco a través de la membrana celular, lo que conduce a una mayor eficacia de los dos tratamientos. De hecho, la hipertermia ha demostrado que es capaz de disminuir la resistencia a varios tratamientos quimioterapéuticos como el doxorubicina, cisplatino, bleomicina, nitrosoureas y ciclofosfamida [4].

## 6. CONCLUSIONES

El cáncer representa una de las principales causas de muerte en el mundo. Hoy en día las terapias que se aplican no son selectivas al tumor y esto produce un daño en el tejido sano que podría ser evitado. La NPO es un material fascinante que es prometedor tanto para el diagnóstico como para el tratamiento. Gracias, sobre todo, a sus propiedades ópticas, el LSPR, que las hacen únicas. Mediante el efecto fototérmico que producen, pueden ser utilizadas tanto en la terapia de la hipertermia, en la administración del fármaco o como en el diagnóstico mediante imagen fototérmica. La posibilidad de combinar la imagen fototérmica con la terapia fototérmica es un enfoque interesante hacia la teragnosis.

Aunque los resultados obtenidos en las distintas investigaciones son prometedores es necesario abordar todavía algunas cuestiones para poder usarlas en la aplicación biomédica. Entre ellas, mejorar el diseño de las nanopartículas, para optimizar sus propiedades o la necesidad de realizar más estudios *in vivo*, para poder mostrar su eficacia, biocompatibilidad y distribución.

## REFERENCIAS

- [1] C.M. Cobley, L. Au, J. Chen and Y. Xia, "Targeting Gold Nanocages to Cancer Cells for Photothermal Destruction and Drug," *Expert Opin Drug Deliv*, vol. 7, no. 5, pp. 577-587, May 2010, doi: 10.1517/17425240903571614.
- [2] Z. Zhang, J. Wang, and C. Chen, "Gold Nanorods Platforms for Light-mediated Theranostics," *Theranostics*, vol. 3, no. 3, pp. 223-238, Mar 2013, doi: 10.7150/thno.5409.
- [3] S. Szunerits, J. Spadvecchia, and R. Boukherroub, "Surface Plasmon Resonance: Signal Amplification Using Colloidal Gold Nanoparticles for Enhanced," *Rev Anal Chem*, vol. 33, no. 3, pp. 153-164, July 2014, doi: 10.1515/revac-2014-0011.
- [4] J. Ramos, D. Talor, and K. Rege, "Gold Nanoparticle mediated Photo-," *J. Nanomed Nanotechol*, vol. 3, no. 8, pp. 1-2, Nov 2012, doi: 10.4172/2157-7439.1000e125.
- [5] N.S. Abadeer and C.J. Catherine, "Recent Progress in Cancer Thermal Therapy Using Gold Nanoparticles," *J. Phys. Chem*, vol. 120, no. 9, pp. 4691-4716, Feb 2016, doi:10.1021/acs.jpcc5b11232.
- [6] J. Verma, S. Lal, and C.J. X Van Noorden, "Nanoparticles for Hyperthermic Therapy: Synthesis Strategies and Applications in Glioblastoma," *Int J Nanomedicine*, vol. 9, no. 1, pp. 2863-2877, Jun 2014, doi: 10.2147/IJN.S57501.



- [7] J. Jajosohn, M. Motiei, M. Sinvani and R. Popovtzer, " Towards real-time detection of tumor margins using photothermal imaging of immune-targeted gold," *J. Nanomed Nanotechol*, vol. 7, no. 1, pp. 4707-4713, Aug 2012, doi: 10.2147/IJN.S34157.



**Irene Aizpitarte Morán** recibió el título de Graduada en Biotecnología por la Universidad del País Vasco en 2015. Actualmente es estudiante del primer curso del Máster en Biotecnología Sanitaria por la Universidad Pablo Olavide, Sevilla.

# Uso del fruto del jaboncillo (*Sapindus saponaria*) como base de detergentes ecológicos

M. Desirée González Manzanero

**Resumen**—Los frutos de *Sapindus saponaria* poseen un alto contenido en saponinas (alrededor del 30%), sustancia que al contacto con el agua, crea una espuma la cual se puede usar como detergente ecológico, natural y biodegradable.

**Palabras Claves**—Biodegradable, Detergente, Jaboncillo, *Sapindus saponaria*, Saponina.

## 1. INTRODUCCIÓN

En un mundo en el que cada vez encontramos más aditivos químicos en la industria de la alimentación, de la limpieza e higiene, de la cosmética, etc., y en el que cada vez estamos más preocupados por el medioambiente y por minimizar nuestro impacto sobre él, podemos recurrir al uso de plantas como materia prima para crear productos respetuosos con el medioambiente.

## 2. *SAPINDUS SAPONARIA*

*Sapindus saponaria* (jaboncillo) se trata de un árbol de la familia Sapindaceae, polígama, que presenta flores blancas, pequeñas y entomófilas. El fruto es una drupa globosa que es de color verde y torna a amarillo al madurar, con una semilla negra redonda en su interior. La dispersión de este fruto es por zoocoria [1]. Se distribuye desde el sur de Estados Unidos hasta Brasil [2].

La parte externa del fruto del jaboncillo (cáscara) tiene un contenido de alrededor del 30% en saponinas [2]. Las saponinas son glucósidos de alto peso molecular presentes de forma natural en muchas plantas. Se trata de compuestos solubles en agua, incoloros y amorfos, que con el contacto con el agua forman emulsiones espumosas y coloideas, esto hace que sean usadas en la fabricación de jabones y detergentes [1].

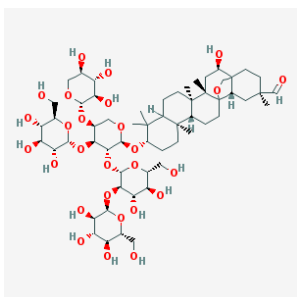


Fig. 1. Estructura química de la saponina [3]

Las saponinas son sustancias muy polares y es posible extraerlas tanto en caliente como en frío con agua o alcoholes de bajo peso molecular. Una vez concentrada la solución alcohólica, se separan las saponinas y después se cristalizan las mezclas de alcohol-agua [2].

## 3. USO DEL JABONCILLO COMO JABÓN

Históricamente, se ha utilizado comúnmente en Latinoamérica el fruto del jaboncillo como jabón natural de calidad y barato, debido a su fácil disponibilidad, de ahí que popularmente se conozca a *Sapindus saponaria* como “jaboncillo” o “árbol de nueces de lavar”, por lo que era habitual encontrarlo en huertos, patios y orillas de ríos [2].

El uso del jaboncillo como jabón consiste en poner de 4 a 8 cáscaras de frutos (dependiendo de la dureza del agua) dentro de una bolsita de tela y cerrarla. Esta bolsita se introduce en la lavadora junto con la ropa y se lava como de costumbre. El aroma de los frutos del jaboncillo es neutro, por lo que se debe usar aceite esencial para perfumar la ropa [2].

## 4. EFICACIA DEL JABONCILLO COMO DETERGENTE

El Instituto Alexander Von Humboldt de Barranquilla realizó una prueba de eficacia del fruto del jaboncillo frente a un detergente convencional y a un detergente biodegradable. La prueba consistía en ensuciar tres camisetas blancas de forma homogénea con lodo y cenizas, y lavar cada prenda con cantidades equivalentes de jaboncillo y de los otros dos detergentes [2].

De este estudio se dedujo que el jaboncillo resultó ser un limpiador de muy buena calidad ya que eliminaba por completo el lodo y cenizas de la camiseta, y de efectividad similar a la del detergente convencional y el detergente biodegradable [2].

El Instituto Alexander Von Humboldt también realizó una prueba DBO (prueba de demanda biológica de oxígeno) y una prueba DQO (prueba de demanda química de oxígeno) al agua residual de los lavados de cada detergente y del jaboncillo, obteniendo los siguientes resultados [2]:

|                            | Detergente convencional | Detergente biodegradable | Jaboncillo |
|----------------------------|-------------------------|--------------------------|------------|
| DBO (mg/l O <sub>2</sub> ) | 53,5                    | 102,5                    | 140        |
| DQO (mg/l O <sub>2</sub> ) | ---                     | 1760                     | 1440       |

Tabla. 1. Resultados de las pruebas DBO y DQO [2]

De los resultados obtenidos podemos observar que la DBO del jaboncillo es la más alta debido a la gran cantidad de materia orgánica que presenta el agua residual procedente del lavado con *Sapindus saponaria* y que puede ser fácilmente biodegradada por los microorganismos acuáticos. Cuanto más bajo es el valor de la DBO, más persistente y mayor tiempo de residencia tendrá el compuesto en el agua [2].

La prueba DQO tiene el valor más bajo para el jaboncillo, lo que indica que es el más biodegradable. El detergente convencional tenía unos valores de DQO excesivamente altos, por lo que no se contabilizan, esto es debido a que este detergente está compuesto por abundantes químicos con alta demanda de oxígeno, el cual crea déficit de oxígeno en el medio acuático, con el detrimento que ello conlleva del medio. Por lo tanto, cuanto menos oxígeno necesite un compuesto para degradarse, menos perjudicará al medioambiente y más biodegradable será [2].

## 5. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta todo lo dicho anteriormente y a modo de aproximación a esta planta, se puede concluir que debido al alto contenido en saponinas de *Sapindus saponaria*, la eficacia de este compuesto en el lavado, su alta biodegradabilidad y la fácil extracción de las saponinas de los frutos, es una planta perfecta para la industria de la Química Verde, ya que puede servir como materia prima para crear detergentes ecológicos y altamente biodegradables, que respeten el medioambiente.

## REFERENCIAS

[1] C. A. Villela Rodas, "Tamizaje fitoquímico del fruto del árbol de la *Sapindus saponaria* (jaboncillo), identificando las principales familias de metabolitos secundarios, en muestras provenientes de Cunén, departamento del Quiché, Guatemala", Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Guatemala, octubre de 2005.

[2] K. A. Cogollo Alvarado, V. F. Barraza Polo, C. M. Gary, "Bondades del fruto del jaboncillo (*Sapindus saponaria*) como un detergente biodegradable", Instituto Alexander Von Humboldt, Barranquilla, Colombia, 2008.

[3] Web de PubChem.  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/198016#section=Top> (enlace web)



**M. Desirée González Manzanero** es una estudiante de Ciencias Ambientales de la Universidad Pablo de Olavide que empezó sus estudios en el año 2013 y que cursa su cuarto año de carrera. [mdgonman@alu.upo.es](mailto:mdgonman@alu.upo.es)

# Lluvia ácida

Delia Soraya Ruiz Serrano

**Resumen**—La lluvia ácida se crea por la formación de ácidos del óxido de nitrógeno y dióxido de azufre, los cuales se precipitan a la tierra en forma de lluvia, nieve, niebla o partículas sólidas. Estos óxidos son emitidos tanto de forma natural como erupciones volcánicas o por la acción del ser humano con la quema de combustible fósil. Tienen diversos efectos como la destrucción de los ecosistemas por acidificación de los suelos y aguas, y problemas respiratorios en las personas. Actualmente sigue ocurriendo este fenómeno aunque apenas se habla de él, habiendo una gran contaminación en países como China e India.

**Palabras Claves**— Contaminación, Efectos, Gases, Oxidación, Partículas Sólidas.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según la Gran Enciclopedia Universal, podemos definir el concepto de lluvia ácida como “la que se produce como consecuencia de las emisiones gaseosas de azufre y nitrógeno acumuladas en la atmósfera y convertidas en ácidos que, más tarde, vuelven al suelo arrastradas por la lluvia, nieve o incluidas en partículas sólidas. Provoca graves daños a la vegetación arbórea” [1].

Para medir la acidez utilizamos la escala de pH, la cual varía desde 0 a 14, siendo 0 el valor más ácido, 14 el más básico y el valor 7 es el valor neutro.

La lluvia normal es ligeramente ácida, con un pH de entre 5.0 y 6.0. La lluvia ácida suele tener un valor entre 5.0 y 4.0, lo que indica que puede llegar a tener una acidez diez veces mayor que la normal. Ha llegado a alcanzar una acidez de 3.0. La niebla ácida puede alcanzar pH de entre 3.0 y 2.0 [1].

Otra forma de actuar estos contaminantes es a través de las partículas sólidas las cuales, en vez de transformarse y precipitarse junto al agua de lluvia, se quedan suspendidas en el aire. Las más peligrosas son las más finas, ya que pueden moverse con mayor facilidad debido a la acción del viento, llegando a ser transportadas en cientos de kilómetros y se pueden quedar en suspensión durante un largo periodo de tiempo.[2]

## 2. TIPOS DE LA LLUVIA ÁCIDA

### 2.1. Procedencia natural

Hay diferentes fuentes naturales que emiten al ambiente compuestos químicos que intervienen en la lluvia ácida, como por ejemplo los compuestos de azufre de las erupciones volcánicas, los manantiales termales y las fumarolas. También se emite una gran cantidad de óxidos de nitrógeno y azufre del producto final del metabolismo de diversos grupos bacterianos y de la capa vegetal en descomposición.

Aunque existen estos medios de contaminación, son muy bajos sus niveles en comparación a la contaminación creada por el ser humano [1].

### 2.2. Procedencia de contaminación humana

La mayor parte de la contaminación creada por el hombre proviene de la combustión de carburantes fósiles en

fábricas, centrales eléctricas y el tubo de escape de los vehículos, también de los incendios, los cuales emiten óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre. [1]

Estos gases son invisibles para el ojo humano, pero muy perjudiciales tanto para la salud como para el medio ambiente.

## 3. CREACIÓN DE LA LLUVIA ÁCIDA

En el momento que se desprenden los gases de óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, estos entran en contacto con los contaminantes que se encuentran en el aire, y entre ellos hay agua y oxígeno. La luz solar ayuda a que se produzca la transformación de estos gases a ácido sulfúrico y nítrico. Estos ácidos son solubles en agua, por lo que vuelven a la tierra con la lluvia, niebla o nieve.

Desde la emisión de los contaminantes hasta que se precipitan han podido recorrer muchos kilómetros gracias a la acción del viento.

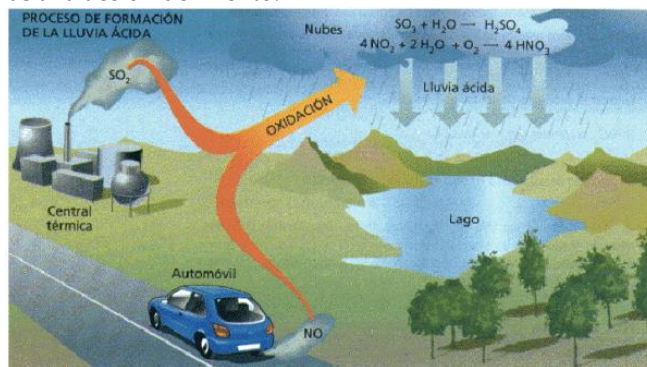
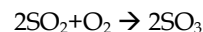


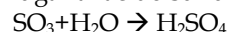
Fig. 1. Creación de la lluvia ácida.

Las reacciones que ocurren para la formación de la lluvia ácida son:

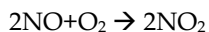
-El dióxido de azufre se oxida con el oxígeno dando lugar al trióxido de azufre:



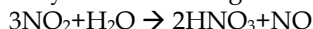
-Este trióxido al unirse con el vapor de agua de la atmósfera reacciona y da lugar al ácido sulfúrico:



-El monóxido de nitrógeno se oxida por la acción del oxígeno atmosférico, dando lugar al dióxido de nitrógeno:



-El dióxido de nitrógeno reacciona con el agua dando lugar al ácido nítrico y óxido de nitrógeno:



La mayor contaminación la crea el ácido sulfúrico, ya que en proporción a la cantidad de ácido nítrico, el sulfúrico es dos tercios de la lluvia mientras el nítrico un tercio. Además, el ácido nítrico es menos dañino ya que las plantas son capaces de absorberlo y evitar la acidificación del suelo cuando hay poca cantidad. [2]

#### 4. EFECTOS

Los efectos que causa la lluvia ácida dependen en mayor medida del tipo de suelo de que se trate. Por ejemplo, si el suelo es de origen calcáreo, los ácidos son absorbidos por el carbonato cálcico y con ello apenas afectarían al ecosistema. En cambio, si se trata de suelo arcilloso o granítico, los ácidos se disuelven en el terreno y altera el pH medio, acidificándolo.

Con este cambio de pH se envenena el terreno, además de que elimina los fertilizantes naturales de la tierra y la empobrece, con ello se lleva a la muerte a toda la flora de esa zona y se queda empobrecida la tierra evitando que crezca nueva.

También se ven afectadas las aguas de lagos y ríos, los cuales se acidifican conllevando a la muerte de parte de su fauna y con ello dificultando la vida del resto por falta de alimentos. También por la acción de estos ácidos aumentan los metales pesados en las aguas, y si no hay un buen control de sanidad antes de la venta de estos peces se puede ver muy afectada la salud humana.

Además afecta a las construcciones humanas, sobre todo a los creados con caliza y mármol que con la lluvia ácida se deshacen y oxidan, lo que obliga a que sean constantemente restaurados.

Respecto a los animales, encontramos pérdida del pelaje y desgaste prematuro de la mandíbula.

En los seres humanos son problemas respiratorios como por ejemplo el asma o bronquitis crónica. También se ha relacionado con un mayor número de casos de personas que padecen cáncer.

En todos los organismos en general se pueden encontrar características similares como es una bajada de defensas y con ello una mayor probabilidad de tener enfermedades.

También estos gases están relacionados con el aumento del efecto invernadero [3].

#### 5. LUCHA CONTRA LA LLUVIA ÁCIDA

Desde los años ochenta se están llevando a cabo medidas para evitar la emisión de grandes cantidades de gases y con ello reducir la lluvia ácida, la mayoría a través de leyes y normativas.

Los gobiernos de ciertos países, como los de los miembros la Unión Europea acordaron reducir las emisiones de las fábricas, para ello han tenido que invertir grandes cantidades de dinero. Han limpiado las chimeneas y tratan tras la combustión los gases para hacerlos menos nocivos.

A partir de 1993 se comenzó a intalar en los coches catalizadores para reducir la emisión de estos gases, a la vez que se están diseñando automóviles que emiten menos gases y utilizan otros tipos de energías como los eléctricos e híbridos.

Unas de las centrales que más gases emitían eran las termoeléctricas, las cuales han incorporado técnicas para reducir la emisión de estos gases, que son recuperados y reutilizados como abono, aparte utilizan combustibles con menor cantidad de azufre. Los gobiernos investigan otros tipos de energías renovables no contaminantes para utilizarlas, como las hidroeléctricas o aerólicas [1], [3].

Una de las medidas tomadas por España para evitar la emisión descontrolada de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  fue crear un impuesto para aquellas industrias contaminantes. Esto se impuso en forma de Impuestos Ambientales, por ejemplo en Galicia en con la Ley 12/1995, de 29 de diciembre. [4]

#### 6. CASOS OCURRIDOS

Respecto a España, la única sentencia que aparece en la jurisprudencia es de particulares contra la empresa "Fuerzas Eléctricas de Catalunya S.A." Impuesta por la contaminación de esta empresa al medio ambiente, la cual liberaba dióxido de azufre. Por ser grandes emisiones y constantes, hizo que hubiera una gran contaminación tanto en forma de lluvia ácida como en forma de partículas sólidas, lo cual llegó a destruir alrededor de 30.000 hectáreas de la masa boscosa que se encontraba en la misma zona que la central. Se condenó al director de dicha empresa ya que se demostró que durante muchos años emitió este gas sin control alguno. Esta sentencia es del 30 de noviembre de 1990. [5]

En 1999 tras un bombardeo de la OTAN a industrias químicas y refinerías yugoslavas, comenzó a haber en Rumanía un período de lluvias ácidas que afectó a las plantaciones y bosques, los cuales empezaron a perder sus hojas y la muerte de una gran cantidad de peces debido a la contaminación en el río Danubio [2].

También encontramos casos más actuales como puede ser el descubrimiento de los motores trucados de la cadena Volkswagen, los cuales emitían mucho más óxido de azufre del permitido. Por ello la Agencia de Protección Medioambiental Estadounidense ha demandado al Grupo Volkswagen pidiendo para ellos una indemnización ejemplar y con ello evitando que otras empresas quieran ahorrar dinero de esta manera. Así cuidan su medio ambiente y evitan que aparezcan los efectos adversos que estas contaminaciones conllevan. [6]

La última lluvia ácida con grandes características fue la producida en Tianjin (China) tras una semana antes haber explotado en el puerto contenedores que contenían grandes cantidades de residuos químicos. Esta lluvia, no solo creada por compuestos como son el ácido sulfúrico y ácido nítrico, sino también con una gran probabilidad de que contuviera cianuro de sodio, provocaba quemazón al caerles las gotas de lluvia a las personas en la piel y labios. [7]

En 2016, en Buenos Aires se denunció a la Central Puerto y Central Costanera por el uso de fueloil en centra-

les que están diseñadas para gas natural. Esto provoca que haya grandes emisiones de azufre al aire y por ello una constante lluvia ácida, la cual está deteriorando casas y esculturas, razón por la que se han dado cuenta los vecinos de tal contaminación. [8]

Los países más afectados por la contaminación atmosférica que da lugar a la lluvia ácida en América son Ciudad de México, Cuba, Canadá y Estados Unidos. Respecto a Asia los países más afectados son China, Japón e India. Respecto a Europa serían Reino Unido y Alemania. En África la mayor contaminación no es por el uso industrial sino por la quema de arbustos para que el suelo tenga más nutrientes y así cultivar mejor el pasto, lo cual también emite grandes cantidades de estos óxidos.

Respecto a España, las zonas más contaminadas por este tipo de gases son las comunidades de Galicia, País Vasco, Murcia y Cataluña, ya que son las que tienen más industria en el país, sobre todo por las centrales térmicas [1], [9-10]

## 7. CONCLUSIONES

En relación al hecho de que no haya jurisprudencia reciente en España respecto a la lluvia ácida podemos suponer que nos indica que este es un tema controlado por las autoridades y los niveles de contaminación de las industrias son mucho menores y ya apenas dan problemas en comparación a las emisiones que se hacían antes.

El mayor problema de la lluvia ácida es que no sólo se ve afecta la región donde se contamina, sino que con la acción del viento se ven afectas zonas lejanas a esta, y este es un problema que tienen muy en cuenta los países porque suceden efectos como le ocurrió a Rumania.

Este fenómeno, del que apenas se habla, es común que ocurra y tiene grandes repercusiones sobre el medio. Lo peor es que no nos damos cuenta porque a simple vista parece una lluvia normal pero poco a poco va dejando rastros devastadores, y enfermedades cada vez más comunes, como el asma y el cáncer se ven favorecidas por este tipo de contaminantes.

En la naturaleza no se observan normalmente los efectos de inmediato, sino que es a lo largo de años y para cuando nos damos cuenta la flora y fauna ha muerto y tarda miles de años en que vuelva a ser fértil el suelo y adecuados los ríos para que pueda volver a establecerse el ecosistema natural de estos espacios.

En España se fomentaron las energías renovables como la hidráulica y la eólica, pero los años en los que llueve poco las centrales no crean suficiente energía con estas materias y por ello vuelven a poner en funcionamiento sus centrales que utilizan carbón. Aunque en 1990 comenzaron a utilizar carbón de otros países, ya que el extraído de las minas españolas tenía grandes cantidades de azufre y por ello contaminaba mucho más que el de otros países. [11]

Por todo ello, es necesario una mayor conciencia tanto nacional como internacionalmente, además de una redifusión efectiva por parte de los medios de comunicación.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecida a Jose Manuel Macias por revisión.

## REFERENCIAS

- [1] M. Palés, "Gran Enciclopedia Universal", vol. 11, pp. 7170-7173, 2004, Espasa Calpe S.A.
- [2] Zambrano Ramirez, A. R., "Lluvia ácida", publicado en el web *Monografías* el 21 de octubre de 2000, <http://www.monografias.com/trabajos5/lluac/lluac.shtml> (Enlace web)
- [3] Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Educación, Departamento Didáctica de las Ciencias Experimentales, "Aspectos Ambientales". [http://pendientedemigracion.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/contaminacion\\_aerea.html](http://pendientedemigracion.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/contaminacion_aerea.html) (Enlace web)
- [4] Instituto Nacional de Estadística, "Impuesto Ambientales" <http://www.ine.es/daco/daco42/ambiente/aguasatelite/metimpuestos.pdf> (Enlace web)
- [5] Sentencia del Tribunal Supremo sala segunda 30/11/1990 <http://0-www.tirantonline.com.athenea.upo.es/tol/documento/show/226288?general=lluvia+%C3%A1cida&searchtype=substring&index=1#principi> (Enlace web)
- [6] Camós, J. "Estados Unidos demanda a Volkswagen, y se prevé que el castigo sea ejemplarizante", publicado en la revista online *Motorpasion*, el 5 de enero de 2016. <http://www.motorpasion.com/industria/volkswagen-demanda-eeuu> (Enlace web)
- [7] EFE "Picazón en la piel tras lluvia ácida en Tianjin" publicado en el diario online *24 Horas*, el 20 de agosto de 2015. <http://www.24-horas.mx/picazon-en-la-piel-tras-lluvia-acida-en-tianjin/> (enlace web)
- [8] Garcia, C. "Lluvia ácida sobre Buenos Aires", publicado el 29 de junio de 2016 <http://n.sb-10.org/law/7111/index.html> (Enlace web)
- [9] Romero Placeres, M., Diego Olite, F. y Álvarez Toste, M. "La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud" publicado en la *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* vol.44 no.2 de mayo-agosto 2006. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30032006000200008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032006000200008) (Enlace web)
- [10] Fundación Eroski, "Lluvia ácida. Gotas de corrosión." publicado en *Consumer Eroski*, noviembre 2006. <http://revista.consumer.es/web/es/20061101/medioambiente/> (Enlace web)
- [11] Méndez, R. "España supera el límite de emisiones de óxidos de nitrógeno fijado en 1991", publicado en el periódico *El País*, el 26 de septiembre de 2005. [http://elpais.com/diario/2005/09/26/sociedad/1127685602\\_850215.html](http://elpais.com/diario/2005/09/26/sociedad/1127685602_850215.html) (Enlace web)



**Delia Soraya Ruiz Serrano**, estudiante de la Universidad Pablo de Olavide, cursando de 4º en el Grado de Criminología, promoción 2013/2017.

# La metanfetamina siguiendo 'Breaking Bad'

Irene Rodríguez Tenorio

**Resumen**— El consumo de metanfetamina supone un problema de salud pública al tratarse de la droga de síntesis más consumida después del «éxtasis» (MDMA). En España, a pesar de no ser una droga cuyo consumo sea muy extendido, su uso con fines recreativos ha crecido exponencialmente en los últimos años. Uno de los principales motivos es su fabricación relativamente sencilla, por lo que la síntesis de metanfetamina se suele llevar a cabo en laboratorios clandestinos con ingredientes que pueden obtenerse sin receta médica. Por todo ello, es importante estudiar y conocer el funcionamiento de la molécula de metanfetamina, su comportamiento quiral y diferentes formas de síntesis, así como los efectos a corto y a largo plazo de la misma.

**Palabras Claves**— Metanfetamina, Síntesis, Enantiómeros, Dosis, Efectos.

## 1. INTRODUCCIÓN

El consumo de drogas ha constituido y constituye un problema de salud pública que requiere una lucha rápida y eficaz, sobre todo entre jóvenes adolescentes que, en la mayoría de los casos, desconocen los riesgos a los que se exponen al consumir drogas de abuso. Indagando en los antecedentes históricos, es bien sabido que los alemanes invadieron Polonia y, más tarde, Francia, a una velocidad de vértigo. Los soldados se encontraban hipermotivados y fueron capaces de permanecer despiertos durante días. Lo que también es cierto es que cuando Alemania entró en Guerra, el ejército incorporó la Pervitina al equipamiento básico de sus tropas, convirtiéndose así en una de las drogas más consumidas durante la Segunda Guerra Mundial. Pero... ¿Qué es la Pervitina? La Pervitina (o Pervitín) no es otra cosa que lo que hoy día conocemos

como metanfetamina [1], una droga sintética con alto potencial de abuso que afecta al Sistema Nervioso central y es fácilmente sintetizable en laboratorios clandestinos (tal y como ocurre en la serie de televisión 'Breaking Bad', donde el profesor y químico Walter White sintetiza y trafica metanfetamina de forma encubierta), ignorando los riesgos que plantea tanto para el fabricante como para el consumidor la síntesis de metanfetamina en lugar no habilitados, sin las medidas de seguridad correspondientes, con materiales que pueden conseguirse fácilmente sin receta médica (como ya veremos más adelante) y desconociendo la peligrosidad del producto que se obtiene y sus efectos sobre la salud de la persona que lo consume [2].

## 2. METANFETAMINA, ¿EN QUÉ CONSISTE?

### 2.1. La molécula de Metanfetamina

Lo que popularmente conocemos como metanfetamina es en realidad la desoxiefedrina, una molécula compuesta por diez átomos de carbono, quince átomos de hidrógeno y un átomo de nitrógeno (C<sub>10</sub>H<sub>15</sub>N). Su nombre científico se debe a que contiene edefrina, una sustancia natural que se obtiene de la *Ephedra fragilis* (especie utilizada en China desde hace más de 5000 años contra el asma bronquial, bronquitis, rinitis, alergias...) [3]. Según la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada), la metanfetamina se nombra de la siguiente forma: N-metil-1-fenilpropan-2-amina, debido a que está compuesta por un anillo aromático (que sería el fenilo, señalado con la flecha roja), unido a una cadena carbonada con tres carbonos (propano, señalado con la flecha verde); y el propano lleva en su segundo carbono una amina unida (metilamina, que estaría señalada con la flecha naranja). Podemos contabilizar los diez átomos de carbono de color gris, los quince átomos de hidrógeno de color blanco y el átomo de nitrógeno de color azul en la Fig.1.

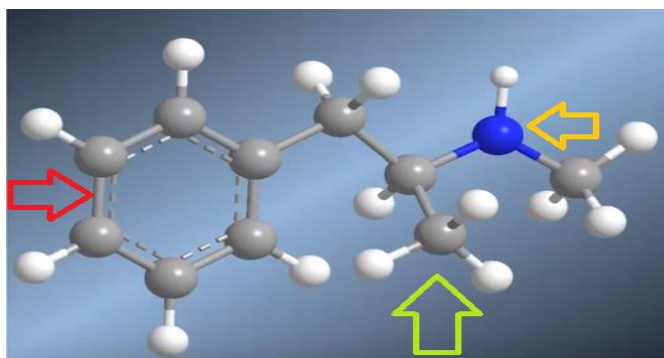


Fig. 1 Molécula de metanfetamina

### 2.2. Quiralidad de la molécula de metanfetamina

Se dice que la molécula de metanfetamina es quiral, esto quiere decir que posee dos enantiómeros. Y... ¿Qué es un enantiómero? Los enantiómeros son imágenes especulares no superponibles (una sería el espejo de la otra, como por ejemplo las manos derecha e izquierda). Los calcetines serían un ejemplo de aquiralidad, mientras que los guantes serían quirales. La metanfetamina se caracteriza por tener un carbono especial (también llamado carbono

asimétrico), que va unido a cuatro grupos diferentes, y que resulta clave para entender que esta molécula tiene dos enantiómeros, el dextrógiro (similar a la mano derecha) y el levógiro (similar a la mano izquierda). Los enantiómeros son importantes ya que, en muchos casos, dos enantiómeros de un mismo compuesto presentan actividades diferentes (por ejemplo, el dextropropoxifeno es analgésico, mientras que el levopropoxifeno es anti-tusivo). La dextro-metanfetamina (d-metanfetamina) es un psicoestimulante más fuerte. Este enantiómero es el que otorga la actividad psicoactiva a la molécula, le da sus propiedades características como son el incremento de la actividad, reducción del apetito, sensación de bienestar, euforia, reducción de la fatiga, etc., y presenta menos efectos centrales y más acciones periféricas. Mientras que por otro lado, los efectos de la levometanfetamina tienen una mayor duración media, sus efectos son menores que la dextro-metanfetamina. La levometanfetamina está comercializada sin receta médica en forma de vaporizador nasal (por ejemplo, Vicks Vapor Inhaler) [4].

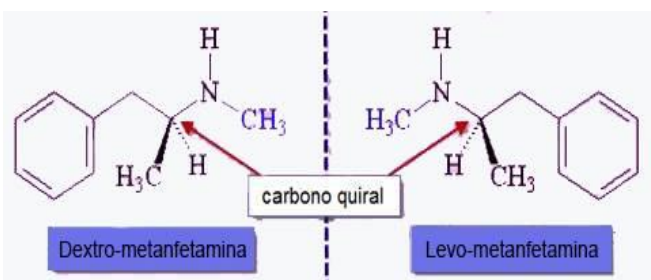


Fig. 2 Enantiómeros de la metanfetamina

### 3. SÍNTESIS DE METANFETAMINA

La vía más común para la síntesis de metanfetamina es la llamada "ruta Nagai" (debe su nombre a Nagai Nagayoshi, químico y farmacólogo que descubrió la utilidad de la efedrina para la producción de metanfetamina en 1893). En la serie 'Breaking Bad', Walter White utiliza este itinerario partiendo de un reactivo muy similar a la metanfetamina. Este reactivo es pseudoefedrina, fácil de conseguir en medicamentos como por ejemplo Gelocatil gripe con Pseudoefedrina para adultos y mayores de 12 años, y es muy similar a la metanfetamina. Para obtener metanfetamina a partir de pseudoefedrina únicamente tendríamos que reducir el grupo hidroxilo de la pseudoefedrina a un grupo alcano (los reactivos usados para ello son fósforo rojo, que Walter y Jessie obtienen de cajas de cerillas, y ácido yodhídrico, que obtienen a partir de desinfectantes). Esta reacción es muy peligrosa porque produce gas fosfina, muy tóxico. Este método de reducción de pseudoefedrina produce únicamente el isómero de d-metanfetamina (preferido por los traficantes, ya que es el enantiómero que otorga la actividad psicoactiva a la molécula), en lugar de la l-metanfetamina [5].

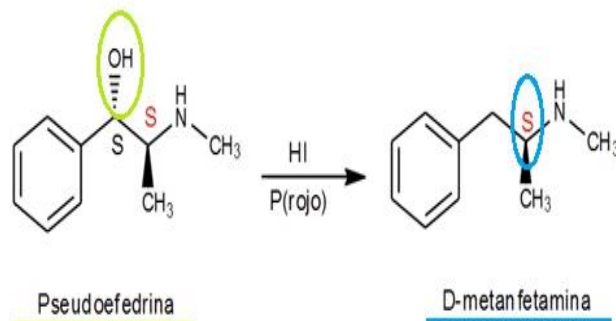


Fig.3. Síntesis de metanfetamina a través de la "ruta Nagai)

## 4. EFECTOS DEL CONSUMO DE METANFETAMINA

Es habitual fumar las metanfetaminas en una pipa de vidrio, de manera similar al crack de cocaína, y dejar un residuo que puede volver a fumarse, con efectos que quizá duren de seis a ocho horas.

Aunque en lo que a efectos se refiere la metanfetamina y la cocaína son muy parecidas en su actuación a niveles conductuales y fisiológicos, la metanfetamina tiene una acción mucho más prolongada que la cocaína y un mayor porcentaje de la misma permanece inalterada en el cuerpo (en orina permanece de tres a seis días, de 24 a 36 horas en la sangre y hasta tres meses en el pelo), manteniéndose durante más tiempo en el cerebro y prolongando los efectos gratificantes, las alucinaciones y delirios, y deteriorando las funciones cognitivas [6].

### 4.1. A corto plazo

De inmediato la metanfetamina provoca una sensación intensa o "destello" (rush), que dura unos minutos, y se describe como extremadamente placentero. Además, hay ausencia de sueño, aumento de atención, reducción de fatiga, sensación de euforia, hiperventilación, reducción del apetito, mejoría del estado de ánimo, capacidad de concentración y habla rápida. Los efectos de la metanfetamina pueden durar de 6 a 8 horas. En el terreno deportivo, el rendimiento físico de los atletas es más alto, lo cual ha favorecido el abuso (doping). Produce tolerancia rápidamente, dependencia física y psíquica, así como un síndrome de abstinencia no muy evidente caracterizado por: inicial derrumbamiento con depresión, agitación, fatigabilidad, trastornos del sueño, apatía, confusión, irritabilidad, ansiedad, desorientación, agitación psicomotriz, etc.

Dosis altas de la droga pueden elevar la temperatura del cuerpo a niveles peligrosos, a veces mortales, y también pueden causar convulsiones.



## 4.2. A largo plazo

Con el uso crónico se puede desarrollar tolerancia a la metanfetamina. Con el fin de intensificar los efectos, puede ser que la persona tome dosis más altas de droga, la tome con más frecuencia, o cambie la forma de administrarse la droga. El abuso crónico puede conducir a la persona a un comportamiento psicótico caracterizado por paranoia intensa, alucinaciones visuales y auditivas, y rabia incontrolable que se puede emparejar con comportamiento extremadamente violento. Los abusadores crónicos suelen revelar síntomas de psicosis paranoide tóxica anfetamínica, con ideación paranoide, alucinaciones (por ejemplo, alucinaciones auditivas: escuchan voces que les hablan), conducta violenta o arriesgada, delirios (sensación de insectos que caminan sobre su piel), pérdida de peso, además de afectaciones orgánicas como dermatitis y miocardiopatía crónica. Pueden producir necrosis local arterial a nivel del punto de inyección, fibrosis pulmonar, granulomas pulmonares, rabdomiolisis y hepatopatías inespecíficas [7].

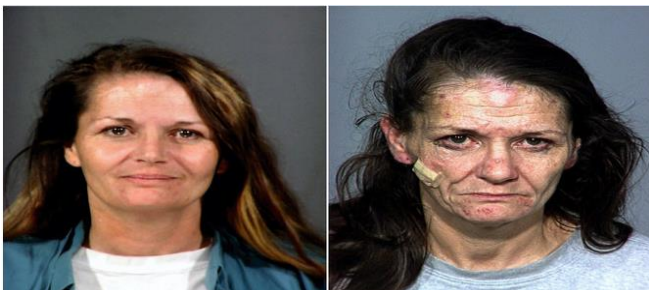


Fig. 4 Consumidora de metanfetamina. La foto de la izquierda corresponde al año 2001. La foto de la derecha corresponde al año 2004.

## 5. CASO DE INTOXICACIÓN RELACIONADO CON LA METANFETAMINA

El titular de la noticia es el siguiente: "Superman y otras pastillas "que hacen volar" en las fiestas electrónicas."

La noticia habla de cómo el mercado de la droga aprovechó el deseo de los jóvenes de seguir disfrutando la fiesta electrónica Time Warp (Costa Salguero) a un ritmo frenético y desinhibido para persuadirlos y ofrecerles lo que sería una bomba de relojería que terminó con la vida de cinco de ellos y llevó al Hospital a otros cinco. Las pastille roja que circulaba por aquella fiesta era conocida como Superman (droga de diseño que combina, entre otros, éxtasis y metanfetamina), de forma triangular y color rojo, amarillo o naranja, con una S en el centro. Esta pastilla induce la taquicardia, dilatación de las pupilas, y en algunos de los afectados, aumentó la temperatura corporal hasta 42°C, provocando convulsiones y fallos en órganos como el riñón, hígado y corazón. Los efectos duran entre 10 y 15 días, y provocó que uno de los afectados fuera incapaz de formar coágulos (cuando empieza un sangrado es muy difícil que se detenga). En definitiva, esta mezcla de drogas de diseño en una sola pastilla se cobró la vida de cinco jóvenes y dejó a otros cinco en es-

tado grave [8].



Fig. 5 Pastilla "Superman" o Parametoximetanfetamina (PMMA). Droga de diseño que combina éxtasis y mentanfetamina.

## 6. CONCLUSIONES

Como dijimos al inicio de este artículo, el problema del consumo y abuso de drogas es un problema de salud pública que requiere ser estudiado desde diversos enfoques para poder formular una estrategia eficaz que abarque a todos los sectores de la sociedad en la lucha contra las drogas. El primer paso para ello consiste en hacer pedagogía a través de la información detallada sobre los efectos que puede provocar consumir una droga de abuso y la simplicidad de algunas de ellas para ser sintetizadas en laboratorios clandestinos (como es el caso de la metanfetamina) por personas que desconocen la química de tales moléculas y compuestos utilizados para su elaboración, y las consecuencias que se derivan de una síntesis de la que resulten compuestos peligrosos para la salud, pues, aunque se hayan dado casos, no todos los fabricantes de metanfetamina en laboratorios clandestinos son químicos como Walter White.

## REFERENCIAS

- [1] Normal Ohler, 'El gran delirio: Hitler, drogas y el III Reich'. Editorial Planeta S. A., pp. 16-63, 2016.
- [2] Matthew E. Jhll, 'Química e Investigación Criminal: una perspectiva de la ciencia forense'. Editorial Reverté, S.A., pp. 208-254, 2008. (Estilo para libro con título de trabajo y editor)
- [3] "Violencia y criminalidad en Honduras: Desde una perspectiva forense", Instituto Universitario en Democracia, Paz y Seguridad, <http://www.iudpas.org/pdf/InvestigacionDpl/Violencia%20y%20Criminalidad%20en%20Honduras.pdf>. Consultado por última vez: 17/11/2016.
- [4] Blog de Ciencia y Lejos. <http://cienciaylejos.blogspot.com.es/2006/10/metanfetamina-en-la-farmacia.html>. Consultado por última vez: 17/11/2016.
- [5] Web Aprendiendo Química Orgánica: <https://aprendiendoquimicaorganica.wordpress.com>. Consultado por última vez 17/11/2016.
- [6] Fernando Funes, "La ruta de la mentafetamina", Siglo XXI. Diario digital. <http://www.diariosigloxxi.com/texto-diario/mostrar/83169/la-ruta-de-la-metanfetamina>. Consultado por última vez: 17/11/2016.

- [7] "Serie de Reportes de Investigación: Abuso y Adicción a la Metanfetamina", *Instituto Nacional sobre el Abuso de Drogas*. <https://d14rmgtrwzf5a.cloudfront.net/sites/default/files/rm-etanfeta.pdf>. Consultado por última vez: 17/11/2016.
- [8] Víctor Ingrassia, "Superman y otras pastillas "que hacen volar" en las fiestas electrónicas", *La Nación*. <http://www.lanacion.com.ar/1890075-superman-y-otras-pastillas-que-hacen-volar-en-las-fiestas-electronicas>. Consultado por última vez: 17/11/2016.



**Irene Rodríguez Tenorio.** Estudiante del cuarto curso del Grado en Criminología en la Universidad Pablo de Olavide, Sevilla.

# El agente naranja: De herbicida a arma química

Laura Távora de la Riva

**Resumen**— Los herbicidas, como en el caso del agente naranja, son compuestos químicos que pueden acabar por dañar no sólo al medio vegetal, si no también a la salud humana. El rociado incontrolado de estas sustancias causan una serie de patologías que pueden llegar a ser mantenidas a lo largo de varias generaciones dado que son compuestos que se bioacumulan y cuyo tiempo de vida medio en los organismos es muy alto.

**Abstract**— Herbicides, like orange agent, are chemical compounds that can affect not only to vegetals but also to human health. The uncontrolled spray of this substances causes some pathologies that can span through generations because they are compounds that bioaccumulate and whose half time life in organisms is too large.

**Palabras Claves**— Agente naranja, Dioxina, Guerra de Vietnam, TCDD, Tóxico

## 1. INTRODUCCIÓN

El agente naranja es un herbicida que fue rociado por EEUU durante 9 años en plena guerra de Vietnam para conseguir defoliar la selva sur y así exponer a las tropas del Viet Cong y acabar con los cultivos que constituían su sustento. [1]

Las consecuencias para los soldados, tanto vietnamitas como americanos, y para el entorno natural del uso de este compuesto, ha dado lugar al estudio del mismo y de su toxicocinética a partir de experimentos en animales (ratones principalmente) y estudios epidemiológicos. ¿Por qué comenzó a utilizarse? ¿De qué se compone? ¿Cómo afecta a los humanos y qué consecuencias puede tener en nuestro organismo?

## 2. BREVE RESEÑA HISTÓRICA

La primera vez en la historia que se estudiaron y se utilizaron conscientemente los herbicidas que conforman el agente naranja fue en la II Guerra Mundial (1939-1945). La investigación fue financiada por el gobierno de los EEUU y fue considerado tan tóxico que Roosevelt decidió prohibir el uso de esos compuestos por parte del ejército estadounidense. [1,2]

La dioxina que se libera en la producción del agente naranja (TCDD) fue sintetizada por primera vez en 1957, durante la Guerra de Vietnam (1955-1975) en la cuál adquirió el nombre que se le da debido a las franjas naranjas que decoraban los bidones en los que se transportaba el compuesto. Fue rociado por el ejército estadounidense durante 9 años de Guerra para defoliar la selva sur de Vietnam y exponer las tropas del Viet Cong y acabar con sus alimentos. (Fig.1) [3,4,5]

Pero estas dioxinas no sólo han sido utilizadas como arma química, sino que también se han producido intoxicaciones en otro tipo de situaciones, como por ejemplo, en 1976 explotó una planta química en Seveso (Italia), tras el cuál se descubrió que se estaba sintetizando como arma química para EEUU y la OTAN. En 1999 se produjo una

alarma alimenticia porque se habían distribuido aves destinadas al consumo humano alimentadas con piensos contaminados. Por ultimo, el más reciente, en 2004 se catalogó el primer envenenamiento con dioxinas que fue al entonces presidente de Ucrania Víktor Yushenko. [3,4,6]



Fig.1. Aviones de EEUU rociando agente naranja sobre la selva [7]

## 3. CONCEPTOS BÁSICOS

Antes de entrar a explicar cómo afecta tanto molecular como biológicamente el agente naranja a las personas, es necesario definir algunos conceptos útiles para la comprensión del tema a tratar.

El agente naranja, como ya se comentó anteriormente, es un herbicida y está compuesto por un 50% de 2,4D y un 50% de 2,4,5T y debe ser utilizado bajo ciertas medidas de seguridad para evitar los riesgos asociados a su uso. El problema es la cantidad de dioxinas por kilo que contenga el producto, en este caso, en el uso agrícola lo normal es unos 50 nanogramos/kilo y en el agente naranja la proporción era de 50 microgramos/kilo. [8,9]

El 2,4D o diclorofenoxiacético es un herbicida de la familia fenoxi, considerado "hormonal" dado que imita una hormona natural de las plantas llamada auxina y encargada del desarrollo vegetal pero que en grandes cantidades termina por matar a la planta. (Fig.2) [1,5]

El 2,4,5T o triclorofenoxiacético es una auxina sintética prohibida por su riesgo para la salud humana. (Fig.2) [1,5]

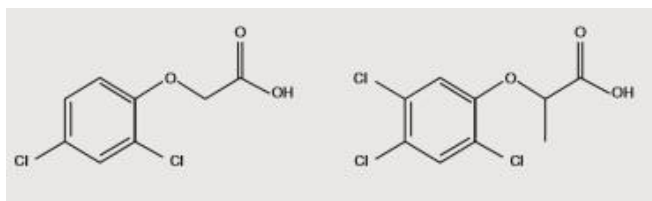


Fig.2. Diclorofenoxiacético y Triclorofenoxiacético [9]

El **TCDD** o **tetraclorodibenzo-p-dioxina** es una impureza que surge en el proceso de fabricación del 2,4,5T que no puede eliminarse. Es una dioxina que se metaboliza y elimina muy lentamente (tiempo de vida medio en el organismo humano de 7 años) y considerado el carcinógeno más potente que se ha empleado en estudios con animales de experimentación. (Fig.3) [2,4,10]

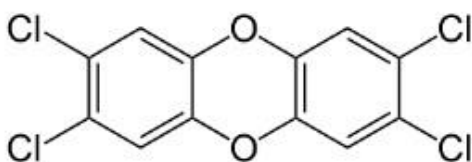


Fig.3. Tetraclorodibenzo-p-dioxina [12]

Las **dioxinas** son contaminantes no naturales y de degradación, altamente tóxicos que surgen de manera espontánea tras una combustión (procesos industriales, pesticidas, herbicidas, incendios forestales...). Son compuestos organoclorados lo que los hace más liposolubles y, por lo tanto, más estables y propicios a resistir la degradación biológica y química. Es por ello por lo que es considerado el contaminante ambiental con más importancia en el mundo y porque permanece mucho tiempo en los organismos (bioacumulación). [3,4]

El **AhR** es un factor transcripcional intracelular que regula procesos de desarrollo del organismo y que se activa por ligando. El receptor se encuentra en el citoplasma y se activa por algunos xenobióticos. Su estudio se debe a que el agonista de este receptor es la dioxina TCDD y es por ello que también se le denomina "dioxin receptor". [6,11]

El **XRE** o **xenobiotics-response elements** es una región específica del ADN promotora de ciertos genes diana. [11]

#### 4. MECANISMOS DE ACCIÓN

El factor transcripcional denominado AhR es considerado un receptor "huérfano" ya que aún no se conoce la función que desempeña ni el ligando que lo activa, aunque sí es cierto que se han realizado experimentos con ratones a los cuáles se les ha despojado de este receptor y presentan ciertos problemas fisiológicos a pesar de que no les afectara la dioxina TCDD, lo cuál induce a pensar que está relacionado con el desarrollo de ciertos órganos y células. [4,11]

Cuando no existe ligando, el AhR puede unirse a otras moléculas y, dado que el TCDD es un agonista liposoluble, tiende a unirse al AhR en el citoplasma de las células. Sin embargo, el AhR es transcripcionalmente inactivo, lo que quiere decir que tiene poca capacidad de unirse al

ADN, es por ello que se produce una proteína denominada Arnt (translocador nuclear del AhR). Así, en el citoplasma se forma un heterodímero activo formado por el AhR+TCDD y el Arnt, el cuál migra hacia el núcleo de la célula y, gracias al Arnt, se unen al XRE. Es esta unión la que facilita la expresión de una serie de genes diana encargados de la codificación de enzimas relacionadas con la detoxificación (en fase I y fase II). (Fig.4) [4,11]

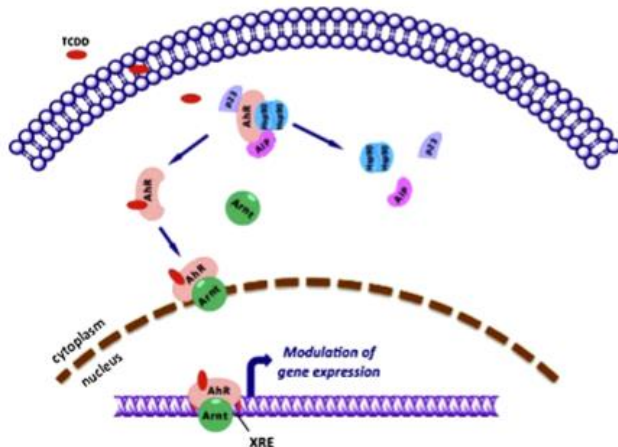


Fig.4. Ruta del AhR-TCDD-Arnt hacia XRE [11]

El estudio de este mecanismo ha dado lugar a pensar que la vía anteriormente descrita no es más que una respuesta adaptativa del organismo para protegerse de la exposición a contaminantes y tóxicos. Sin embargo, esta ruta no es protectora siempre pues el AhR en su interacción con exógenos (por ejemplo el TCDD) puede dar lugar a compuestos carcinógenos y si interactúa con endógenos puede dar lugar a una desactivación de sus sustratos y producir consecuencias fisiológicas. [4,11]

#### 5. CONSECUENCIAS ASOCIADAS A LA EXPOSICIÓN AL TCDD EN HUMANOS

En cuanto a los efectos adversos que produce la exposición al TCDD en humanos existe una disyuntiva. Algunos autores y organizaciones afirman que esta dioxina es la causante de múltiples mecanismos patogénicos graves (hepatotoxicidad, neutotoxicidad, efectos al tracto gastrointestinal, inmunotoxicidad, mutagenicidad, alteración de los estrógenos, cánceres...), incluso existen listas publicadas sobre las afecciones del compuesto. [3] Sin embargo, otros autores aún debaten sobre su toxicidad y sus consecuencias, puesto que entienden que no hay evidencias suficientes para determinar ciertas patologías que han sido atribuidas a este contaminante. [11] Veamos un par de ejemplos para ilustrar esta situación:

En cuanto a las afecciones al sistema endocrino y a la reproducción, parece haber evidencias de que el TCDD podría ser un disruptor endocrino puesto que después del desastre de Seveso se vió el descenso de la calidad del semen de los hombres jóvenes. Sin embargo, estas conclusiones derivan de estudios retrospectivos, así como el gran número de abortos de las mujeres de los soldados

americanos y vietnamitas que estuvieron expuestos al agente naranja. Estas patologías reproductivas pueden ser confirmadas por estudios en ratones pero los realizados en humanos son menos concluyentes, debiéndose realizar más investigaciones que aislen el efecto del TCDD de otros posibles contaminantes o factores diferentes. [11,13]

En relación con la carcinogenicidad del TCDD, cabe mencionar que ha sido considerado agente carcinógeno por el US National Toxicological Program, por la OMS y por la EPA (environmental protection agency). Pero, ¿en qué se basan para realizar esta afirmación? Principalmente, en estudios sobre animales, en el efecto mutagénico de otros hidrocarburos aromáticos y la relación que parece existir entre el AhR y la expresión de ciertos genes. Sin embargo, en humanos sólo se han realizado estudios retrospectivos sobre la población de Seveso y el metabolismo del TCDD es tan lento que podría ser incluso insignificante en cuanto a consecuencias biológicas. Asimismo, el funcionamiento del AhR en relación con las dioxinas ha sido considerado, como se explicó en el epígrafe 2, un mecanismo de defensa ante la toxicidad, luego, apoyándose en estos argumentos, algunos autores afirman que aún no hay evidencia clara sobre la afirmación de que el TCDD produzca cáncer en los humanos. [11]

En contraposición a estos ejemplos, sí parece haber consenso en que esta dioxina produce cloracné tras una intoxicación aguda, así podemos observar el caso de Viktor Yushenko (Fig.5) o los niños que sufrieron el desastre de Seveso. Esto parece deberse a que la exposición aguda al TCDD produce una represión de las enzimas relacionadas con las glándulas sebáceas. [4,6,11]



Fig.5. Viktor Yushenko antes y después del envenenamiento con dioxinas [6]

## 6. CONCLUSIONES

Lo que comenzó siendo una estrategia militar de EEUU para dejar al descubierto a los soldados del Viet Cong, acabó causando grandes impactos a nivel ambiental (destrucción de los manglares y contaminación de ríos, lo que permitió que el tóxico pasase a los animales y a los humanos). A nivel poblacional, tanto soldados americanos como vietnamitas, se vieron afectados por sus consecuencias, actuando como una auténtica arma química. [14]

Puesto que aún no se conoce exactamente qué función tiene el AhR en el cuerpo humano, no se puede afirmar que todas las patologías que han aparecido se deban a la intoxicación por el agente naranja, pero sí es cierto que aún 30 años después de la guerra de Vietnam se observan

problemas fisiológicos y psíquicos en los niños nacidos en la región de la selva sur de Vietnam. [11,13]

En EEUU se han llevado a cabo muchos estudios y se han creado listas con las patologías asociadas a la exposición al agente naranja con vistas a indemnizar económica y socialmente a los soldados americanos afectados. [14] Sin embargo, en Vietnam no hay ni tecnología ni dinero para realizar investigaciones y la población debe apoyarse en sus vecinos o en organizaciones como Cruz Roja que ayudan a las familias con hijos afectados. [13]

EEUU debería tomar algo de responsabilidad y ayudar a la investigación y erradicación de este problema. Así, se hace necesaria la profundización en el estudio del receptor AhR para intentar averiguar exactamente el papel que desempeña el TCDD como el contaminante que causa estas patologías y esos efectos genotóxicos.

## REFERENCIAS

- [1] Red universitaria de ambiente y salud (2012), "Serie de artículos sobre 2,4D, su toxicidad y las nuevas semillas resistentes al mismo"
- [2] Marc R. (2006), "Empresas de la muerte: Monsanto, el agente naranja y las guerras americanas", *Revista libre pensamiento*, número 50, pp. 62-66
- [3] Cruz Carrillo A., Moreno Figueredo G., Lara Osorio M. (2010), "Toxicología de las dioxinas y su impacto en la salud humana", *Revista de medicina veterinaria*, número 19, pp. 73-84.
- [4] Santiago Josefát M.B (2002), "Regulación transcripcional por el receptor de dioxina en ausencia de xenobiótico", tesis doctoral universidad de Extremadura departamento de bioquímica y biología molecular y genética.
- [5] Díaz López M. (2006), "Algunos avances en la ciencia forense", *cuadernos de ciencia spin cero*, número 10
- [6] Schecter A., Bimbaum L., Ryan J.J., Constable J.D. (2005), "Las dioxinas: un panorama general", *The collaborative on health and the environment* ([www.healthandenvironment.com](http://www.healthandenvironment.com))
- [7] Fotografía extraída de: [www.euroxpress.es/noticias/el-agente-naranja-planea-sobre-los-juegos-olimpicos](http://www.euroxpress.es/noticias/el-agente-naranja-planea-sobre-los-juegos-olimpicos)
- [8] García García P. (2014), "aceites esenciales: mitos y realidades", *Trabajo de fin de grado universitat d'alacant facultad de ciencias*.
- [9] Ribas Ozonas B., "Desfoliantes. Agente naranja. Otros agresivos químicos y su control"
- [10] Kogevinas M. (2001), "Human health effects of dioxins: cancer, reproductive and endocrine system effects", *human reproduction update*, volumen 7, número 3, pp.331-339
- [11] Sorg O. (2013), "AhR signalling and dioxin toxicity", *Toxicol.Lett*
- [12] Fotografía extraída de : [www.quimitube.com/toxicidad-dioxinas-veneno-caso-yushenko](http://www.quimitube.com/toxicidad-dioxinas-veneno-caso-yushenko)
- [13] Usuario [documentalespañol] (29-enero-2016). Documental- Agente naranja el legado tóxico de Vietnam. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=8W-SiLsLMB4>
- [14] Lechiguero Pardo L. (2005), "Las víctimas actuales del agente naranja" Cruz roja



**Laura Távora de la Riva.** Actual estudiante de quinto curso del doble grado en derecho y criminología en la Universidad Pablo de Olavide (Promoción 2012-2017). Técnico experto en intervención delictiva y penitenciaria por la escuela superior criminalística Alicante-Madrid.

# ¿Los biocombustibles son el futuro? La realidad del comercio

Andrea Domínguez Martos

**Resumen**— A pesar de que hace más de 100 años que Rudolf Diesel presentó su prototipo de motor que funcionaba a base de aceite de cacahuete, desde la década de los 70 hemos vivido una explosión mediática sobre el tema de los biocombustibles. Esta detonación de información y constantes estudios sobre el tema no es más que la preocupación creciente que existe entre los científicos y cada vez más entre la población general sobre la durabilidad que tienen los combustibles fósiles. ¿Se están agotando realmente? Y en caso afirmativo, ¿son los biocombustibles el camino hacia el futuro? ¿Cuál es la viabilidad que tienen? ¿Cuál sería más fácil de comercializar?

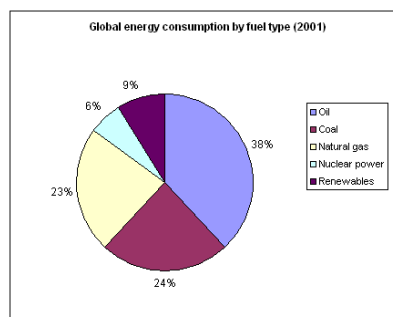
**Palabras Claves**—Biocombustible, Bioetanol, Biodiésel, Precio, Viabilidad

## 1. INTRODUCCIÓN

En muchas ocasiones escuchamos en las noticias o leemos en los periódicos sobre los biocombustibles como la alternativa a los combustibles fósiles pero, ¿sabemos realmente qué son y cómo funcionan?. Los biocombustibles son combustibles ecológicos y sostenibles producidos a partir de biomasa cuyo uso es beneficioso en tanto en cuanto son ambientalmente aceptables y además nos hace dependientes en menor medida de los combustibles fósiles, lo que nos hace tener una mayor seguridad sobre nuestro abastecimiento (aunque para su producción es necesario todavía el uso de los fósiles) [2]. ¿Pero son la alternativa definitiva?

Lo que sí es seguro afirmar es que necesitamos energía para cualquier actividad que desarrollemos, desde el abastecimiento de los hogares hasta las actividades agrícolas incluyendo todas las industrias y todos aquellos lujos y comodidades que requieren un gasto energético en nuestro día a día. Hasta ahora, y aún hoy, la mayor parte de éstos procesos se abastecen con combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón) aunque estén entrando poco a poco las energías renovables en este mercado *Figura 1*. Los combustibles fósiles consisten en depósitos de organismos vegetales o animales que han estado enterrados, se han descompuesto y se han visto en condiciones de temperatura y presión altas hasta constituir petróleo crudo, gas natural o carbón. El principal problema del uso de los combustibles fósiles es que su tasa de regeneración es muy alta (de millones de años) y por tanto es agotable a corto plazo (este a corto plazo se ve agravado por el crecimiento exponencial de la población). Esto hace que la tendencia en el mercado sea subir de precio hasta que deje de ser económicamente

rentable lo que supondrá un estado de crisis que, según numerosos científicos, está previsto para mediados o finales de este siglo.



*Figura 1. Fuente: Energy Information Administration. Gráfico sobre el tipo de energía consumida en el mundo en 2001.*

Otra de las razones por las que el uso de los combustibles fósiles supone un problema es el alto grado de contaminación que provocan al aire, al agua y al suelo, y al incremento del efecto invernadero [4]. Para más información sobre los múltiples efectos nocivos para la salud y el medio ambiente de los combustibles fósiles usar la referencia 4 del artículo.

Entonces, si tan desfavorable es el uso de éstos ¿por qué se siguen utilizando? La respuesta es sencilla, porque son más baratos que las otras alternativas [3].

En este artículo pretendemos estudiar la viabilidad de los biocombustibles frente a los fósiles que venimos usando hasta ahora. Una vez definido cuales son unos y otros la pregunta es ¿qué tipos de biocombustibles existen?

Cuando hablamos de biocombustibles nos referimos a dos tipos, **el bioetanol y el biodiésel**. El bioetanol es un alcohol proveniente de la destilación de cultivos ricos en azúcar

que previamente han sido fermentados (tales como remolacha o el centeno) y el biodiésel es una mezcla de aceites vegetales (de girasol, de palma o la soja) y gasóleo.

En menor medida también nos referimos a **la biomasa** como biocombustible. Este tipo se produce a partir del alcohol que proviene de restos naturales o de RSU. Son los conocidos como los biocombustibles de segunda generación que según el CNE (Consejo Nacional de Energía, del Gobierno del Salvador) son “*producidos a partir de materias primas que no son fuentes alimenticias, para lo cual se utilizan tecnologías que todavía están en etapas de investigación y desarrollo y con costos de producción aún muy elevados*”. Al decir que los costos son muy elevados, para este artículo no tendría mucho sentido tenerlo en cuenta ya que el objetivo es encontrar una alternativa viable, que sea rentable. El único motivo por el que también se mencionan es porque sí supone una alternativa si se reducen ciertos costos y se agiliza este mercado.

## 2. LOS BIOCOMBUSTIBLES EN NÚMEROS

Ya embebidos en el marco de los combustibles y viendo el panorama general entramos a hablar de cifras. Para este apartado tenemos que centrarnos en un estudio en un país y en un proceso productivo concreto. El país seleccionado es la República Dominicana para el caso del bioetanol y Argentina (Santa Fe) para el biodiésel aunque podría haber sido cualquier país latinoamericano, en especial Brasil, o de Estados Unidos ya que es ahí donde están más desarrollados.

### 2.1. Proceso de producción y distribución del bioetanol en números

En el caso del bioetanol el proceso de producción más rentable (mayor cantidad de producto con menor cantidad de recursos) es el que deriva del uso de la caña de azúcar. Si bien es cierto que su viabilidad está en entredicho ya que para cada litro de etanol que produzcamos hará falta quemar 2 litros de etanol o gasolina, lo único que hace que no se refute esta idea es el hecho de que el etanol no se agota, la gasolina sí.

En ésta forma de obtener el alcohol a la caña de azúcar se le extrae el jugo en un proceso en el que en primer lugar se someten las fibras a molienda, se filtran para quitar el bagazo, se clarifican para quitar las impurezas y se calientan *Figura 2*. Seguidamente se fermenta para obtener el alcohol y después se separa para poder ser destilado. El resultado de este proceso es un bioetanol con un 99’5-99’9% de etanol y el resto sería agua y residuo. Esto nos deja un producto con una calidad E10 o E5 que significa que el 10-5% del

contenido es etanol y el resto gasolina. Este porcentaje es el que se exige según la ley de demanda de la República Dominicana.

El producto se usa principalmente en el sector de transporte sin tener apenas protagonismo en el resto de industrias.

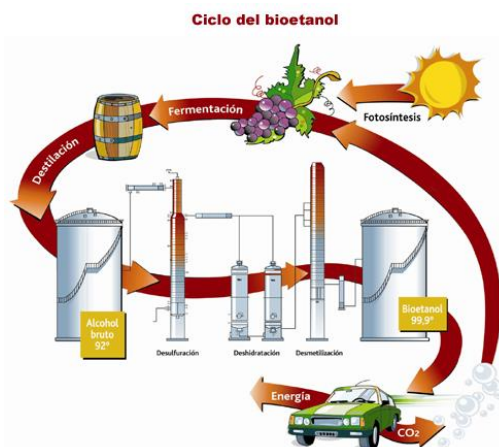


Figura 2. Proceso de producción del Bioetanol

#### 2.1.1. El precio del bioetanol

En números obtenidos de un estudio de la consultoría Marín Pons & asociados, S.R.L., por cada tonelada de caña de azúcar se podrían obtener 70 litros de etanol. La producción de un litro de etanol cuesta 0’21 euros, es decir, cuesta alrededor de 15 euros producir los 70 litros. Puede parecer muy rentable al ver éstas cifras pero la realidad, para el E10 por ejemplo, es que el ahorro (lo que ganamos) es al final de la producción 1,4 euros por cada litro en la producción de biocombustible y 0,48 euros por la producción de etanol por cada litro. Todo esto sin especificar los costes iniciales en costes de maquinaria y demás infraestructura necesaria. Si bien es cierto que tiene cierta rentabilidad pero no la suficiente como para considerar que sea viable que se comercialice con una rentabilidad si quiera parecida a la de la gasolina [5].

### 2.2. Proceso de producción y distribución del biodiésel en números

El proceso de producción del biodiesel es a partir de aceites vegetales del tipo que sea, (soja, algodón, girasol, maíz, etc) gracias a una reacción química denominada transesterificación, lo que significa que el glicerol contenido en los aceites es sustituido por un alcohol ante la presencia de un catalizador *Figura 3*. Se usarán Metanol y NaOH o KOH, y se emplea como sustituto total o parcial del gasoil, es decir B100 que sería 100% de biodiesel o el más común para los



motores que es el B20, que supone una mezcla del 20% de biodiesel y el resto de petróleo.

La ventaja principal del biodiesel en el sector del transporte es que no afecta a la potencia ni el consumo de los motores además de que no contiene sustancias no deseables como son el azufre y otros compuestos aromáticos. Otro punto a favor para su uso es el aumento de la ignición que reduce el riesgo de explosión en su almacenaje.



Figura 3. Proceso de producción del biodiesel.

### 2.2.1. El precio del biodiesel

En el caso de Argentina, en la prueba piloto de las tratativas allá en el 1997 se importarían 37.854 litros (10.000 galones) a 29.769 euros, es decir, a 0,78 euros/litro. Con la subida de precio de las producciones de diferentes aceites este valor aumentó un 27% hasta alcanzar el precio de 1 euro/litro.

Tomando como referencia que abrir una planta que te devuelve 37,5 millones de litros de biodiesel al año se requiere una inversión de 5.599.200 euros. El biodiesel será algo mayor a los 0,45 euros a la venta mientras que te ha costado alrededor de 15 céntimos de euro producirlo. Quitando costes de transporte y demás añadidos a la producción para poder comercializarlo se saca una rentabilidad del 20% del precio lo cual no es una gran cantidad pero para poder exprimir un poco más el dinero que se puede obtener se puede vender la glicerina y los ácidos grasos que también sirven como coproductos.

Debemos entender que el precio del biodiesel es muy dependiente del precio de la materia prima así que no será igual el coste para unos aceites que otros (aunque con pequeñas fluctuaciones), ni de un año a otro siquiera. Los datos que apporto son del aceite de soja y en Argentina para el año 2000. [6]

## 3. BARRERAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES

Se presentan varios obstáculos cuando se produce biocombustible, en primer lugar el coste de las materias primas y

la baja rentabilidad de éstas que hace que al fin y al cabo no compense su producción, en segundo lugar las cuestiones técnicas sobre su transporte, almacenamiento y distribución en el caso del bioetanol no son llevadas a cabo de forma segura. No podemos dejar de incluir los aspectos legales que dificultan su comercialización, la fiscalización en otros países y la obligatoriedad de mantener reservas estratégicas, todas ellas debidas a la oposición de las grandes petroleras al desarrollo de esta nueva tecnología.

Es también un punto a tener en cuenta el hecho de que no hay una regulación específica en cuanto al contenido que deben tener los biocarburantes en sus mezclas.

La CNE también ha resaltado que el desconocimiento sobre los procesos de producción de los biocombustibles suponen "...en cuanto al biodiesel analiza los problemas de cristalización y solidificación, crecimiento microbiano y contaminación por hongos, incompatibilidad de materiales y cierto poder disolvente, en ocasiones beneficioso para el vehículo que lo use, inestabilidad que desaconseja los almacenamientos prolongados, en determinados casos. Respecto del bioetanol, la CNE destaca la existencia de barreras basadas en consideraciones técnicas y operativas tales como la afinidad por el agua que presenta, su poder disolvente, decapante y corrosivo, así como la incompatibilidad con determinados materiales plásticos, el problema del aumento de la volatilidad de las gasolinas, la no fungibilidad entre etanol y gasolina y el problema de la contaminación cruzada en instalaciones logísticas." [7].

También existe incertidumbre sobre si el uso de biocarburantes es sostenible en sí mismo. Como comenté anteriormente hacen falta dos litros de petróleo o etanol puro por cada litro que se produzca de bioetanol. Además, no se sabe a ciencia cierta si tiene otras consecuencias medioambientales.

Otra de las barreras es la incertidumbre sobre las materias primas. Aquí se abre el debate ¿cultivos para alimento o para producción de biocombustibles? En muchos países sería imposible usar los campos productivos para la producción de biocarburantes por no hablar de que hay cultivos que no son en absoluto rentables ya que la materia prima vale más que el precio que tiene el biocombustible en el mercado.

## 4. CONCLUSIÓN

Bajo mi óptica los biocombustibles no son el futuro. No creo que sean rentables, y ni siquiera se puede demostrar

que a pesar de su baja rentabilidad sean poco contaminantes. Yo creo que tiene más cosas negativas que positivas como es la ocupación del terreno cultivable en vez de para uso alimenticio para producción. También creo que es importante señalar que no hay una política actualmente que incentive de manera atractiva a los posibles inversores en esta industria y que hace que pueda haber cierta picaresca. Pienso que hay demasiados campos para investigar y para desarrollar en energías verdaderamente verdes y limpias como para invertir más dinero en una energía que supone una ligera mejora pero no es más que un parche que no da la solución definitiva.

## REFERENCIAS

- [1] <http://www.renovablesverdes.com/origenes-e-historia-de-los-biocombustibles/>
- [2] <http://www.laenergiadelcambio.com/que-son-los-biocombustibles-el-bioetanol-y-el-biodiesel>
- [3] <http://www.lenntech.es/efecto-invernadero/combustibles-fosiles.htm>
- [4] <https://www.google.es/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://cuidadodelmedioambiente2012.blogspot.com/2012/11/el-uso-de-combustibles-fosiles.html&ved=0ahUKE-wifv4y2uIfQAhWSDRoKHVDE-BxAQFghSMAU&usg=AFOjCNFkj--T09fOn-ZCkSkzRW6v8H-dUw&sig2=5D4qePw-7GmfNFGj4ila1Q>
- [5] [https://www.google.es/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://marinponasociados.com/PDFMEDIOAMBIENTE/bioetanol.pdf&ved=0ahUKE-wiL7eTX4ofQAhUGDxoKHdz\\_CnMQFggn-MAI&usg=AFOjCNGV1lbFeAB3IXI5uwRoSWjEo-vvOg&sig2=DQKSmJ-CmU3096w6nI89NA](https://www.google.es/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://marinponasociados.com/PDFMEDIOAMBIENTE/bioetanol.pdf&ved=0ahUKE-wiL7eTX4ofQAhUGDxoKHdz_CnMQFggn-MAI&usg=AFOjCNGV1lbFeAB3IXI5uwRoSWjEo-vvOg&sig2=DQKSmJ-CmU3096w6nI89NA)
- [6] <http://www.santafe-conicet.gov.ar/servicios/comunica/biodiesel.htm>
- [7] [http://www.biodiesel.com.ar/download/Estudio\\_viability\\_biocombustibles.pdf](http://www.biodiesel.com.ar/download/Estudio_viability_biocombustibles.pdf)



**Andrea Domínguez Martos** estudiante de Ciencias Ambientales en la Universidad Pablo de Olavide.

# Generación de biocombustibles a partir de ricino, caña común y remolacha; e interés económico de su producción

Manuel Gómez González

**Resumen**— La realización del presente artículo va encaminada hacia la comparación entre diversos cultivos energéticos, con el objetivo de determinar sus respectivas eficiencias en cuanto la generación de biocombustibles a partir de dichos cultivos. Las plantas que han sido tenidas en cuenta son las siguientes: ricino, caña común y remolacha.

**Palabras Claves**— Biocombustible, cultivos energéticos, ricino, caña común, remolacha.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente y desde el comienzo de la Revolución Industrial, la concentración de gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera no ha dejado de aumentar. Para intentar cambiar esta tendencia, la sociedad actual debería concienciarse de tal problema y de sus consecuencias venideras; y desde las altas instituciones se deberían fomentar procesos o métodos que permitan cambiar la tendencia.

Una forma clara de disminuir la emisión de gases de efecto invernadero es mediante el fomento de la generación y uso de biocombustibles. Podemos considerar a estos como una energía limpia y renovable, ya que no aumentan el nivel de CO<sub>2</sub> en la atmósfera al no provenir de fuentes de carbono secuestradas de la atmósfera, como son los yacimientos fósiles.

Además la plantación de cultivos como amaranto, ricina o caña común facilitaría en gran medida la producción de estos combustibles naturales y conllevarían grandes mejoras en general; por ejemplo, además de mejorar el desempeño ambiental mediante la disminución de emisiones también se mejoraría la situación económica de cualquier país, al disminuir la dependencia de petróleo del exterior.

## 2. METODOLOGÍA EMPLEADA

Para comprobar la eficiencia energética y la capacidad de las plantas estudiadas para producir biocombustible nos fijaremos en diversos estudios realizados la mayoría en Sudamérica. Estos estudios nos ayudarán a comprender que plantas presentan mayor eficiencia energética y cuales son los factores que influyen en esta cualidad.

### 2.1. Ricino (*Ricinus communis L.*)

El ricino (*Ricinus Communis L.*) crece en zonas tropicales,

tanto de Sudamérica, como de Europa, Asia e incluso África.

Esta planta presenta un amplio rango de condiciones agrocológicas en las que se puede plantar con seguridad de su supervivencia. Además se le puede manejar como especie anual o perenne según el ambiente y el sistema de cosecha utilizado. Actualmente es utilizado con diversos fines, entre los que destacamos la fabricación de barnices, pegamentos, jabones, etc; entre estos usos no encontramos la alimentación directa a través de ella del ser humano, por lo que su cultivo con fines energéticos no entraría en conflicto con temas alimentarios, y más si añadimos que esta planta presenta propiedades tóxicas.

Refiriéndonos a la productividad de este cultivo en función de las toneladas de ricino producidas por hectárea, podemos decir que la producción de ricino oscila entre 4 y 6 Tm/h, una productividad por ejemplo mayor que la del girasol (2-3,5 Tm/ha). [1]

Además de su elevada productividad y biodisponibilidad, nos encontramos con que diversos estudios (Ocospoma, 2008) registran que el ricino contienen un porcentaje de grasa entre el 45 y el 55 % (la técnica realizada para su determinación fue una cromatografía de gases de alta resolución). Esta alta fuente de grasas vegetales son las utilizadas en la producción de biodiesel.

Los ácidos grasos detectados en el ricino dieron a conocer que los ácidos linoleico, oleico, palmítico y esteárico son los más concentrados, por lo que los residuos de la generación de biodiesel a partir de esta planta podrían utilizarse como parte importante para alimento de animales domésticos.

Cabe decir que el rendimiento del ricino oscila entre 0,22 y 0,9 Tm de biocombustible por cada hectárea; siendo los mayores productores de ricino los siguientes países en este orden: India, China y Brasil.

## 2.2. Caña común (*Arundo donax L.*)

La caña común crece en Humedales de aguas permanentes o estacionales. Las cañas presentan una gran reproducción vegetativa, ya que se extienden por sus rizomas subterráneos pudiendo llegar a formar largas colonias de varios kilómetros a lo largo de los cursos de agua o donde se acumula agua freática o humedad.

Esta especie es originaria de Asia y ha colonizado el área mediterránea y norte de África, llegando a ser una importante especie invasora.

Para que la producción de caña común con el fin de generar bioetanol sea una alternativa real, necesitamos que además de que su balance energético sea positivo a lo largo de su cadena productiva, que su coste de producción sea menor o igual al de los combustibles fósiles y que en general, sea muy biodisponible, factores que si cumplen los individuos de esta especie dada su elevada reproducción vegetativa.

En una caracterización de la pared celular de la caña común se puede apreciar que está compuesta casi en su totalidad (98,77%) por polisacáridos como en su mayoría E.L.N, a partir del cual es posible obtener bioetanol mediante fermentación alcohólica.

En consecuencia apreciamos que la pared celular presenta un bajo porcentaje de material fibroso (celulosa, hemicelulosa o lignina) por lo que es otro motivo que hace de esta especie vegetal una buena fuente de bioetanol.

El rendimiento del cultivo de caña común es de 70 Tm/ha, resultando la productividad de bioetanol de 4900 L/ha. En definitiva, la producción de caña común a nivel industrial para la producción de biocombustibles como el bioetanol resultaría muy eficaz y eficiente, tanto en temas económicos como ambientales.

## 2.3. Remolacha (*Beta vulgaris*.)

La remolacha es una planta bianual que suele habitar en la totalidad de climas templados, llegando a ser una de las plantas más cultivadas de manera intensiva.

La materia seca de la remolacha, es casi tan rica como la de los cereales y puede ser empleada o vendida como alimento para ganado.

Podemos considerar que en Europa la remolacha es, junto al trigo, una de las materias primas principales para la producción de bioetanol.

Aunque en contraposición presenta una principal desventaja frente a otros cultivos energéticos como por ejemplo son la caña común, o el sorgo. Esta desventaja es la no posibilidad de generar la energía que requiere su procesamiento a partir de la quema de sus residuos, porque

éstos no son suficientes. Por ello, en su producción deberá incluirse el consumo energético (electricidad y calor) para su procesamiento.

El proceso de producción de bioetanol a partir de remolacha comienza troceado fino de las raíces, dejándolas en porciones triangulares de alrededor de 3 milímetros. A estas porciones se les denomina cosetas.

Los azúcares presentes en las cosetas son disueltos en un difusor, donde se vierten en agua a 70 °C para que se disuelvan correctamente.

De este proceso se separará posteriormente la pulpa del jugo. La pulpa remanente se seca para su venta como alimento para ganado, mientras que el jugo sigue un proceso igual al de la caña común: fermentación, destilación y deshidratación.

Hablando de rendimiento energético podemos decir que si asumimos que la concentración de azúcares totales es del 19% en las raíces (puede variar entre 15 a 20%), se estima una producción de etanol que oscilaría entre de 80 a 100 litros por tonelada de raíces, y 51 kg de pulpa que puede ser utilizada como alimento animal. [3]

Por ejemplo, la productividad del cultivo de Remolacha en otros estudios realizados en Chile y España dieron a relucir unas producciones de 70 Tm/ha y de 90 Tm/ha respectivamente. [2]

## 3. INTERÉS ECONÓMICO

Los biocombustibles deberán jugar inevitablemente un papel decisivo en la respuesta general al calentamiento global, principalmente por el enorme peso que el sector transporte tiene en las emisiones de CO<sub>2</sub>, y como hemos visto, las 3 plantas estudiadas en este artículo son buena materia prima para la obtención de biodiesel o bioetanol.

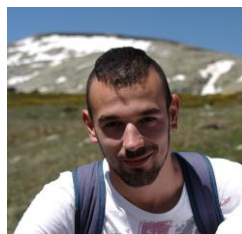
Para ejercer dicho papel solo cuentan los biocombustibles que ayudan a reducir las emisiones a la atmósfera, a la vez que son respetuosos con las zonas naturales, sobre todo en la fase de cultivo o producción.

Está claro que la gradual sustitución de los combustibles fósiles por biocombustibles mejoraría considerablemente la economía de cualquier país, reduciendo su dependencia de obtener combustibles de fuera de sus fronteras y fomentando una energía limpia capaz de satisfacer, o en su defecto ayudar, en la medida de lo posible a los requerimientos energéticos de la sociedad actual. [4]

Un gran problema que presenta esta energía verde es la alta ocupación de terrenos de cultivo necesarios para satisfacer la demanda energética. En otras palabras, se necesitarían cultivar grandes superficies de terreno para producir grandes cantidades de biocombustible. Debido a esto se necesitarían cantidad de estudios que tengan en cuenta la producción y eficiencia de cada planta con res-

pecto a la zona en la que se vaya a cultivar; lo que nos lleva a otro gran problema, los monocultivos que se generarían de estas especies cultivadas con fines energéticos, y los impactos que estos cultivos causarían en el medio.

Estos monocultivos están aumentando el mundo, principalmente a expensas de bosques causando pérdida de hábitats naturales, desplazamiento de áreas dedicadas a cultivos alimenticios. Por su parte se debe controlar en todo caso la aplicación de cantidades masivas de fertilizantes y herbicidas químicos en estos cultivos.



**Manuel Gómez González**, estudiante de cuarto curso de Ciencias Ambientales, en la Universidad Pablo de Olavide.

#### 4. CONCLUSIONES

Nos encontramos en una situación en la que el progresivo aumento de los gases de efecto invernadero en nuestra atmósfera conlleva consigo el aumento de la temperatura global del planeta y numerosos cambios drásticos que están llegando y quedan por llegar. La producción y el uso de biocombustibles, reduciría considerablemente las emisiones de estos gases de efecto invernadero, y nos ayudaría a implementar realmente un desarrollo sostenible en función de esta tecnología, con un cambio paulatino de combustibles fósiles a biocombustibles; y estos últimos serían compatibles con la llegada e implementación en el mercado de coches eléctricos por ejemplo.

Pero como se ha dicho anteriormente, la producción industrial de cultivos con fines energéticos es posible, pero no todo serían ventajas. El ejemplo más claro quizá sea el aumento de grandes superficies cultivadas formando grandes extensiones de monocultivos que produciría impactos graves sobre el medio ambiente.

Lo ideal sería la obtención de biocombustibles de un modo verde, es decir, sin causar impactos graves en el medio, ni condicionar la alimentación de personas en el mundo. Para ello, se necesitarán diversos estudios que optimicen las capacidades de cada tipo de cultivo en función del terreno, con el objeto de obtener una buena producción sin comprometer o causar impactos significativos en el medio o a las personas.

#### REFERENCIAS

- [1] Torres, M., y Triviño, J.P. Producción y Exportación de Higuierilla (*Ricinus Communis* L.) a Colombia, como Materia Prima para la Elaboración de Biocombustibles. Escuela superior politécnica del litoral centro de investigación científica y tecnológica.
- [2] Milena, A., Rivera, C. A., y Murillo, E. (2010) Perspectivas de uso de subproductos agroindustriales para la producción de bioetanol. *Scientia et Technica* Año XVII, No 46, 232-235.
- [3] Página web de la secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural pesca y alimentación de México:  
<http://www.bioenergeticos.gob.mx/bio/index.php/bioetanol/produccion-a-partir-de-la-remolacha.html>
- [4] Guerrero, R., Marrero, G.A., y Puch, L. A. Economía de los biocombustibles líquidos. Cuadernos económicos de ICE, No 83, 141-163.

# Riesgos derivados de los factores ambientales en colecciones del patrimonio histórico y su control

Elisa Fernández Tudela

**Resumen**— Los riesgos a los que se exponen las colecciones debido a las condiciones ambientales pueden minimizarse si se llevan a cabo las correctas medidas de conservación preventiva. Estas consisten entre otras en el control de la humedad relativa, la temperatura y la iluminación.

**Palabras Claves**— Conservación preventiva, factores ambientales, biodeterioro, microclima, radiación no visible.

## 1. INTRODUCCIÓN

El correcto control de las condiciones ambientales que rodean a las obras en colecciones ya sea en museos, bibliotecas, almacenes, etc. va a condicionar la durabilidad y la conservación de estas. No obstante, se debe tener en cuenta que no solo deben controlarse estas condiciones ambientales, ya que existen otros factores que están relacionados y que también tienen que tenerse en cuenta. Un ejemplo son los factores de deterioro biológico que en determinadas condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa alta) pueden dar lugar a procesos de biodeterioro y patologías en prácticamente todos los materiales del patrimonio [1]. Además es fundamental conocer las condiciones climáticas y demás características del exterior de los inmuebles así como las del mismo que van a ayudar a realizar un correcto planteamiento de control de la humedad relativa, temperatura e iluminación.

A continuación se explicarán de forma general los factores de riesgo que amenazan a las colecciones y más concretamente los ambientales cuyo control es imprescindible a la hora de llevar a cabo una conservación preventiva de las colecciones del patrimonio histórico.

## 2. FACTORES DE RIEGOS

La degradación de los bienes culturales de museos, archivos, bibliotecas etc., viene dada por una serie de factores que se pueden clasificar según su vinculación con la propia obra en intrínsecos o extrínsecos.

### 2.1. Intrínsecos

Los factores intrínsecos deben estar presentes a la hora de evaluar y planificar un plan de conservación preventiva en museos e instituciones que albergan piezas del patrimonio cultural.

Estos factores dependen de la naturaleza propia de la obra y entre las causas de deterioro se encuentran:

- La composición material de la obra.

- La técnica de ejecución.
- La incompatibilidad de los materiales.

Estas causas se pueden ver agravadas debido a factores extrínsecos que se explicarán a continuación y que deben ser controlados a la hora de prevenir el deterioro de las obras.

### 2.2. Extrínsecos

Entre las causas externas de deterioro de las obras se pueden distinguir tres agentes principales: los agentes medioambientales, los naturales y los antrópicos.

Los naturales son los que engloban las catástrofes, los movimientos sísmicos, etc. En los factores antrópicos el principal causante es el hombre que mediante actuaciones en el entorno, acciones de mantenimiento o manipulación, vandalismo, robo, etc. puede llevar a la pérdida parcial o total de obras del patrimonio. Tanto para el caso de catástrofes, terremotos, como para la acción dañina del hombre sobre las obras, existen diferentes modos de prevención. Estos van desde la formación especializada del personal que trabaje en estos lugares [2], hasta planes de gestión donde se recogen los métodos de actuación frente a emergencias [3] y leyes a nivel estatal o autonómicas [4].

En los agentes biológicos los protagonistas son los organismos vivos que pueden llegar a proliferar en museos, archivos y bibliotecas. Por último están los factores ambientales que son los que a continuación se van a tratar más concretamente y cuyos protagonistas son la humedad, la temperatura, la iluminación y los agentes contaminantes que están condicionados a los tres anteriores.

## 3. FACTORES AMBIENTALES Y SU PREVENCIÓN

Entre los factores ambientales se pueden diferenciar dos tipos [5]:

- Los propios del ambiente: temperatura, humedad y contaminación ambiental.
- Los añadidos: iluminación.

A pesar de existir considerables diferencias de comportamiento entre los materiales dependiendo de su naturaleza (orgánico, inorgánico y mixta), todos precisan del

control más o menos estricto de los parámetros que regulan la presencia de estos factores.

### 3.1. Humedad relativa y temperatura

La Humedad Relativa (HR) y la temperatura (T) son dos de los factores de riesgo que pueden poner en peligro las obras. Ambos están relacionados y la modificación de alguno de ellos supone la modificación del otro [3]. El exceso, la ausencia o la fluctuación entre ambos puede causar serios daños en las colecciones (Tabla 1).

Es por ello que se deben establecer unos niveles esta-

TABLA 1  
DAÑOS CAUSADOS POR LA INCORRECTA T Y HR

| Agente           | Valor  | Daños   |
|------------------|--|---|
| Temperatura      | Elevada                                      | Degradación progresiva de materiales orgánicos.<br>Alteraciones cromáticas.   |
|                  | Baja   | Grietas en pinturas y polímeros.<br>Grietas y separación de capas en materiales.  |
|                  | Fluctuaciones                                | Variaciones en la HR.<br>Variación cromática provocada por ataques biológicos.<br>Corrosión en metales.<br>Cambios de tamaño en materiales orgánicos. |
| Humedad Relativa | Excesiva (>75%)                              | Hidratación o deshidratación de minerales.<br>Corrosión de metales con contenidos en sales.   |
|                  | Por debajo o encima de los niveles adecuados | Alteraciones cromáticas<br>Degradación progresiva de materiales orgánicos.  |
|                  | Baja (0%)                                    | Variaciones de tamaño, compresión, grietas, separación de capas en materiales orgánicos.  |
|                  | Fluctuaciones                                |   |

*Datos extraídos de tabla sobre agente de deterioro en colecciones de Stefan Michalski [6]*

bles de ambos evitando fluctuaciones. Estos niveles no se pueden aplicar por igual a todos los materiales, y dependerán de diferentes factores y de las características de cada colección, pero a nivel general existen unos niveles recomendados como se puede ver en la tabla 2.

El control de estos niveles va a establecer la durabili-  
TABLA 2  
NIVELES RECOMENDADOS DE T Y HR SEGÚN MATERIAL

| Material          | T                                   | HR  |
|-------------------|-------------------------------------|---|
| Documento Gráfico | 16-19 °C                            | 45-60%  |
| Fotografía        | B/N: 11-13 °C                       | B/N: 30-40%                                       |
|                   | COLOR: 11-13 °C<br>(2°C en almacén) | COLOR: 30-50 %<br>(30-40% en almacén)             |
| Textil            | 18 °C                               | 50-60%  |
| Material Orgánico | 18 °C                               | 50-60%  |
| Metales           | 10-25 °C                            | Férrico: menos de 15%<br>No Férrico: menos de 35% |
| Vidrio            | 18 °C                               | 42 %  |
| Cerámica y Piedra | 16-22 °C                            | 45-55 %   |

*Datos extraídos según datos de estándares recomendados por Isabel García Fernández [7]*

dad y conservación de las colecciones. Estas condiciones ambientales del interior de los inmuebles va a estar condicionada por las características del entorno y clima exterior, por lo que es recomendable realizar estudios del cli-

ma, de las características del suelo, las fuentes de humedad, la contaminación exterior, etc., para realizar una correcta planificación de cómo controlar los factores ambientales que ponen en riesgo las colecciones [3].

Existen diferentes instrumentos para el control de los niveles de HR y T como son los termómetros, los termohigrómetros digitales, termohigrógrafos o sistemas de sensores que realizan las funciones de estos últimos. Estos pueden realizar mediciones puntuales (termohigrómetros electrónicos) o mediciones periódicas que van desde las 24 horas al mes. Estas mediciones periódicas son necesarias y se pueden realizar empleando entre otros instrumentos: termohigrógrafos que registran los datos en una banda de papel gráfico o mediante sensores inalámbricos que permiten el procesado, el almacenado de datos y la consulta online de diferentes localizaciones (vitrinas, salas, almacenes, exterior) [8].

El factor más importante a controlar y que tiene un riesgo de daño directo es la humedad, a pesar de esto como ya se ha comentado la temperatura se encuentra como factor inverso a la humedad por lo que esta condicionará también la capacidad del aire para contener humedad, además de funcionar como acelerador de reacciones químicas y biológica de degradación [9].

Para saber como actuar hay que tener en cuenta unos parámetros que son: los niveles extremos de HR y T, las fluctuaciones entre los niveles máximos/mínimos y la proximidad a los focos y fuentes de H y T. Existen diferentes mecanismos de control y en ocasiones es necesario la creación de microclimas para piezas concretas en vitrinas o espacios cerrados como almacenes.

Un correcto sistema de ventilación es el mejor instrumento para evitar los cambios bruscos de HR y T, además de evitar la acumulación de partículas en el ambiente evitando así la contaminación atmosférica. Estos pueden consistir en sistemas de aire acondicionado o sistemas de ventilación mecánica y pasiva [3]. Además, existen sistemas que regulan la humedad del aire como son los humidificadores o deshumidificadores, o productos desecantes como el gel de sílice. Los microclimas pueden realizarse mediante vitrinas prácticamente herméticas (diferentes grados de hermeticidad) que garantizan el aislamiento de los contaminantes (polvo) y el control de los parámetros de HR y T deseados. A pesar de su gran eficacia, estas vitrinas tienden a acumular compuestos orgánicos volátiles debido a los materiales de construcción y la naturaleza de las piezas que deben ser controlados y eliminados. Un ejemplo de eliminación de estos compuestos es el realizado mediante el filtrado con carbón activado (portátiles o integrados) llevado a cabo en las nuevas vitrinas de última generación en el Museo Arqueológico Nacional [10].

### 3.2. La iluminación

La iluminación es otro de los factores ambientales a tener en cuenta a la hora de tomar medidas de conservación preventiva. Esta debe centrarse en los parámetros de la radiación visible, evitando la radiación infrarroja y la ultravioleta. Estas dos últimas forman parte de la radiación no visible y pueden provocar reacciones físicas y químicas en los materiales produciendo pérdida de resis-

tencia, cambios cromáticos, reacciones químicas, deterioro biológico, etc. Estos daños son acumulativos y muy perjudiciales al no ser reversibles, y se pueden minimizar controlando la intensidad (lux), el tiempo de exposición y el tipo de iluminación. No existen unos parámetros generales de las características de la iluminación más adecuadas aunque se puede realizar una aproximación a nivel general según la sensibilidad de los materiales (Tabla 3)

**TABLA 3**  
NIVELES RECOMENDADOS DE ILUMINACIÓN

| Material                            | Iluminación máx. (Lux) | Radiación UV máx. |
|-------------------------------------|------------------------|-------------------|
| Documento Gráfico                   | 50 lux                 | 75 $\mu$ W/lumen  |
| Textil                              | 50 lux                 |                   |
| Material Orgánico                   | 200 lux                |                   |
| Metales, cerámica, vidrio y piedra. | 300 lux                |                   |

Tabla según datos de estándares recomendados por Isabel García Fernández [7]

Para el control de la radiación la mejor solución es emplear las fuentes de iluminación más adecuadas y/o el empleo de filtros, además se deben regular los sistemas de iluminación y el tiempo de exposición de manera general o de forma individualizada si es necesario. Para realizar esto hay que conocer el inmueble donde se alberga la colección para poder organizar un sistema adecuado y lo más sostenible posible. En los últimos estudios la tecnología LED se presenta como la opción más ecológica (sin materiales contaminantes) [11] y con una mínima emisión de calor y rayos UV, pero su implantación resulta muy costosa.

#### 4. CONCLUSIONES

La conservación preventiva de colecciones es algo necesario y que puede evitar daños y pérdidas en las colecciones de arte, pero para llevarla a cabo de una manera correcta hay que tener en cuenta muchos factores, no solo los ambientales como se han visto en este estudio. Para que estos funcionen bien es necesario conocer las colecciones y todo su entorno. Por lo que se entiende que es necesario el trabajo conjunto del personal cualificado encargado de su conservación y la puesta en marcha de sistemas de control y monitorización continua o periódica. Como se ha visto, muchas veces las mejores medidas de control vistas en los últimos estudios (vitrinas herméticas o semiherméticas de última generación, sistemas de filtración de compuestos contaminantes, iluminación LED, etc.) resultan muy costosas e incluso imposibles de implantar. La puesta en marcha de estas medidas de forma progresiva y sostenible favorecerá la conservación preventiva de las colecciones de manera que en un futuro cercano no sea común encontrar colecciones dañadas debido a las condiciones ambientales de los museos, bibliotecas, archivos, etc.

#### REFERENCIAS

- [1] S.F. Borrego, I. Perdomo, J. de la Paz, S.G. Gómez de Saravia, P.S. Guiamet, "Relevamiento microbiológico del aire y de materiales almacenados en el Archivo Histórico del Museo de La Plata, Argentina y en el Archivo Nacional de la República de Cuba", *Revista del Museo de La Plata*, Sección Botánica, no. 18 (119), pp. 1-18, 2011.
- [2] C. Fernández, A. Parra, M. Sánchez, "La formación en conservación preventiva en España. Panorama y perspectivas", *Patrimonio Cultural de España. Conservación preventiva: revisión de una disciplina*, no. 7, pp. 43-57, 2013.
- [3] I. Argerich, A. García, J.M. González, J.A. Herraéz, P. Hidalgo, S. Prous, I. Pardo, A. Sánchez, M. Sanz, J.A. Serrano, N. Valentín, "Conservación preventiva y Plan de Gestión de Desastres en archivos y bibliotecas", *Ministerio de Cultura, Subdirección General de Publicaciones, Información y Documentación*, 2010. Disponible en: [www.mcu.es/publicaciones/PublicacionesElectronicasMCU3.html](http://www.mcu.es/publicaciones/PublicacionesElectronicasMCU3.html) [Consultado: 01-06-2016]
- [4] J. Gómez, "La Seguridad en los Museos. Introducción, conceptos fundamentales y legislación", 2011.
- [5] M.S. Zamora, "Control de las condiciones ambientales y de iluminación en el Museo Casa Histórica de la Independencia", *Luminotecnia*, nota técnica, pp. 44-48, 2015.
- [6] S. Michalski, "Preservación de las colecciones", *Cómo administrar un museo: Manual práctico*. ICOM, pp. 51-90, París, 2006.
- [7] I. García, "La conservación preventiva de bienes culturales", *Alianza Forma*, pág. 90, 2013.
- [8] B. Culubret, D. Vázquez, "Controlar la humedad relativa y la temperatura en un museo de gran tamaño: un reto", *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*, no. 33, pp. 355-366, 2015.
- [9] J.A. Herráez, G.E. Salamanca, M.J. Pastor, T. Gil, "Manual de seguimiento y análisis de condiciones ambientales", *Plan de Conservación Preventiva*. IPCE, pág. 24, 2014.
- [10] B. Sánchez, M.C. Canela, T. Gómez, "Calidad del aire interior de las vitrinas en el nuevo Museo Arqueológico Nacional" *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*, no. 33, pp. 367-381, 2015.
- [11] X10 G. Bruno, J.A. Herráez, "Estudio de las condiciones lumínicas en el Instituto del Patrimonio Cultural de España", *Informes y Trabajos 8*. Ministerio de Cultura, pp. 63-79, 2012.



**Elisa Fernández Tudela** recibió el título de graduada en Conservación y Restauración de Bienes Culturales por la Universidad de Granada (2015). Actualmente trabajando en obras de restauración. Cursa el Máster de Técnicas de Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico en la Universidad Pablo de Olavide.



# El análisis isotópico y la determinación del origen del alabastro

Joan Escudé González

**Resumen**—El alabastro ha sido utilizado como roca ornamental desde la antigüedad y su presencia en arqueología e historia del arte es significativa. El estudio isotópico puede aportar indicios analíticos de las canteras de procedencia de las que se extrajo el material, hecho que nos puede proporcionar información arqueológica de gran importancia.

**Palabras Claves**— Alabastro, Isótopos, Canteras de origen, Espectrometría de masas.

## 1. INTRODUCCIÓN

Gran parte de los materiales pétreos, minerales y orgánicos posee lo que se podría denominar una “huella” isotópica que los relaciona con su fuente o zona de origen [1]. Así, igual que en algunos casos debemos recurrir a la detección de elementos traza para poder conocer el origen de determinados materiales, el análisis isotópico puede aplicarse de manera similar. Pero, ¿qué es un isótopo?

Todos los átomos que componen el universo se caracterizan por tener un mismo número de protones y electrones característico de cada elemento. Esto se debe a que el átomo debe ser siempre neutro, así pues, cada elemento vendrá determinado por su número atómico, esto es, el número de protones existente en su núcleo. No obstante, un átomo puede tener un número variable de neutrones, de modo que pueden existir átomos de un mismo elemento (es decir, con el mismo número atómico) con diferente número másico (el número másico se obtiene al sumar el número de protones y el número de neutrones, las dos partículas elementales con masa). Cada uno de estos átomos se denominará isótopo (Fig. 1).

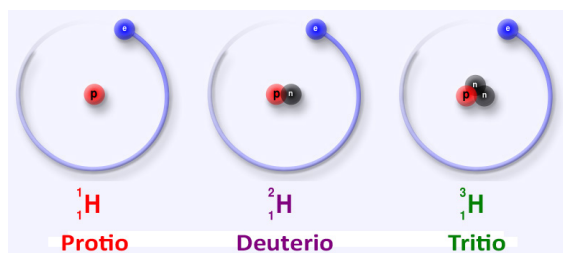


Fig. 1. Los tres isótopos del hidrógeno. El protio, isótopo más abundante, con un solo protón, el deuterio, isótopo estable, con un protón y un neutrón, y el tritio, isótopo radiactivo, con un protón y dos neutrones y que tiene al helio-3 como isótopo radiogénico o “hijo”. Imagen: Wikimedia commons.

Los isótopos de un elemento tienen igual comportamiento químico pero pueden presentar diferencias en los procesos físicos. Algunos isótopos pueden ser inestables y convertirse en otros elementos por desintegración radiactiva. La relación entre estos isótopos radiactivos o “padre” y los isótopos que derivan de ellos, llamados radio-

génicos o “hijo”, es una de las bases de la investigación mediante análisis isotópico.

## 2. EL ALABASTRO

A lo largo de la historia menudo se ha usado el término alabastro para referirse indistintamente a dos tipos de rocas de aspecto parecido pero de naturaleza completamente diferente: el alabastro oriental o calcáreo y el alabastro yesífero. El primero es lo que se conoce geológicamente como travertino, roca compuesta principalmente por calcita, esto es, carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), muy usada en Egipto (de ahí su denominación); el segundo es el que se corresponde con la definición geológica de alabastro y está compuesto casi en su totalidad por sulfato de calcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), es, por tanto, una variedad cristalina del yeso [2]. Ambas rocas tienen propiedades similares en cuanto a translucidez, color y facilidad de talla (Fig. 2) pero es el auténtico alabastro el centro de interés de este escrito.



Fig. 2. Alabastrones de tipología parecida realizados en alabastro yesífero (a) y calcita (b). Fotografías: Metropolitan Museum of Art.

El alabastro es una roca evaporita que se forma por sucesivos procesos de precipitación e hidratación de las formas anhidras e hidratadas del sulfato cálcico en condiciones de presión confinante, especialmente en zonas marinas someras y lagos salinos. Como hemos dicho, está constituido esencialmente por cristales de yeso en un 95-99%, pero también contiene otros minerales como anhidrita, basanita, calcita o filosilicatos de arcilla, que serán las impurezas que darán las distintas coloraciones y tonalidades al material. Del mismo modo, a nivel químico, aparte del sulfato de calcio y del agua, encontraremos

trazas de elementos como el magnesio, el manganeso, el hierro, el potasio o el estroncio [2].

Aunque siempre bajo la sombra del mármol, históricamente el alabastro ha sido ampliamente usado para la realización de obras de arte. Desde la antigüedad, asirios, egipcios, etruscos, fenicios y griegos aprovecharon las posibilidades que un material tan blando podía aportar para la reproducción de los detalles más mínimos, especialmente para esculturas figurativas. Además, en la arquitectura minoica, yesos y alabastros eran considerados materiales de prestigio y usados en las zonas nobles de las edificaciones [3]. Posteriormente, también se usó como recubrimiento de ventanas por sus propiedades translúcidas y para escultura por las posibilidades de policromado y dorado que presentaba. Como desventajas podemos citar su fragilidad y su sensibilidad a los agentes atmosféricos ya que, al ser un sulfato de calcio, es parcialmente soluble en agua [4], [5].

### 3. EL ANÁLISIS ISOTÓPICO EN ARQUEOLOGÍA

No fue hasta mediados del siglo pasado, gracias a los avances en espectrometría de masas, que se estableció que las variaciones en la composición isotópica de los materiales podían aportar información acerca de los mismos. Los principales campos de la arqueología en los que el desarrollo de esta técnica puede ser de utilidad son: la datación isotópica, con las conocidas técnicas del carbono 14 o las dataciones geológicas de uranio/torio; la investigación de paleodietas, gracias a la composición isotópica de carbono, nitrógeno, estroncio y plomo de los huesos de animales y humanos que incluso nos puede indicar, a través de su dieta, el paleoambiente en el que vivieron; y los estudios de procedencia, comparando la “huella” isotópica característica de determinadas canteras con los materiales usados en construcción en épocas pasadas [1].

#### 3.1. Método de análisis

El análisis isotópico se lleva a cabo mediante espectrometría de masas, técnica para la que el elemento tiene que ser químicamente extraído en forma pura del material a analizar [1]. Para ese fin, la metodología de trabajo consiste en limpiar las muestras con agua bidestilada y tras el secado se procede a una molturación en mortero de ágata para obtener una muestra en polvo que será digerida en compuestos ácidos [3], [5]. Se trata, por tanto, de una técnica analítica destructiva, aunque se puede realizar con cantidades de muestra del orden de miligramos [6].

#### 3.2. Análisis de procedencia mediante detección de isótopos

Probablemente es el campo arqueológico más amplio en el que el análisis isotópico puede aportar información significativa. Se puede usar para establecer la procedencia de metales, obsidiana, mármol, yeso y alabastro, vidrio, marfil, pigmentos, etc.; para llevar a cabo estudios de numismática; para establecer el origen de cerámicas por el método de análisis samario-neodimio de los silicatos o para la identificación de falsificaciones. Los dos elementos más usados para este tipo de técnicas son el plomo (Pb) y el estroncio (Sr) [1].

➤ **Plomo:** El Pb es un metal pesado y es un buen candidato al análisis isotópico ya que es relativamente abundante y tiene un bajo tiempo de residencia en agua de mar. Por regla general, los elementos que tienen un tiempo de residencia mayor al tiempo de mezcla de los océanos (unos 1000 años) producen una huella geoquímica demasiado homogénea a nivel global, por lo que acostumbran a no ser válidos para el análisis isotópico. El plomo tiene un tiempo de residencia de unos 80-100 años y sus tres isótopos más abundantes ( $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$  y  $^{207}\text{Pb}$ ) son radiogénicos (hijos de isótopos inestables de uranio y torio) y no son radiactivos, por lo que no desaparecen por desintegración [3]. El análisis isotópico del Pb ha tenido gran desarrollo en el ámbito de la arqueometalurgia, por su común asociación con la plata, el cobre, el hierro o el cinc. La composición isotópica del Pb no cambia durante los procesos de transformación metalúrgica, por lo que la “huella” isotópica de una fuente mineral podrá rastrearse en las escorias y los objetos de metal derivados de la misma [1].

➤ **Estroncio:** El Sr es un metal alcalinotérreo que puede actuar de forma parecida al calcio en muchos minerales. Es un elemento que podemos encontrar disperso en todos los materiales calcáreos, sus sales se encuentran disueltas en aguas interiores y marinas y puede estar presente en rocas sedimentarias e ígneas. A través del suelo y el agua los compuestos de Sr se transmiten a plantas y animales. El Sr tiene cuatro isótopos naturales ( $^{88}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$ ,  $^{87}\text{Sr}$  y  $^{84}\text{Sr}$ ), todos ellos estables [1]. El análisis isotópico del Sr puede aportar información de multitud de materiales como rocas, huesos y marfil. Una de sus aplicaciones principales ha sido la atribución de los orígenes de yesos y alabastros de los palacios minoicos y micénicos de Creta y de la Grecia continental [5].

No obstante, en ocasiones la técnica del análisis isotópico presenta limitaciones. Como vemos en Costaglia *et al.* [3] el análisis isotópico del Pb no sirvió para distinguir entre alabastros toscanos y sicilianos. O en Playà *et al.* [7] vemos como este tipo de análisis es útil para distinguir entre alabastros de la misma época de origen marino y no marino pero es más difícil discernir entre las distintas canteras de alabastros de igual época y origen (Fig. 3).

### 4. EL ALABASTRO Y SU ORIGEN

A pesar de que la mayoría de las antiguas canteras de yesos y alabastros han sido actualmente abandonadas o reconvertidas en explotaciones industriales, su localización por parte de arqueólogos e historiadores es bien conocida. Sin embargo, la procedencia de los materiales yesíferos antiguos que han legado a nuestros días resulta a menudo difícil de establecer [7].

El estudio de la procedencia del alabastro puede ser útil para la verificación de hipótesis acerca de las rutas comerciales históricas basadas en estudios iconográficos y estilísticos y para la identificación, adjudicación de origen y datación de falsificaciones [6].

Para establecer sus canteras de origen, los alabastros pueden analizarse por la composición isotópica de elementos traza como el Sr, presente en unas concentraciones del 0,03-0,5% [5], pero también es posible examinar la composición isotópica de los elementos de compuestos principales como el sulfato. Los isótopos de azufre ( $\delta^{34}\text{S}$ ) y oxígeno ( $\delta^{18}\text{O}$ ) han sido utilizados en numerosas investigaciones, aunque de entre estos dos, es el primero el que aporta informaciones más fiables [5], [6], [7]. La notación  $\delta$  se debe a que los valores para estos isótopos se presentan como una desviación en tanto por mil del ratio de abundancia del isótopo pesado respecto al ligero [6].

Las canteras de alabastro poseen "huellas" isotópicas muy específicas, con valores homogéneos en materiales de un mismo origen y fuertes contrastes con materiales de orígenes diferentes, especialmente en lo que se refiere a los isótopos de Sr y S [6].

La composición isotópica actual de estos elementos en compuestos de yeso es esencialmente idéntica (si no se han producido alteraciones diagenéticas) a la composición isotópica en las aguas marinas o salobres donde estos depósitos se formaron. De este modo, puesto que la variación de la composición isotópica del Sr y del S a través de las diferentes eras geológicas es un dato conocido gracias a los estudios geoquímicos, podremos distinguir entre las "huellas" isotópicas de Sr y S de yesos y alabastros de diferentes épocas de formación [5].

Si se disponen de muestras de las diferentes canteras localizadas y de las diferentes piezas de las que se quiere investigar su origen, se pueden conformar una serie de gráficos en los que podemos ver, por un lado, unas zonas que se corresponden con los rangos de datos de las composiciones isotópicas de las muestras de las canteras y, por otro, los puntos obtenidos por los valores de las piezas analizadas. De este modo se generan una especie de "mapas" de origen (Fig. 3) donde podemos ver en qué zonas se sitúan las piezas analizadas y, por tanto, a qué canteras se puede atribuir su origen [6], [7].

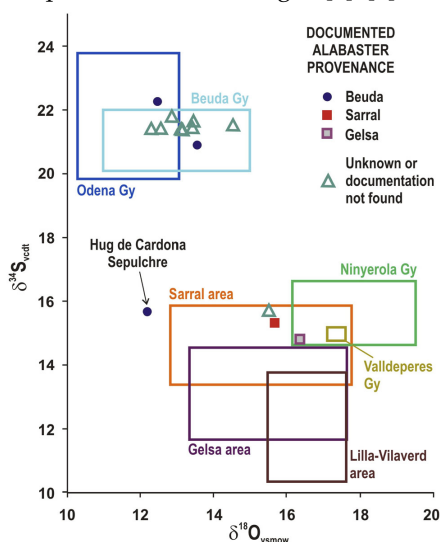


Fig. 3. Tabla de resultados que presenta las ratios de valores de isótopos de azufre y oxígeno de diferentes canteras de la zona de Cataluña (Beuda, Odena, Sarral, etc.) y los valores de diferentes piezas analizadas cuyo origen era conocido en algunos casos y desconocido en otros. [7]

## 5. CONCLUSIONES

El análisis isotópico es una herramienta que puede proporcionar resultados muy interesantes a la hora de investigar el origen de una roca muy usada desde la antigüedad como el alabastro. A pesar de ser una técnica destructiva y con ciertas limitaciones, si se disponen de suficientes muestras de las canteras de las que se sospecha puedan provenir las piezas a examinar, se pueden obtener resultados muy concluyentes o por lo menos descartar algunas de las posibilidades.

El hecho de trabajar con rangos de valores puede generar solapamientos de las zonas correspondientes a las diferentes canteras analizadas, lo que en ocasiones nos impedirá realizar una discriminación entre las piezas. Otras veces, no obstante, la información que obtengamos será lo suficientemente significativa como para establecer conclusiones respecto a las hipótesis planteadas.

## REFERENCIAS

- [1] Z. A. Stos-Gale, "Isotope archaeology: reading the past in metals, minerals, and bone," *Endeavour*, vol. 16, no. 2, pp. 85-90, 1992.
- [2] U. Nuviala, "Caracterización del alabastro," en *I Jornadas de Caracterización y Restauración de Materiales Pétreos en Arquitectura, Escultura y Restauración*, 2002, vol. Tomo I: Ro, pp. 52-55.
- [3] P. Costagliola, M. Benvenuti, F. Corsini, C. Maineri, and I. Mascaro, "Pb-isotope signatures of Italian alabasters: possible application to provenance studies of works of art," *European Journal of Mineralogy*, vol. 13, no. 2, pp. 421-428, Apr. 2001.
- [4] M. Ligęza, E. Pańczyk, L. Rowińska, L. Waliś, and B. Nalepa, "A contribution of INAA to the determination of the provenance of the fourteenth century sculpture," *Nukleonika*, vol. 46, no. 2, pp. 71-74, 2001.
- [5] N. H. Gale, H. C. Einfalt, H. W. Hubberten, and R. E. Jones, "The sources of Mycenaean gypsum," *Journal of Archaeological Science*, vol. 15, no. 1, pp. 57-72, Jan. 1988.
- [6] W. Kloppmann, L. Leroux, P. Bromblet, C. Guerrot, E. Proust, A. H. Cooper, N. Worley, S. A. Smeds, and H. Bengtsson, "Tracing medieval and renaissance alabaster works of art back to quarries: A multi-isotope (Sr, S, O) approach," *Archaeometry*, vol. 56, no. 2, pp. 203-219, 2014.
- [7] E. Playà, M. Inglès, L. Rosell, M. Ortí, M. Artigau, J. Yeguas, R. Manote, and J. Pey, "Determining Gypsum Alabaster Provenance in Sculptural Artefacts: an Application Example," *Macla. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, vol. 16, pp. 50-51, 2012.



**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. En activo desde el año 2008 en los campos de la arqueología, la paleontología y los bienes etnológicos, actualmente está cursando el Máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico de la Universidad Pablo de Olavide.

# Riesgo sísmico y Conservación Preventiva

Ana María Tirado Hernández

**Resumen**— Los fenómenos naturales como los seísmos pueden ser devastadores para el Patrimonio Histórico Inmueble. La Conservación Preventiva se postula como una estrategia necesaria para actuar sobre estos factores externos causantes de deterioro con el fin de minimizar sus efectos perjudiciales en nuestro Patrimonio.

**Palabras Claves**—Conservación, Patrimonio, Preventiva, Riesgo, Seísmos

## 1. INTRODUCCIÓN

Los riesgos y vulnerabilidad que tienen los centros históricos ante la posible presencia de eventos súbitos e impredecibles, como los fenómenos naturales y los generados por la actividad antropogénica, hacen necesaria la prevención basada en el estudio técnico de estas cuestiones.

Los efectos de un seísmo pueden ser devastadores para el patrimonio cultural. Por ello, la conservación preventiva juega un papel muy importante a la hora de mitigar los posibles daños y pérdidas del mismo. La metodología a seguir en la conservación preventiva abarca la revisión bibliográfica, estudios de campo, evaluación de la vulnerabilidad y la toma de medidas para la mitigación de riesgos; todo apoyado por las base de datos SIG.



Fig. 1. Colapso de la Iglesia de Santiago de Lorca, Murcia, tras el seísmo de 2011.

## 2. ¿QUÉ ES LA CONSERVACIÓN PREVENTIVA?

La conservación preventiva es una estrategia de conservación del Patrimonio que propone un método de trabajo sistemático para identificar, evaluar y controlar los riesgos de deterioro de cualquier bien cultural, con el fin de eliminar o minimizar dichos riesgos y actuando sobre el origen de los problemas, evitando su deterioro o pérdida

y la necesidad de aplicar tratamientos drásticos y costosos sobre los propios bienes. [1] Es decir, a través de la conservación preventiva se controlan los riesgos de deterioro, actuando sobre los factores del medio, para evitar que éste se produzca o se acelere y no sobre su efecto en los bienes.

La conservación preventiva es el elemento primordial de cualquier política europea en materia de conservación. [2]

## 3. LA CONSERVACIÓN PREVENTIVA, UN PLAN NACIONAL

Puesto que la Conservación Preventiva es un avance en la preservación del patrimonio cultural, en el año 2011 se consideró necesario la creación de un Plan Nacional de Conservación Preventiva (PNCP), cuyos objetivos son: fomentar la coordinación de esfuerzos y recursos de las administraciones, promover la información y la investigación científica y técnica, y facilitar el acceso de los ciudadanos al patrimonio cultural español.

El PNCP se admite como el instrumento necesario para la generalización de métodos de trabajo, criterios de actuación y herramientas de gestión de la conservación del Patrimonio Histórico; siempre teniendo en cuenta los recursos disponibles y la necesidad de compatibilizar el uso y disfrute de los bienes con su conservación. [3]

## 4. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Los procedimientos para evaluar la vulnerabilidad de los edificios históricos se suelen clasificar en relación con la dimensión de la muestra. Los estudios pasan de puros métodos estadísticos para grandes muestras al análisis estructural detallado cuando se consideran unos pocos edificios.

La vulnerabilidad se puede analizar tras una evaluación cualitativa y/o cuantitativa. [4]

### Evaluación cualitativa de la vulnerabilidad

La evaluación cualitativa de la vulnerabilidad sísmica de un edificio es un procedimiento rápido donde se identifica la disposición estructural y se evalúan las características que pueden afectar a su vulnerabilidad sísmica.

Esta evaluación preliminar es una síntesis de un proceso deductivo basado en experiencia y en la elaboración de un conjunto limitado de datos cualitativos, obtenidos tras una inspección in-situ y tras un conocimiento previo de la historia de la construcción y sus características arquitectónicas y técnicas.

La inspección tiene el objetivo de comprender la morfología del edificio, la relación con su entorno, el estado de conservación y las alteraciones y restauraciones que se han producido en la estructura durante su vida.

Los datos cualitativos se recogen en un modelo simplificado para entender el comportamiento de la estructura y la posible debilidad local y global. En definitiva, se realiza el análisis de los mecanismos más probables de daños y una evaluación cualitativa de la posibilidad de fallo bajo acciones sísmicas.

#### Evaluación cuantitativa de la vulnerabilidad

El primer paso es categorizar los edificios mediante la identificación de estructuras de cargas y sistemas de estructuras horizontales, ya que esto determinará el método analítico elegido. Esta categorización es llevada a cabo tras la visita in situ y la recopilación de información geométrica y estructural de los edificios.

Tras la medición de parámetros específicos y una serie de operaciones matemáticas, se obtiene un sólo valor para cada edificio, indicativo de la calidad general de la evaluación. Estos resultados pueden presentarse en mapas donde estos valores se representan para dar una valoración global de la vulnerabilidad del edificio.

### 5. EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

El objetivo principal de la evaluación de riesgo de los edificios del Patrimonio Cultural es mitigar los riesgos sísmicos asociados con él y fortalecer las medidas pro-activas con el fin de amortiguar el daño de los terremotos en edificios y otras estructuras patrimoniales.

La evaluación de riesgos se expresa en términos de un cierto nivel de daño esperado en comparación con un determinado nivel de peligro previsto. Es decir, la evaluación del riesgo sísmico se basa en la comparación entre las vulnerabilidades de cada edificio (histórica, cualitativa y cuantitativa) y el riesgo sísmico de su zona.

Una vez que se realiza la evaluación y cuantificación del riesgo, se pueden establecer las medidas de mitigación adecuadas y proceder a implementarlas. Las actuaciones previstas dependen de la importancia y uso del bien cultural y de las consecuencias de daño debido a un evento sísmico. El nivel de protección depende, por lo tanto, del valor histórico y arquitectónico del edificio y de su contenido, así como en su importancia estratégica y su nivel de uso.

### 6. CREANDO UN MAPA DE RIESGOS

Un mapa de riesgos es un instrumento que, mediante informaciones descriptivas e indicadores adecuados, permite el análisis de los riesgos.

Que suceda un desastre depende de dos factores:

- *Peligro o Amenaza*: La probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino
- *Vulnerabilidad*: Cualidad de lo que puede ser herido o recibir lesión, física o moralmente. [5]

En primer lugar, se elabora un mapa cualitativo del peligro combinando varios mapas de factores. Entonces se elabora un mapa de la vulnerabilidad, y ambos mapas combinados generan un mapa de riesgos. [6]

El grado del peligro de una zona está determinado por una combinación de factores. Los factores se proporcionan en forma de mapas de parámetro. Cada uno de ellos describe un fenómeno con capacidad para provocar daños, como son el peligro de sismicidad, deslizamientos...etc.

Toda esta información se dispone en un solo mapa mediante suma de todos los mapas con igual ponderación, o asignando diferentes valores de ponderación a los distintos tipos de peligro. La segunda visión es más adecuada puesto que el impacto de los diferentes peligros no es siempre igual de importante. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el valor de ponderación que se da a cada factor es muy subjetivo.

El objetivo final de los mapas de riesgos es elaborar un mapa donde se muestren las áreas donde hay una probabilidad alta de que un desastre ocurra, por lo que también es necesario conocer la *vulnerabilidad*. Aquí, los valores de ponderación están basados en la importancia relativa de cada uno de los elementos de riesgo respecto al daño causado por un desastre.

Según Varnes (1984), el riesgo se puede definir como "el grado esperado de pérdida debido a fenómenos naturales particulares"[7]. Esto sería la multiplicación de *costos\* vulnerabilidad\* período de retorno del fenómeno natural*.

Así, cuando el peligro es muy bajo, no importa si la vulnerabilidad es baja o alta; el riesgo será bajo en todos los casos. Y si la vulnerabilidad es muy baja (el área no contiene ningún elemento importante en el riesgo), el riesgo es siempre bajo.

Estos mapas son una herramienta útil a la hora de elaborar programas y planes de intervención preventiva.

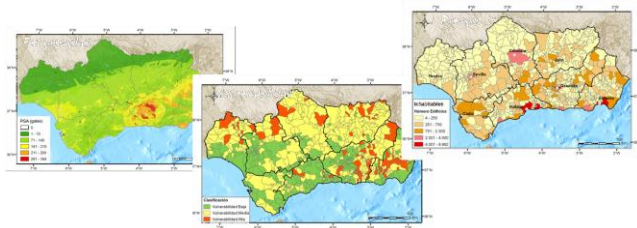


Fig. 2. Mapas de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo sísmico de Andalucía. [8]

## 7. ESTRATEGIAS DE ACTUACIÓN

Las estrategias y protocolos de actuación necesarios para afrontar este tipo de situaciones eficazmente son: [9]

a. Incorporación del patrimonio cultural a la toma de decisiones, fomentando la coordinación interinstitucional y el trabajo interdisciplinario.

b. Aplicación de aspectos técnicos a la prevención de riesgos. Identificar los riesgos a los que está expuesto cada bien cultural y establecer las medidas de prevención necesarias para enfrentarlos, así como, emplear las tecnologías disponibles para la prevención de daños al patrimonio. Incluir criterios de prevención sísmica en todos los planes de emergencia.

c. Importancia del registro, inventario y documentación de la obra, ya que esta información es esencial para la seguridad de la misma al aunar las características fundamentales del bien cultural, de su ubicación y de su adecuada manipulación; con el fin de afrontar apropiadamente cualquier situación de riesgo, deterioro o pérdida.

d. Calidad de la formación y profesionalización en el ámbito de la prevención. Por ejemplo, mediante la realización de cursos dedicados a la identificación de riesgos, la conservación preventiva o a la actuación en caso de emergencias.

e. Fortalecimiento de la relación entre sociedad y patrimonio cultural. Sensibilizar a la sociedad sobre el papel que el patrimonio cultural desempeña en el bienestar social, a la vez que se conciencia sobre la importancia del mismo.

## 8. CONCLUSIONES

Los efectos de un seísmo pueden ser catastróficos para el patrimonio cultural. Por ello, la conservación preventiva juega un papel muy importante a la hora de paliar los posibles daños y pérdidas del mismo.

Aunque las investigaciones y mejoras técnicas continúan en relación a la conservación preventiva, la sismicidad es un fenómeno que no se ha actualizado como otros aspectos

culturales de Europa. Actualmente, parece ser que está algo olvidada cuando nuestra historia está repleta de ejemplos de terremotos destructivos con intensidades por encima de 6 en la escala Richter. [10] Esta omisión por parte de la población y de nuestros dirigentes prevalece a excepción de los ocasionales brotes de interés, que surgen cuando algo como lo ocurrido en el año 2011 en Lorca (Murcia) nos sacude.

Nunca podemos estar tranquilos con los seísmos, deberemos aprender a convivir con ese fenómeno natural. En nuestro medio artificial, las poblaciones y por ende el Patrimonio Histórico, el que es vulnerable.

Europa necesita ampliar y mejorar no solamente su determinista concepción de la ocurrencia periódica de estos fenómenos, sino también las estrategias, planes y programas encaminados a la conservación preventiva de los edificios y monumentos históricos, para intentar minimizar los efectos negativos de los seísmos en nuestro Patrimonio Cultural.

## REFERENCIAS

- [1] Plan Nacional de Conservación Preventiva 2011. Instituto del Patrimonio Cultural de España. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- [2] [3] European Preventive Conservation Strategy. "Hacia una estrategia Europea sobre Conservación Preventiva". ICCROM, EVIEK, Instituto Português de Conservação e Restauro, Centre de la Recherche et de Restauration des Musées de France, Ministry of Cultural Heritage of Hungary. Sep. 2000.
- [4] D'Ayala, D.F; Carriero, A; Sabbadini, F; Fanciullacci, D; Ozelik, P; Akdogan, M; Kaya, Y. "Seismic vulnerability and risk assessment of cultural heritage buildings in Istanbul, Turkey" The 14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, China, Oct. 2008.
- [5] Real Academia Española de la Lengua (RAE).
- [6] García-Gómez, M. "Los mapas de riesgo. Concepto y metodología para su elaboración." *Rev San Hig Púb*, nº68, pp 443-453. 1994
- [7] Varnes, D.J. "Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice. Commission on landslides of the IAEG, UNESCO". *Natural Hazards* No. 3, pp 61. 1984.
- [8] Grupo de Investigación de Ingeniería sísmica. ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía. <http://grupos.topografia.upm.es/> (enlace web)
- [9] "Jornadas de patrimonio en riesgo. Museos y Seísmos". Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. nov 2011
- [10] Aretxabala, A. "Vida universitaria". Web Universidad de Navarra. <http://www.unav.edu/web/vida-universitaria> (enlace web). 2012



**Ana María Tirado Hernández** recibió el título de Licenciada en Ciencias Ambientales por la Universidad Pablo de Olavide (Sevilla) en 2013, y de Máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico en 2015 por dicha Universidad. Ha realizado una Estancia en el laboratorio de biología del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (Sevilla), centrada en el estudio de biodeterioro y tratamientos biocidas sobre distintos materiales de bienes culturales. Actualmente colabora en el grupo de Investigación Art-Risk: *Inteligencia artificial aplicada a la conservación preventiva de edificios patrimoniales*.

# La aplicación de sistemas coloidales en la limpieza de pinturas sobre tela

Alba Leticia González Vílchez

**Resumen**— Las pinturas sobre tela presentan múltiples degradaciones causadas por diferentes agentes. Las problemáticas e obstáculos con los cuales se han ido encontrando los profesionales de la Conservación y Restauración en estos últimos años, tales como la irreversibilidad de algunas intervenciones o la acidificación del soporte textil, han promovido la investigación de nuevas alternativas para intervenir sobre el patrimonio histórico. Nos referimos a la nanociencia, tal y como determinó Pierre Gilles “cada vez que cambiamos de escala aparecen nuevas características.” En los últimos años, múltiples estudios han demostrado que la aplicación de sistemas coloidales consigue resultados válidos en la limpieza, consolidación y desacidificación de obras sobre lienzo.

**Palabras Claves**—Microemulsión, Mayapan, Hidrogeles, Fibras, Nanopartículas, Sistemas coloidales

## 1. INTRODUCCIÓN

El *Center for Colloid and Surface Science* (CSGI) de Florencia ha capitaneado la investigación de la ciencia coloidal aplicada a la conservación y restauración del patrimonio; principalmente en materiales pétreos, papel, pintura mural y sobre tela. Piero Baglioni, químico y profesor de la Universidad de Florencia, ha sido pionero en la búsqueda de nanomateriales para la intervención de obras de arte. Junto con su equipo de investigación han desarrollado un proyecto llamado *Nano for art* en el cual han trabajado para encontrar nuevos sistemas para la conservación de obras.

La pintura sobre tela sufre múltiples alteraciones que están causadas por agentes intrínsecos, como el envejecimiento de la tela o el barniz, o como consecuencia de factores extrínsecos, como condiciones inadecuadas de temperatura y humedad relativa, una mala manipulación o la realización de intervenciones demasiado invasivas, así como la aplicación de materiales no compatibles con los materiales originales de la obra.

Este artículo se basa principalmente en las investigaciones y los avances que se han realizado en la limpieza de los estratos pictóricos y el soporte textil con el objetivo de eliminar los polímeros sintéticos, muy empleados desde mediados del siglo XX en el ámbito de la restauración.

## 2. USO DE LOS POLÍMEROS SINTÉTICOS EN LA CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE PINTURA SOBRE TELA

En la segunda mitad del siglo XX se empezaron a utilizar los polímeros sintéticos en sustitución de los polímeros naturales empleados hasta el momento. Estos materiales, gracias a sus capacidades adherentes, se han aplicado como adhesivos, protectores y consolidantes; pero se ha

tras observar su envejecimiento se ha podido determinar que las colas animales, vegetales así como los barnices, con el paso del tiempo pierden dichas capacidades que les caracterizan. En el caso de las colas, por ejemplo, pueden provocar desprendimientos, descohesión e incluso pueden suponer un factor favorecedor frente a la aparición de microorganismos. Por lo que se refiere a los barnices la alteración más importante es el cambio de color tornándose más amarillento; ésta transformación modifica la percepción de los colores de las capas pictóricas. Los barnices también pueden presentar agrietamiento, perdiendo así su función protectora.

Con la llegada de los polímeros sintéticos apareció una amplia gama de productos que se han ido aplicando hasta la actualidad como adhesivos para reentelados, parches, bandas perimetrales, intervenciones de fijación o consolidación; algunos de los más utilizados son: el Paraloid B 72, Mowilith (DM5, DMC2) y Primal AC33.

Con el paso del tiempo se ha podido comprobar el envejecimiento de estos nuevos materiales haciéndose visible una serie de alteraciones que pueden llegar a comprometer la integridad de la obra; de esta manera se ha diagnosticado, en algunos casos, la necesidad de retirar dichos polímeros sintéticos de las obras. Los polímeros sintéticos presentan cambios de color, pérdida de cohesión, entrecruzamiento e incluso pueden llegar a liberar productos ácidos que catalizan con la hidrólisis de la celulosa, lo que supone una pérdida de las propiedades mecánicas de la tela [1].

La reversibilidad es uno de los pilares de la conservación y restauración del patrimonio, por eso, todas las intervenciones deberían presentar una buena reversibilidad tras su aplicación. Se ha observado que algunos polímeros sintéticos se vuelven insolubles con el paso del tiempo a causa de las reacciones de oxidación y reticulación del mismo [2]. Esta problemática refleja la necesidad de investigar nuevos sistemas de limpieza.

### 3. EXPERIMENTACIÓN CON SISTEMAS COLOIDALES

#### 3.1. Limpieza con líquidos nanoestructurados

La limpieza es siempre un proceso complicado ya que supone la eliminación de un estrato de manera irreversible, por eso, es necesario que esta acción sea siempre muy controlada evitando dañar otros estratos de la obra.

El grupo de investigación del CSGI propone el uso de microemulsiones y soluciones micelares para la eliminación de contaminantes y polímeros sintéticos presentes en las obras sobre lienzo.

Las microemulsiones presentan una gran capacidad de detergencia además de una alta capacidad de disolución de materiales insolubles en agua. Dependiendo del tensioactivo éste aportará unas características u otras a la solución coloidal. La aplicación de un tensioactivo a la microemulsión provoca la formación de micelas, las cuales interaccionarán con el polímero sintético que queremos retirar. Dichas micelas actúan como contenedor del medio dispersante que se ocupará de disolver el polímero para separarlo de la superficie de la obra [3], [4]. La capacidad de detergencia de la microemulsión dependerá de la superficie de contacto que tengan las micelas, por lo tanto, cuanto más pequeñas sean mayor superficie podrán cubrir.

#### 3.2. Limpieza con geles

La presencia de humedad excesiva en el sistema de intervención puede desencadenar alteraciones en el lienzo, como por ejemplo deformaciones. En los años 80 Richard Wolbers planteó el uso de geles para este tipo de intervenciones con el objetivo de realizar una actuación más controlada.

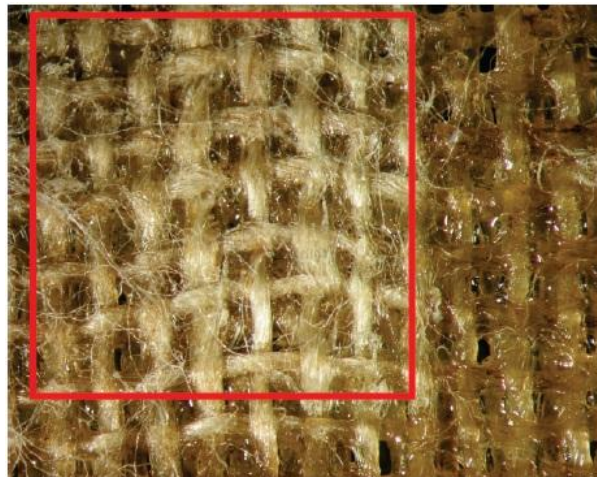
El uso de geles presenta ventajas respecto a la aplicación del material y el control de la intervención. En el ámbito de la conservación y restauración de obras se emplean los geles de tipo químico, unidos por enlaces covalentes, ya que éstos tienen unas interacciones más fuertes que los geles físicos.

Los geles son redes tridimensionales de polímeros con una gran capacidad retentiva. Regulando el tamaño de dicha red puede conseguirse una mayor o menor liberación o absorción de líquidos. Los geles químicos cuentan con una red sólida la cual puede regularse mediante el control de la reticulación durante la reacción de polimerización [3].

Desde el CSGI se ha investigado con la aplicación de geles formados por microemulsiones y soluciones micelares; además proponen la adición de nanopartículas de hidróxido. Dichos geles contribuyen a un mayor control de la dispersión de las nanopartículas. Además se ha comprobado que la estructura de la microemulsión no varía cuando se añade al gel [3].

A continuación se exponen dos pruebas realizadas por sobre lienzos donde las fibras se encontraban impregnadas con polímeros sintéticos empleados en intervenciones de reentelado. Ambos ensayos se han realizado desde el Departamento de Química de la Universidad de Florencia junto con el CSGI. El primer caso se trata de un lienzo de

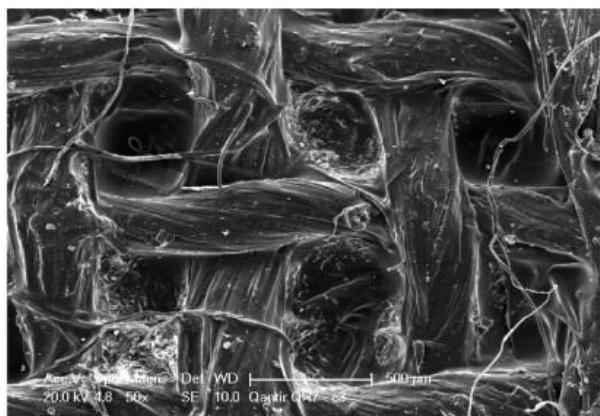
lino al cual se le había aplicado Mowilith DMC2 como adhesivo en una intervención de reentelado. Para su eliminación se empleó un gel cargado con el sistema Mayapan [3]. Se aplicó el gel para que las micelas interactuaran con el polímero retirando así una parte del material. Una vez apartado el gel se eliminó el resto del adhesivo con una limpieza mecánica muy suave. El resultado se puede apreciar fácilmente en la **Figura 1**.



**Fig.1** Lienzo de lino impregnado con Mowilith DMC2 El recuadro rojo delimita la zona intervenida con gel utilizando el sistema Mayapan. Puede observarse el resultado tras la limpieza a partir de la cual se ha conseguido retirar parte del adhesivo [3].

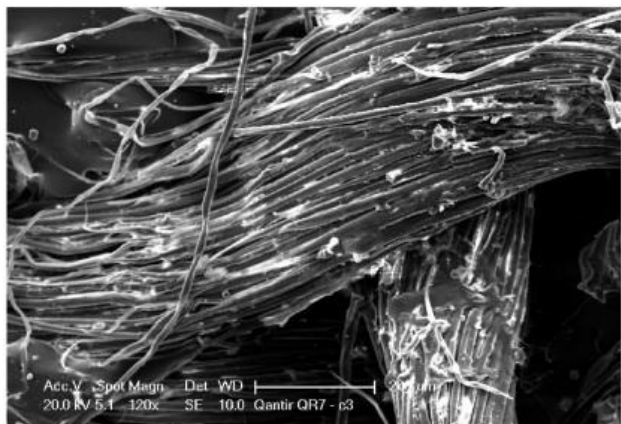
En el segundo caso la tela de reentelado había sido adherida al soporte original también con Mowilith DMC5. Para llevar a cabo la limpieza se intervino con la aplicación de dos hidrogeles de acrilamida cargados con etil acetato y propileno carbonato (EAPC); éstos contaban con el mismo grado de reticulación pero diferente concentración. El gel con mayor concentración consiguió un mejor resultado gracias a una estructura más compacta que le proporciona una mayor capacidad de absorción y retención [1].

Tras la aplicación del gel se observaron las muestras con microscopio electrónico de barrido y espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier con reflectancia total atenuada (SEM y FTIR-ATR).



**Fig.2** Vista SEM de fibras de lino impregnadas de adhesivo antes de la limpieza con hidrogeles de acrilamida [1]





**Fig.3** Vista SEM de fibras de lino después de la eliminación del polímero Mowilith DMC5 [1].

Como se puede apreciar en las **Figuras 2 y 3**, con estas técnicas analíticas se pudo determinar que el polímero sintético había sido totalmente eliminado y además el gel no había dejado residuos en el soporte.

Esta misma red a base de acrilamida está siendo estudiada para fabricar un gel constituido por nanopartículas férricas de cobalto ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ) con el objetivo de crear un gel magnéticamente sensible para la eliminación de la resina Paraloid B 72. Este gel puede eliminarse fácilmente con la presencia de un campo electromagnético [1].

### 3.3. Otros tratamientos con sistemas coloidales

Se han desarrollado otras líneas de investigación para la consolidación y desacidificación de lienzo con nanopartículas de hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  e hidróxido de magnesio  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  [5], [6]; para esta última intervención se está investigando también con hidróxido de bario  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ [1]. Como conclusión respecto a estas otras investigaciones podemos decir que hasta el momento las nanopartículas de hidróxido de magnesio son las que han mostrado un mejor resultado, ya que éstas presentan un menor tamaño y por lo tanto una mayor penetración en el material.[1]

## 4. CONCLUSIONES

A partir de las investigaciones realizadas se ha podido determinar que el uso de sistemas coloidales muestra múltiples ventajas para la conservación y restauración de patrimonio. Por un lado, no alteran las propiedades físico-químicas de los materiales y, gracias a la alta compatibilidad con los materiales originales de la obra, mejora la durabilidad de las intervenciones. Además, el uso de moléculas anfífilas permite emplear menos cantidad de disolvente, lo que supone menos toxicidad y un menor impacto medioambiental.

La alta capacidad de retención, la lenta liberación de fluidos y la transparencia de los geles consiguen que la limpieza con estos sistemas nanoestructurados sea una acción no solo muy controlada sino que además reduce notablemente la acción de limpieza mecánica.

## AGRADECIMIENTOS

Quería agradecer a Alberto Vílchez, Marina Erra, Susana Vílchez y Jonatan Miras su colaboración y aportaciones.

## REFERENCIAS

- [1] P. Baglioni, D. Chelazzi, R. Giorgi and G. Poggi, "Colloid and Materials Science for the Conservation of Cultural Heritage: Cleaning, Consolidation, and Deacidification" *Langmuir*, Vol 29. ACS Publications, pp 5110-5122, 2003, doi: 10.1021/la304456n
- [2] D. Chelazzi, A. Chevalier, G. Pizzorusso, R. Giorgi, M. Menu, P. Baglioni "Characterization and degradation of poly(vinyl acetate)-based adhesives for canvas paintings, Polymer Degradation and Stability" *Nano for art*. Vol, 107 2014. Doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.12.028
- [3] R. Giorgi, M. Baglioni, D. Berti and P. Baglioni "New Methodologies for the Conservation of Cultural Heritage: Micellar Solutions, Microemulsions, and Hydroxide Nanoparticles" *Accounts of chemical research*, vol, 43, no. 6. ACS Publications, pp 695-704, June 2010, doi : 10.102/ar900193h
- [4] M. Baglioni, R. Giorgi, D. Berti and P. Baglioni "Smart cleaning of cultural heritage: a new challenge for soft nanoscience" *Nanoscale*, Vol 4. The Royal Society of Chemistry, pp 42-53, July 2011, doi : 10.1039/C1NR10911A
- [5] R. Giorgi, L. Dei, M. Ceccato, C. Schettino and P. Baglioni, "Nanotechnologies for Conservation of Cultural Heritage: Paper and Canvas Deacidification" *Langmuir*, Vol 18, Mo. 21. ACS Publications, pp 8198-8203, July 2002, doi : 10.1021/la025964d
- [6] P. Baglioni and R. Giorgi "Soft and hard nanomaterials for restoration and conservation of cultural heritage" *Soft matter*, Vol 2. The Royal Society of Chemistry, pp 293-303, January 2006, doi : 10.1039/B516442G



**Alba Leticia González Vílchez** recibió el título de Graduada en Conservación y Restauración de Bienes culturales por la Universidad de Barcelona en 2015. Actualmente se encuentra cursando el Máster de Diagnóstico del estado de conservación del Patrimonio Histórico en la Universidad Pablo de Olavide.

# La fotografía y su análisis mediante Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)

Elisa Fernández Tudela

**Resumen**— La necesidad de aplicación de técnicas no destructivas en el estudio de la fotografía histórica se hace necesario debido a su fragilidad y características. Dentro de estas técnicas la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier cumple con los requisitos, permitiendo hacer análisis no destructivos sobre los materiales que conforman las fotografías y permitiendo identificarlos.

**Palabras Claves**— Fotografía, Análisis, Infrarrojo, ATR-FTIR, Patrimonio.

## 1. INTRODUCCIÓN

La fotografía se trata de un documento histórico-artístico que forma parte de la historia desde el siglo XIX [1]. Su necesidad de estudio tanto a nivel histórico como material viene condicionado por su fragilidad. Esta fragilidad hace que las técnicas de estudio no destructivas sean las principales protagonistas de su metodología de estudio. Dentro de estas técnicas se encuentra la espectroscopía donde se enmarca la técnica de la que tratará este trabajo, la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, en su variante en la que se trabaja con reflexión total atenuada (FTIR-ATR), ya que esta no precisa de preparación ni toma de muestra por lo que se puede considerar no destructiva, y cuyo único requisito es que el instrumento debe de estar en contacto con el material [2].

Se estudiarán diferentes casos prácticos y sus resultados en los diferentes materiales que forman parte de los documentos fotográficos.

## 2. LA FOTOGRAFÍA

### 2.1. Evolución histórica

La historia de la fotografía nace en 1839, con la aparición del primer procedimiento fotográfico llamado daguerrotipo, a este le precedieron los estudios de materiales fotosensibles y el experimento con la cámara oscura, estando esta última ya presente en la publicación de Cesare Cesariano en 1521 [3]. Desde entonces y hasta el momento la fotografía ha ido evolucionando rápidamente, sufriendo cambios tanto en los materiales empleados como en los métodos de captación de las imágenes. El estudio analítico de estas técnicas ha ayudado a establecer una cronología histórica, además del conocimiento de los materiales que se han empleado a lo largo de la historia.

### 2.2. Materiales

Una fotografía cuenta con tres elementos básicos en forma de capas: sustancias formadoras de la imagen, emulsión (no siempre) y soporte [4]. La identificación de estos permite establecer la técnica o procedimiento fotográfico así como adoptar una metodología de intervención a la hora de restaurar o tratar las fotografías. El principal formador de la imagen desde el inicio y hasta los años 70 será la plata. Según el tipo de imagen final se puede clasificar la plata como fotolítica, de revelado físico o filomentaria. Las alteraciones más comunes y peligrosas en las fotografías a base de plata se deben a los factores intrínsecos de los materiales que la forman, entre las más comunes están la óxido-reducción y la sulfuración. Además también existen otros materiales formadores de la imagen como puede ser el hierro en el caso del cianotipo.

Entre los soportes comunes se pueden encontrar papel, vidrio, metal y plásticos transparentes. En cuanto a las emulsiones más típicas son las de colindón, gelatina y albúmina, aunque esta puede estar ausente como en el caso del daguerrotipo.

## 3. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER

### 3.1. Fundamentación

La microscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) se trata de una técnica que se basa en el estudio de los materiales a partir de la identificación de sus moléculas. Para esta identificación se estudian los enlaces químicos y sus vibraciones características dentro del intervalo de radiación infrarroja.

Cuando la radiación infrarroja incide sobre el material a estudiar esta radiación puede ser reflejada, absorbida, transmitida o difractada. La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier estudia la radiación absorbida por las moléculas. Esta radiación es la causante de los espectros infrarrojos característicos de cada material que

reflejan las vibraciones moleculares y se muestran en forma de picos en el espectro.

Esta técnica normalmente necesita toma de muestra pero existe una variante que no lo necesita. Esta se trata de la espectroscopía infrarroja por reflectancia total atenuada (ATR-FTIR). Mientras que en la técnica básica FTIR las muestras se analizan según su naturaleza empleando discos transparentes, pastillas o porta muestras de sal (normalmente de NaCl o KBr), en la variante ATR-FTIR la muestra se analiza empleando un accesorio ATR que consiste en proyectar el haz IR mediante un cristal de alto índice de refracción que debe de estar en contacto con la muestra [5]. Además a esta variante se le puede acoplar un microscopio que permite asociar características visuales a picos del espectro que pueden llegar a ser muy parecidos y difícilmente distinguibles [6].

### 3.2. Aplicación en el estudio de la fotografía

A continuación se expondrán diferentes casos prácticos del uso de la técnica en el estudio de fotografías. Como se verá, no solo se centra en el estudio material de los soportes y componentes fotográficos, sino que además también se emplea en conjunto con otras técnicas para el estudio de factores de alteración y productos de estos [7].

El reconocimiento de la presencia de aglutinantes y otros productos de las fotografías es uno de los ejemplos más comunes de aplicación. Casoli y Fornaciari [7] han empleado esta técnica para el reconocimiento de la composición de las fotografías de antiguos fotógrafos italiano pertenecientes al Archivo Fotográfico del museo Civivi (Reggio Emilia, Italia). Con el estudio se han podido identificar aglutinantes proteicos y sales inorgánicas, identificándose así dos tipos de tratamiento de las superficies fotográficas. Con la simple observación microscópica este estudio de tratamientos superficiales se hace incompleto ya que como en el caso del colodión, gracias al ATR-FTIR se han podido identificar sustancias proteicas que dan a entender que se emplearon técnicas mixtas no apreciables únicamente mediante microscopio. También se encontraron materiales inorgánicos como sulfato de bario y calcio, típicos de los procesos fotográficos. En uno de los casos fue posible incluso identificar bandas del producto de alteración de la celulosa en un papel amarillento.

Otro ejemplo también sobre fotografías italianas, en este caso datadas entre 1890 y 1910, ha permitido caracterizar los materiales de cinco fotografías [6]. Para ello se realizaron patrones de los materiales puros y se analizaron otras piezas de la colección para obtener mejores resultados y poder contrastarlos. En este caso la técnica resultó útil para identificar la presencia de colodión (nitrate de celulosa) como aglutinante, diferenciándolo de otras técnicas a base de gelatina o albúmina, ya que estas dos últimas cuentan con picos característicos en la región de  $1580\text{ cm}^{-1}$ , mientras que el colodión presenta un pico característico en  $1300\text{ cm}^{-1}$ , además de picos característicos de los materiales plastificantes añadidos como glicerol, alcanfor o aceite de ricino.

En la Figura 1 se puede observar el espectro de tres fotografías. Dos de ellas (Paoli 1 y Eggert 2) presentan los picos característicos del colodión. Mientras que en la ter-

cera (Eggert 3), se puede observar el pico en  $1580\text{ cm}^{-1}$  típico de la albúmina o gelatina.

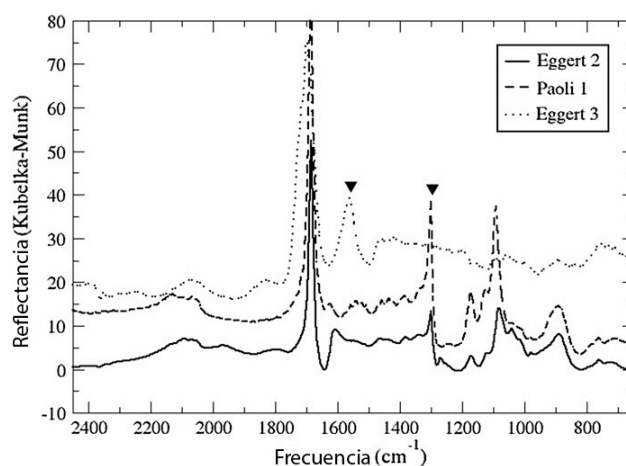


Fig. 1. Espectro de análisis ATR-FTIR de tres fotografías [6].

Para concretar más si se trataba de albúmina o gelatina se estudió la región entre  $1400$  y  $1500\text{ cm}^{-1}$ , ya que aún siendo el espectro muy parecido entre ambos, la gelatina presenta señales más fuertes en  $1460\text{ cm}^{-1}$ , mientras que la albúmina es más intensa en  $1420\text{ cm}^{-1}$ . Por lo que se pudo determinar que se trataba de gelatina.

Otra posible aplicación de la técnica en la fotografía es la revisión y control de tratamientos. Un ejemplo es el trabajo llevado a cabo por Ghiocel et al. [8] sobre restauración de fotografías con plasma frío de alta frecuencia. Este tratamiento físico de restauración de fotografías consiste en la activación neutrónica mediante el uso de plasma frío de alta frecuencia con el fin de restaurar la capa fotosensible de plata. Esta técnica tiene un inconveniente y es que si la fotografía original es muy frágil la nueva solución puede degradar irreversiblemente la emulsión fotográfica, por lo que es preciso controlar en todo momento el estado de la fotografía mediante técnicas analíticas. En este caso la ATR-FTIR se ha empleado para identificar las emulsiones originales y para investigar el efecto de la especies activas del plasma sobre estas. Se pudo observar los efectos de reticulación (Cross-linking) de la gelatina y la albúmina, especialmente entre los puentes de hidrógeno de los grupos amino. En la Figura 2 se pueden observar las diferencias en las regiones  $3700\text{--}2700\text{ cm}^{-1}$  y  $1200\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$  de una de las fotografías con gelatina.

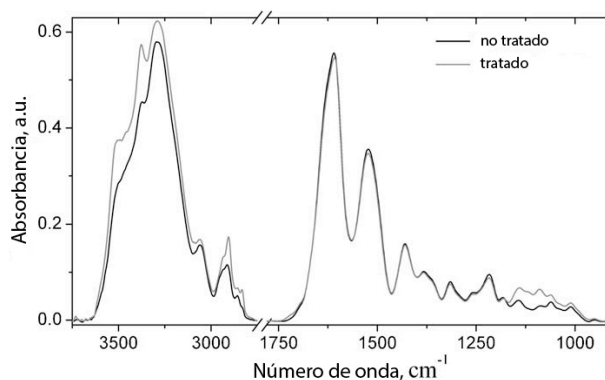


Fig. 2. Análisis ATR-FTIR antes y después del tratamiento con plasma [8].

Un último caso de aplicación de la técnica que se verá en este estudio no es realmente sobre material fotográfico, sino sobre el material cinematográfico perteneciente al patrimonio histórico de Cuba [9]. La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier ayudó a identificar los materiales de las películas, en una cara compuesta por gelatina y en la otra por un soporte a base de acetato de celulosa. Aunque la técnica no permitió establecer el tipo de gelatina del que se trataba si se pudo observar una anomalía en la banda de  $1040\text{ cm}^{-1}$  de los espectros de las zonas donde se conocía la presencia de ataque de hongos a nivel microscópico, y que según referencias en el estudio se puede atribuir a polisacáridos de las paredes celulares de los hongos.

#### 4. CONCLUSIONES

Observándose los estudios mediante FTIR más actuales aplicados al patrimonio fotográfico se puede entender que se trata de una técnica muy útil, que gracias al complemento ATR permite analizar fotografías sin la necesidad de muestras. Además como se han visto en los casos prácticos tiene diferentes usos que van desde el análisis composicional hasta la detección de productos de alteración. A pesar de esto es una técnica menos empleada que otras pero que en ocasiones aporta importantes resultados.

#### REFERENCIAS

- [1] E.L. Lara, "La fotografía como documento histórico artístico y etnográfico: una epistemología", *Revista de Antropología Experimental*, no. 5, tex. 10, 2005.
- [2] N. Ferrer, "Comparación de diversos métodos de análisis basados en la espectroscopia infrarroja y su aplicación a la caracterización de muestras procedentes del Patrimonio Cultural", *Actas del II Congreso del GEIIC. Investigación en Conservación y Restauración*, Universidad de Barcelona, noviembre 2005.
- [3] Web Wikispace:  
<https://sergio19.wikispaces.com/file/view/HISTORIA+DE+LA+FOTOGRAFIA.pdf> [Consultada: 26/05/16]
- [4] A.M. Fuentes de Cía, J. Robledano, "La identificación y preservación de los materiales fotográficos", *Manual de documentación fotográfica*, cap. 3, pp. 43-76, 1999.
- [5] Web de la Universidad de Alicante:  
<http://ssti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-rayos-x-de-monocristal-y-espectroscopias-vibracional-y-optica/espectroscopia-infrarroja.html> [Consultada: 26/05/16]
- [6] B. Cattaneo, D. Chelazzi, R. Giorgi, T. Serena, C. Merlo, P. Baglioni, "Physico-chemical characterization and conservation issues of photographs dated between 1890 and 1910", *Journal of Cultural Heritage*, no 9, pp. 277-284, 2008.
- [7] A. Casoli, S. Fornaciari, "An analytical study on an early twentieth-century Italian photographs collection by means of microscopic and spectroscopic techniques", *Microchemical Journal*, no 116, pp. 24-30, 2014.
- [8] E. Ghiocel, A. Ioanida, D. Emilia, C. Popescua, I. Stoica, "Surface changes upon high-frequency plasma treatment of heritage photographs", *Journal of Cultural Heritage*, no. 12, pp. 399-407, 2011.
- [9] I. Vivar, S. Borrego, G. Ellis, D.A. Moreno, A.M. García, "Fungal

biodeterioration of color cinematographic films of the cultural heritage of Cuba", *International Biodeterioration & Biodegradation*, no. 84, pp. 372-380, 2013.



**Elisa Fernández Tudela** recibió el título de graduada en Conservación y Restauración de Bienes Culturales por la Universidad de Granada (2015). Actualmente trabajando en obras de restauración. Cursa el Máster de Técnicas de Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico en la Universidad Pablo de Olavide.

# Uso LIBS en el Patrimonio Arqueológico sumergido

Cristina Gómez Fernández

**Resumen**—En los últimos años el Patrimonio Arqueológico ha cobrado la importancia que se merece, especializándose cada vez más las técnicas de diagnóstico. Adquiere especial relevancia la técnica LIBS para diagnosticar y analizar dicho patrimonio ya que los análisis se pueden realizar in situ.

**Palabras Claves**— LIBS, Láser, Ablación, Arqueología, Patrimonio, Sumergido, Diagnóstico, Análisis.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas basadas en láser aparecieron hace más de veinte años como método de análisis del Patrimonio Histórico. Hoy en día sigue sin ser una técnica muy extendida, ya que la mayoría de laboratorios continúa prefiriendo el uso de rayos X [1]. En la actualidad, cada vez cobra más importancia este tipo de métodos, existiendo numerosas técnicas basadas en láser. Entre las más importantes encontramos la espectroscopía Raman, que sirve para realizar un análisis molecular y conocer la composición estructural; LMS, que realiza un análisis molecular y elemental; velocimetría Doppler, con la que se puede realizar un diagnóstico estructural; LIF, para obtener un análisis molecular de los materiales [1] o finalmente la técnica LIBS, que se desarrollará a lo largo de este artículo.

## 2. TÉCNICAS LIBS

### 2.1. Origen y Desarrollo

La primera referencia que se tiene de la técnica LIBS, Laser Induced Breakdown Spectroscopy, se puede remontar a los años 60 cuando aparecieron por primera vez análisis de plasmas al interactuar el láser con medios gaseosos o sólidos [2]. Durante los años posteriores fue evolucionando, hasta llegar a 1997, año en que se empleó por primera vez para analizar los pigmentos de obras de arte [2].

La técnica LIBS se basa en la generación de plasma mediante ablación láser y en analizar espectroscópicamente su emisión. Una muestra se somete a la acción de un pulso láser generando un plasma con alta temperatura y densidad electrónica (MIZIOLEK; PALLESCI; SCHECHTER, 2006; RADZIEMSKI; CREMERS, 1989). La ablación láser consiste en separar parte del material de la muestra que se está analizando y mediante LIBS se analiza la emisión producida por el plasma [1]. Gracias a esto se puede determinar las características atómicas del material. Con las líneas espectrales se pueden identificar los elementos que componen la muestra y con las intensidades espectrales se conoce la "abundancia elemental", tantos los elementos mayoritarios como las trazas [3].

### 2.2. Usos LIBS

La técnica LIBS es un método prácticamente no destructivo, fácil de usar y permite conocer los resultados en tiempo real. Debido a estas ventajas cada vez se está popularizando más su uso. Se pueden analizar todo tipo de muestras, sin importar tamaño o forma, teniendo aplicaciones tanto en el sector patrimonial como en el industrial. De esta forma, se pueden analizar metales, vidrios, cerámica, madera o pintura [1]. Esta técnica se puede utilizar sola o combinándola con otras. Además existe la posibilidad de incorporarla a equipos portátiles, por lo que se puede realizar prácticamente en cualquier lugar así como controlarla y obtener los datos de forma on line [4]. Con las técnicas LIBS se elimina la necesidad de toma de muestras previas, por lo que se reduce el tiempo de análisis.

### 2.3. Tipos de equipos

Existen varios tipos de equipos, pudiendo ser portátiles o de laboratorio. Para que un equipo se considere portátil es necesario que sea fácil de transportar y de automatizar, tener independencia energética y poseer la capacidad de analizar en entornos reales [1] sin la necesidad de condiciones hipotéticas que se establecen en los laboratorios. En la figura 1 se muestra un equipo de laboratorio y en la figura 2 un equipo portátil [1].

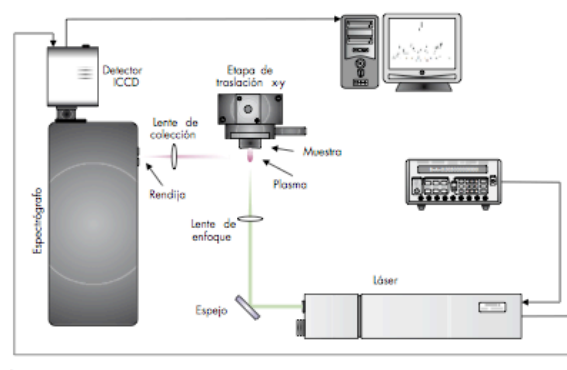


Fig. 1. Equipo de laboratorio [1].

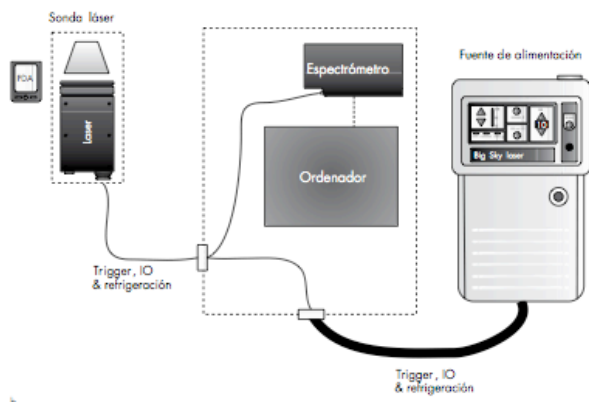


Fig. 2. Equipo portátil [1].

En los equipos portátiles tanto el operador como el sensor LIBS se encuentran junto a la muestra. En los remotos la luz láser emitida por el plasma se transmite a través de un cable de fibra óptica. En este caso, el técnico encargado se encuentra alejado de la muestra y son muy útiles cuando la muestra a analizar no está accesible o existe riesgo para la integridad del técnico [5]. Otro tipo de equipo serían los empleados para realizar análisis a distancia en los que el técnico encargado se encuentra lejos. En este caso la señal se transmite a través del aire o del agua. Este tipo de equipos se suelen emplear para analizar grandes superficies o exploraciones espaciales [5]

### 3. USOS EN PATRIMONIO

Gracias a todas las ventajas mencionadas anteriormente como la facilidad de analizar cualquier muestra, la exactitud, precisión o rapidez de resultados, el uso de las técnicas LIBS cobra especial relevancia en el diagnóstico del Patrimonio Cultural. Algunos de los materiales más analizados son los metales, cerámicas, biomateriales, rocas o pinturas [5]. Pudiéndose conocer la composición química de la pieza y obtener información acerca de la autenticidad, de los materiales empleados y de su origen. Por ejemplo, si se analiza una cerámica arqueológica con las técnicas LIBS se conocerá en el mismo análisis datos sobre los pigmentos utilizados en su decoración y un microanálisis del material cerámico [2] y [5].

Estas técnicas también se pueden aplicar para monitorizar los procesos de limpieza con láser, junto con otras técnicas de espectroscopia para identificar metales, datar objetos en función de su composición e incluso aplicarla en estudios de antropología evolutiva [2].

#### 3.1. Arqueología Subacuática

Actualmente, se presta especial atención a los yacimientos arqueológicos sumergidos. Contienen una gran información histórica aunque en la mayoría de los casos es difícil de detectar, puesto que los restos arqueológicos están integrados con el paisaje debido al paso del tiempo y a la acción biológica [6]. Estos yacimientos combinados con documentos de la época presentan una valiosa información para conocer más detalles [5], por ejemplo en el caso de barcos hundidos por guerras, piratería o tesoros desaparecidos.

Tradicionalmente, para analizar las piezas arqueológicas ha sido necesario el traslado a laboratorios, presentando esto un inconveniente puesto que a veces no es posible por ejemplo

debido al tamaño o a la legislación. En otras ocasiones, incluso es perjudicial para la pieza ya que al alterar el medio en el que se encuentra puede deteriorarse rápidamente [6]. Debido a esto cobra especial relevancia las técnicas de diagnóstico que se pueden realizar in situ. Con técnicas LIBS se pueden realizar reconocimiento de objetos sólido que se encuentren en medios líquidos, obteniendo mejor resultado con sistemas LIBS de doble pulso [3].

#### 3.2. Centro Arqueológico Subacuático

En 1992 comenzó el proyecto del Centro Arqueológico Subacuático de Cádiz (CAS) y desde 1997, junto con el Instituto Andaluz de Patrimonio se catalogó el Patrimonio Acuático Andaluz y se declararon "43 zonas de Servidumbre Arqueológica" [5]. En la figura 3 aparecen las zonas declaradas protegidas debido a que se tienen los suficientes datos como para considerar que son puntos de yacimientos arqueológicos y poder adoptar las medidas de protección necesarias [5]. Desde ese momento, el Centro Arqueológico Subacuático se encarga de proteger, conservar, restaurar y dar a conocer los bienes del patrimonio arqueológico sumergido de Andalucía [7].

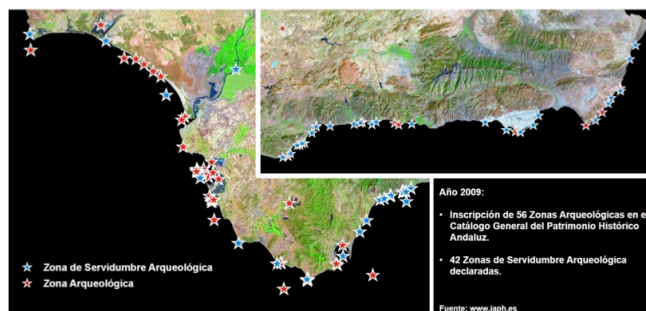


Fig. 3. Zonas de servidumbre arqueológica del Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz, 2009 [5].

#### 3.3. Proyecto AQUALA

Un ejemplo de proyecto realizado íntegramente sin extraer los objetos de su ubicación marina es el Proyecto AQUALA, desarrollado por el laboratorio láser de la Universidad de Málaga [5].

El proyecto tuvo tres objetivos. El primero de ellos fue aplicar la técnica LIBS en yacimientos arqueológicos subacuáticos para poder identificar y diagnosticar los objetos. El segundo, desarrollar un sistema portátil que permitiese su inmersión en el agua. Y finalmente como tercer objetivo poder estudiar las condiciones que necesitarían para identificar y conservar el patrimonio sumergido [6].

Para llevar a cabo este estudio se fabricó un sistema LIBS remoto que iba ubicado en un barco y mediante fibra óptica podía analizar objetos que se encontraban en una profundidad de hasta 50 metros. Con este nuevo sistema se analizó material cerámico, aleaciones de bronce, mármol e hierro ubicados en el pecio de San Pedro de Alcántara, Málaga y restos del Bucentaure, buque hundido durante la batalla de Trafalgar en Cádiz [6].

Gracias al uso de un equipo LIBS se pudo reconocer restos arqueológicos que a simple vista no eran visibles. Los materiales que se encontraron fueron analizados con un rango espectral de 350-550nm. Se realizó una media de 100 pulsos

láseres en cinco posiciones diferentes de cada muestra para poder obtener resultados representativos. Con estos análisis se obtuvo la composición química de los materiales y sus características principales, por lo que se pudo realizar una primera hipótesis del lugar de procedencia [6]. En la imagen 4 aparece uno de los buzos inspeccionando restos encontrados.



Fig. 4. Buzo inspeccionando mediante LIBS el pecio de San Pedro de Alcántara [6].

- /index.php/phinvestigacion/articulo/view/117, [visitado 19-02-2016].
- [7] B. Aido Almagro, "El centro de Arqueología Subacuática y la conservación del patrimonio sumergido", *Bajo el mar; la restauración de las cerámicas de La Ballenera, Consejería de Cultura, Junta de Andalucía*, pp. 9-12, CA- 683-04.
- [8] Web del Boletín Oficial del Estado, num. 55, Jueves 5 de marzo de 2009, sec. I, pag 22706: <https://www.boe.es/boe/dias/2009/03/05/pdfs/BOE-A-2009-3787.pdf> [visitado 22-02-1989].



**Cristina Gómez Fernández** recibió el título de Arquitecto por la Universidad de Sevilla en 2014. Actualmente trabaja como arquitecta colaborando en varios proyectos y cursa el Máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico en la Universidad de Pablo de Olavide.

## 5. CONCLUSIONES

Hay que tener en cuenta que el patrimonio arqueológico sumergido se ha reconocido como tal no hace mucho por lo que aún no existen muchos proyectos y no se tiene un gran conocimiento de este campo. En 2001 la UNESCO estableció la necesidad de "garantizar y fortalecer la protección del Patrimonio Cultural Subacuático in situ" [8]. El LIBS se considera una de las técnicas más adecuadas para este tipo de yacimientos ya que la principal ventaja es que se puede analizar el objeto sumergido sin tener que extraerlo de su localización y poder conocer el material del que está formado [3].

## REFERENCIAS

- [1] F. J. Fortes, Román, L. M. Cabalín Robles, J. J. Laserna Vázquez, "Aplicaciones de las técnicas láser en análisis y conservación del patrimonio", *Revista PH, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, vol. 74, pp. 74-93, mayo 2010.
- [2] F. Alvira, "Espectroscopia de plasma inducidos por láser (LIBS) aplicada a la caracterización de piezas únicas y productos de interés industrial", Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de la Plata, 2010.
- [3] Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Consejería de educación, cultura y deporte, "Arqueología subacuática. Investigación, desarrollo y aplicación al estado de materiales arqueológicos sumergidos", Memoria anual 2013, pp. 166-172.
- [4] M. Castillejo, C. Domingo, S. Martínez, M. Oujja, "Láseres y Nanotecnologías para el Patrimonio Cultural (LANAPAC)", *Instituto de Química Física Rocasolano (CSIC)*, Madrid, pp. 27-30.
- [5] S. Guirado Gutiérrez, "Tecnología LIBS subacuática. Investigación, desarrollo y aplicación al estudio de materiales arqueológicos sumergidos", Departamento de Química Analítica, Universidad de Málaga, 2015.
- [6] F.J. Fortes, M. López-Claros, S. Guirado, J. Laserna, "LIBS en patrimonio cultural: reconocimiento e identificación de objetos en yacimientos arqueológicos sumergidos" *ph investigación*, vol. 5, pp. 1-23, diciembre 2015, [en línea] <http://www.iaph.es/phinvestigacion>

# Conservación preventiva en colecciones geológicas

Joan Escudé González

**Resumen**—Las colecciones geológicas conservadas en las instituciones museísticas se conforman principalmente de rocas y minerales. El estudio de sus condiciones de conservación es relativamente reciente, pues su inerte apariencia ha contribuido a que siempre fueran considerados materiales estables. Sin embargo, la realidad es muy diferente y muchos ejemplares pueden verse afectados por un ambiente adverso y deteriorarse irremediabilmente.

**Palabras Claves**— Colecciones geológicas, Minerales, Rocas, Conservación preventiva.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las colecciones científicas nacieron a partir de los gabinetes de curiosidades y cámaras de maravillas propios de los siglos XVII y XVIII, conformando posteriormente los fondos de numerosos museos de historia natural que es donde se conservan en la actualidad. Estas instituciones han perdido el carácter de almacén empolvado de especímenes para convertirse en entidades dinámicas, dedicadas no solamente a la exposición y promoción didáctica de sus fondos sino también a la generación y validación de conocimiento científico en sus ámbitos de estudio [1], [2], [3], [4].

Su función como centros de soporte a las ciencias de la naturaleza los hace depositarios de inmensos fondos de características extremadamente dispares (Fig. 1), y más teniendo en cuenta que no se limitan únicamente a los especímenes procedentes de la naturaleza sino también al material de investigación y conservación generado a partir de ellos y asociado a los mismos [3].

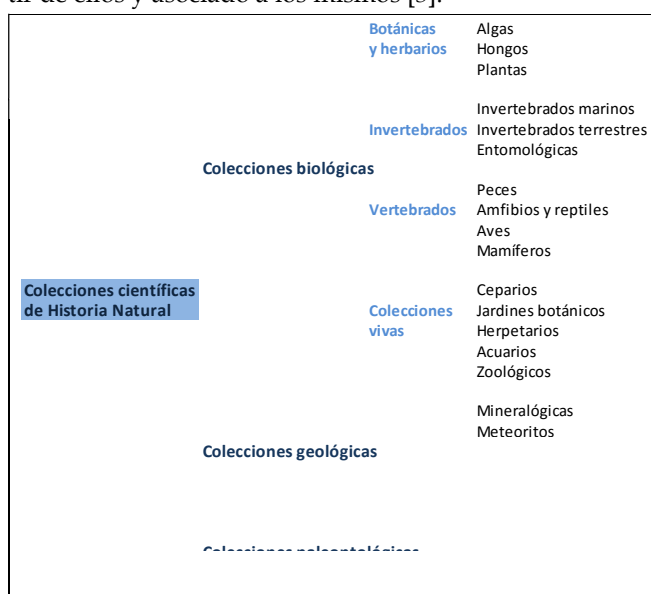


Fig. 1. Esquema de los grandes grupos de colecciones científicas. En este caso nos centraremos en las de carácter geológico. [2]

Joan Escudé González. Máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico, Universidad Pablo de Olavide.  
joan.escude.gonzalez@gmail.com

Debido a su apariencia inerte, el interés por la conservación de las colecciones geológicas es relativamente reciente, no obstante, su composición y características físico-químicas pueden verse seriamente afectadas por unas condiciones de conservación inadecuadas [3], [5], [6], [7].

El grueso del patrimonio geológico mueble está constituido por minerales y rocas (Fig. 2), cuya estabilidad dependerá tanto de su naturaleza intrínseca como de las



Fig. 2. Piezas expuestas en las vitrinas del Museo de la Universidad de Huelva. [1]

condiciones ambientales de los espacios que los albergan, principalmente la humedad relativa, la temperatura, la iluminación, los contaminantes ambientales y la microbiología del ambiente [3], [5]. Así mismo, la elaboración de un plan de conservación preventiva deberá contemplar no solo el control y monitorización de los valores ambientales, sino también otras premisas referentes al almacenaje y custodia como seguridad, manipulación, exposición, documentación, transporte, etc.

## 2. CONTROL DE FACTORES AMBIENTALES

Todo material posee un equilibrio interno que evoluciona siguiendo un proceso de adaptación ininterrumpida al medio ambiente que lo rodea, con el que también busca establecer un equilibrio [6]. Sin embargo, no todos los materiales geológicos pueden verse afectados del mismo modo por los diferentes agentes ambientales y cada factor de degradación provocará problemáticas distintas según las características composicionales o mineralógicas de los diferentes materiales.



## 2.1. Humedad relativa

La humedad relativa (HR) es probablemente el factor que mayor influencia tiene en la estabilidad y posibles deterioros que pueda sufrir una colección geológica [6].

En términos generales se consideran adecuados para la conservación de colecciones geológicas unos valores de entre el 40% y el 55% de HR, aunque, estos niveles siempre deben tener en cuenta las condiciones climáticas de la zona, las condiciones del edificio, el tipo de colecciones y los recursos económicos y técnicos de los que se dispone. Lo más importante es que se consigan unos niveles de humedad estables, pues es igualmente dañino un exceso de HR que las fluctuaciones que sus valores puedan experimentar. Las grandes variaciones incontroladas de HR pueden provocar daños irreparables a la colección, desde la formación de hongos y mohos a la generación de compuestos ácidos a partir de la hidratación de sulfuros, pasando por desecaciones y roturas [6].

Los problemas más frecuentes que unas condiciones incontroladas de humedad relativa pueden provocar son:

- **Inestabilidad dimensional:** Ciertos tipos de arcillas (silicatos hidratados) son especialmente sensibles a sufrir ciclos de contracción-expansión con las variaciones de humedad. La repetición de estos procesos generaría agrietamientos y paulatinamente el debilitamiento y la destrucción del material, por eso no conviene sobrepasar valores de HR superiores al 70% (expansión) ni inferiores al 40% (contracción) [4]. Esta alteración puede afectar a arcillas como la illita, la montmorillonita o la caolinita y a otros minerales como ópalos, limonita o crisocola [6], [8].
- **Hidratación y deshidratación:** Algunos minerales son estados hidratados de determinados compuestos químicos. Las variaciones en los valores de humedad relativa pueden afectar a su composición o a sus hábitos cristalinos. Por ejemplo, los cristales azules de sulfato de cobre pueden perder sus moléculas de agua en valores de HR inferiores al 35% y volverse quebradizos y de color azul pálido. Los esquistos también pueden perder agua y debilitarse [4], [7]. Por el contrario, minerales del grupo de los haluros como la halita, la carnallita o la melanterita necesitan una atmósfera extremadamente seca para poder ser conservados y no disolverse [8], [9].
- **Eflorescencias salinas y recristalizaciones:** Un problema común en ejemplares porosos o recolectados en zonas costeras es que pueden contener sales solubles en su interior, de modo que si se almacenan sin un lavado previo, con las fluctuaciones de HR se pueden producir migraciones de estas sales hacia la superficie de los materiales y su recristalización [4], [8]. Los ciclos de hidratación-deshidratación, y las recristalizaciones que estos implican, pueden afectar mecánicamente a los materiales en poros y grietas hasta llegar a fisurarlos. Para evitar problemas por sales solubles se recomienda el lavado de los especímenes con agua desionizada y el control de las fluctuaciones de los valores de humedad [6].
- **Descomposición de la pirita y otros sulfuros:** Es una de las problemáticas más estudiadas ya que acostumbra

a afectar a piezas paleontológicas fosilizadas en pirita y marcasita ( $\text{FeS}_2$ ) y se conoce como enfermedad de la pirita [7], [10]. Es un proceso de oxidación que puede afectar a diversos sulfuros, arseniuros y sulfosales como la bravoíta ( $(\text{Ni,Fe})\text{S}_2$ ), la calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), la calcosina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), la pirrotina ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ), la arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), la galena ( $\text{PbS}$ ) o la esfalerita ( $\text{ZnS}$ ) [8]. El proceso consiste en la oxidación de estos minerales produciéndose hidróxidos de hierro y dióxido de azufre que quedan en forma de polvo de color amarillo, blanco o gris sobre y alrededor del ejemplar (Fig. 3) y que desprenden un característico olor a huevos podridos [7], [8]. A continuación estos productos siguen reaccionando con la humedad ambiental para formar sulfatos metálicos hidratados y ácido sulfúrico.



Fig. 3. Enfermedad de la pirita en ejemplares de amonites. [7]

Estas reacciones van reduciendo el ejemplar a polvo de hierro hasta su total colapso y deteriorando asimismo el material asociado a él (etiquetas, contenedores, etc.) [4], [6], [10]. Esta afectación es inversamente proporcional al tamaño de los cristales del mineral, esto es, se degradarán con más rapidez las formas microcristalinas, y también existe mayor incidencia en materiales con nódulos o fisuras o con compuestos de azufre interestratificados [10]. Si bien existen métodos químicos paliativos [10], aún no se ha encontrado un tratamiento capaz de revertir este proceso de degradación, por lo que la solución más viable es mantener los valores de humedad relativa bajos y estables, del orden del 30% y en ningún caso por encima del 60%, valores que supondrían una destrucción segura en poco tiempo [4], [10]. De forma similar, otros procesos de oxidación pueden producirse en minerales de hierro y carbones.

Frecuentemente sucede, sin embargo, que en una misma colección podemos encontrar ejemplares que necesitan niveles de humedad diferentes, lo que implica intentar crear atmósferas adecuadas para determinados materiales en el mobiliario o los contenedores que los incluyen, ya sea con productos desecantes o humidificadores (materiales tampón) o con productos o tratamientos de anoxia al margen del resto de la colección [6], [7], [8].

## 2.2. Temperatura

Directamente relacionada con la humedad relativa, la temperatura debe ser relativamente baja y con mínimas variaciones para que no se produzcan fenómenos de dila-

tación y para controlar la reactividad químicas de los materiales y de los agentes contaminantes. Minerales como la fluorita o el azufre nativo pueden ser especialmente sensibles a los cambios de temperatura debido a su baja conductividad térmica, lo que puede generar fisuras o grietas. En raras ocasiones también se han dado casos de ejemplares de mirabilita que pueden llegar a disolverse en condiciones de calor extremo y humedad alta por lo que también es algo a tener en cuenta especialmente en países de clima tropical [8].

Por regla general se consideran temperaturas recomendables entre 16-20°C, con una humedad relativa que no supere el 50%, pues se debe tener en cuenta que toda variación de la temperatura lleva asociada un cambio en los valores de la humedad relativa [7].

### 2.3. Luz

Algunas especies minerales como los sulfuros, los haluros y los cromatos pueden verse afectadas por la exposición a la luz visible y ultravioleta, produciéndose desvanecimientos de color e incluso descomposición en algunos casos [8]. Por ejemplo el cinabrio (rojo) puede descomponerse en metacinnabrita (negra) o minerales como la queremesita, el berilo azul, la celestita azul, la amatista violeta, la fluorita verde o algunos topacios marrones pueden perder cromatismo [4], [7], [9]. No obstante, es en el grupo de los sulfuros de arsénico donde encontramos los materiales más sensibles a la luz. Minerales como el rejalgar pueden reaccionar irreversiblemente con la luz y deteriorarse por completo en un polvo anaranjado conocido como pararejalgar [7], [9].

Otros materiales pueden ser sensibles a otro tipo de radiaciones, lo que deberá ser especialmente tenido en cuenta en el caso de que haya minerales con actividad radiactiva en la colección [9].

En piezas sensibles a la luz se deberá evitar su exhibición y deberán estar almacenadas en vitrinas cerradas o acondicionadas para limitar su tiempo de exposición [4].

### 2.4. Contaminantes ambientales

La primera consideración en este aspecto es que se debe procurar mantener las áreas de almacenaje libres de polvo y suciedad, ya que el polvo es muy difícil de limpiar de especímenes con superficies porosas o irregulares. Las instalaciones deben tener programadas limpiezas periódicas en las que no deben usarse escobas u otros métodos que levanten polvo. Vitrinas con cerramientos estancos serán también útiles para evitar la entrada del polvo en las zonas de depósito [4].

Otro factor a tener en cuenta es el filtrado de aire. Las atmósferas urbanas contienen en su composición dióxidos de azufre y nitrógeno, monóxido de carbono y otros compuestos derivados de la combustión de recursos energéticos fósiles. Estas sustancias pueden afectar especialmente a materiales de naturaleza silíceo y calcáreo [6] por lo que deben usarse filtros adecuados en los sistemas de ventilación [8].

En ocasiones, el mobiliario de madera sin tratar puede desprender ácidos orgánicos en el ambiente de depósito. Algunos metales y materiales de componente calcáreo

son especialmente sensibles a este tipo de emanaciones. Esta problemática se ha identificado en colecciones de conchas marinas denominándose como enfermedad de Byne y se identifica con la aparición externa de depósitos pulverulentos blancos asociados a una destrucción de la superficie original (Fig. 4) [4], [8].



Fig. 4. Concha en buen estado (a) y afectada por la enfermedad de Byne (b). Fotografías: Wikimedia Commons

### 2.5. Biodeterioro

Valores altos de humedad pueden propiciar el crecimiento de mohos y la aparición de insectos [7]. La afectación en los materiales geológicos puede ser poco importante, no obstante, sí que son un factor de deterioro significativo para etiquetas y otros materiales asociados de carácter orgánico. De nuevo, buenos cerramientos en los mobiliarios de depósito evitarán la afectación por insectos en las colecciones [4].

## 3. CONCLUSIONES

Las colecciones geológicas necesitan unas condiciones de conservación controladas y estables dentro de las instituciones que las custodian y exponen. Erróneamente se piensa que rocas y minerales no son alterables en condiciones normales pero el deterioro y, en casos extremos, la destrucción de determinados ejemplares de composición sensible a condiciones diversas demuestra que es necesario conocer adecuadamente los factores intrínsecos y extrínsecos de deterioro para poder elaborar planes de conservación preventiva específicos para este tipo de materiales.

Hay numerosos aspectos a tener en cuenta en el momento de redactar un plan de conservación preventiva para colecciones de carácter geológico. Por cuestiones de espacio, en este escrito nos hemos centrado únicamente en cuestiones de control ambiental, pero existen una serie de consideraciones en cuanto a las condiciones de almacenaje que merecen especial atención. El uso de materiales inertes, las limitaciones en la iluminación de almacenes, las medidas de seguridad e higiene para minerales tóxicos o radiactivos o la realización de moldes y reproducciones son aspectos sobre los que los planes de conservación preventiva tienen también mucho donde aportar.

## REFERENCIAS

- [1] J. C. Fernández-Caliani, "Revalorización didáctica y patrimonial de la colección de minerales de la Universidad de Huelva," in *XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología*, 2012, pp. 289-294.

- [2] A. Cristín and M. del C. Perrilliat, "Las colecciones científicas y la protección del patrimonio paleontológico," *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 63, no. 3, pp. 421-427, 2011.
- [3] R. P. Lozano and S. Menéndez, "Rocas, minerales y fósiles: las colecciones geológicas de museos públicos," *Memorias la Real Sociedad Española de Historia Natural*, vol. 11, pp. 41-52, 2013.
- [4] National Park Service, "Storage Concerns For Geological Collections," *Conserve O Gram*, vol. 11, no. 2, p. 3, 1998.
- [5] E. Baeza and R. P. Lozano, "La conservación de colecciones geológicas en museos: el ejemplo del Museo Geominero," in *XX Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 2013, pp. 5-6.
- [6] Á. Montero and C. Diéguez, "Colecciones geológicas. Problemas de humedad relativa y temperatura," *Boletín de la ANABAD*, vol. 47, no. 2, pp. 157-167, 1997.
- [7] ICON, "Care and conservation of geological specimens," 2013.
- [8] C. H. C. Brunton, T. P. Besterman, and J. A. Cooper, *Guidelines for the Curation of Geological Materials*. 1984.
- [9] A. L. Parsons, "The preservation of mineral specimens," *American Mineralogist*, vol. 7, pp. 59-63, 1922.
- [10] E. Baeza and S. Menéndez, "Conservación y restauración de ammonites piritizados del Museo Geominero (IGME, Madrid)," in *II Congreso del GEHC. Investigación en Conservación y Restauración*, 2002.



**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. En activo desde el año 2008 en los campos de la arqueología, la paleontología y los bienes etnológicos, actualmente está cursando el Máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico de la Universidad Pablo de Olavide.