

MOLEQLA

n°
33

Revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide

ISSN 2173-0903

Portada

Julio Ezequiel Pérez Carbajo

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 Deporte: Alberto Grao Cruces

MoleQla Forense: Antonio Aguilar García

MoleQla Farmacia: Matilde Revuelta González

MoleQla Química: Patrick J. Merklng

MoleQla Ambiental: Ana Martín Calvo

MoleQla Biotecnología: Cristina Guillén Mendoza

MoleQla Informática: Norberto Díaz Díaz

Responsables de Maquetación Global

Rafael Rastrero Prieto

Francisco Araque Frías

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. Merklng



ISSN 2173-0903

Editado el 9 de abril de 2019

Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España

Los seguidores de la afamada serie de televisión *Juego de Tronos* saben bien que en el mundo (no tan ficticio) en el que se desarrolla la historia, las estaciones climáticas duran años y la llegada del *Invierno* planea sobre la trama desde sus inicios. En nuestro mundo real el “invierno” no es más que la amenaza de un “verano” de calentamiento global, una perspectiva preocupante que por fortuna está recibiendo cada vez más atención en la sociedad, especialmente entre las nuevas generaciones. Este año, no de manera deliberada, pero sí meditada, hacemos coincidir la publicación del número de primavera de MoleQla con el estreno de la última y definitiva temporada de la exitosa serie. El invierno se acerca en el mundo de ficción de *Poniente* pero en el mundo real cada vez percibimos con más nitidez el cambio en los patrones climáticos, la alteración de los ecosistemas y el impacto en la calidad de vida de los habitantes de la Tierra. La lucha contra el cambio climático es una combinación de educación ambiental y sentido cívico, pero también de desarrollo científico y tecnológico. Desde sus inicios, los creadores de MoleQla hemos querido contribuir a estos esfuerzos dando difusión a trabajos de investigación y de divulgación desarrollados por miembros de la comunidad universitaria, especialmente estudiantes. Este número de primavera de 2019 va dedicado precisamente a ellos, a las nuevas generaciones en cuyos hombros reside la responsabilidad de evitar, o al menos paliar, los efectos del cambio climático. En este número los estudiantes de los máster de la Pablo de Olavide, de Biotecnología Ambiental e Industrial, de Ciencias del Patrimonio y de Ciencias Biosanitarias, contribuyen con trabajos de impacto ambiental, protección el patrimonio, contaminantes y riesgos para la salud, entre muchas otras contribuciones igualmente sobresalientes. Esperamos que disfrutéis de la lectura de los artículos de esta nueva entrega de la misma forma que los seguidores de la serie de televisión que ha levantado pasiones en todo el mundo disfrutaban de sus aventuras, es decir, rindiendo homenaje al ingenio humano en sus dos vertientes, la del arte y la de la ciencia, tan diferentes y tan similares al mismo tiempo.



Juan Antonio Anta
Editor de la Revista MoleQla

ÍNDICE

1. Moleqta Patrimonio

- 1.1. Origen y migración: el papel de los isótopos de estroncio
- 1.2. El tezontle, la piedra de México

2. Moleqta Deporte

- 2.1. Efecto del ejercicio físico sobre mayores frágiles con deterioro cognitivo leve, demencia o alzhéimer
- 2.2. ¿Ocasiona fatiga muscular inspiratoria la realización de 200 metros lisos?
- 2.3. Efecto de un entrenamiento combinado de sentadilla y arrastre (carga alta vs. carga baja) sobre el sprint, cambio de dirección, salto vertical y fuerza

3. Moleqta Forense

- 3.1. El polémico uso del DDT
- 3.2. El gas de la risa
- 3.3. Repercusión de la catástrofe del Prestige en la costa gallega

4. Moleqta Farmacia

- 4.1. Maraviroc, una nueva esperanza para los infectados por VIH
- 4.2. Bisfosfonatos y los Huesos de Cristal
- 4.3. Arca Pharmarithmica

5. Moleqta Química

- 5.1. La evolución de la Tabla Periódica
- 5.2. Los riesgos de la acrilamida
- 5.3. Alcohol y efectos bioquímicos en nuestro organism

6. Moleqta Ambiental

- 6.1. Contaminación por partículas en suspensión
- 6.2. El fenómeno de la lluvia ácida

7. Moleqta Biotecnológica

- 7.1. Lateral Flow Assays and their applications

8. Moleqta Informática

- 8.1. Generación de Sistemas seguros a partir de ataques
- 8.2. SCADA el Sistema de Información para Procesos Productivos Industriales

Origen y migración: el papel de los isótopos de estroncio.

Silvia Diez-Fernández

Resumen—Durante los últimos 30 años, el estudio de las relaciones isotópicas del estroncio en tejidos de origen biológico se ha establecido como una importante herramienta en la determinación de los movimientos migratorios de poblaciones humanas antiguas.

Palabras Claves— Isótopos de estroncio, Migración, Poblaciones antiguas.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando el radio-químico Frederick Soddy le comentó a la médica Margaret Todd la existencia de átomos con diferente masa que debían ocupar el mismo lugar en la tabla periódica, es decir, que pertenecían al mismo elemento, ella le sugirió utilizar el término *isótopo* (del gr. *isos*, igual y *topos*, lugar). Dada la condición de radio-químico de Soddy, este asumió que los isótopos existían únicamente en elementos radiactivos, y que estos se producían por su decaimiento radiactivo [1]. Sin embargo, el contemporáneo Francis Aston demostró que esto no era así, llegando a identificar hasta 212 isótopos estables con uno de los primeros espectrógrafos [2].

El análisis de los isótopos estables y de las relaciones de abundancia entre ellos es una herramienta muy utilizada para el estudio de poblaciones antiguas respecto a dietas, patrones de migración, etc., pero también como *huellas isotópicas*, naturalmente presentes o añadidas artificialmente, ya sea para determinar su origen en un contexto histórico [3] o, en un contexto más actual, para evitar el fraude en la venta de productos con denominación de origen [4], [5] o como marcaje identificativo del productor [6].

Respecto a la determinación del origen geográfico, uno de los elementos más utilizados ha sido el estroncio (Sr) [7]. Este elemento posee diferentes isótopos estables (^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{88}Sr) cuya abundancia es constante en la naturaleza. Pero además, existe otro isótopo, el ^{87}Sr , que aunque también estable, se forma por la desintegración del isótopo rubidio-87 (^{87}Rb). Esto supone que la abundancia relativa del ^{87}Sr respecto al Sr total depende de la cantidad de ^{87}Rb que hubiera originalmente en una roca o mineral, así como de su edad geológica. La consecuencia directa de esto es que cada lugar geológico tendrá una huella isotópica de Sr específica, normalmente evaluada a través de la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. El uso de este parámetro como indicador migratorio fue introducido por primera vez en el contexto arqueológico en 1985 por Ericson [8].

La determinación de esta huella para la reconstrucción de los movimientos migratorios se lleva a cabo habitualmente en dos tipos de estructuras biológicas: el hueso y el diente. El Sr biodisponible se transfiere desde el sustra-

to hasta los animales (incluyendo humanos) a través de la cadena trófica, sustituyendo al calcio en la estructura cristalina de la hidroxiapatita que forma los huesos. Sin embargo, la estructura del diente es mucho más compacta que la del hueso y no se regenera durante la vida del individuo, por lo que la huella de Sr es aquella que el individuo asimiló durante la formación del diente, en otras palabras, durante su infancia. El metabolismo del hueso, en cambio, es más activo y aunque no existe un valor temporal establecido en el cual el tejido adquiere la relación isotópica local, se estima que está entre 5 y 15 años en función del hueso y de la edad del individuo [9], aportando así información acerca del lugar donde pasó sus últimos años de vida. Dado que en tiempos previos a la globalización las poblaciones solían tener una alimentación basada en recursos de su entorno, si se comparan ambos valores con la huella isotópica geológica local se podría determinar si el individuo se crió en el lugar donde se encontraron los restos, si el individuo se crió en otro lugar geológico y pasó allí su vida adulta, o si el lugar de la defunción fue circunstancial [8]. Obviamente, la viabilidad de estos estudios está sujeta a la disponibilidad y estado de conservación de los tejidos.

A continuación, se discutirán los pasos de las metodologías empleadas para la evaluación de las huellas isotópicas de Sr en el contexto de la determinación del origen y migración de poblaciones antiguas, haciendo hincapié en aquellos puntos fuente de conflicto para la interpretación de los datos analíticos.

2. METODOLOGÍAS

2.1. Control de la contaminación diagenética

Uno de los mayores caballos de batalla en el análisis de relaciones isotópicas de Sr es el problema de la contaminación diagenética, ya que al realizarse muchos de los enterramientos directamente en el suelo, los restos biológicos pueden ver alterada su huella isotópica con la huella local, por lo que es imprescindible llevar a cabo un protocolo de limpieza adecuado que no ponga en duda la validez de los resultados analíticos.

Este factor afecta de forma diferente según el tejido a

estudiar. El hueso es una estructura porosa, por lo que es más susceptible de verse contaminado. Entre las estrategias utilizadas está el escoger tejido cortical frente al trabecular [10], [11]. También se pueden llevar a cabo estudios complementarios de rayos-X para evitar utilizar zonas en la toma de muestra donde haya inclusiones de tierra [12]. El diente y, específicamente el esmalte, es mucho menos susceptible a la contaminación diagenética debido al mayor tamaño de los cristales de fosfato ($>1 \mu\text{m}$) y a la baja porosidad de la estructura [13]. También es habitual someter a las muestras a lavados previos con ácidos suaves como el ácido acético, con peróxido de hidrógeno en combinación con baños de ultrasonidos para intentar eliminar de forma poco agresiva posibles depósitos de origen externo [11], o eliminar mecánicamente las capas superficiales que están en contacto directo con el entorno [14].

2.2. Determinación del rango local

Otro de los factores determinantes es definir el rango local de la huella isotópica para poder compararlo con los valores obtenidos en las estructuras biológicas y evaluar así el carácter migrante de los individuos. Existen diferentes estrategias para determinar el rango isotópico local: la determinación a través del análisis de material de la biosfera (suelo, agua, vegetación) [15], el uso de restos biológicos de animales asociados a poblaciones humanas y con baja movilidad (roedores, animales de granja) [16] y los mapas establecidos mediante modelos basados en GIS, que estiman de forma teórica el Sr biodisponible a través de diversas fuentes [17]. Aunque lo más interesante sería realizar un estudio combinado de las diferentes estrategias, se suele preferir el análisis de animales domésticos, ya que el análisis de otros materiales actuales puede haber variado debido a actividad geológica o antropológica, y los modelos teóricos requieren validación experimental [18].

2.2. Estrategia analítica

En general, estos estudios se llevan a cabo mediante técnicas de espectrometría de masas de alta resolución. Esto se debe a la sensibilidad y precisión requeridas (entorno a ng mL^{-1} y ‰, respectivamente) para poder tener una buena discriminación entre los diferentes valores de las relaciones isotópicas. Entre los instrumentos más habituales se encuentran el TIMS (espectrómetro de masas con fuente de ionización térmica) [19], [20] y el MC-ICP-MS (espectrómetro de masas multicolelector con fuente de plasma de acoplamiento inductivo) [12], [18].

2.3. Preparación de la muestra

A pesar de algunos intentos de llevar a cabo en análisis *in-situ* mediante el acoplamiento de sistemas de ablación láser [21], [22], el sistema de introducción de muestra suele ser líquido, suponiendo la destrucción parcial de la muestra. A consecuencia, todo estudio complementario ya sea médico, antropológico, etc., debe ser realizado previamente al análisis por espectrometría de masas. Esto se debe a que uno de los principales inconvenientes de

estas técnicas es la presencia de interferencias que pueden afectar a la determinación de uno o varios isótopos. En este caso, la interferencia principal es sobre el isótopo ^{87}Sr , interferido por ^{87}Rb . Para solventar este problema se suele llevar a cabo un protocolo que consiste en pulverizar la muestra (habitualmente en el orden de mg), llevar a cabo una digestión ácida para disolver los componentes, y realizar una posterior separación cromatográfica de la fracción de Sr en base a sus características químicas. Las estrategias de separación más habituales están basadas en el uso de resinas de cromatografía de extracción específicas para Sr [12], [19] o también en cromatografías de intercambio catiónico [20].

3. RESULTADOS

En general, los casos de estudio recogidos en la literatura son específicos en cuanto a población y época, teniendo cada conjunto sus particularidades que afectan a las conclusiones del estudio. Estas limitaciones pueden referirse a la imposibilidad de obtener una huella local de referencia, a la disponibilidad de los tejidos para llevar a cabo el estudio comparado de la huella isotópica, o al limitado número de individuos disponibles para el estudio [18].

Respecto al primer punto, existen ya desde hace tiempo intentos de mapear diferentes regiones del mundo para poder disponer de bases de datos que permitan disponer de un forma fácil y rápida de las huellas locales, pero también que permitan unificar la información disponible. Este punto es importante considerando que, aunque la huella es específica, no es exclusiva, lo que quiere decir que pueden existir dos lugares o regiones más o menos lejanos con el mismo valor para la relación isotópica. Actualmente ya existen mapas para diferentes regiones europeas tales como Reino Unido [23], Dinamarca [24], Grecia [25], etc. Las estrategias utilizadas para ello son las que se mencionan en el apartado 2.2. En el caso de que dichas bases de datos no existan, los autores llevan a cabo su determinación en función de las posibilidades del enterramiento concreto.

En cuanto a los otros dos puntos, estos aparecen muchas veces relacionados debido a las características propias de los enterramientos. Por ejemplo, durante el análisis de algunas poblaciones donde se observa que existe un componente mayoritario de mujeres migrantes respecto a los hombres, se intenta determinar si esto obedece a patrones de movilidad post-marital. En este contexto, Hyengo *et al.* [20] realiza un estudio del esmalte de 6 individuos procedentes de una excavación con tumbas datadas entre los siglos XIV-XIX en Corea del Sur. En este caso, se sugiere que se pueda definir el valor local de la huella con el valor de la huella proporcionada por los individuos varones, asumiéndolos como no migrantes, aunque esta afirmación no se sustenta por otro tipo de datos, ya que el análisis de la huella local a través de muestra de suelo actual no permitió establecer una correlación con los datos obtenidos para los individuos. De cualquier modo, el tamaño muestral fue demasiado pequeño como para poder sacar conclusiones a nivel pobla-

cional. Por otra parte, Eerkens *et al.* [11] estudia dos conjuntos de restos recuperados en California (Estados Unidos), datados en el Holoceno, en uno de los cuales intenta establecer una relación también entre el género y la movilidad, aunque ellos mismos reconocen que el número de individuos (3) es demasiado bajo para hablar de conclusiones. El rango local en este caso fue determinado mediante el análisis de restos de roedores. Por otra parte, el análisis del segundo conjunto, con 10 individuos, resulta en una tasa de inmigración del 80%, sugiriendo un movimiento migratorio hacia esa localización, lo que podría indicar que esos datos puedan dar información acerca la formación de un nuevo asentamiento. Sin embargo, remarcan la necesidad de hacer análisis complementarios tales como la evaluación de ADN para poder obtener más información acerca de posibles relaciones de parentesco, o análisis de otras huellas isotópicas (C, N, H) que permitan aportar más información respecto al origen geográfico.

En otros casos, se ha intentado relacionar las huellas isotópicas no sólo con la movilidad, si no también con patologías sufridas y actividades específicas realizadas los individuos en vida con el objetivo de obtener más información acerca de la dinámica de las poblaciones. Es el caso del estudio publicado por Huelga-Suárez *et al.* [12], donde se comparan los marcadores de ocupación en los huesos de una población medieval (s.XIII-XIV) de Palencia (España) con el carácter de migrante. El rango local fue establecido a través de restos de animales domésticos encontrados en los enterramientos, al igual que en caso anterior. Lo que se observó es que, de entre de los 29 individuos analizados, dos mostraban un carácter migrante y, además, marcadores y patologías compatibles con una actividad militar. El principal inconveniente en este estudio fue la falta de bibliografía previa que permitiera ayudar a establecer una conexión entre los diferentes estudios realizados.

5. CONCLUSIONES

Es obvio que el uso de la huella isotópica de estroncio aporta información fascinante acerca del origen y el comportamiento migratorio de las poblaciones antiguas. Sin embargo, es indiscutible también la necesidad de un contexto multidisciplinar para llevar a cabo una correcta interpretación de los datos analíticos, ya que los movimientos migratorios suelen estar asociados a patrones sexuales, culturales y sociales, y los resultados numéricos, por sí solos, no pueden aportar certeza en cuanto al origen o al contexto social de la misma, únicamente determinar si el individuo (o la población) procedía, o no, de una localización con una huella isotópica diferente. Desde el punto de vista de la calidad analítica, es necesario seguir investigando en nuevos métodos que permitan eliminar o minimizar la influencia de la contaminación diagénica, ya que esta condiciona la validez de los resultados. En este sentido, también se hace cada vez más necesario el desa-

rollo de mapas de huellas isotópicas regionales, que permitan poder llevar a cabo una interpretación más global y homogénea de los movimientos migratorios de las poblaciones antiguas.

REFERENCIAS

- [1] A. Fleck. "Frederick Soddy, 1877-1956" *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, 1957, doi: 10.1098/rsbm.1957.0014.
- [2] G. Squires, "Francis Aston and the mass spectrograph," *Journal of the Chemical Society, Dalton Transactions*, no. 23, p. 3893-3899, 1998, doi: 10.1039/A804629H.
- [3] X.X. Zhang, X.R. Wang, X.T. Wu, Z.Y. Jin, H.R. Zhang and F. Huang, "Investigating human migration and horse-trading in Yelang (夜郎) through strontium isotope analysis of skeletons from Zhougshui sites, South-West China (1300 bc – ad 25)," *Archaeometry*, vol 60, no 1, pp. 157-170, Nov 2018, doi: 10.1111/arcm.12365.
- [4] A. González, S. Armenta and M. de la Guardia, "Trace-element composition and stable-isotope ratio for discrimination of foods with Protected Designation of Origin," *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, Vol. 28, no. 11, pp. 1295-1311, Dec 2009, doi: 10.1016/j.trac.2009.08.001.
- [5] A. Reguera-Galan, M. Moldovan and J.I. García Alonso, "The combined measurement of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotope ratios and $^{88}\text{Sr}/^{85}\text{Rb}$ elemental ratios using laser ablation MC-ICP-MS and its application for food provenance studies: the case for Asturian beans," *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, no. 5, Dec 2018, doi: doi.org/10.1039/c8ja00061a.
- [6] I. Carames-Pasaron, J.A. Rodríguez-Castrillón, M. Moldovan and J.I. García Alonso, "Development of a Dual-Isotope Procedure for the Tagging and Identification of Manufactured Products: Application to Explosives," *Analytical Chemistry*, vol. 84, no. 1, pp. 121-126, Nov 2011, doi: 10.1021/ac201945g.
- [7] K. Szostek, K. Mądryk and B. Cienkosz-Stepańczak, "Strontium isotopes as an indicator of human migration – easy questions, difficult answers," *Anthropological Review*, vol. 78, no. 2, pp. 133-156, Jun 2015, doi: 10.1515/anre-2015-0010.
- [8] J. E. Ericson, "Strontium isotope characterization in the study of prehistoric human ecology," *Journal of Human Evolution*, vol. 14, no. 5, pp. 503-514, July 1985, doi: 10.1016/S0047-2484(85)80029-4.
- [9] S. C. Manolagas, "Birth and death of bone cells: Basic regulatory mechanisms and implications for the pathogenesis and treatment of osteoporosis," *Endocrine Reviews*, vol. 21, no. 2, pp. 115-137, April 2000, doi: doi.org/10.1210/edrv.21.2.0395.
- [10] K.J. Knudson, T.A. Tung, K.C. Nystrom, T.D. Price and P. D. Fulagar, "The origin of the Juch'uympampa Cave mummies: strontium isotope analysis of archaeological human remains from Bolivia," *Journal of Archaeological Science*, vol. 32, no. 6, pp. 903-913, Jun 2005, doi: 10.1016/j.jas.2005.01.007.
- [11] J.W. Eerkens, L. Harold, K. Perez, E. Murga, P. Kaijankoski, J. S. Rosenthal and A. Greenwald "Strontium isotopes identify locals and non-locals at CA-SCL-919 and CA-SCL-928 in Milpitas, California," *Proceedings of the Society for California Archaeology*, vol. 30, pp. 281-290, 2016.
- [12] G. Huelga-Suárez, S. Diez-Fernández, M. Moldovan, A.F. Pardiñas, B. López and J.I. García Alonso, "The quest for the soldier's rest: combining anthropological and archaeochemical approaches to study social and occupational diversity in the medi-

eval graveyard of San Andrés de Arroyo (Palencia, Spain)," *Anthropological Science*, vol. 124, no. 3, pp. 169–184, Oct 2016, doi: 0.1537/ase.161005.

- [13] P.L. Koch, N. Tuross and M.L. Fogel, "The effects of sample treatment and diagenesis on the isotopic integrity of carbonate in biogenic hydroxyapatite," *Journal of Archaeological Science*, vol. 24, no. 5, pp. 417–429, May 1997, doi: 10.1006/jasc.1996.0126.
- [14] X. Wang, X. Zhang, A. Fan, A. Sampson, X. Wu, J. Gao, F. Huang and Z. Jin, "Strontium isotopic evidence for the provenance of occupants and subsistence of Sarakenos Cave in prehistoric Greece," *Quaternary International*, In Press, Oct 2018, doi: 10.1016/j.quaint.2018.10.009.
- [15] J.A. Evans, J. Montgomery, G. Wildman and N. Boulton, "Spatial variations in biosphere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in Britain," *Journal of the Geological Society*, vol. 167, pp. 1–4, Jan 2010, doi:10.1144/0016-76492009-090.
- [16] T.D. Price, J.H. Burton and R.A. Bentley, "The characterization of biologically available strontium isotope ratios for the study of prehistoric migration," *Archaeometry*, vol. 44, no. 1, pp. 117–135, Dec 2002, doi: 10.1111/1475-4754.00047.
- [17] C.P. Bataille, J. Laffoon and G.J. Bowen "Mapping multiple source effects on the strontium isotopic signatures of ecosystems from the circum-Caribbean region," *Ecosphere*, vol. 3, no. 12, pp. 1–24, Dec 2012, doi: 10.1890/ES12-00155.1.
- [18] L.M. Kootker, R.J. van Lanen, H. Kars and G.R. Davies, "Strontium isoscapes in The Netherlands. Spatial variations in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ as a proxy for palaeomobility," *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 6, pp. 1–13, April 2016, doi: 10.1016/j.jasrep.2016.01.015.
- [19] S. Di Salvo, E. Braschi, M. Casalini, S. Marchionni, T. Adani, M. Ulivi, A. Orlando, S. Tommasini, R. Avanzinelli, P.P.A. Mazza, S. Conticelli and L. Francalanci, "High-Precision in situ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ analyses through microsampling on solid samples: applications to earth and life sciences," *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, Article ID 1292954, April 2018, doi: 10.1155/2018/1292954.
- [20] J.H. Park, C. Cheong, Y.J. Jeong and J.J. Lee, "Strontium isotope geochemistry of archaeological human tooth enamel excavated from Jeonju, southwestern Korea," *Geosciences Journal*, vol. 19, no. 2, pp. 185–188, June 2015, doi: 10.1007/s12303-015-0024-3.
- [21] T. Prohaska, C. Latkoczy, G. Schultheis, M. Teschler-Nicola and G. Stingeder, "Investigation of Sr isotope ratios in prehistoric human bones and teeth using laser ablation ICP-MS and ICP-MS after Rb/Sr separation," *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, no. 8, pp. 887–891, July 2002, doi: 10.1039/B203314C.
- [22] F. Lugli, A. Cipriani, J. Arnaud, M. Arzarello, C. Peretto and S. Benazzi, "Suspected limited mobility of a Middle Pleistocene woman from Southern Italy: strontium isotopes of a human deciduous tooth," *Scientific Reports*, vol. 7, 8615, Aug 2017, doi: 10.1038/s41598-017-09007-5.
- [23] J.A. Evans, J. Montgomery and G. Wildman, "Isotope domain mapping of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ biosphere variation on the Isle of Skye, Scotland," *Journal of the Geological Society*, vol. 166, no. 4, pp. 617–631, July 2009, doi: 10.1144/0016-76492008-043.
- [24] K.M. Frei and T.D. Price, "Strontium isotopes and human mobility in prehistoric Denmark," *Archaeological and anthropological sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 103–114, June 2012, doi: 10.1007/s12520-011-0087-7.
- [25] A. Nafplioti, "Tracing population mobility in the Aegean using

isotope geochemistry: a first map of local biologically available $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ signatures," *Journal of Archaeological Science*, vol. 38, no. 7, pp. 1560–157, July 2011, doi: 10.1016/j.jas.2011.02.021.



Silvia Díez-Fernández se licenció en 2010 en Biología por la Universidad de Oviedo, obteniendo el grado de Doctor en Química en 2017 en la misma Universidad. Desde entonces y hasta finales de 2018, trabajó como investigadora postdoctoral en el Comisariado de Energía Atómica en París (CEA-Saclay). Actualmente es alumna del Máster Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico en la Universidad Pablo de Olavide.

El tezontle, la piedra de México.

María del Rocío Muiños Barros

Resumen— Este artículo presenta el uso del tezontle como material partícipe en la historia de México a través de distintas épocas y diferentes ámbitos, mediante una descripción sistemática de su uso y con varios ejemplos, haciendo hincapié en su utilización como material en la construcción u ornamental.

Palabras Claves— Caracterización petrográfica, Evolución arquitectónica, México, roca volcánica, Tezontle.

1. INTRODUCCIÓN

La arquitectura mexicana exhibe una cromática peculiar proporcionada por el color de la piedra con el que fueron construidas sus edificaciones. Este gran colorido se debe al uso del tezontle, material utilizado desde la época prehispánica hasta la actualidad. Su empleo es muy variado, por lo que se intentará realizar una breve visión de esta piedra, sus características y sus usos a lo largo de la historia.

2. EL TEZONTLE

2.1. Historia del material

El tezontle, también conocido como escoria volcánica, viene del náhuatl *tezontli*, de *tetl* 'piedra' y *tzontli* 'cabelle- ra'; su significado tiene relación con la ligereza que presenta el cabello, característica que presenta el tezontle [1]. El hecho de que México presente numerosos afloramientos de tezontle, principalmente en la zona centro, se debe a su gran actividad volcánica.

A lo largo de la historia se puede encontrar como material para piedras de molienda de las tribus de cazadores-recolectores. Posteriormente, dentro de los hogares prehispánicos, lo encontramos en forma de molcajete/tejolote (similar a un mortero), metate/metlapil (similar a un molino barquiforme) (Fig. 1), o asociado a la construcción. Tras la llegada de los españoles, llegaron a llamarlo “el divino tezontle” [2], pues por ciertas características como su ligereza y resistencia, era muy afín al suelo inestable de México. Actualmente, se puede encontrar como material para: arreglos florales, baños de temazcal, hornos, para fabricar el tabicón negro, relleno de calles de terracería [3].



Fig. 1. a: Molcajete de tezontle, Museo de las Culturas. b: dos metates, Museo Nacional de Antropología, Ciudad de México [4].

2.2. Características de la piedra

El tezontle pertenece al grupo de las rocas ígneas volcánicas piroclásticas, de textura parcialmente vítrea, con algunos cristales aislados [5]. Al salir el magma a la superficie, el gas tiende a escapar, generando gran cantidad de burbujas que, al solidificarse, generan una textura conocida como vesicular, que aporta a la roca gran ligereza.

Tanto su composición química como su color pueden variar según su localización. Por una parte, el tezontle tiene una composición fundamentalmente basáltica (SiO_2 50-60%) de afinidad calcoalcalina (por ejemplo, en Michoacán). No obstante, en la zona de Hidalgo se han encontrado ejemplos de tezontle de composición riolítica, en los que análisis de difracción de rayos X (DRX) (Fig. 2) han mostrado proporciones significativas de cuarzo [5- 7].

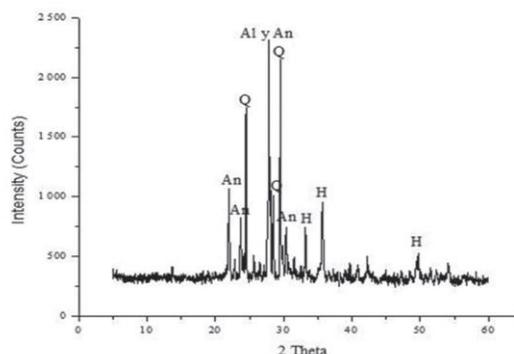


Fig. 2. El análisis preliminar del patrón de difracción de rayos X, muestra picos intensos de Cuarzo (Q), anortita (An), albita (Al) y hematita (H) [6].

Inicialmente el tezontle es de color negro, pero cuando se encuentra depositado cerca de la ventana o el cuello volcánico, al haber un sobrecalentamiento, se produce una oxidación del hierro, lo que provoca la aparición de tonos que varían del café al rojo (Fig. 3).



Fig. 3. Sillares de tezontle de diversas tonalidades [8].

Características como la alta porosidad, la resistencia, la dureza intermedia (5 Mohs) o la conservación del calor, son muy similares en todas sus variantes.

3. USO DEL TEZONTLE A LO LARGO DE LA HISTORIA

El hecho de que el tezontle permita la conservación de la temperatura de manera constante y uniforme, lo convirtió en un material de gran valor desde la antigüedad. Por eso mismo, lo podemos encontrar como elemento principal para toda clase de hornos (de cocina, metalurgia, etc.). Otro uso habitual es como material para elementos ornamentales, ya sea para decorar espacios o edificios. Este uso se relaciona con su ligereza y variedad tonal que le proporcionan unas calidades estéticas muy apreciadas, especialmente si se combina con la propia naturaleza, de ahí que sea muy utilizado por paisajistas. A continuación, se muestra la presencia del tezontle en la arquitectura, escultura y otras disciplinas, como la horticultura.

3.1. Uso de tezontle en la arquitectura

Época prehispánica

Encontramos este material en diferentes yacimientos arqueológicos de la región. Se puede encontrar como material en rellenos, en construcción, elementos ornamentales, ofrendas, etc. Debido a su liviandad, que lo convertía en un material adecuado para la construcción en el suelo lacustre de la cuenca, encontramos numerosos ejemplos, de los que enumeramos algunos:

- Es la piedra más abundante en las edificaciones del recinto ceremonial de Tenochtitlán. Se halla en el relleno, las escalinatas, las fachadas, los firmes de los pisos de estuco, las banquetas, los muros interiores, los sistemas de calefacción, los receptáculos de las ofrendas y los drenajes (Fig. 4) [9].



Fig. 4. Ruinas del Templo mayor, Ciudad de México [1].

- En el Templo Mayor de Tlatelolco, observamos que utilizaron tonos negro y rojo en el relleno y en los muros de revestimiento de la Etapa 1; en cambio, únicamente se empleó tezontle rojo en el relleno de las siguientes etapas constructivas: III (alrededor del 1431 d. C.), IV (alrededor del 1454 d. C.) y V (alrededor del 1482 d. C.) [1].
- En la pirámide de Tenayuca, lo encontramos como relleno de las siete etapas constructivas [9].

Época colonial: siglos XVI, XVII y XVIII

El tezontle fue muy apreciado en la época colonial. Esto se tradujo en la construcción de ciudades virreinales de diversas tonalidades por el uso del tezontle en sus fachadas. Los españoles, en el siglo XVI, cuando levantaron la nueva ciudad sobre México-Tenochtitlan, reutilizaron las piedras de las antiguas estructuras. Sin embargo, con la arquitectura barroca del XVII, el tezontle adquirió una nueva estética, como un acabado pulido que hacía lucir sus fachadas. En esta época colonial hay un auge de construcciones mendicantes. En estas construcciones se mantiene el uso del tezontle principalmente en morteros de juntas y de relleno, siendo realizados según la tradición prehispánica: cal, arena de tezontle rojo o negro y arcilla. Por otro lado, estas estructuras religiosas se caracterizaban, entre otras cosas, por sus muros de entre 80 cm a 1.20 m de ancho. Muros realizados mediante la colocación de hiladas de piedra a modo de cajas rectangulares y cuyo relleno era de piedra angulosa amarrada con mortero de cal, arena de tezontle, arcilla y caliche (Piedra pómez) [10]. Por último, también se puede encontrar como material de elementos reforzantes, columnas, ventanas, puertas, o para elementos ornamentales de portadas, balcones y etc [3].

A continuación, se enumeran algunos ejemplos de esta época:

- El Templo de San Juan Bautista Tetela del Volcán, en donde se aprecia la sucesión de hiladas de piedra, amarradas con este mortero de tradición prehispánica a base de cal-arena de tezontle rojo y arcilla.
- La Catedral Metropolitana en la Ciudad de México, en donde observamos unas portadas gemelas, dedicadas al Nuevo y al Antiguo testamento, flanqueadas por muros de sillares de tezontle rojizo (Fig. 5).



Fig. 5. Portada del Sagrario Metropolitano, Ciudad de México [11].

- En numerosos conventos virreinales como La Enseñanza, perteneciente a la Compañía de María de Nuestra Señora [3].

Época Moderna: 1810 a 1910.

Según investigaciones recientes, el tezontle decayó en uso a partir de la segunda mitad del XIX. Se cree que los motivos pudieron ser varios, en especial la aparición de nuevos materiales, la influencia del estilo Neoclásico y al agotamiento de este material en canteras cercanas a la capital. Sin embargo, su explotación continúa hasta hoy; exactamente hay registro de 44 minas activas sólo en el Estado de México [2], [12] y [13].

Al escasear este material en las canteras más cercanas a la capital, se recurrieron a otras más lejanas, como la del cerro del Peñón de Iztapalapa. En este lugar, se obtiene un tezontle negro duro y compacto, y otro muy ligero, rojo y negro, más cercano al camino entre México y Cuernavaca. A diferencia de las épocas pasadas, observamos que el tamaño de sus sillares es menor y más regular, como se aprecia en el Colegio de San Ignacio, las Vizcaínas o en el Antiguo Colegio de San Ildefonso (Fig. 6) [2, 14].



Fig. 6. Vista parcial de la fachada Sur del Colegio de San Ildefonso [15].

Desde 1910 a la fecha: el México contemporáneo

En estos años, el uso del tezontle se ha ido reduciendo aún. Observamos que su uso está muy dedicado a la rehabilitación y remodelaciones de antiguos edificios [2, 12]. Algunos ejemplos son:

- El Palacio Nacional, situado en la ciudad de México. Este edificio ha sufrido remodelaciones desde el s. XVI hasta 1926. Esta última remodelación, se realizó por motivo de la inauguración del *Salón de la Tesorería* y supuso una reforma profunda al edificio. De las acciones destaca la sustitución de la piedra blanca de la fachada por el actual tezontle rojizo [16].
- El edificio Gaona, construcción de estilo neocolonial. Este edificio se mandó construir por el torero Rodolfo Gaona, de ahí su denominación. Es uno de los ejemplos de las edificaciones surgidas en las primeras décadas del siglo XX, en las nuevas colonias Cuauhtémoc y Juárez. Estas construcciones se caracterizaban por reciclar la arquitectura colonial, especialmente en la ornamentación plateresca, el barroco, y como no, el empleo del tezontle [17].

2.2. Uso del tezontle en la escultura

El empleo del tezontle en el ámbito de los bienes muebles presenta similitudes con los bienes inmuebles. Con la llegada de los españoles, las tradiciones plásticas se fueron adaptando a los gustos de los colonizadores, de ahí que fueran abandonando la iconografía tradicional e incorporando nuevos materiales y técnicas, dando como resultado un sincretismo artístico. La nueva imaginería novohispana beberá de las imágenes religiosas españolas del XVII, combinando con materiales y técnicas pasadas, de tradición prehispánica. Empezaron a surgir ciertos elementos interiores exclusivos para vestir los espacios

religiosos, siendo el soporte más habitual madera, piedra de tipo basalto y andesita. Por eso mismo, los restos actuales reflejan el uso del tezontle casi exclusivamente en época prehispánica. [3, 9, 10]. Al igual que sucede en la arquitectura, el tezontle es recurrente en el periodo prehispánico, como material de tallas de bulto redondo y relieves, siendo estos últimos más comunes, como el Relieve lapidario con la representación del numeral "2 flor", del postclásico, encontrado en la Cuenca de México, lugar muy abundante para este material (Fig. 7.) [9, 18].



Fig. 7. Relieve postclásico [18].

3.3. Otros usos

El tezontle ha sido utilizado a lo largo de la historia para otros usos ajenos al arte o a la construcción. Se puede encontrar como herramienta de molienda o material abrasivo. Hoy en día, su empleo más habitual es como material ornamental en paisajismo, como sustrato en permacultura, o como material de cama para aves.

Centrándonos en el último caso [19], como elemento para cama de aves, su uso se debe a diferentes propiedades aún no mencionadas y otras ya observadas:

- a) A diferencia de otros materiales, este facilita la evaporación del agua.
- b) Es un material que no provoca molestias a las aves y mantiene muy bien el calor.
- c) No mancha los huevos.
- d) Por último, es un material que se puede obtener en todas las épocas del año, al contrario que ciertas plantas, además de que su costo es bajo en comparación con otros.

Además, la relación del tezontle en el ámbito agrícola o relacionado con la naturaleza [20, 21], se debe a las siguientes ventajas que presenta:

- 1) El tezontle conserva la humedad del suelo.
- 2) Ayuda a evitar el crecimiento de hierbas no deseadas
- 3) Sirve como limitador del espacio y se acomoda a él.

4. CONCLUSIONES

El empleo del tezontle desde tiempos prehispánicos hasta la actualidad, se explica no sólo por su abundancia en México, sino también por sus magníficas cualidades físicas. Combina características ideales para la construcción como ligereza, tenacidad, resistencia a la intemperie y buena liga con la argamasa. Cualidades que también pueden ser útiles en otras disciplinas como la permacul-

tura y que en la actualidad están siendo motivo de numerosos estudios [4, 20, 21].

En la arquitectura sacra del centro de México, el tezontle se encuentra abundantemente, desde las etapas más tempranas hasta las más tardías. Lo podemos ver en su estado natural o tallado, formando parte de los relleños constructivos o de las fachadas de los edificios.

Para terminar, cuando revisamos la bibliografía sobre este material, [5, 6, 7, 9, 20], se observó que existen muy pocos estudios de caracterización petrográfica y físico-química, por lo que son necesarias más investigaciones sobre caracterización química y física para comprender mejor la composición de esta roca.

REFERENCIAS

- [1] L. López J. Torres, A. Montúfar. "Tierra, Piedra y Madera para el Templo Mayor de Tenochtitlan." *Arqueología mexicana*, Vol. 11, N°. 64, pp 70-75 nov.-dic. 2003.
- [2] L. Rodríguez Morales. "La práctica constructiva en la ciudad de México. El caso del tezontle, siglos XVIII-XIX". *Boletín De Monumentos Históricos | Tercera Época*, Núm. 22, May-Ago 2011
- [3] L. Ledesma. "Materiales y sistemas constructivos en dos fundaciones mendicantes de las faldas del Popocatepetl ". *Boletín De Monumentos Históricos | Tercera Época*, Núm. 23, Sep-Dic 2011
- [4] J. Rodríguez, "Piedras de molienda de Mesoamérica. Grinding Stones from Mesoamerica" *Arqueología Iberoamericana* 37: 53-60. 2018. URL: <http://laiesken.net/arqueologia/>. Consultado el 29/04/2018
- [5] R. Geitgey, Pumice and volcanic cinder: *Industrial minerals and rocks, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Littleton, Colorado, 6th edition*, p 803-813. 1994.
- [6] B. Ponce, A. Ortiz, E. Otazo, E. Reguera, O. Acevedo, F. Prieto, C. González." Physical characterization of an extensive volcanic rock in México: "red tezontle" from Cerro de la Cruz, in Tlahuelilpan, Hidalgo, México", *Revista Acta Universitaria*, vol. 27, núm. 6, nov-dic 2017.
- [7] C. Chávez y E. Arreygue, "Caracterización Mecánica de la Escoria Volcánica (Tezontle), de la Zona de Morelia", Michoacán: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2011.
- [8] Web del Mercado libre: <https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-557774924-tezontle-rojo-laminado-en-cintilla-1M>. Consultado el 29/04/18
- [9] G. Mora Navarro. "Estudio de los mecanismos de alteración del edificio b «altar de cráneos» zona arqueológica Templo Mayor, Ciudad De México. Implicaciones petrográficas, geoquímicas y mecánicas" *San Luis Potosí, S.L.P. Septiembre, 2015*
- [10] V. Palma Linares. "Historia de la producción de cal en el norte de la cuenca de México". *CIENCIA ergo sum*, Vol. 1 6-3, Pp. 2 2 7 - 2 3 4. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. nov 2009- feb 2010.
- [11] Página web de imágenes Yelp: https://www.yelp.com.mx/biz_photos/sagrario-de-la-catedral-asunci%C3%B3n-m%C3%A9xico?select=kkxdNiDupXndao_nPOB1Yg Consultado el 29/04/18
- [12] C. Siebe "La erupción del volcán Xitle y las lavas del Pedregal hace 1670 +/-35 años AP y sus implicaciones" *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 43-50, 2009.
- [13] F. Piñeiro. *Inventario físico de los recursos Minerales del municipio Cortázar, Gto.* Consejo de recursos minerales, Dirección de Minas de Guanajuato. Mayo 2004.
- [14] L. Rodríguez Morales. "Una tabla de materiales de construcción del siglo XIX" *Boletín De Monumentos Históricos | Tercera Época*, Núm. 22, May-Ago 2011.
- [15] Página web del fotógrafo Javier García: <https://javiergarciamoreno.com/2014/10/30/fachada-sur-del/> Consultado el 29/04/18
- [16] Web del Palacio Nacional: <http://www.historia.palacionacional.info/visita-informativa/posrevolucion/arquitectura/102-la-renovacion-del-palacio-nacional.html> Consultado el 29/04/18
- [17] R. Fierro. *La gran corriente ornamental del siglo XX: una revisión de la arquitectura neocolonial en la Ciudad de México*. Universidad Iberoamericana, pp. 28, 62-74, 113-114 y 190-200. 1998
- [18] Página web de la Barrizona Magazine :<http://barriozona.com/el-tezontle-que-habla-lapidas-labradas-narran-mitologia-mexica/> Consultado el 29/04/18
- [19] B. Murillo, M. Cuca, A. Aguilera- "Empleo de tezontle (espuma volcánica) como material de cama para aves. "http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1980 Consultado el 29/04/2018
- [20] LI Trejo-Téllez, M. Ramírez, F. Gómez, J. Cruz, G. Baca y O. Tejada. "Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán." *Rev. Méx. Cienc. Agríc* vol. 4 no. 5 Texcoco may./jun. 2013.
- [21] A. González. "Reconstrucción paleoambiental del impacto humano. en el Abra de Bilbao durante los últimos 200 años". Universidad del País Vasco UPV/EHU, sep. 2016.



Maria del Rocio Muñoz Barros

Licenciada en Historia del Arte por la Universidad de Santiago de Compostela (USC), en las especialidades de Patrimonio Artístico, Historia del Arte Antigua y Medieval e Historia del Arte Contemporánea (2011). Título Superior equivalente a Grado en Restauración y Conservación de Bienes Culturales por la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Galicia, especialización en Arqueología (2015). Maestranda en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico por la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla (2017- actualidad) y en Historia del Arte de la Universidad Nacional Autónoma de México, en el campo de conocimiento de Estudios sobre los materiales y las técnicas en el Arte (2018- actualidad). Restauradora e investigadora en varias instituciones y proyectos arqueológicos desde el 2011.

Efecto del ejercicio físico sobre mayores frágiles con deterioro cognitivo leve, demencia o alzhéimer.

Sonia Ortega Gómez; Vanesa España Romero.

Resumen— El síndrome de la fragilidad afecta a la población envejecida en muchos aspectos y entre ellos el cognitivo. El ejercicio físico podría ser beneficioso para ambos factores por lo que se ha realizado una revisión de artículos científicos que identifica los efectos del mismo sobre mayores frágiles con deterioro cognitivo leve, demencia o alzhéimer. Finalmente, los resultados muestran mejoras en aspectos físicos y cognitivos y se concluye con el entrenamiento más apropiado.

Palabras Claves— Actividad Física, Alzhéimer, Ancianos, Demencia, Programa de Ejercicio.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El cambio demográfico hacia una población envejecida hace de especial interés tratar el síndrome de fragilidad [1], [2]. Este término es relativamente nuevo, suponiendo la disminución de reservas fisiológicas y resistencia del organismo a estresores debido al declive de múltiples sistemas fisiológicos que originan dificultad para mantener la homeostasis [3], [4].

A pesar de no contar con un método estandarizado válido clínicamente para su diagnóstico, existen dos definiciones muy utilizadas en el campo de la investigación. Estas fueron desarrolladas a partir del año 2001 y serían el Fenotipo de Fragilidad y el Índice de Fragilidad [3], [5]. Otros autores destacan la afección a múltiples dominios de funcionamiento incluyendo el cognitivo, dificultando preservar las funciones mentales y alterando la ejecución de actividades de la vida diaria (AVD) [6], [7].

El ejercicio físico ha demostrado ser beneficioso para mitigar la fragilidad y ser una herramienta útil para paliar el deterioro cognitivo por lo que es posible que personas mayores con ambas patologías obtengan beneficios al realizar programas de entrenamiento [8], [9], [10].

Con todo ello, el objetivo de esta revisión sistemática es identificar los efectos producidos por programas de ejercicio físico sobre la población mayor frágil con deterioro cognitivo leve (DCL), demencia o alzhéimer.

2. METODOLOGÍA DE BÚSQUEDA

Para revisar la literatura científica se realizó una búsqueda sistemática en las bases de datos Medline /Pubmed y Web of Science (WOS). El período de cobertura de la búsqueda se estableció desde el 1 de enero del 2001 hasta el 23 de mayo de 2018. Se aplicaron una serie de filtros:

- Publicados desde 2001.
- Intervenciones con humanos.

- Escritos en inglés o castellano.
- Ensayos clínicos, *i.e.*, intervención en actividad física o ejercicio.

2.1. Estrategia de búsqueda

Se basó en la combinación de términos MeSH, en el caso de la base de datos de Pubmed, con otra serie de conceptos:

(Alzheimer OR dementia OR cognitive impairment) AND (frail OR frailty OR fragility) AND (physical activity OR physical exercise OR exercise training OR exercise program OR physical activity program OR Fitness) AND (aged OR elderly OR older).

2.2. Criterios de inclusión y exclusión

Los estudios incluidos en esta revisión fueron aquellos que cumplían los criterios de inclusión y exclusión que marcan la Tabla 1.

3. RESULTADOS

3.1. Proceso de selección y criterios de calidad

El proceso de selección de artículos seguido en este trabajo queda reflejado en la Figura 1 y corresponde con la estructura de cuatro fases marcada por el diagrama de PRISMA [11]. Se identificaron 83 archivos y finalmente 11 de ellos fueron incluidos.

Para determinar la calidad metodológica de los estudios incluidos (n= 11) se ha aplicado la escala PEDro (Physiotherapy Evidence Database) [12]. Existe un elevado número de artículos (n=7) cuya calidad es buena [13], [14], [15] [16], [17], [18], [19] y además otros dos con nivel superior de calidad [20], [21]. Por último, un artículo mostró nivel justo [22] y otro fue pobre [23]. Ningún artículo fue excluido tras la aplicación de esta escala.

TABLA 1
CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
<p>Participantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> De ambos sexos mayores de 65 años. Con diagnóstico de deterioro cognitivo. Presentados como individuos frágiles. No presenten alguna enfermedad física que le impida realizar actividad física. No realizar actividad física regular superior a 20 min 3 días a la semana. Capaz de comunicarse sin problemas. De todas las nacionalidades. <p>Sin límites en la duración del estudio.</p>	<p>Cartas al editor</p> <p>Revisiones y/o metanálisis.</p> <p>Protocolos de estudio.</p> <p>Programas de ejercicio físico no supervisado.</p> <p>Participantes que presenten:</p> <ul style="list-style-type: none"> Enfermedad aguda o terminal. Depresión. Enfermedad cardiovascular inestable. Abuso del alcohol y/o habitual consumo de drogas.

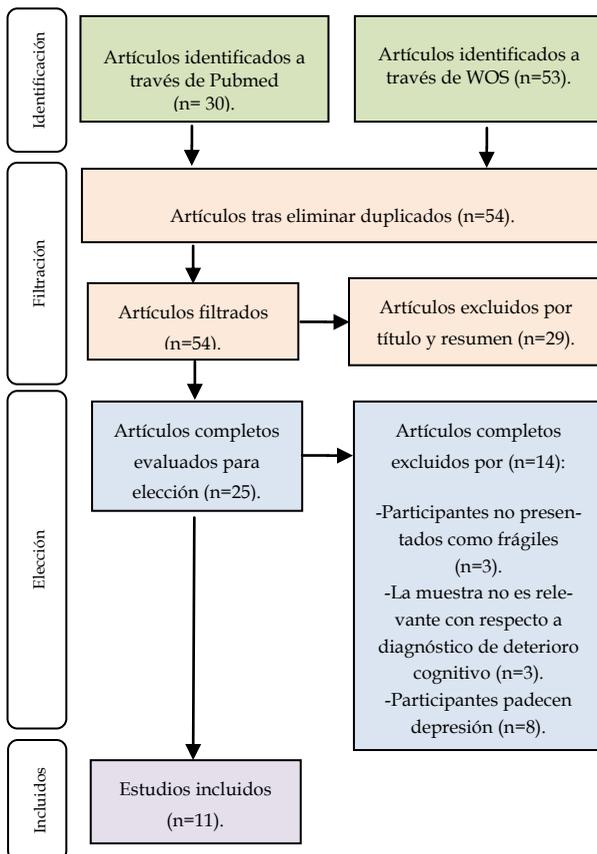


Fig. 1. Diagrama de flujo PRISMA de la estrategia de búsqueda.

3.2. Descripción de los estudios

La muestra incluyó 1136 participantes, siendo la muestra menor de 20 sujetos y la mayor de 241, con un rango de edad de 71 a 101 años. Los participantes procedían de asilos, centros de cuidados de día para mayores, comunidad hospitalaria, hogar de ancianos con demencia o vivían de modo independiente con o sin cuidados de apoyo. De todos los artículos analizados se encontraron 4 que se centraban en DCL [13], [14], [15], [22] y 7 en demencia [16], [17], [18], [19], [20], [21], [23], concretándose que de estos últimos, 171 participantes de un total de 581 padecían alzhéimer.

Las identificaciones de deterioro cognitivo se realizaron siguiendo el método *Mini-mental state examination* (MMSE) y solo un estudio añadió el *Diagnostic and Statistical Manual* (DSM-IV) [18]. La fragilidad fue nombrada sin determinación en la mayoría de los artículos, exceptuando en dos de ellos que usaron la definición de fenotipo [14], [15].

Las intervenciones de los estudios de DCL tuvieron una duración desde 6 semanas a 12 meses. El número de sesiones por semana de entrenamiento fueron desde 2 a 5, siendo más común 3 sesiones. La duración de estas supuso de 20 min a 1 hora. Con respecto a los estudios de demencia, las intervenciones fueron desde 6 semanas a 4 meses, el número de sesiones desde 2 a 5 por semana, siendo más comunes 2-3 sesiones, y el tiempo de dedicación de las mismas desde 30 minutos a 2 horas. Se compararon principalmente dos grupos (entrenamiento y control) o tres grupos (1- 2 de entrenamiento y/o 1- 2 control) en el caso de tres estudios [13], [17], [22]. Los programas de entrenamiento enfocados a participantes con DCL se basaron principalmente en movilidad, equilibrio y fuerza para tren inferior a alta o baja velocidad con gomas elásticas. Por otro lado, Scherder et al. [13] fundamentó sus entrenamientos en caminatas lentas con ayuda y habilidades manuales y expresiones faciales. Los programas para participantes con demencia consistieron fundamentalmente en ejercicios de fuerza, propiocepción, equilibrio, movilidad y flexibilidad dinámica y estática. La fuerza fue específica de tren inferior o con enfoque funcional a AVD y las intensidades variaron desde baja a máxima. Las intervenciones de Stevens et al. y Eggermont et al. [17], [18] fueron las menos usuales, consistiendo en ejercicios articulares de grandes grupos musculares para generar esfuerzo aeróbico suave con soporte musical y habilidades manuales, respectivamente. Todos estos entrenamientos fueron supervisados y además dos artículos incluyeron etapas de entrenamiento en el hogar [14], [15].

Las evaluaciones se realizaron principalmente al inicio y final del estudio junto con un seguimiento que varió entre 6 semanas y 9 meses. Finalmente todos los grupos de entrenamiento mostraron mejoras en al menos uno de sus parámetros objetivo que fueron evaluados, exceptuando una de las investigaciones de DCL [13].

4. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE LA EVIDENCIA CIENTÍFICA

4.1. Población mayor frágil con DCL

De un total de cuatro artículos, se han encontrado dos de ellos que llevaron a cabo un mismo programa de entrenamiento [14], [15]. Este constó de ejercicios de movilidad, equilibrio y fuerza de tren inferior, mostrando mejoras significativas en la discapacidad por movilidad, factores limitantes de actividad, participación y factores de riesgo de caídas. Otro estudio comparó un programa de entrenamiento de fuerza a alta velocidad con gomas elásticas frente a uno similar de baja velocidad. Ambos programas mejoraron significativamente la función cognitiva, función física enfocada a la movilidad y equilibrio y la fuerza muscular, destacando cambios mayores en el grupo de trabajo a alta velocidad [22]. La aplicación y duración de estos diseños fue muy dispar, por lo que tanto las sesiones de corta duración, varios días a la semana y en un período largo de tiempo (20- 60 min, dos veces por semana durante un año) como las sesiones de larga duración, escasos días a la semana y durante un período más corto de tiempo (60 min, dos veces por semana durante 3 meses) han resultado efectivas. Por otra parte, el último de los estudios que intentó mostrar los efectos positivos de la caminata lenta con ayuda o ejercicios de habilidades manuales y expresiones faciales sobre la función ejecutiva, desarrolló un programa de 30 minutos, 3 veces por semana durante 6 semanas. Sin embargo, no se observaron mejoras significativas tras el mismo [13]. Esto pudo deberse a la baja intensidad de sus intervenciones y/o la falta de duración del programa (6 semanas), además de un enfoque que busca únicamente mejoras cognitivas.

4.2. Población mayor frágil con demencia

De un total de siete artículos, dos tuvieron una metodología similar con un grupo de entrenamiento que trabaja ejercicios de fuerza de grandes grupos musculares a intensidad submáxima y ejercicios funcionales aplicables a las AVD, frente a un grupo control que también realiza ejercicio, enfocado en flexibilidad, autocargas, fuerza a baja intensidad y juegos de pelota sentado [19], [20]. Sus resultados exponían mejoras significativas por parte del grupo de entrenamiento en la fuerza máxima y rendimiento funcional englobando parámetros de marcha a velocidad máxima, equilibrio dinámico y movilidad. En línea con estos resultados, encontramos tres artículos que coinciden en la forma de trabajo, realizando ejercicios de fuerza que promueven el aumento de la velocidad de la marcha [16], [21], [23]. Específicamente, Toots et al. [21] intervinieron con ejercicios funcionales de alta intensidad centrados en la fuerza y movilidad de extremidades inferiores y equilibrio, mostrando que el aumento de la velocidad de la marcha solo se identificó en aquellos participantes que podían desplazarse sin ayuda. Hageman & Thomas [23] trabajaron la fuerza de tren inferior a intensidad moderada y con bandas elásticas, implemento que también ha sido usado anteriormente en las intervenciones de DCL [14], [15], y reportaron ese incremento de la velocidad de la marcha únicamente en la prueba a máxi-

ma velocidad. Por último, Toulotte et al. [16] añadieron para su intervención el trabajo de equilibrio, propiocepción y flexibilidad estática y dinámica, encontrando también beneficios adicionales en la movilidad, flexibilidad y equilibrio estático, además de la velocidad de la marcha. El período de actuación de 3 a 4 meses pareció ser adecuado, mostrándose una insuficiencia cuando el programa duraba 6 semanas [23]. Las sesiones oscilaron entre 45 min a 2 horas y 2 a 3 veces por semana. Siguiendo otras líneas de entrenamiento, Stevens & Killeen [17] analizaron los efectos del trabajo aeróbico a una intensidad suave generado por ejercicios articulares de grandes grupos musculares y obtuvieron una disminución de discapacidad en AVD y progresión de los síntomas de deterioro cognitivo. Aplicaron para ello sesiones de 30 min, 3 veces por semana y durante 3 meses. Eggermont et al. [18] ofrecieron un enfoque cognitivo a su intervención tratando las habilidades manuales y la única mejora representativa se dio en el estado de ánimo, a pesar de todos los parámetros que fueron evaluados. Esto podría estar causado por el escaso programa (6 semanas) y/o el tipo de trabajo que no llegaba a provocar un mínimo estímulo adaptativo.

4.3. Visión conjunta de los artículos seleccionados

La mayoría de estas investigaciones siguen una tendencia de trabajo basada en la fuerza de tren inferior al menos de intensidad moderada, movilidad y equilibrio que han dado como resultado beneficios en aspectos que interfieren en la fragilidad (fuerza, movilidad, equilibrio y marcha) y aspectos cognitivos (función cognitiva y discapacidad para AVD). Las habilidades manuales mostraron su poca eficacia tanto en participantes con DCL como demencia y el trabajo aeróbico únicamente demostró provecho a nivel cognitivo. Hasta donde nosotros sabemos, esta revisión sistemática es la primera que recoge los efectos del ejercicio físico sobre la población mayor frágil que además padece DCL o demencia ya que la literatura científica actual aporta evidencias por separado.

4.4. Limitaciones y fortalezas

Como limitaciones encontramos el número reducido de estudios que cumplieron los criterios de selección y la falta de consenso sobre los métodos de identificación de la fragilidad y/o la ausencia de especificación de los mismos. Además las características de la muestra mostraban comorbilidades diversas, pero estas han sido controladas por los investigadores para no interferir en los resultados finales. Las intervenciones y los parámetros evaluados fueron variados pero fue posible llegar a un consenso gracias a su similitud en la mayoría de los artículos. El efecto del ejercicio sobre enfermos de alzhéimer no fue resuelto por falta de concreción. Finalmente sería importante continuar con un trabajo de unificación de ideas sobre fragilidad e investigaciones de tipo ensayo clínico sobre mayores frágiles y con DCL o dementes.

5. CONCLUSIONES

El trabajo de fuerza de tren inferior principalmente, además del trabajo de equilibrio, movilidad y flexibilidad,

desde un enfoque funcional, deberían ser incluidos de modo combinado en programas de entrenamiento, ya que han mostrado ser los más eficaces para mejorar aspectos físicos y cognitivos en mayores frágiles con DC. La intensidad de trabajo debe ser como mínimo moderada, demostrándose que la alta intensidad o alta velocidad frente al entrenamiento tradicional puede impulsar a mayores incrementos y prolongarlos más en el tiempo. Las bandas elásticas son una buena opción como implementos en los ejercicios de fuerza. Programar los entrenamientos para sesiones de al menos 45 minutos, 2 a 3 veces por semana durante 3 meses parece ser suficiente para mejorar la velocidad de la marcha, fuerza, equilibrio, movilidad, flexibilidad y factores cognitivos.

REFERENCIAS

- [1] M. P. Molés Julio, A. Lavedán Santamaría, P. Jürschik Giménez, C. Nuin Orrio, T. Botigué Satorra, and L. Maciá Soler, "Study of the elderly frailty. Methodological design," *Gerokomos*, vol. 27, no. 1, pp. 8-12, 2016.
- [2] Web del INEbase / Demografía y población / Fenómenos demográficos / Indicadores demográficos básicos / Últimos datos.
http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736177003&menu=ultiDatos&idp=1254735573002. 2017.
- [3] L. P. Fried, C. M. Tangen, J. Waltson, A. B. Newman, C. Hirsch and J. Gottdiener, "Frailty in older adults: evidence for a phenotype," *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.*, vol. 56, no. 3, pp. M146-M156, 2001.
- [4] P. Abizanda, L. Romero, and C. Luengo, "Uso apropiado del término fragilidad," *Rev. Esp. Geriatr. Gerontol.*, vol. 40, no. 1, pp. 58-59, Feb. 2005.
- [5] A. B. Mitnitski, A. J. Mogilner, and K. Rockwood, "Accumulation of Deficits as a Proxy Measure of Aging," *Sci. World J.*, vol. 1, pp. 323-336, 2001.
- [6] R. J. Gobbens, K. G. Luijckx, M. T. Wijnen-Sponselee, and J. M. Schols, "Toward a conceptual definition of frail community dwelling older people," *Nurs. Outlook*, vol. 58, no. 2, pp. 76-86, 2010.
- [7] J. Gutiérrez Rodríguez and G. Guzmán Gutiérrez, "Definición y prevalencia del deterioro cognitivo leve," *Rev. Esp. Geriatr. Gerontol.*, vol. 52, pp. 3-6, Jun. 2017.
- [8] M. Giné-Garriga, M. Roqué-Figuls, L. Coll-Planas, M. Sitjà-Rabert, and A. Salvà, "Physical Exercise Interventions for Improving Performance-Based Measures of Physical Function in Community-Dwelling, Frail Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 95, no. 4, p. 753-769.e3, Apr. 2014.
- [9] F. Langlois, T.T. Vu, K. Chassé, G. Dupuis, M.J. Kergoat and L. Bherer, "Benefits of physical exercise training on cognition and quality of life in frail older adults.," *Journals Gerontol. Ser. B Psychol. Sci. Soc. Sci.*, vol. 68, no. 3, pp. 400-404, May 2013.
- [10] M. Y. Cui, Y. Lin, J. Y. Sheng, X. Zhang, and R. J. Cui, "Exercise Intervention Associated with Cognitive Improvement in Alzheimer's Disease.," *Neural Plast.*, vol. 2018, p. 9234105, 2018.
- [11] A. Liberati, D.G. Altman, J. Tetzlaff, C. Mulrow, P.C. Gøtzsche, J.P.A. Ioannidis, M. Clarke, P.J. Devereaux, J. Kleijnen and D. Moher, "The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration," *PLoS Med.*, vol. 6, no. 7, p. e1000100, Jul. 2009.
- [12] C. Cardoso Ribeiro, A. Gómez-Conesa, and M. D. Hidalgo Montesinos, "Metodología para la adaptación de instrumentos de evaluación," *Fisioterapia*, vol. 32, no. 6, pp. 264-270, Nov. 2010.
- [13] E. J. A. Scherder *et al.*, "Physical activity and executive functions in the elderly with mild cognitive impairment," *Aging Ment. Health*, vol. 9, no. 3, pp. 272-280, May 2005.
- [14] N. Fairhall, C. Sherrington, S. E. Kurrle, S. R. Lord, K. Lockwood, and I. D. Cameron, "Effect of a multifactorial interdisciplinary intervention on mobility-related disability in frail older people: randomised controlled trial," *BMC Med.*, vol. 10, no. 1, p. 120, Oct. 2012.
- [15] N. Fairhall, C. Sherrington, S.E. Kurrle, C. Langron, K. Lockwood, N. Monaghan, C. Aggar and I.D. Cameron, "Effect of a multifactorial, interdisciplinary intervention on risk factors for falls and fall rate in frail older people: a randomised controlled trial.," *Age Ageing*, vol. 43, no. 5, pp. 616-622, Sep. 2014.
- [16] C. Toulotte, C. Fabre, B. B. Dangremont, G. Lensele and A. Thévenon, "Effects of physical training on the physical capacity of frail, demented patients with a history of falling: a randomised controlled trial," *Age Ageing*, vol. 32, no. 1, pp. 67-73, Jan. 2003.
- [17] J. Stevens and M. Killeen, "A randomised controlled trial testing the impact of exercise on cognitive symptoms and disability of residents with dementia.," *Contemp. Nurse*, vol. 21, no. 1, pp. 32-40, 2006.
- [18] L. H. P. Eggermont, D. L. Knol, E. M. Hol, D. F. Swaab, and E. J. A. Scherder, "Hand motor activity, cognition, mood, and the rest-activity rhythm in dementia," *Behav. Brain Res.*, vol. 196, no. 2, pp. 271-278, Jan. 2009.
- [19] T. Zieschang, M. Schwenk, P. Oster, and K. Hauer, "Sustainability of motor training effects in older people with dementia.," *J. Alzheimers. Dis.*, vol. 34, no. 1, pp. 191-202, 2013.
- [20] K. Hauer, M. Schwenk, T. Zieschang, M. Essig, C. Becker, and P. Oster, "Physical Training Improves Motor Performance in People with Dementia: A Randomized Controlled Trial," *J. Am. Geriatr. Soc.*, vol. 60, no. 1, pp. 8-15, Jan. 2012.
- [21] A. Toots, H. Littbrand, H. Holmberg, P. Nordström, L. Lundin-Olsson, Y. Gustafson and E. Rosendahl, "Walking Aids Moderate Exercise Effects on Gait Speed in People With Dementia: A Randomized Controlled Trial," *J. Am. Med. Dir. Assoc.*, vol. 18, no. 3, pp. 227-233, Mar. 2017.
- [22] D. H. Yoon, D. Kang, H.-J. Kim, J.-S. Kim, H. S. Song, and W. Song, "Effect of elastic band-based high-speed power training on cognitive function, physical performance and muscle strength in older woman with MCI," *Geriatr. Gerontol. Int.*, vol. 17, no. 5, pp. 765-772, May 2017.
- [23] P. A. Hageman and V. S. Thomas, "Gait performance in dementia: the effects of a 6-week resistance training program in an adult day-care setting," *Int. J. Geriatr. Psychiatry*, vol. 17, no. 4, pp. 329-334, Apr. 2002.



Sonia Ortega Gómez recibió el título de Graduada en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte por la Universidad de Cádiz en 2017 y ha cursado el Máster en Actividad Física y Salud en la misma universidad durante 2017 y 2018. A partir de 2014 comenzó su actividad investigadora participando como ayudante y colaboradora en proyectos de investigación del Departamento de Didáctica de la Educación Física, Plástica y Musical de la Universidad de Cádiz. Su interés investigador se centra en la actividad física relacionada con la salud en poblaciones específicas, destacando la población mayor y la mujer.

¿Ocasiona fatiga muscular inspiratoria la realización de 200 metros lisos?

Miguel Ángel Puch Garduño, María José López Barrio.

Resumen— Gracias a diversos estudios sabemos que tras realizar diferentes modalidades de carreras pedestres acaece fatiga muscular inspiratoria. La mayoría de estos trabajos científicos han centrado sus esfuerzos en estudiar la relación existente entre fatiga muscular inspiratoria y carreras pedestres de prolongada duración y baja intensidad, tal como una maratón. Por el contrario, no existen actualmente publicaciones donde se analice una posible correlación entre fatiga muscular inspiratoria y carreras pedestres de corta duración y alta intensidad, tal como una prueba de 200 metros lisos. Todo en todo, esta investigación centra sus esfuerzos en resolver interrogantes como: ¿pueden producir fatiga muscular inspiratoria carreras pedestres de corta duración y alta intensidad? En caso de producirse fatiga muscular inspiratoria en pruebas de estas características, ¿podemos hacer algo para disminuir la fatiga producida?, ¿cómo podemos hacer tal cosa?

Palabras Claves— Atletismo, Diafragma, Músculos respiratorios, Sprint, Ventilación.



1. INTRODUCCIÓN

El diafragma es el principal músculo en la inspiración [1], [2], [3], [4]. Al igual que otros músculos esqueléticos, todos los músculos respiratorios pueden fatigarse si incrementamos su trabajo [2], [5]. La fatiga muscular puede ser definida como una pérdida en la capacidad de desarrollar fuerza o velocidad de movimiento, resultando en una actividad muscular mermada, proceso el cual es revertido tras un periodo de descanso [2], [5], [6], [7]. Para detectar la fatiga muscular inspiratoria, se pueden utilizar diferentes pruebas: estimulación del nervio frénico, maniobras de máxima inspiración voluntaria y electromiografía [2]. Quizás la maniobra de medición más destacada, por ser no invasiva, fácil de realizar y bien tolerada por los sujetos [7], es la maniobra de máxima presión inspiratoria voluntaria en boca. Esta prueba mide la fuerza de los músculos inspiratorios [4], [7], [8]. Por tanto, concluimos que la diferencia registrada por la prueba de máxima presión inspiratoria voluntaria en boca, entre pretest y postest, es usada para determinar el porcentaje de fatiga muscular inspiratoria asociada a la tarea realizada [8].

En la actualidad, diversos estudios previos han reportado fatiga muscular inspiratoria tras realizar diferentes ejercicios físicos, entre los que podemos encontrar carreras pedestres, triatlón, natación, remo y ciclismo [1], [8]. Si atendemos a los estudios que analizan la fatiga muscular inspiratoria sobrevenida en carreras pedestres, podemos observar que no existen publicaciones académicas donde se analice si se produce, o no, fatiga muscular inspiratoria tras la realización de carreras pedestres con duración inferior a 60 segundos y máxima intensidad. No obstante, ante la manifiesta carencia científica de estudios que analicen la existencia de fatiga muscular inspiratoria en carreras pedestres de duración inferior a 60 segundos y

máxima intensidad, creemos fundamental aumentar la investigación. En consecuencia, este estudio es diseñado con el objetivo de investigar la existencia de fatiga muscular inspiratoria en pruebas de máxima intensidad y duración menor a 60 segundos, tal como una prueba 200 metros lisos.

Diversos factores parecen poder incentivar la aparición de fatiga muscular inspiratoria en carreras pedestres de duración inferior a 60 segundos y máxima intensidad, tales como: incremento del esfuerzo de los músculos respiratorios asociado con un incremento de la ventilación durante el ejercicio [9] (citado en [1]); activación diafragmática para incrementar la presión intraabdominal [3], [10]; incremento del pico de lactato en sangre en pruebas de corta duración e intensidad máxima [11], [12]; limitación energética acaecida en ejercicios de corta duración y máxima intensidad [13]. Así, se hipotetiza que carreras pedestres de duración menor a 60 segundos y máxima intensidad, pueden inducir fatiga muscular inspiratoria. Para testear esta hipótesis, se midió la presión inspiratoria máxima en boca antes y después de la realización de 200 metros lisos.

2. METODOLOGÍA

2.1. Diseño experimental

Para la presente investigación se ha utilizado un diseño cuasi-experimental y descriptivo. La investigación se diseñó en un intento de comprobar si existe o no fatiga muscular inspiratoria en pruebas de menor duración a 60 segundos y máxima intensidad. Para ello, fue necesario que todos los participantes completaran 2 sesiones. La primera sesión fue destinada a la familiarización de los sujetos con los diferentes tests a realizar: test de máxima presión inspiratoria voluntaria en boca y test de 200 metros lisos. Además, los participantes también realizarán una familiarización con el calentamiento propuesto por

los investigadores. La segunda sesión se destinó a la recolección de datos, por lo que los sujetos completarán las mismas pruebas que en la sesión de familiarización. Entre ambas sesiones, se estableció un periodo de descanso de 48 horas. En un intento de garantizar una recolección de datos válidos, estables y precisos, se instó a los sujetos a realizar las siguientes acciones: 1) que mantuviesen su dieta habitual, evitando así una inusual, alta o baja, ingesta calórica [14]; 2) que permaneciesen bien hidratados [14]; 3) que se abstuvieran de consumir cafeína [8], [15]; 4) abstenerse de realizar ejercicio vigoroso [8], [15]; 5) que realizasen su rutina diaria habitual [8]. En cada sesión se atendió a los participantes individualmente.

2.2. Muestra

En esta investigación participaron 14 sujetos. La selección de participantes en el estudio se realizó atendiendo al cumplimiento de los requisitos preestablecidos, los cuales fueron: 1) no padecer ninguna enfermedad o problema de salud que pudiera suponer un riesgo ante el esfuerzo físico intenso (exención de patologías cardiovasculares, respiratorias, metabólicas o neuromusculares); 2) ser abstemio; 3) no fumador; 4) no consumir ningún tipo de droga; 5) ser físicamente activo. Todos los sujetos participantes carecían de experiencia previa en la realización de 200 metros lisos. Una vez seleccionados los sujetos que cumplían los requisitos y confirmada su disponibilidad, y tras ser informados del propósito de la investigación y los procedimientos experimentales, todos ellos dieron su consentimiento informado. Las características de los participantes son presentadas en la tabla 1.

TABLA 1
CARACTERÍSTICAS DE LOS PARTICIPANTES

Variables	Media \pm Desviación típica
Edad (años)	23.93 \pm 2.13
Altura (metros (m))	1.74 \pm 0.08
Peso (kilogramos (kg))	72.53 \pm 14.21
Tiempo en 200 m (segundos (s))	30.20 \pm 3.32

Muestra (n)= 14

2.3. Calentamiento

El calentamiento se realizó previo al test de 200 metros lisos con el objetivo de preparar el cuerpo para una actividad posterior de alta intensidad y, prevenir así, posibles lesiones derivadas de la propia actividad [16]. En primer lugar, los sujetos comenzaron el calentamiento realizando una carrera pedestre con una duración de 10 minutos, a una intensidad donde la capacidad de habla no se viese afectada (a través de la capacidad de habla se determinó aproximadamente la intensidad del calentamiento, pues como es sabido, la ventilación se incrementa durante el ejercicio en proporción directa a la intensidad del esfuerzo [13]. Así, una alta intensidad conlleva una alta ventilación, y esta alta ventilación, un deterioro en la capacidad de habla). Posteriormente, y tras descansar 2 minutos, se propuso a los sujetos 4 tareas específicas, donde se les permitió 1 minuto de descanso entre cada una de las tareas (figura 1). Por último, los sujetos tuvieron un periodo de recuperación de 5 minutos antes de la prueba. En este

periodo de recuperación, los sujetos permanecieron con ropa de abrigo realizando un calentamiento de tipo pasivo [17].

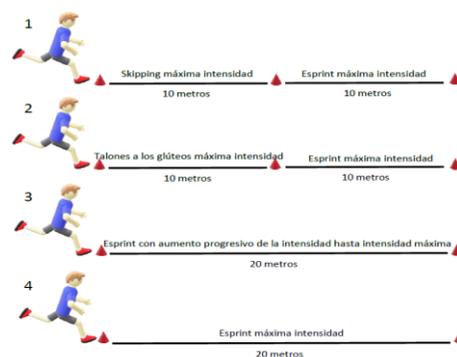


Fig. 1. Tareas específicas del calentamiento.

2.4. Test de 200 metros lisos

El test de 200 metros lisos se ejecutó en un tartán de atletismo exterior de 400 metros. La calle utilizada fue la número 4, facilitando a los sujetos la trayectoria curva. El tartán de atletismo se encuentra a 44 metros sobre el nivel del mar. Las condiciones ambientales eran de \approx 17 grados centígrados y humedad \approx 60%. Todos los participantes comenzaron la prueba en posición vertical y estática (salida en dos apoyos), con un pie adelantado lo más cercano posible a la línea de salida [1]. El pre-periodo se realizó mediante señal acústica y duración aleatoria, oscilando dicha duración entre 2.000 y 4.000 milisegundos [18]. El tiempo empleado por los participantes fue registrado con un cronómetro manual de precisión 1/100 segundos (W-211-1BVES) [1].

2.5. Test de máxima presión inspiratoria en boca

El test de máxima presión inspiratoria voluntaria en boca se realizó a cada sujeto en posición sentada y con la nariz ocluida. Los sujetos presionaban fuertemente la boquilla con los labios, evitando fugas periorales. La máxima presión inspiratoria era medida cerca del volumen residual, el cual se conseguía tras realizar una espiración máxima. La presión inspiratoria máxima fue mantenida al menos durante un segundo [19]. Las medidas fueron repetidas hasta que se realizaron 7 técnicas satisfactorias y reproducibles. Entre cada una de las mediciones realizadas, se otorgaba al sujeto un descanso de 30 segundos, evitando que el propio test indujese fatiga muscular inspiratoria [15]. Para los cálculos, se realizó una media aritmética con cinco datos, pues de los siete datos obtenidos se descartaron los valores extremos. La evaluación de la máxima presión inspiratoria voluntaria en boca se realizó mediante un medidor portátil de presión bucal (MicroRPM, MicroMedical Ltd, Kent, United Kingdom). El test de máxima presión inspiratoria voluntaria en boca fue realizado en 2 ocasiones: antes del calentamiento y tras el test de 200 metros lisos. La máxima presión inspiratoria voluntaria en boca fue medida 2 minutos después de finalizar el test de 200 metros lisos, dando tiempo al sujeto a normalizar su ventilación [20]. El porcentaje de decremento en la máxima presión inspiratoria voluntaria en boca entre el calentamiento y el test de 200 metros lisos, fue considera-

do representativo de la fatiga muscular inspiratoria asociada al test [1], [8]. Al incluir ambos sexos en el estudio, se optó por relativizar la medida, pues cuando la máxima presión inspiratoria es tratada como máxima presión inspiratoria relativa a la masa corporal, las diferencias entre sexos desaparecen. La unidad de medición utilizada fue centímetros de agua relativos al peso corporal ($\text{cmH}_2\text{O kg}^{-1}$) [4].

2.6. Análisis estadístico

Los datos han sido presentados como medias y desviaciones típicas. Para realizar el análisis estadístico, se ha utilizado el software IBM SPSS Statistics V.25 para Windows. La prueba de Shapiro-Wilk ha sido usada para comprobar la normalidad de la distribución en cada una de las variables. Se ha realizado una prueba T de Student para muestras relacionadas con el fin de analizar los cambios intragrupo entre el pretest y postest. Para la prueba T de Student para muestras relacionadas, se ha establecido una significancia estadística de $p < 0.01$.

3. RESULTADOS

Los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk mostraron normalidad en las variables de estudio. La figura 2 muestra los valores individuales y medios del test de máxima presión inspiratoria voluntaria en boca antes del calentamiento y después del test de 200 metros lisos. Los participantes experimentaron una presión inspiratoria significativamente mayor antes del test ($M = 1.635$, $SE=0.09$) que después del mismo ($M = 1.492$, $SE = 0.09$, $t(13) = 3.31$, $p < 0.01$, $r = 0.68$), produciéndose un decremento medio de la presión inspiratoria de un 8.8 ± 9.5 .

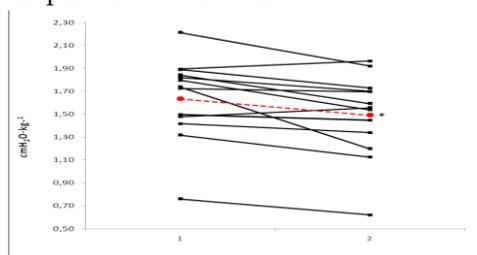


Fig. 2. Máxima presión inspiratoria en boca antes del calentamiento (1) y después del test de 200 metros lisos (2) (■ = individual, ● = media, $n = 14$). * Diferencias significativas ($p < 0.01$).

3. DISCUSIÓN

Los resultados sobrevenidos respaldan nuestra hipótesis de que carreras pedestres con duración inferior a 60 segundos y máxima intensidad, tal como una prueba de 200 metros lisos, pueden inducir fatiga muscular inspiratoria. Nuestros resultados muestran como tras una prueba de 200 metros lisos con duración 30.20 ± 3.32 segundos y máxima intensidad, se produce un decremento en la presión inspiratoria máxima correspondiente a un $8.8 \pm 9.5\%$.

Dilucidar los mecanismos por los cuales se produce fatiga muscular inspiratoria ha sido objeto de estudio [1]. Sin embargo, los distintos autores han atribuido la aparición de fatiga muscular inspiratoria a factores aislados, lo cual,

desde nuestro punto de vista es un error, ya que contemplamos la aparición de fatiga muscular inspiratoria como un fenómeno holístico y donde múltiples factores toman parte. Así, proponemos a continuación, una explicación donde la interrelación de diversos factores explican la aparición de fatiga muscular inspiratoria.

En primer lugar, uno de los factores que parecen favorecer la aparición de fatiga muscular inspiratoria, es el incremento del esfuerzo de los músculos respiratorios asociado al incremento de la respiración durante el ejercicio [9] (citado en [1]). Recordemos así que el diafragma, es el principal músculo inspiratorio [1], [2], [3], [4]. La ventilación aumenta de manera lineal con la intensidad del trabajo físico. A altas intensidades de ejercicio ($>$ umbral anaeróbico), se produce un incremento desproporcionado de la ventilación, pasando de 5 litros \cdot minuto $^{-1}$ en reposo hasta incluso 200 litros \cdot minuto $^{-1}$ en ejercicios intensos. Estos altos niveles de ventilación, son conseguidos incrementando la frecuencia respiratoria, el volumen tidal o ambas [21]. Por consecuencia, para conseguir un aumento de la respiración, es necesario un mayor número de contracciones diafragmáticas y de mayor intensidad en el reclutamiento de sus fibras, lo cual podría repercutir en la aparición de fatiga muscular inspiratoria.

Además de su rol respiratorio, el diafragma contribuye a aumentar la presión intra-abdominal (junto a otros músculos) [3], [10]. Este aumento de la presión intra-abdominal persigue varias funciones. Una de estas funciones es mantener la estabilidad de la espina dorsal durante la carrera pedestre [3]. Otra de estas funciones es disminuir las presiones sobre la espina dorsal cuando se incrementa el pico de fuerza vertical ejercida contra el suelo, al realizar actividades como correr [10]. Además, el diafragma desempeña otras funciones secundarias, pero también presentes en la carrera pedestre, como ayudar a la circulación [10] o disminuir el desplazamiento del contenido abdominal [3], [10]. Posiblemente, estas funciones incrementen la fatiga muscular inspiratoria.

Por último, es también posible que una disminución del potencial de hidrógeno y un insuficiente aporte energético contribuyan a incrementar la fatiga muscular inspiratoria. En pruebas atléticas de 200 metros lisos, la obtención de energía se realiza en su mayoría a través del metabolismo anaeróbico, llegando a picos de lactato de entre 10.4 y 10.8 milimol litro $^{-1}$ en hombres y mujeres respectivamente [11]. Este lactato es producido por múltiples músculos, entre los cuales incluimos a los músculos respiratorios, quienes utilizan el metabolismo anaeróbico cuando trabajan a cargas elevadas, pues es la única forma de mantener una ventilación adecuada [22]. El lactato producido por esta ruta metabólica merma la capacidad de generar fuerza [23]. Esta pérdida de fuerza o fatiga se debe a una acidosis muscular, la cual es revelada por el alto pico de lactato sanguíneo [12]. La acidosis de las fibras musculares inhibe la descomposición de glucógeno, ya que se dificulta la acción enzimática glucolítica [13]. Esto conlleva que la glucólisis anaeróbica no pueda apor-

tar la suficiente energía por unidad de tiempo. Esta incapacidad de utilizar correctamente los sustratos energéticos para generar energía debido a una disminución del potencial de hidrógeno, podría acelerar la aparición de fatiga muscular inspiratoria. Además, la acidosis reduce la capacidad de combinación del calcio con las fibras musculares e impide, de este modo, la acción muscular, lo cual es otro factor que puede interceder en la aparición de fatiga muscular inspiratoria [13].

5. CONCLUSIONES

La fatiga muscular inspiratoria generada en 200 metros lisos, es razón suficiente para que los entrenadores prescriban entrenamiento inspiratorio a sus deportistas, intentando reducir o retrasar la aparición de la fatiga.

REFERENCIAS

- [1] T. Ohya, R. Yamanaka, M. Hagiwara, M. Oriishi, y Y. Suzuki, «The 400- and 800-m Track Running Induces Inspiratory Muscle Fatigue in Trained Female Middle-Distance Runners», *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 30, n.º 5, pp. 1433-1437, may. 2016.
- [2] L. Janssens *et al.*, «The assessment of inspiratory muscle fatigue in healthy individuals: a systematic review», *Respiratory Medicine*, vol. 107, n.º 3, pp. 331-346, mar. 2013.
- [3] P. W. Hodges, J. E. Butler, D. K. McKenzie, y S. C. Gandevia, «Contraction of the human diaphragm during rapid postural adjustments», *Journal of Physiology*, vol. 505, pp. 539-548, dic. 1997.
- [4] T. Ohya, M. Hagiwara, K. Chino, y Y. Suzuki, «Maximal inspiratory mouth pressure in Japanese elite female athletes», *Respiratory Physiology & Neurobiology*, vol. 238, pp. 55-58, nov. 2017.
- [5] M. O. Segizbaeva, Z. A. Donina, N. N. Timofeev, Y. N. Korylyov, V. N. Golubev, y N. P. Aleksandrova, «EMG analysis of human inspiratory muscle resistance to fatigue during exercise», *Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol. 788, pp. 197-205, may. 2013.
- [6] «NHLBI Workshop summary. Respiratory muscle fatigue. Report of the Respiratory Muscle Fatigue Workshop Group», *American Review of Respiratory Disease*, vol. 142, n.º 2, pp. 474-480, ago. 1990.
- [7] American Thoracic Society/European Respiratory Society, «ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing», *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 166, n.º 4, pp. 518-624, ago. 2002.
- [8] S. Brown y A. E. Kilding, «Exercise-induced inspiratory muscle fatigue during swimming: the effect of race distance», *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 25, n.º 5, pp. 1204-1209, may. 2011.
- [9] A. Aliverti *et al.*, «Human respiratory muscle actions and control during exercise», *Journal of Applied Physiology*, vol. 83, n.º 4, pp. 1256-1269, oct. 1997.
- [10] S. Grillner, J. Nilsson, y A. Thorstensson, «Intra-abdominal pressure changes during natural movements in man», *Acta Physiologica Scandinavica*, vol. 103, n.º 3, pp. 275-283, jul. 1978.
- [11] R. Duffield, B. Dawson, y C. Goodman, «Energy system contribution to 100-m and 200-m track running events», *Journal of Science and Medicine in Sport*, vol. 7, n.º 3, pp. 302-313, sep. 2004.
- [12] P. J. Saraslanidis, V. Panoutsakopoulos, G. A. Tsalis, y E. Kyprianou, «The effect of different first 200-m pacing strategies on blood lactate and biomechanical parameters of the 400-m sprint», *European Journal of Applied Physiology*, vol. 111, n.º 8, pp. 1579-1590, ago. 2011.
- [13] J. H. Wilmore y D. L. Costill, *Fisiología del Esfuerzo y del Deporte*. Editorial Paidotribo, pp. 123,264, 2007.
- [14] M. Lomax, C. Iggleden, A. Tourell, S. Castle, y J. Honey, «Inspiratory muscle fatigue after race-paced swimming is not restricted to the front crawl stroke», *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 26, n.º 10, pp. 2729-2733, oct. 2012.
- [15] J. U. Gonzales y J. S. Williams, «Effects of acute exercise on inspiratory muscle strength and endurance in untrained women and men», *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, vol. 50, n.º 3, pp. 268-273, sep. 2010.
- [16] R. Tillaar, T. Vatten, y E. Heimburg, «Effects of Short or Long Warm-up on Intermediate Running Performance», *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 31, n.º 1, pp. 37-44, ene. 2017.
- [17] D. Bishop, «Warm up II: performance changes following active warm up and how to structure the warm up», *Sports Medicine*, vol. 33, n.º 7, pp. 483-498, 2003.
- [18] J. Gálvez-González, J.C. Caracuel-Tubío, y J.C. Jaenes-Sánchez, «Práctica de Actividad Física y Velocidad de procesamiento cognitivo en Mayores», *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, vol. 11, n.º 44, pp. 803-816, dic. 2010.
- [19] L. F. Black y R. E. Hyatt, «Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex», *American Review of Respiratory Disease*, vol. 99, n.º 5, pp. 696-702, may 1969.
- [20] G. L. Warren, K. J. Cureton, y P. B. Sparling, «Does lung function limit performance in a 24-hour ultramarathon?», *Respiration Physiology*, vol. 78, n.º 2, pp. 253-263, nov. 1989.
- [21] J. L. Chicharro y A. F. Vaquero, *Fisiología del Ejercicio*. Editorial Médica Panamericana, pp. 358,359,361, 2006.
- [22] B. Abejón Insua, «Efectes de l'entrenament del diafragma i músculs accessoris de la inspiració en atletes d'elit. Balanç inflamatori/anti-inflamatori i impacte funcional específic i sistèmic sobre la capacitat d'exercici», Ph.D. Thesis, Universitat Autònoma de Barcelona, 2008.
- [23] E. M. Gorostiaga *et al.*, «Vertical jump performance and blood ammonia and lactate levels during typical training sessions in elite 400-m runners», *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 24, n.º 4, pp. 1138-1149, abr. 2010.



Miguel Ángel Puch Garduño. Graduado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte por la Universidad Pablo de Olavide en 2018. Alumno interno en el Departamento de Fisiología del Ejercicio entre 2016-2017.

María José López Barrio. Estudiante de cuarto curso del grado de Psicología en Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Efecto de un entrenamiento combinado de sentadilla y arrastre (carga alta vs. carga baja) sobre el sprint, cambio de dirección, salto vertical y fuerza.

Álvaro Expósito Gutiérrez

Resumen— El objetivo principal de nuestro estudio fue comparar los efectos que produce un entrenamiento combinado de sentadillas con cargas moderadas y de arrastres (cargas altas vs. cargas bajas) sobre el salto vertical, cambio de dirección, velocidad y fuerza del tren inferior. Cuarenta y cuatro sujetos físicamente activos se presentaron voluntarios para un programa de entrenamiento de 8 semanas, entrenando un día por semana. La elección de grupo se llevó de forma aleatoria, siguiendo el método ABBA, según el rendimiento en el test CMJ, con el propósito de dividir a los sujetos en dos grupos: cargas altas (GCA) y cargas bajas (GCB). No se observaron diferencias significativas entre grupos para el pre – test y el post – test para ninguna de las variables, analizadas por la prueba ANOVA de un factor. Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) intra grupo en todas las variables. Fuerza, sprint y cambio de dirección mejoraron significativamente con los dos entrenamientos. En cuanto al salto, dependiendo de la carga, mejoró una variable u otra. Los resultados de este estudio sugieren que un entrenamiento combinado de sentadilla con cargas entre el 40 y 55% de la 1RM y arrastres con carga del 12.5 % de la masa corporal, produce mejoras significativas en el sprint, el cambio de dirección, fuerza y la capacidad de salto mientras que el mismo entrenamiento de sentadilla (misma carga) y arrastre, pero con cargas altas (80 % del peso corporal), no produjo mejoras significativas para el salto con ayuda de manos, pero sí en el resto de variables.

Palabras Claves— Jump, Sled towing, Sprint, Squat, Strength.

1. INTRODUCCIÓN

En la literatura científica existen numerosas publicaciones dedicadas a la mejora de la fuerza u otra variable física a través del entrenamiento de sentadilla, arrastres o la combinación de ambas, dedicado tanto para hombres como mujeres. [1].

Tradicionalmente, se ha considerado entrenamiento de fuerza máxima, entrenar con el 90% o 100% de la 1RM, cargas que tratan de mejorar el funcionamiento del sistema nervioso. Por otro lado, en los entrenamientos de fuerza y velocidad, las cargas usadas son inferiores a las de fuerza máxima y la velocidad de ejecución es superior. [2]. Se sugiere que, para entrenar y mejorar la velocidad y la fuerza a través de un ejercicio de sentadillas, lo ideal es entrenar con cargas entre el 45 y el 60% de la 1RM. [3].

Los entrenamientos de sprints con trineos de arrastre son útiles para la mejora de la fuerza específica del sprint, aspecto fundamental en deportes de campo y para velocistas donde se suele utilizar estos entrenamientos. [4]. La carga idónea que utilizar se calcula en base a porcentajes de la masa corporal del sujeto y esta no debe disminuir la velocidad máxima por debajo de un 90%.

La mejora del sprint en distancias cortas, es decir, la mejora de la aceleración es fundamental puesto que la mayoría de los sprints suelen ser de corta duración (10 – 20 metros o 2 – 3 segundos). Por ello, entrenamientos con una carga del 12,6 % - 13 % del peso corporal mejora la

aceleración en los primeros metros de un sprint. [5], [6]. Así, utilizar cargas superiores puede alterar la biomecánica y cinemática de carrera y puede afectar al rendimiento en el deporte. [7], [8].

Entrenamientos de sentadilla produce mejoras en la fuerza del tren inferior y esta mejora se refleja en el desarrollo de un sprint inferior a 30 metros. [9]. Así, en el estudio de Styles et al. [10], programar entrenamientos de sentadilla en futbolistas durante la temporada tuvo mejoras significativas que se reflejaron en la disminución de los tiempos de sprint en distancias de 5, 10 y 20 metros.

Por ello, el objetivo principal de nuestro estudio fue comparar los efectos que produce un entrenamiento combinado de sentadillas con cargas moderadas y de arrastres con cargas altas VS. entrenamiento combinado de sentadillas con cargas moderadas y arrastre con cargas bajas sobre el salto vertical, cambio de dirección, velocidad y la fuerza del tren inferior.

2. METODOLOGÍA

2.1. Diseño del Estudio

La duración de este estudio experimental fue de 8 semanas de entrenamiento, 2 semanas de tests (pre – test y post – test) y una semana con una sesión de familiarización, donde los sujetos aprendieron la técnica correcta para ejecutar cada test. Los test llevados a cabo

fueron: velocidad en 30 metros, test de agilidad, capacidad de salto y fuerza del tren inferior en el ejercicio de sentadilla. El lugar de estudio fue la universidad Pablo de Olavide, en pista interior de tartán.

2.2. Muestra

Los sujetos participantes fueron sujetos físicamente activos. En total hubo 44 sujetos, tanto hombres como mujeres. Se elaboraron dos grupos de trabajo y los sujetos se distribuyeron de forma aleatoria según el rendimiento obtenido en el test CMJ de mayor a menor resultado siguiendo el método ABBA, como podemos ver en la tabla 1.

Para participar en el estudio, se exigía a los participantes tener experiencia en entrenamientos de fuerza, no realizar actividad extenuante los días previos a los entrenamientos y no estar lesionado. Si algún sujeto no cumplía estos requisitos sería participe del grupo control con el objetivo de evitar variables contaminantes en el estudio.

TABLA 1.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUJETOS. (MEDIA \pm DT).

	GCA	GCB
	N = 23	N = 21
Edad (años)	22,3 \pm 2,2	22,6 \pm 3,1
Altura (cm)	173,7 \pm 7,3	173,9 \pm 7,8
Peso (Kg)	70,3 \pm 9,5	67,3 \pm 9,1

GCA = grupo con sentadilla y arrastre con carga alta. GCB = grupo con sentadilla y arrastre con carga baja. N = número de la muestra.

2.3. Descripción de los test

Con el objetivo de evaluar el estado inicial y final de los sujetos se llevaron a cabo los siguientes tests:

- Test 30m: analizar el tiempo en recorrer 30 metros a sprint. Se realizaron 2 intentos y para el análisis posterior se tomó el mejor resultado. Se medía a través de células fotoeléctricas (Racetime2; Microgate; Bolzano, Italia), colocadas cada 10 metros. (0, 10, 20 y 30 m). La salida fue desde un metro antes de la línea y parado con el objetivo de evitar contramovimiento. Se descansó 3 minutos.
- Test Agilidad 10+10: evaluar la agilidad y el cambio de sentido a través de 10 metros de sprint. Se realizaron dos intentos y para el análisis posterior se tomó el mejor resultado. Se medía a través de células fotoeléctricas (Racetime2; Microgate; Bolzano, Italia) colocadas en la línea de salida. Se esprintaba 10 metros, cambio de dirección de 180° y se volvía a esprintar. La salida se realiza desde parado.
- Test de Salto Vertical: se realizó el test CMJ y Abalakov. Ambos tests median la altura del salto vertical a través del tiempo de vuelo. Se medía a través de la plataforma de salto Optojump Microgate; Bolzano, Italia). Se realizaron 3 saltos de CMJ y 3 saltos Abalakov, seguidos, es decir, sin descanso entre ellos. El tiempo de descanso era mínimo. En el test

CMJ, las manos van en la cadera y en el Abalakov, las manos van libres. [11], [12].

- Test Sentadilla: estimar cual era la 1RM de los sujetos a través de la velocidad a la que desplazaban la carga más alta y se hizo a través de la velocidad media propulsiva (VMP) [13]. Se utilizó una multipower (Adamsport, Granada, España). La técnica fue con bajada lenta y controlada y subida a máxima velocidad. El peso se incrementa de 10 kg en 10 kg. Cuando la VMP medida a través del encoder lineal (T – Force, Ergotech, Murcia, España) bajaba de 1 m/s se estimaba el 1RM.

2.4. Descripción de los entrenamientos

Las sesiones de entrenamiento fueron supervisadas y la duración de esta fue de aproximadamente 1 hora y media. Las sesiones de entrenamiento empezaban con un pequeño calentamiento y estiramiento. La carga de entrenamiento y el volumen se puede observar en la figura 1.

PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO								
	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4	Sesión 5	Sesión 6	Sesión 7	Sesión 8
	Sentadillas							
Carga	3x6	3x8	3x6	3x8	3x4	3x6	3x4	3x6
Sentadillas	40%	40%	45%	45%	50%	50%	55%	55%
	1RM	1RM	1RM	1RM	1RM	1RM	1RM	1RM
	Arrastres							
Carga	12,5 % Peso Corporal		5x20 m		6x20 m		7x20 m	
Arrastres	4x20 m		5x20 m		6x20 m		7x20 m	
	80 % Peso Corporal		5x20 m		6x20 m		7x20 m	
	4x20 m		5x20 m		6x20 m		7x20 m	

Figura 1. Descripción del programa de entrenamiento.

2.5. Análisis estadístico

Los datos se presentan como medias y desviaciones típicas (dt). La homogeneidad de las varianzas entre grupos se confirmó utilizando el test de Levene. La normalidad de la distribución en cada una de las variables se comprobó mediante la prueba de Shapiro Wilk. Los datos fueron analizados para comparar medias intra grupos se utilizó el test T – Student y para comparar las medias entre grupos se utilizó ANOVA de un factor. Se consideró un nivel alfa de significación como $P \leq 0,05$. Se usó el paquete estadístico SPSS 18.0 para el resto del análisis.

3. RESULTADOS

No se observaron diferencias significativas entre grupos ni en el pre – test ni en el post – test para ninguna de las variables analizadas por la prueba ANOVA de un factor. En la tabla 2, se observan los resultados:

TABLA 2. RESULTADOS.

	GCA (n = 22)		GCB (n = 21)	
	PRE – TEST	POST – TEST	PRE – TEST	POST – TEST
1RM (kg)	76,62 ± 20,65	87,62 ± 26,23**	74,6 ± 28,6	82,7 ± 29,9**
T 10 (s)	1,80 ± 0,10	1,80 ± 0,12	1,84 ± 0,14	1,82 ± 0,14
T 20 (s)	3,14 ± 0,18	3,12 ± 0,20*	3,20 ± 0,26	3,16 ± 0,25
T 30 (s)	4,40 ± 0,28	4,36 ± 0,28*	4,50 ± 0,41	4,44 ± 0,37*
Agilidad (s)	4,81 ± 0,20	4,74 ± 0,23***	4,90 ± 0,28	4,78 ± 0,28**
CMJ (cm)	32,63 ± 5,98	35,10 ± 6,44*	31,58 ± 6,33	32,99 ± 7,13***
ABK (cm)	36,99 ± 6,80	39,32 ± 6,75	36,94 ± 8,07	37,25 ± 8,15***

*T10 = Tiempo en recorrer a sprint 10 metros. T 20 = Tiempo en recorrer a sprint 20 metros. T 30 = Tiempo en recorrer a sprint 30 metros. CMJ = Altura en el salto con contramovimiento. ABK = Altura en el salto con ayuda de brazos 1RM = Una repetición máxima GCA = Grupo cargas altas que realizó un entrenamiento de SQ + Arr CA. GCB = Grupo cargas bajas que realizó un entrenamiento de SQ + Arr CB. Diferencias intra – grupo: * p < 0,05, ** p < 0,01 y *** p < 0,001.*

En cuanto a los resultados, para el GCA todas sus variables mejoraron significativamente a excepción del salto con ayuda de manos (Abalakov). Por otro lado, para el GCB, todas sus variables mejoraron de forma significativa.

4. DISCUSIÓN

Los resultados muestran mejoras significativas en ambos grupos y en todas las variables a excepción del salto con ayuda de manos en el GCA, donde no hubo mejoras significativas. La discusión de los resultados se hace en dos grupos: fuerza y capacidad de salto y sprint y cambio de dirección.

Fuerza y capacidad de salto: ambos grupos mejoraron significativamente (p < 0,05). En cuanto a la fuerza del tren inferior, los resultados van en consonancia con los resultados de otros estudios, donde entrenando con cargas del 40 – 60 % de la 1RM mejoraba la 1RM de los sujetos. [13], [15], [16]. Programaciones de entrenamiento de fuerza a lo largo de una temporada, mejoran el rendimiento en sentadilla, reflejado en la mejora de la 1RM y aumento de la fuerza máxima en sentadilla. [10].

Según Pareja – Blanco et al. [20], ejecutar las repeticiones de sentadilla a máxima velocidad mejora tanto la capacidad de salto vertical como la fuerza del tren inferior. Estos resultados siguen la línea de nuestro estudio, donde todas las repeticiones han sido ejecutadas a máxima velocidad.

En cuanto al salto, el salto con contramovimiento (CMJ), ambos grupos tienen mejoras significativas. Nuestros resultados siguen la línea de Mora – Custodio et al. donde entrenar con cargas entre el 45 – 60 % de la 1RM mejora la capacidad de salto.

Sprint y cambio de dirección: el entrenamiento del GCA obtuvo mejoras significativas (p < 0,05) para el tiempo en recorrer a sprint 20 y 30 metros. Por otro lado, el GCB tuvo mejoras significativas (p < 0,05) en el tiempo a recorrer 30 metros. Nuestro estudio, sigue la línea programada por West et al. [18]. Por otro lado, según Lockie et al. [14], la carga utilizada en nuestro estudio para el GCB es la idónea. Por ello, este tipo de entrenamientos produce adaptaciones neuromusculares positivas que nos ayuda a mejorar el sprint [7].

Según Mora – Custodio et al. [13], entrenamientos de sentadilla con cargas entre el 45 y el 60% de la 1RM produce grandes mejoras en el sprint en comparación a entrenar con cargas superiores. Entrenar siempre a máxima velocidad produce mayor trascendencia en nuestro gesto deportivo según Pareja – Blanco et al. [20]. Entrenar a máxima velocidad en sentadilla y arrastres, mejorará el sprint y la capacidad de salto.

En cuanto al cambio de dirección, hemos comprobado que el entrenamiento en ambos grupos (GCA y GCB), produce mejoras significativas (p < 0,05).

Finalmente, la principal limitación que he encontrado a la hora de realizar este estudio es el hecho de que no se puede controlar la actividad física externa que realizan los participantes fuera del estudio pues casi todos los sujetos son personas físicamente activas. Por otro lado, aquellos sujetos que no cumplían con las condiciones iniciales eran partícipes del grupo control.

5. CONCLUSIÓN

En conclusión, los resultados de este estudio sugieren que un entrenamiento combinado de sentadilla con cargas entre el 40 y 55% de la 1RM y arrastres con carga del 12'5 % de la masa corporal del sujeto, produce mejoras significativas en el sprint, el cambio de dirección, la fuerza y la capacidad de salto en comparación al mismo entrenamiento de sentadilla (misma carga) y arrastre, pero con cargas altas (80 % del peso corporal). Este último entrenamiento produce mejoras en distancias más cortas de sprint, aspecto que se relaciona con la aceleración y siguen la línea de estudios analizados anteriormente. También produce mejoras en la fuerza del tren inferior y en agilidad.

Así, con ambos entrenamientos se mejora la capacidad de fuerza del tren inferior, el sprint, la agilidad y el rendimiento en salto con contramovimiento. En el caso del salto con ayuda de las manos sólo se mejora en el GCB.

Como futura línea de investigación, nos planteamos la

realización del mismo entrenamiento ajustando el volumen y la intensidad a través de la relación carga - velocidad y la pérdida de velocidad dentro de la serie [21], siendo en este caso un 20% de pérdida de velocidad dentro de la serie. En este caso, el entrenamiento de sentadilla completa produciría el mismo grado de fatiga en ambos grupos.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] G. Haff, and N. Triplett, "Essentials of strength training and conditioning.," 1st ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2016.

[2] O. Okkonen, and K. Hakkinen, "Biomechanical comparison between sprint start, sled pulling, and selected squat-type exercises," *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 27, no. 10, pp. 2662-2673, 2013.

[3] D. Rodriguez-Rosell *et al.*, "Effects of 6 Weeks Resistance Training Combined With Plyometric and Speed Exercises on Physical Performance of Pre-Peak-Height-Velocity Soccer Players.," *International Journal of Sports Physiology and Performance*, vol. 11, no. 2, pp. 240-246, 2016

[4] M.A. Martinez-Valencia *et al.*, "Interrelationships between different loads in resisted sprints, half-squat 1 RM and kinematic variables in trained athletes.," *European Journal of Sport Science*, vol. 14, no. 1, pp. 18-24, 2014.

[5] N. Kawamori *et al.*, "Effects of weighted sled towing with heavy versus light load on sprint acceleration ability.," *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 28, no. 10, pp. 2738-2745, 2014.

[6] A.J. Harrison, and G. Bourke, "The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male rugby players." *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 23, no. 1, pp. 275-283, 2009.

[7] P.E. Alcaraz *et al.*, "Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity." *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 22, no. 3, pp. 890-897, 2008.

[8] P.E. Alcaraz, J.M. Palao, and J.L. Elvira, "Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing." *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 23, no. 2, pp. 480-485, 2009.

[9] L.B. Seitz *et al.*, "Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: a systematic review with meta-analysis". *Sports Medicine*, vol. 44, no. 12, pp. 1693-1702, 2014.

[10] W.J. Styles, M.J. Matthews, and P. Comfort, "Effects of Strength Training on Squat and Sprint Performance in Soccer Players." *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 30, no. 6, pp. 1534-1539, 2016.

[11] D. Rodriguez-Rosell *et al.*, "Traditional vs. Sport-Specific Vertical Jump Tests: Reliability, Validity, and Relationship With the Legs Strength and Sprint Performance in Adult and Teen Soccer and Basketball Players." *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 31, no. 1, pp. 196-206, 2017.

[12] E. Saez de Villarreal *et al.*, "Effects of Plyometric and Sprint Training on Physical and Technical Skill Performance in Adolescent Soccer Players." *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 29, no. 7, pp. 1894-1903, 2015.

[13] R. Mora-Custodio *et al.*, "Effect of Low- vs. Moderate-Load Squat Training on Strength, Jump and Sprint Performance in Physically Active Women." *International Journal of Sports Medicine*, vol. 37, no. 6, pp. 476-482, 2016.

[14] R.G. Lockie, A.J. Murphy, and C.D. Spinks, "Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes." *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 17, no. 4, pp. 760-767, 2003.

[15] G.T. Mangine *et al.*, "The effects of combined ballistic and heavy resistance training on maximal lower- and upper-body strength in recreationally trained men." *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 22, no. 1, pp. 132-139, 2008.

[16] B.M. Moss *et al.*, "Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships." *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, vol. 75, no. 3, pp. 193-139, 1997.

[17] B.R. Ronnestad, B.S. Nymark, and T. Raastad, "Effects of in-season strength maintenance training frequency in professional soccer players." *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 25, no. 10, pp. 2653-2660, 2011.

[18] D.J. West *et al.*, "Effects of resisted sprint training on acceleration in professional rugby union players." *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 27, no. 4, pp. 1014-1018, 2013.

[19] M. Sayers, "Running techniques for field sport players." *Sports Coach*, vol. 23, pp. 26-27, 2000.

[20] F. Pareja - Blanco *et al.*, "Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance." *International Journal of Sports Medicine*, vol. 35, no. 11, pp. 916-924, 2014.

[21] L. Sánchez - Medina, and J.J. González Badillo, "Velocity loss an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training." *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 43, no. 9, pp. 1725 - 1734, 2011.



Álvaro Expósito Gutiérrez.
Graduado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte por la Universidad Pablo de Olavide en el año 2018 (Promoción 2014 - 2018). Actualmente cursando el máster "Preparación Física, Scouting y Analista del juego en fútbol" por la Universidad Europea Miguel de Cervantes.

El polémico uso del DDT

Pablo Lavilla García

Resumen—El DDT es un compuesto químico que fue utilizado durante décadas desde el descubrimiento de sus propiedades como insecticida. Se logró erradicar enfermedades de muchas zonas tropicales, como la malaria. Sin embargo, la publicación de la obra “Primavera Silenciosa”, de Rachel Carson, da un vuelco a la concepción de los productos químicos y su tremendo impacto medioambiental, creando un movimiento de concienciación a nivel mundial, hasta que prácticamente se logró la prohibición del uso del DDT. No obstante, esto conllevó la proliferación nuevamente de esas enfermedades, creandose así un conflicto moral y ecológico entre las vidas humanas y nuestro planeta.

Palabras Claves— Biomagnificación, Insecticida, Malaria, Plagas, Prohibición, Rachel Carson.

1. INTRODUCCIÓN

Existen numerosas enfermedades transmitidas por insectos que asolan a la población de todo el mundo, como es el claro ejemplo de la malaria, la enfermedad parasitaria más importante a nivel mundial. La malaria es endémica en zonas que se encuentran en vías de desarrollo, como es el África subsahariana. Produciéndose allí el 85% de los casos y el 90% de las muertes. [1]

Aquí es donde entran en juego determinados compuestos químicos de dudosa legitimidad medioambiental, como es el caso aquí tratado del polémico DDT. Desde mediados del siglo XX se han utilizado insecticidas que contienen este compuesto, dada su efectividad y sus ventajas, como, por ejemplo, su bajo coste. Y logrando, de este modo, cifras muy positivas.

Sin embargo, la problemática surge cuando se observan sus efectos medioambientales, caracterizados por la biopersistencia y la bioacumulación, así como sus efectos nocivos sobre los seres vivos.

2. EL DDT

El dicloro-difenil-tricloroetano, más conocido como DDT, es un compuesto químico incoloro y cristalino, siendo además un molécula muy lipófila e insoluble en agua.

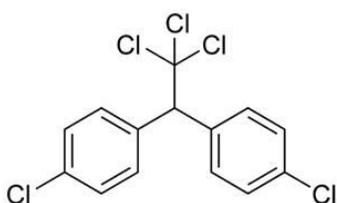


Figura 1. Fórmula química del DDT

La principal aplicación de este compuesto y motivo por el que se le conoce, fue su uso como insecticida a fin de erradicar insectos portadores de enfermedades, como pueden ser la malaria, la fiebre amarilla o la enfermedad

del sueño. [2]

Los insecticidas son definidos como un conjunto de sustancias o compuestos, químicos o naturales, que se utilizan para eliminar y controlar insectos dañinos, capaces de propagar enfermedades tanto en las plantas como en los animales. Por tal razón, han sido empleados en asuntos vinculados a la salud humana y a la agricultura. [3]

Los insecticidas pueden clasificarse de distintas maneras, pero desde el punto de vista químico, puede hablarse de inorgánicos y orgánicos. En el conjunto de insecticidas orgánicos, dos grupos son los que sobresalen: los organoclorados y los organofosforados. Dentro del conjunto de los organoclorados se incluye el DDT. [3]

Ahora bien, ¿dónde se encuentra entonces el problema del uso del DDT que llevó a su restricción y prohibición? Veamos los efectos que puede tener sobre el organismo.

Si la exposición al DDT es de corta duración esta sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Puede causar efectos en el sistema nervioso central dando lugar a convulsiones y un fallo respiratorio.

Por otra parte, una exposición excesiva al DDT puede afectar a la glándula suprarrenal, al cerebro, hígado, nervio periférico, sistema reproductivo y al feto, pudiendo provocar cáncer y tumores. [2]

Por si aún quedaban dudas de sus efectos perjudiciales, podemos atender también a los efectos sobre el ecosistema, donde la persistencia media del DDT en un ecosistema es de tres años [2]. Como se ha mencionado anteriormente, al ser un insecticida liposoluble, que sólo se disuelve en sustancias grasas, no se elimina en la orina y se acumula en los tejidos grasos. De tal forma que, en el medio ambiente, un organismo que lo ingiere o absorbe lo acumula en sus tejidos grasos. Si este organismo sirve de alimentación a otro, éste acumulará lo que ya tenía de DDT más lo que ha ingerido de aquel. De esta manera, la concentración de DDT se va amplificando (proceso de biomagnificación reflejado en la Figura 2). [2]

Y probablemente en este análisis de efectos nocivos para el ecosistema, se encuentra la clave de los peligros en el uso del DDT, encontrándose la principal problemática en su bioacumulación y su persistencia en el medio ambiente.

3. DESCUBRIMIENTO Y USO DEL DDT

Tal y como señala Fuentes (2014), fue en 1939 cuando el químico suizo Paul Hermann Müller descubrió las propiedades insecticidas de nuestro compuesto, el DDT. Así, en 1948, recibe el Premio Nobel de Fisiología y Medicina por su descubrimiento como veneno contra varios insectos. [4]

Hay que tener siempre presentes los contextos históricos y aunque, a día de hoy, sabemos los numerosos efectos perjudiciales del DDT, estamos en una época en que el control de plagas y enfermedades de este tipo era una necesidad. Además, como veremos a continuación, no es hasta unas décadas después cuando aparecen las preocupaciones medioambientales.

Desde su introducción en 1940, el DDT ha tenido un uso de amplia trayectoria como el primero de los insecticidas modernos. Fue utilizado inicialmente en la Segunda Guerra Mundial, para controlar la proliferación de piojos, y tuvo consecuencias relacionadas con muchas intoxicaciones agudas, e incluso suicidios entre la tropa. [5]

De este modo, el DDT fue utilizado durante más de 20 años en distintas regiones del mundo, comenzando en el continente americano y extendiendo su aplicación rápidamente. Llevándose a cabo diversas campañas para la erradicación de la malaria y logrando, en escasos 20 años, la erradicación de otras enfermedades que sacudían a las poblaciones tropicales. [5]

No es hasta 1960 cuando se activan las alarmas de los primeros ecologistas en contra de este compuesto y se inicia la polémica que desemboca en numerosas acciones para eliminarlo. [4]

4. LA PRIMAVERA SILENCIOSA

No podemos hablar de los movimientos en contra del DDT sin mencionar a la bióloga estadounidense Rachel Carson.

Es en el año 1962 cuando Rachel Carson publica su emblemática obra "*La primavera silenciosa*". Con el título, hace referencia a la ausencia del canto de los pájaros en los campos de Ohio. Constituye una de las primeras publicaciones científicas escritas en un lenguaje de fácil comprensión para no científicos y se convierte en uno de los motores de la generación del movimiento ecologista. [4] El libro fue un *best seller* mundial y glorificado hasta el punto de ser considerado la "Biblia del ecologismo moderno". [6]

En ella, Carson resalta los efectos de algunas sustancias químicas en el ecosistema, entre las que se encuentra el DDT. Carson argumenta que la aplicación de los plaguicidas no solo controla las plagas, sino que queda libre en el sistema, se bioacumula y se biomagnifica a través de la cadena trófica, con la consecuente desaparición de especies y alteración de los ciclos naturales, tal y como refleja la Fig. 2. [4] Manifiesta en su obra que, de prolongarse su uso, desaparecerían todos los pájaros del mundo, produciéndose una primavera silenciosa. [6]

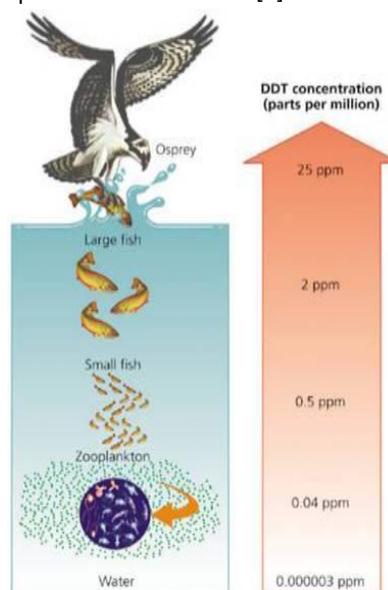


Figura 2. Diagrama del proceso de biomagnificación del DDT

5. EL CAMINO A LA PROHIBICIÓN

A partir de la década de los años 60, surgió una gran polémica que culminó con la prohibición de su uso en Estados Unidos, en el año 1972. A la par, otros países como México continuaron con su uso de forma agresiva.

Con el paso del tiempo, otras naciones fueron adoptando la decisión de no utilizar el DDT. Así, a finales de los 90, más de 50 países suprimieron su aplicación para cualquier uso, debido al peligro que representaba para el medio ambiente.

La eliminación definitiva del DDT era un acuerdo casi universal. Sin embargo, algunos países, sobre todo aquellos "en vías de subdesarrollo", continúan con su implementación a efectos de mantener controles sanitarios y proteger a la población de la malaria, a pesar de existir fuertes discrepancias en torno a la implementación de este pesticida por las consecuencias que genera a largo plazo. [3]

El Convenio de Estocolmo fue adoptado el 23 de mayo de 2001 y entró en vigor a partir del 17 de mayo del 2004. Fue firmado por 152 gobiernos y 134 países son partes del mismo. [4] Entre las principales medidas del Convenio se encuentra la prohibición de la producción y utilización de DDT, salvo en aquellos países que notifiquen su uso en

relación con el control de los vectores de transmisión de enfermedades, y siempre, bajo las recomendaciones y las directrices de la Organización Mundial de la Salud. [7]

6. LA OTRA CARA DE LA MONEDA

Como era evidente, los ataques y amenazas dirigidos a la argumentación de Rachel Carson no se hicieron esperar. En esencia, todas las críticas tenían origen en el sector productivo. Y tal y como afirma Fuentes (2014), aún es posible encontrar en nuestros tiempos defensores del DDT que acusan a Rachel Carson de ser la responsable de la muerte de millones de personas por causa de la malaria, paludismo y tifus. [4]

A la polémica declaración de Rachel Carson le siguieron innumerables críticas de diversos científicos. Coincidiendo con Avalos (2009), la respuesta más curiosa y contundente a las palabras de la bióloga fue: "SILENCIO CARSON". [6]

La argumentación de científicos, ecologistas y estadísticos defensores del DDT se basa en que es un producto muy eficaz contra la malaria; hasta el punto de que gracias a su uso la malaria desapareció de Europa, donde era endémica. [8]

De este modo, gracias al DDT, en Sri Lanka, los casos de malaria descendieron de un promedio de 3 millones de casos en 1948 a 17 en 1963; en la India, de 100 millones de casos en 1935, la cifra bajó a 300 mil en 1969 y Bangladesh fue declarada zona libre de malaria. Se ha calculado que la prohibición del DDT ha causado aproximadamente 50 millones de muertes. [6]

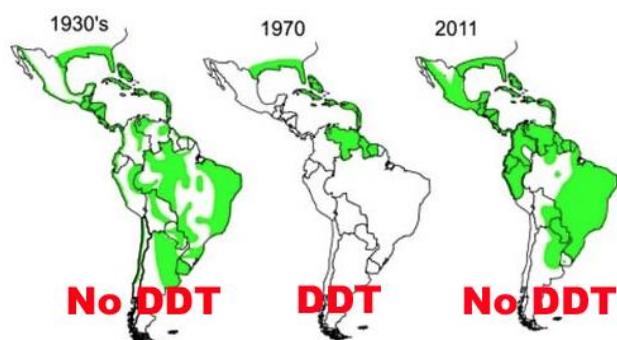


Figura 3. Mapa evolutivo de la malaria en zonas de Sudamérica

Es en septiembre de 2006 cuando Arata Kochi, director del Programa Global contra la Malaria de la OMS, recomienda el uso del DDT en los interiores de las casas de las zonas más afectadas, dada la enorme eficacia del compuesto para acabar con el mosquito transmisor de la enfermedad. [9]

Semejante decisión desencadenó numerosas opiniones. Por un lado, la decisión tuvo un estupendo acogimiento entre grupos africanos que luchan contra la enfermedad. Sin embargo, como era lógico, tuvo la oposición de gran parte de grupos ecologistas.

Kochi señaló: "El DDT es una de las herramientas más ef-

caces de las que disponemos para combatir la malaria y si se utiliza adecuadamente no tiene porqué suponer un riesgo para la salud". Recordando además que el DDT puede reducir la transmisión de la malaria hasta en un 90%. [9]

Luis Domínguez-Boada, toxicólogo de la Universidad de Las Palmas, explica que el insecticida es peligroso, pero se muestra comprensivo con la OMS: "*Puede resultar hasta lógico. El DDT es efectivo y barato. En un momento de rebrote de la malaria, se trata de ver si los daños que vamos a generar compensan las vidas que se pueden salvar*". [10]

5. CONCLUSIONES

Más allá de su negativo impacto medioambiental, es innegable la efectividad del uso del DDT, sobre todo en países del tercer mundo, como control de la malaria. De hecho, tras la política de erradicación llevada a cabo contra el compuesto, la malaria está reapareciendo en áreas urbanas y en países en los que la enfermedad había sido erradicada.

Es aquí, cuando se habla de vidas humanas, donde entran en juego todas las consideraciones: ecológicas, políticas, morales, económicas... Parece que ningún programa de salud pública sin DDT detendrá la progresión de la malaria, al menos a medio plazo.

Por tanto, el DDT, es uno de esos ejemplos donde no todo es negro o blanco. Cierto es, que sopesando las consecuencias que puede acarrear a largo plazo, no parece una vía de solución para el problema. De este modo, es misión de la ecología, impulsar y promover la búsqueda de alternativas para el control de plagas que no sean tan dañinas para el medio ambiente.

Sin embargo, a veces se nos olvida que estamos hablando de la vida de millones de personas y que, hasta encontrar una alternativa igual de eficiente, no se puede pretender prohibir el uso controlado de este compuesto en aquellas zonas más afectadas.

Consideraciones ecológicas aparte, parece que Estados Unidos y Europa, donde la malaria era endémica, olvidan que en muy poco tiempo consiguieron erradicar la enfermedad. Las regulaciones y políticas de los países industrializados que pretenden bloquear la asistencia financiera a los países que usan el DDT para el control de la malaria, deben eliminarse.

En definitiva, debemos trabajar por una química sostenible, para garantizar un medio ambiente mejor para las generaciones futuras, que es la única y mayor herencia que existe a largo plazo. No obstante, como en tantos otros problemas, hasta dar con una solución equilibrada y unánime han de reducirse los riesgos, prevaleciendo ante todo la vida humana.

REFERENCIAS

- [1] D.C. Abruch, V.H.G. Johnson, A.R. López, B.V. Acosta, "Malaria severa por *Plasmodium falciparum*", *Anales Médicos de la Asociación Médica del Centro Médico ABC*, vol 63, no, 2, pp. 164-137, Abr.-Jun. 2018.
- [2] Web del Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes del Gobierno de España. <http://www.prtr-es.es>
- [3] A.M. Pacheco, A y M.A. Moreno, "Implicaciones sociales y ambientales del uso del Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT). Análisis del caso en tierras venezolanas.", *Ambiente y Desarrollo*, vol. 19, no, 37, pp. 101-114, 2015, doi: 10.11144/Javeriana.ayd19-37.isad.
- [4] N.G. Fuentes, "DDT, una revision histórica.", *Revista de Química PUCP*, vol. 28, no, 1-2, pp. 10-13, Dic 2014.
- [5] P. Ramos, "DDT paff! La historia de una molécula", http://www3.uah.es/bioquimica/Tejedor/bioquimica_ambiental/DDT%20paff.pdf (s/f)
- [6] C. Avalos, "El polémico uso de agroquímicos.", *Revista Generación*, vol. 10, no, 134, pp. 10-15, Nov 2009.
- [7] Web del Ministerio para la Transición Ecológica del Gobierno de España. <https://miteco.gob.es/es/>
- [8] S. Manguin, D.R. Roberts and J. Mouchet, "DDT house spraying and re-emerging malaria", *The Lancet*, vol. 356, no, 9226, pp. 330-332, aug 2000, doi: 10.1016/S0140-6736(00)02516-2.
- [9] I.F. Lantigua. (25 de septiembre de 2006). La OMS recupera el DDT para combatir la malaria. *El Mundo*. Recuperado de: <http://www.elmundo.es>
- [10] A. Madridejos. (1 de noviembre de 2006. Actualizado 21 de septiembre de 2016). La OMS propone Volver al DDT para combatir el mosquito de la malaria. *El periodico*. Recuperado de: <https://www.elperiodico.com>



Pablo Lavilla García estudiante del Grado en Criminología en la Unversidad Pablo de Olavide (Sevilla)

EL GAS DE LA RISA

Andrea Reina Gutiérrez

Resumen— El Óxido Nitroso es un gas que ha estado muy presente desde su descubrimiento en el siglo XVIII. A raíz de esto son muchos los usos que se le han dado, pasando por el sector automovilístico, la odontología o la industria alimenticia. A pesar de ello, en los últimos años el tiempo parece haber retrocedido a la Inglaterra pre-victoriana, donde este gas destacaba en los espectáculos lúdicos y es que hemos sido testigos de su reciente extensión como droga recreativa en lugares de fiesta como Ibiza o Mallorca.

Palabras Claves— Óxido Nitroso, Josef Priestley, Anestesia, Odontología, Ibiza, globos, asfixia.

1. INTRODUCCIÓN

El Óxido Nitroso se genera mediante una reacción en la que, al aumentar la temperatura, el nitrato de amónico se separa en dos compuestos, siendo uno de ellos el óxido nitroso, o bien resultando de la reacción de amoniaco con ácido nítrico. Se trata por tanto de un gas incoloro, no inflamable (aunque soporta la combustión) y de olor dulce cuya estructura molecular se conforma de una molécula de oxígeno y dos de nitrógeno (N_2O) (Figura 1) [1].

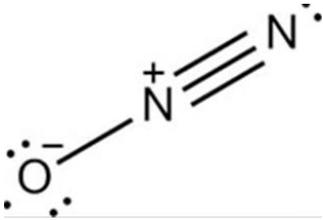


Figura 1. Composición Óxido Nitroso [2]

Este gas fue descubierto por Josef Priestley; sacerdote y científico inglés, aunque fue Humpry Davy quien se propuso profundizar en su investigación inhalándolo en 1795 para publicar cinco años más tarde *“Researches, Chemical and Philosophical: chiefly concerning Nitrous Oxide”* [3]. Conocemos al óxido nitroso principalmente como gas de la risa, pero su uso no siempre se caracteriza por lo ocioso y es que a nuestro alrededor está más presente de lo que creemos.

2. DISTINTOS USOS

Lo que se ve en la famosa saga cinematográfica *Fast and Furious* es, aunque exagerado, cierto, y es que en el sector automovilístico se emplea el óxido nitroso en automóviles convencionales modificados como acelerante del proceso de combustión, lo que incrementa la potencia del motor. En este ámbito se caracteriza por su bajo precio y la posibilidad de usarse tantas veces como se quiera ya que no afecta a la mecánica del vehículo [4].

Se considera bastante seguro para su uso medicinal al no ser inflamable, tener un bajo coeficiente de solubilidad, no metabolizarse en el organismo y poseer escasos efectos colaterales. Su principal aplicación es la anestesia general,

ayudando a otros anestésicos inhalatorios o intravenosos [5].

El dolor y el miedo en odontología han sido siempre una importante barrera en la atención a pacientes, y preocupado por ello, fue el dentista americano Horace Wells quien solicitó que se le extrajera un diente bajo la influencia del óxido nitroso tras haber observado sus efectos en un individuo que después de haber inhalado el gas, se lastimó gravemente la pierna y no sintió dolor alguno. Emprendió experimentos exitosos para demostrar su descubrimiento, pero el día que decidió llevar a cabo una extracción pública no calculó bien la concentración del gas y el paciente se levantó emitiendo fuertes alaridos. Sería otro dentista, William Morton, quien alcanzaría el éxito dos años después al efectuar una cirugía indolora con óxido nitroso [5].

A raíz de esta demostración laboratorios farmacéuticos comenzaron a investigar las propiedades anestésicas de distintos gases y líquidos volátiles, extendiendo su uso en odontología.

Hoy en día recibe el nombre de sedación consciente inhalatoria, ya que se inhala gracias a una pequeña mascarilla que se ajusta sobre la nariz con el objetivo de relajar al paciente sin que se duerma.

En el siglo XIX se introdujo también como analgésico durante el parto. Hay países donde su uso es prácticamente inexistente, mientras en otros su administración se realiza de manera habitual, como en Canadá, Suecia, Nueva Zelanda, Australia, Reino Unido y Finlandia, donde su aplicación ronda el 60% de los partos. Es un método seguro que no genera complicaciones en mujeres, recién nacidos ni en el personal sanitario [6].

Generó interés también por su aplicación en la endoscopia de colon y cirugías ambulatorias. Es un gas que actúa de forma rápida, se puede controlar con facilidad y, además, la recuperación rápida de los pacientes es una de sus principales ventajas, puesto que se elimina inmediatamente después de interrumpir la inhalación [5]. Por tanto, los efectos adversos en intervenciones de corta duración no son graves, pero los locales donde se utilice

el producto deben disponer de una ventilación correcta que permita una concentración de óxido nitroso en el aire a un nivel inferior a 25 ppm [7].

En la industria alimenticia se utiliza principalmente como agente propulsor, siendo sus usos más comunes: productos lácteos en aerosol y gas de envasado (cambia la composición del aire dentro de los envases y permite incrementar la vida útil de los alimentos) [2].

Desde el punto de vista biológico, el óxido nitroso se produce de forma natural por nuestro cuerpo, siendo a nivel metabólico muy importante ya que facilita la comunicación entre células [2].

Finalmente, tiene además una incidencia importante sobre el medio ambiente, ya que se trata de un importante gas de efecto invernadero [1].

3. EL ÓXIDO NITROSO COMO DROGA

El primer uso de este compuesto fue como un gas que se inhalaba en su forma pura durante las exhibiciones que tenían lugar en la Inglaterra pre-victoriana, y es que eran muy comunes las reuniones en las que los invitados podían respirar óxido nitroso para experimentar sus efectos sobre el sistema nervioso central y por ello se acabó conociendo como gas hilarante o gas de la risa [5].

Avanzando hasta la actualidad, esta sustancia es de las más consumidas en lugares de fiesta como Ibiza o Mallorca, llegando con el turismo británico, y es que en nuestro país no se ha extendido su consumo hasta hace poco, pero en Reino Unido es de las que más se consume por detrás del cannabis [8].

En las zonas de fiesta el rastro de esta droga se manifiesta en globos tirados por los suelos de playas, ya que los vendedores rellenan los mismos con esta sustancia con un sifón, vendiéndolos por tres euros [8].

Su mecanismo de acción consiste en llegar al cerebro a través de las vías respiratorias y disminuir la actividad normal de las neuronas, focalizando su actuación en el sistema nervioso central a través de la liberación de endorfinas y producción de serotonina. En ocasiones esta sustancia también se emplea para potenciar el efecto del alcohol.

Inhalado en concentraciones de entre el 10 y el 20%, puede producir euforia y carcajadas, comenzando su acción casi de forma instantánea y sus efectos desaparecerían rápidamente si no se producen nuevas inhalaciones [3].

La absorción es vía pulmonar, muy rápida. Su distribución se hace únicamente disuelta en sangre, no sufre ningún metabolismo y se elimina por vía pulmonar en unos cuantos minutos. La presión arterial y la frecuencia respiratoria no se alteran, sí que disminuye el volumen respiratorio e incrementa el consumo de oxígeno cerebral, al igual que no proporciona una relajación muscular significativa; consumidores de este gas en forma de droga

alegan un leve cosquilleo en las extremidades [7]. Su administración, debería darse con un gran porcentaje de oxígeno ya que la sustancia al 100% puede llegar a producir la asfixia y por tanto, la muerte [1]; provoca una depresión del sistema nervioso.

El óxido nitroso, como droga, en un entorno controlado es relativamente segura, pero el problema radica en la forma en la que se usa, incrementando el riesgo de asfixia.

En Reino Unido, *The Psychoactive Substances Act* de 2016 ha declarado ilegal la venta de este gas tras mucha controversia y dificultad para encuadrarlo dentro de la ley debido a sus usos medicinales [9]. El número de muertes en el país anglosajón llegaba a cuatro en 2015, por lo que vemos que no es común que se produzca el fallecimiento, pero en tan solo un año, dobló el número. Uno de esos casos fue el de Miguel Fernández, de 19 años de edad, quien fue encontrado muerto con una bolsa de plástico alrededor de su cabeza tras haber inhalado el gas [10]. En la Tabla 1 podemos ver las muertes ocurridas en Reino Unido debido al óxido nitroso del año 2010 al año 2016.

TABLA 1

AÑO	MUERTES
2010	5
2011	1
2012	0
2013	3
2014	3
2015	4
2016	8

(Fuente: *Office of National Statistics*) [11]

Como toda droga, es tóxica y su uso abusivo puede derivar en graves problemas de salud. En consumidores habituales puede llegarse a bloquear la acción de la vitamina B12, provocando una inhibición de la síntesis de ADN en la producción de glóbulos rojos, así como una disminución de leucocitos en la sangre y hasta una neuropatía crónica [2].

4. CONCLUSIONES

Hemos podido comprobar cómo sustancias cuyo principal uso se centra en lo industrial o medicinal, acaban convirtiéndose en drogas recreativas. En el caso del óxido nitroso, debido a sus efectos tan simples como pueden ser reírse y sentirse feliz, se descuida el daño que puede provocar en el organismo y la atención que debe prestarse a la dosis que se consume, y es que agrupa toda característica necesaria para triunfar como droga de uso recreativo: es barata, muy fácil de conseguir en esos ambientes de fiesta, y de presentación atractiva y divertida: inflar globos, aspirar su contenido, carcajadas.

Es importante mencionar que el gas de la risa, como tal en nuestro país no está registrado como droga en sí, por lo

que no hay ninguna alerta sanitaria al respecto y los vendedores compran el material de forma legal en ferreterías, donde pueden encontrarse las pequeñas cápsulas con este gas por un precio aún inferior al que se vende.

Además, los sectores de la población en mayor riesgo respecto a este tipo de drogas son los jóvenes de 16 a 24 años, especialmente en ambientes de fiesta donde a su alrededor se normaliza la consumición. Es importante recordar lo esencial que es la prevención y concienciación, ya que los hábitos que se adquieren en esta etapa se van a mantener en la vida adulta y son difíciles de modificar.

Finalmente, toda droga supone un riesgo, y al depender la reacción del organismo de cada persona, lo que puede pasar es una lotería. Como se ha mencionado, es muy fácil dejarse llevar con este gas, y es muy difícil, sin conocer sus propiedades y capacidad, calcular la cantidad de uso segura para el organismo, por lo que, aunque las muertes por el óxido nítrico no son frecuentes, como con toda droga, no podemos decir que nadie esté completamente a salvo.

REFERENCIAS

- [1] PRTR España. N2O ÓXIDO NITROSO. Ministerio para la Transición Ecológica. Noviembre de 2007. <http://www.prtr.es/N2O-oxido-nitroso,15592,11,2007.html>
- [2] Sin autor. Óxido Nítrico. *Hablemos Claro*. <http://hablemosclaro.org/ingrepedia/oxido-nitroso/#1502293691178-e5ac3059-a00b> [3]
- [3] Pascual Mollá, Mireia. Óxido Nítrico o gas de la risa. *Independientes, revista especializada en adicciones*. 11 de septiembre, de 2013. <http://revistaindependientes.com/oxido-nitroso-o-gas-de-la-risa/>
- [4] Bowman, Don. ¿Cómo funciona el Óxido Nítrico en los motores de los vehículos? *Puro motores*. 16 de julio de 2017. <https://www.puromotores.com/13121610/como-funciona-el-oxido-nitroso-en-los-motores-de-los-vehiculos>
- [5] Sin autor. Óxido Nítrico medicinal. *Linde Healthcare*. http://www.linde-healthcare.com.ar/international/web/lg/ar/likeglgtarnopro.nsf/docbyalias/healthnopro_gases_n2o
- [6] López Ruiz, María Belén; Martos Serrano, Juan; Moreno López, Justa; Puertollano Romero, Teresa. Uso del óxido nítrico durante el trabajo del parto. *Servicio Andaluz de Salud. Junta de Andalucía*. <https://www.juntadeandalucia.es/servicioandaluzdesalud/chjaen/files/pdf/1392896523.pdf>
- [7] Universitario Reina Sofía. Informe de la Comisión de Farmacia y Terapéutica. Óxido Nítrico/Oxígeno. *Servicio Andaluz de Salud. Junta de Andalucía*. https://www.juntadeandalucia.es/servicioandaluzdesalud/hrs3/fileadmin/user_upload/area_atencion_alprofesional/comision_farmacia/informes/oxido_nitroso.pdf
- [8] Entrevista Ana Ferrer. 31 de julio de 2017. https://www.cope.es/programas/herrera-en-cope/audios/gas-risa-produce-una-depresion-del-sistema-nervioso-ana-ferrer-presidenta-fundacion-espanola-toxicologia-20170731_403750C.
- [9] Sin autor. Nitrous Oxide (Laughing Gas). *Leicestershire Police*.

<https://leics.police.uk/advice-and-information/information-zone/drugs-and-alcohol/legal-highs/nitrous-oxide-laughing-gas>

- [10] Matthews, Stephen. Number of hippy crack deaths DOUBLE in a year as an expert warns the 'apalling trend' needs to be reversed before more young people die. *Daily Mail*. 5 de octubre de 2017. <https://www.dailymail.co.uk/health/article-4947846/Laughing-gas-killed-8-people-year-figures-show.html>
- [11] Office of National Statistics. Drug related deaths involving nitrous oxide, 1993 to 2016. <https://www.ons.gov.uk/peoplepopulationandcommunity/birthsdeathsandmarriages/deaths/adhocs/007534drugrelateddeathsinvolvingnitrousoxide1993to2016>



Andrea Reina Gutiérrez

Estudiante de Derecho y Criminología de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla. Artículo realizado para la asignatura de Química Forense.

Repercusión de la catástrofe del Prestige en la costa gallega.

Aurora Núñez Fernández

Resumen— En el presente artículo se analiza la repercusión medioambiental y social del desastre del Prestige (acaecido en España el 19 de noviembre de 2002) en la costa gallega española. En él, se examinan distintos ámbitos en que las sustancias químicas presentes en el fuel oil infirieron. Por ello, este artículo tiene como finalidad generar un análisis proyectivo del problema, al haberse realizado 16 años después de que se produjera la tragedia.

Palabras Claves— Marea negra, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, Prestige, catástrofe natural, contaminación, Nunca Más, Fuel Oil, chapapote, derrame, vertido.

1. INTRODUCCIÓN

El desastre del Prestige fue una catástrofe natural que tuvo lugar en España el 19 de noviembre de 2002 y supuso la contaminación de la costa norte española con 39.700 toneladas de fuel oil pesado residual, particularmente rico en asfaltenos, hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos saturados y heteromoléculas con átomos de azufre, oxígeno, nitrógeno y metales. También pudieron apreciarse hidrocarburos aromáticos volátiles como el benceno, tolueno y xilenos. Entre los hidrocarburos aromáticos policíclicos mayoritarios se encontraban el naftaleno, fentrateno, dibenzotiofeno, fluoranteno y criseno [1,2,3]. Como consecuencia de ello, se produjo una de las mayores mareas negras en España hasta el momento [3]. Con el presente artículo trata de estudiarse la repercusión de la marea negra provocada por el Prestige en la costa gallega.

problemas a corto, medio y largo plazo [5,6].

3. ¿QUÉ DAÑOS SE ORIGINARON EN LA COSTA GALLEGA?

3.1. La nocividad de los PAHs

El fuel originario de la marea negra del Prestige era rico en Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs), siendo estos compuestos orgánicos formados por la fusión de dos o más anillos de benceno y en algunos casos un anillo pentagonal [7]. Uno de los principales problemas de los PAHs es que son sustancias contaminantes debido a su hidrofobicidad, su persistencia en el medio y su asociación con otros contaminantes [8].

Por otro lado, los PAHs son compuestos altamente tóxicos, perjudiciales para la salud, llegando incluso a ser carcinogénicos, genotóxicos y/o mutagénicos para personas y animales [9,10]. En los seres humanos, el cáncer producido por la exposición a PAHs se evidencia sobre todo en los pulmones tras la inhalación y en la piel tras la exposición dérmica [7]. Por ello, es preciso analizar hasta qué punto los PAHs y otros compuestos presentes en el fuel oil que transportaba el Prestige infirieron en la salud humana.

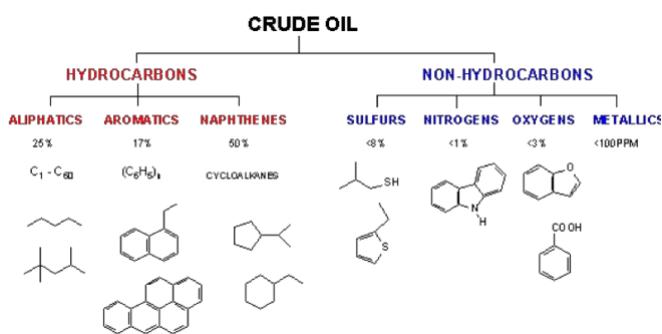


Figura 1. Composición media del petróleo crudo junto con alguno de los tipos más representativos del compuesto [4].

2. ¿QUÉ SON LAS MAREAS NEGRAS?

Las mareas negras son masas oleosas producidas por derrames de hidrocarburos en el medio marino. Son eventos puntuales pero agudos de contaminación, que alteran y destruyen gravemente el ecosistema, creando

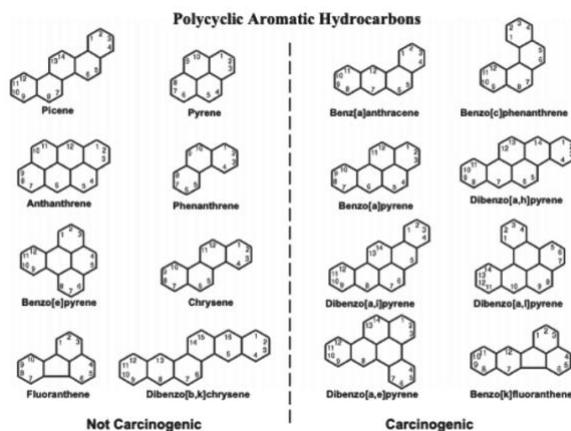


Figura 2. Estructura de los PAHs comunes [11].

3.2. Repercusión de la toxicidad del petróleo del Prestige en la vida humana

Un estudio publicado por la revista *Annals of Internal Medicine* 2 años después del desastre del Prestige analiza los daños respiratorios y cromosómicos de trabajadores que llevaron a cabo actividades de limpieza. Así se demostró que los pescadores expuestos a los contaminantes mostraron mayores tasas de prevalencia de síntomas respiratorios y biomarcadores de estrés oxidativo pulmonar y actividad del factor de crecimiento, lo que sugiere una lesión persistente de las vías respiratorias. Asimismo, mostraron anomalías cromosómicas estructurales en los linfocitos circulantes. Por todo ello, se concluye el estudio afirmando que la exposición a los sedimentos del petróleo puede tener efectos perjudiciales para la salud, incluso cuando el contacto con el mismo se produce durante períodos cortos [12].

3.3. Consecuencias de los vertidos en el ecosistema

En un primer momento, el agua, el placton y el neuston fueron afectados por el derrame, produciéndose un incremento de la mortalidad en aquellos seres vivos que se alimentaban de los mismos. Con respecto a la interfase aire-agua, el fuel afectó gravemente a las aves marinas de la costa. En lo tocante a los mamíferos, el delfín mular y la marsopa fueron víctimas directas del fuel oil y víctimas indirectas de los métodos de limpieza usados para eliminar los residuos del mismo [13].

4. CONSECUENCIAS SOCIALES: NUNCA MÁIS

Nunca máis es una plataforma ciudadana que nació de manera espontánea dos días después del hundimiento del Prestige, como respuesta ante la conmoción y preocupación que este hecho provocó en la población [14]. Así, un grupo de intelectuales se reunió con dirigentes del BNG (Bloque Nacionalista Gallego) y aprobaron la creación de una plataforma desde la que encauzar una manifestación ante la catástrofe. El lema "Nunca Máis" fue recuperado de otro accidente petrolero que tuvo lugar en la década de los noventa, y la bandera que se creó partió de la gallega, supliendo el fondo de esta por uno de color negro [15].

Desde el momento de su fundación, la organización dirigió su tarea a cumplir un objetivo social que persiguió la declaración de Galicia como zona catastrófica y la provisión de recursos para paliar las consecuencias producidas por el vertido. Además, trató de implementar mecanismos de prevención ante fenómenos similares que pudieran ocurrir en el futuro. La plataforma sirvió también como reclamo ante la pasividad de los poderes públicos, exigiendo la destitución de aquellas autoridades que no desarrollaron sus funciones de forma competente [16].

5. CONSECUENCIAS JUDICIALES

El capitán del barco fue condenado en 2016 como autor de un delito imprudente contra el medio ambiente en su modalidad agravada de deterioro catastrófico, a la pena de

dos años de prisión, con la accesoria de inhabilitación especial del derecho de sufragio pasivo durante el tiempo de duración de la condena, a doce meses de multa con una cuota diaria de 10 euros y a un año y seis meses de inhabilitación para el ejercicio de su profesión como capitán de buques. Fue igualmente declarado responsable civil por los daños ocasionados, junto con la aseguradora The London Owners Mutual Insurance Association, y la compañía marítima propietaria de la embarcación, Mare Shipping (responsable subsidiaria) [17].

La condena se produjo al apreciarse una imprudencia abismal por parte del capitán, que, eludiendo el deber objetivo de cuidado, aumentó la probabilidad de que se produjera el derrame.

Con respecto a la responsabilidad civil, esta se recurrió por los responsables, siendo desestimada en la Sentencia del Tribunal Supremo 668/2018, devidiendo firme.

6. LA COSTA GALLEGA EN LA ACTUALIDAD

La hidrodinámica de las aguas en el nordeste de la península es muy alta, lo que favorece la dispersión y el lavado de los contaminantes [11], ello favoreció la autorregulación de los problemas medioambientales originados por el vertido.

La organización *Ecologistas en Acción* realizó en 2013 una inseción visual de tres puntos concretos de la Costa da Morte. En base a esta, los daños originados por el desastre del Prestige siguen pudiendo observarse 10 años después, ya que, en determinados puntos, en días de oleaje, pueden apreciarse "galletas" de chapapote (pequeños fragmentos que quedaron enterrados en el mar y que salen a la superficie debido al movimiento del oleaje) [18].

7. CONCLUSIONES

Podemos asegurar que el desastre del Prestige ha tenido una gran repercusión en la costa gallega. Los efectos de la exposición a los tóxicos propios del fuel oil afectaron a flora, fauna y humanos, no pudiendo establecerse con certeza incluso hoy en día los efectos que ha tenido la toxicidad para las personas. Lo que sí puede afirmarse es que actualmente no quedan en la costa gallega severos indicios que permitan observar el estrago que el Prestige ocasionó en 2002.

REFERENCIAS

[1] SIC. (s.f.). Informe técnico CSIC "Prestige": Sobre la toxicidad de los residuos de petróleo del Prestige .

[2] Visa, C. P. (2005). Recuperado el 10 de 11 de 2018, de <http://otvm.uvigo.es/investigacion/informes./documentos/archivos/po rte.pdf>

[3] Santos, R. (s.f.). nuevarevolución. Recuperado el 10 de 11 de 2018, de <https://nuevarevolucion.es/la-mayor-marea-negra-vivida-espana-prestige-15-anos-despues/>

[4] Hunt, J. Petroleum Geochemistry and Geology, 2nd Edition, W. H. Freeman and Company (1996) in Chapter 3, Petroleum and its Products.

[5] Greenpeace. (2003). Prestige: Protección a toda costa .

[6] CETMAR, G. B. (s.f). Centro Tecnológico del Mar - Fundación CETMAR . Recuperado el 11 de 11 de 2018, de https://www.cetmar.org/documentacion/mareas_negras.htm

[7] (Katiyar et al., 1993)

[8] Colón, A. T. (2014). Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos. Moleqla .

[9] Troposfera . (s.f). Obtenido de <http://www.troposfera.org/conceptos/contaminantes-quimicos-de-la-atmosfera/pahs/>

[10] Gustavo Pérez-Morales López, P. M. (2016). HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPs) (I): TOXICIDAD,EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN Y ALIMENTOS IMPLICADOS. Revista Complutense de Ciencias Veterinarias , 1-15.

[11] Reprinted (adapted) with permission from Dipple, A. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Carcinogenesis. Polycyclic Hydrocarbons and Carcinogenesis. 1-17. Copyright (1985) American Chemical Society

[12] Gema Rodríguez-Trigo, M., Jan-Paul Zock, P., Francisco Pozo-Rodríguez, M., Federico P. Gómez, M., Gemma Monyarch, M., Laura Bouso, M., . . . Joan Albert Barberà, M. (2010). Health Changes in Fishermen 2 Years After Clean-up of the Prestige Oil Spill. Annals of Internal Medicine .

[13] Navalpotro, J. A. (2003). Consecuencias medioambientales derivadas del hundimiento del Prestige en las Rías Baixas gallegas*.

[14] Serrano, A. (13 de 11 de 2012). rtve.es. Obtenido de www.rtve.es: <http://www.rtve.es/noticias/20121113/diez-anos-voluntarios-del-prestige-llegue-paleta-tres-bolsas-plastico/574488.shtml>

[15] Huete, C. (17 de 11 de 2017). Nunca Más, el grito de rabia que cambió la percepción de un pueblo. El País.

[16] Nunca Más . (s.f). Obtenido de plataformanuncamais: <https://plataformanuncamais.wordpress.com/quen-somos/>

[17] STS 11/2016 (Tribunal Supremo. Sala de lo Penal). Obtenido de Consejo General del Poder Judicial.

[18] acción, E. e. (2013). Efectos del vertido del Prestige en la Costa da Morte (Galicia), diez años despúes.



Aurora Núñez Fernández se encuentra actualmente cursando el 5º curso de Derecho y Criminología.

Maraviroc, una nueva esperanza para los infectados por VIH

Alejandro Díaz Rueda

Resumen—Este artículo consta de una breve descripción del ciclo de infección del Virus de Inmunodeficiencia Humana, acompañada de una revisión del maraviroc como fármaco antirretroviral que bloquea la entrada del virus en la célula mediante la inhibición antagonista del correceptor CCR5.

Palabras Claves— Antirretroviral, CCR5, Maraviroc, VIH.

1. INTRODUCCIÓN. HISTORIA DEL SIDA

Desde su aparición en la década de los 80, el Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA) se ha convertido en uno de los trastornos más polémicos y conocidos de la sociedad actual, habiendo afectado a más de 60 millones de personas hasta la fecha. El causante de la enfermedad es un retrovirus conocido como Virus de la Inmunodeficiencia Humana (VIH), que debilita el sistema inmunitario del paciente y lo hace susceptible al ataque de otros patógenos (infecciones oportunistas)

A partir de su descubrimiento, se han realizado grandes esfuerzos en investigar su funcionamiento y ciclo de vida, con el fin de desarrollar terapias antirretrovirales. Dichas terapias se basan en interferir alguna de las etapas del ciclo viral, como la entrada en la célula, el ensamblaje o la liberación de viriones.

En este artículo vamos a hablar sobre el maraviroc, un fármaco que inhibe la entrada del Virus de la Inmunodeficiencia Humana tipo 1 (VIH-1). [1]

2. CICLO DE VIDA DEL VIH

2.1. Estructura del virión

Como se puede observar en la **Figura 1**, los virus de la familia *Retroviridae*, como el VIH, se encuentran envueltos en una bicapa lipídica cubierta por proteínas.

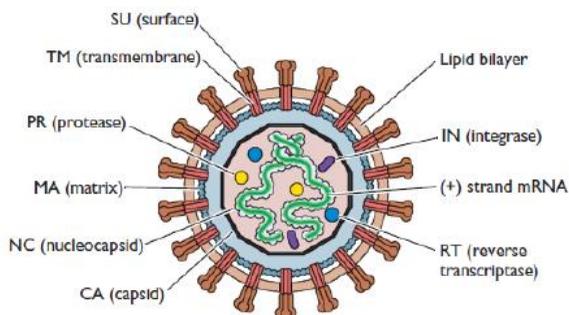


Fig. 1: Estructura del VIH-1.

Dentro de esta envuelta se encuentra una cápside proteica que contiene el virus como tal (dos hebras de ARN monocatenario +) y varias enzimas necesarias para la infección (retrotranscriptasa, integrasa y proteasa).

2.2. Entrada

El VIH infecta a linfocitos T que presenten en su superficie el receptor CD4. El proceso se encuentra representado en la **Figura 2**.

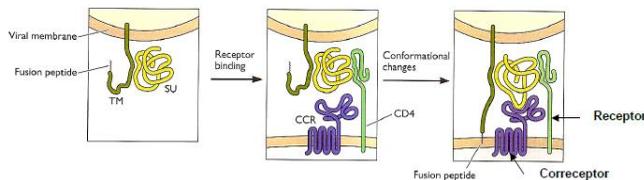


Fig. 2: Esquema del proceso de unión del VIH.

El antígeno de superficie del virión se une a este receptor y experimenta un cambio conformacional. Como resultado se expone un dominio fusogénico que media la fusión de la membrana viral con la celular. En este proceso también participan correceptores celulares tipo CCR.

2.3. Infección

Una vez en el citoplasma, el virus se decapsida y se produce la retrotranscripción. El ARN monocatenario se transforma en ADN bicatenario por la acción de una retrotranscriptasa, incluida en el virión. A continuación, el ADN viaja al núcleo y se integra aleatoriamente en el genoma del hospedador gracias a una integrasa propia. En este estado el virus se denomina provirus.

En respuesta a actividad inmunológica, el provirus se transcribe utilizando la maquinaria celular. Se sintetizan precursores proteicos que son procesados por una tercera enzima viral, la proteasa, para dar lugar al resto de las proteínas virales.

2.4. Morfogénesis y salida

Las proteínas y el ARN virales se ensamblan en la membrana del hospedador para formar nuevos viriones, que

abandonan la célula por gemación.

El ciclo viral causa daños considerables al sistema genético y al metabolismo del hospedador, resultando en la muerte de las células infectadas. [1]

3. DESARROLLO DEL MARAVIROC

La inhibición de la entrada del VIH-1 se ha convertido en un blanco muy atractivo en la búsqueda de fármacos antirretrovirales. Uno de los primeros resultados fue el Fuzeon [3], un fármaco inyectable que supuso el punto de partida de esta investigación. Los esfuerzos posteriores se centraron en el descubrimiento y desarrollo de inhibidores que pudieran administrarse por vía oral. [2]

Los correceptores (especialmente el CCR5) son dianas particularmente atractivas, ya que su ausencia en parte de la población no parece tener efectos adversos sobre su sistema inmune o salud general. No solo eso, sino que además estas personas poseen cierta resistencia natural frente a la infección por VIH-1 [4]. Esto llevó a la hipótesis de que la inhibición antagonista de los correceptores CCR5 podría tener efecto antiviral sin alterar el sistema inmune del paciente.

La empresa Pfizer llevó a cabo High Throughput Screening (HTS) mediante ensayos de unión a receptores de quimioquinas (el ligando natural de CCR5), con el fin de identificar ligandos de pequeño tamaño. La imidazopiridina UK-107,543 fue uno de los compuestos más eficientes, y se tomó como punto de partida para la investigación. Se procedió a optimizar su afinidad por el receptor, selectividad, actividad antiviral, absorción y farmacocinética. El programa sintetizó y perfiló casi 1000 análogos, de los cuales fue seleccionada la imidazopiridina UK-427,857, que recibió el nombre de maraviroc (Figura 3).

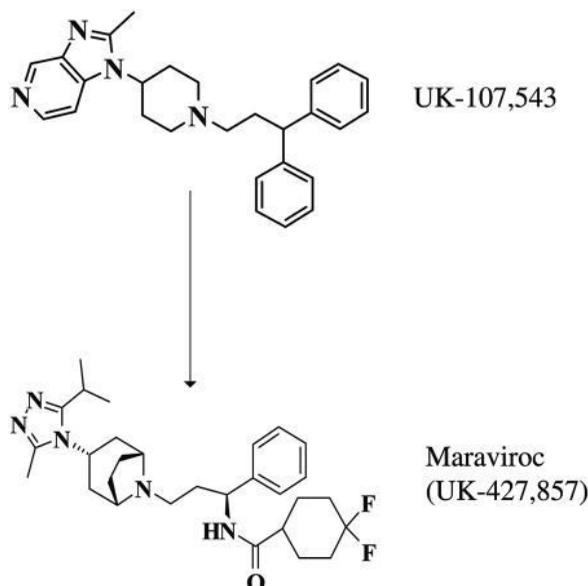


Fig. 3: Optimización del maraviroc a partir de UK-107,543

4. PROPIEDADES DEL FÁRMACO

4.1. Farmacocinética

El maraviroc es el primer fármaco desarrollado contra la entrada del VIH que se puede administrar por vía oral. Se absorbe en el intestino delgado y se distribuye por el sistema circulatorio del paciente. [2]

Durante su desarrollo se realizaron ensayos en perros y ratones, a los cuales se les administró el medicamento por vía oral o intravenosa, tomando muestras de plasma a distintos intervalos hasta 24 horas después de la dosis. A partir de los datos obtenidos se estimaron los parámetros en humanos, los cuales aparecen recogidos en la **Tabla 1**.

Parámetro	Valor predicho en humanos
Aclaramiento (ml/min/kg)	11
V (litros/kg)	2
$t_{1/2}$ (h)	3
Absorción (%)	30
Biodisponibilidad (%)	20
C_{min} (2 dosis diarias de 100 mg)	1

Tabla 1: Predicción de parámetros farmacocinéticos en humanos.

Ensayos posteriores en humanos (llamados MOTIVATE-1 y MOTIVATE-2) determinaron que la administración de maraviroc produce un descenso considerable en la carga viral de los pacientes. [5]

4.2. Mecanismo de acción

El maraviroc es un antagonista de las quimioquinas, y funciona como inhibidor acompetitivo de los correceptores CCR5, ubicados en la superficie de los linfocitos T.

Estos correceptores participan en la entrada de algunas cepas de VIH-1 (cepas con tropismo CCR5) en las células, por lo que su inhibición bloquea (teóricamente) la intrusión del virión.

4.3. Limitaciones

No todas las cepas de VIH necesitan el correceptor CCR5. Algunas emplean otros correceptores o mecanismos de entrada actualmente desconocidos. Por tanto, el uso de maraviroc como tratamiento antiviral solo será efectivo para ciertas infecciones. [6]

Como el resto de terapias antivirales, el maraviroc no cura la enfermedad. A día de hoy no se ha conseguido desarrollar un tratamiento que elimine completamente la infección. Sin embargo, el maraviroc (especialmente usado junto a otros fármacos) puede reducir considerablemente la carga viral de los infectados, lo que contribuye a mejorar su calidad de vida y a disminuir los riesgos de transmisión.

5. CONCLUSIÓN

El maraviroc fue uno de los pioneros en el desarrollo de fármacos antirretrovirales de administración oral.

A pesar de sus limitaciones, supone una gran contribución a la lucha contra el SIDA, la cual continua hoy en día. Tal vez en el futuro se consiga desarrollar un tratamiento que permita eliminar la enfermedad, hasta entonces los fármacos como el maraviroc han logrado que las vidas de los infectados sean más llevaderas.

REFERENCIAS

- [1] A. Brik and C.-H. Wong, HIV-1 protease: mechanism and drug discovery. *Org Biomol Chem*. 2003 Jan 7;1(1):5-14.
- [2] Dorr, Patrick et al. "Maraviroc (UK-427,857), a Potent, Orally Bioavailable, and Selective Small-Molecule Inhibitor of Chemokine Receptor CCR5 with Broad-Spectrum Anti-Human Immunodeficiency Virus Type 1 Activity." *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 49.11 (2005): 4721-4732. PMC. Web. 8 Dec. 2017.
- [3] Potent suppression of HIV-1 replication in humans by T-20, a peptide inhibitor of gp41-mediated virus entry Kilby J.M., Hopkins S., Venetta T.M., Dimassimo B., Cloud G.A., Lee J.Y., Alldredge L., Hunter E., Lambert D., Bolognesi D. Matthews T. Johnson M.R., Nowak M.A., Shaw G.M., Saag M.S. (1998) *Nature Medicine*, 4 (11) , pp. 1302-1307.
- [4] Samson, M., F. Libert, B. J. Doranz, J. Rucker, C. Liesnard, C. M. Farber, S. Saragosti, C. Lapoumeroulie, J. Cognaux, C. Forceille, G. Muyldermans, C. Verhofstede, G. Burtonboy, M. Georges, T. Imai, S. Rana, Y. Yi, R. J. Smyth, R. G. Collman, R. W. Doms, G. Vassart, and M. Parmentier. 1996. Resistance to HIV-1 infection in Caucasian individuals bearing mutant alleles of the CCR-5 chemokine receptor gene. *Nature* 382:722-725.
- [5] Carter NJ, Keating GM. Maraviroc. *Drugs* 2007; 67:2277-88; discussion 89-90.
- [6] Ficha técnica del Maraviroc. Infosida.
<https://infosida.nih.gov/drugs/408/maraviroc--para-el-tratamiento-del-vih/0/patient>



Alejandro Díaz Rueda, estudiante de 3º de Biotecnología y alumno interno en el área de Fisiología animal. Apasionado por las ciencias y en especial la biología.

Bisfosfonatos y los Huesos de Cristal

Belén Benítez Domínguez

Resumen— Los bisfosfonatos son fármacos que inhiben la degradación del tejido óseo mediante la unión a hidroxiapatita y la inducción a la apoptosis osteoclástica. Pueden ser simples o nitrogenados, y administrarse en forma oral o parenteral, en función de la enfermedad a la que vayan dirigidos. Una de las enfermedades para las que se emplean estos tratamientos es la osteogénesis imperfecta, una enfermedad rara con una gran precisión de diagnóstico, pero que actualmente no tiene cura.

Palabras Claves— Bisfosfonato (BPN), osteogénesis imperfecta (OI), osteonecrosis maxilar (OM), resorción ósea (RO)

1. INTRODUCCIÓN

El tejido óseo se encuentra en constante remodelación por parte de los osteoblastos (generan tejido nuevo) y de los osteoclastos (degradan tejido óseo).

Los bisfosfonatos (BPN, del inglés *Bisphosphonates*) inhiben la degradación del tejido óseo por parte de los osteoclastos, induciéndolos a la apoptosis, y por tanto disminuyendo la pérdida de hueso.

A lo largo de este artículo, analizaremos la estructura, función y mecanismos de acción de estos fármacos, así como su aplicación al tratamiento de osteogénesis imperfecta (OI), comúnmente conocida como “Enfermedad de los huesos de cristal”.

2. ESTRUCTURA Y ACTIVIDAD DE LOS BPN

2.1. Estructura y función

Los polifosfatos se caracterizan por enlaces POP (fósforo-oxígeno-fósforo); son muy usados en la industria por su capacidad de inhibir la precipitación de carbonatos de calcio. En 1962, se descubrió que la orina y el plasma alojaban sustancias que inhibían la precipitación del fosfato cálcico, y que parte de esta actividad se debía al pirofosfato inorgánico que contenían. Este pirofosfato era hidrolizado rápidamente al administrarse oralmente, y se observaba una disminución de la tasa de resorción ósea (RO).

Este hecho promovió la búsqueda de análogos que desempeñaran actividades fisicoquímicas similares, pero que no experimentasen hidrólisis. Los BPN se asemejan a los pirofosfatos: poseen enlaces PCP (el átomo central es de carbono) en lugar de POP.

En contraste con los pirofosfatos, los BPN han demostrado ser potentes inhibidores de la RO. La fracción PCP en la estructura de los BPN es fundamental para la unión a la hidroxiapatita¹, influye en la alta afinidad hacia el esqueleto y permite numerosas variaciones químicas, modificando las cadenas R1 y R2 (Figura 1). [1]

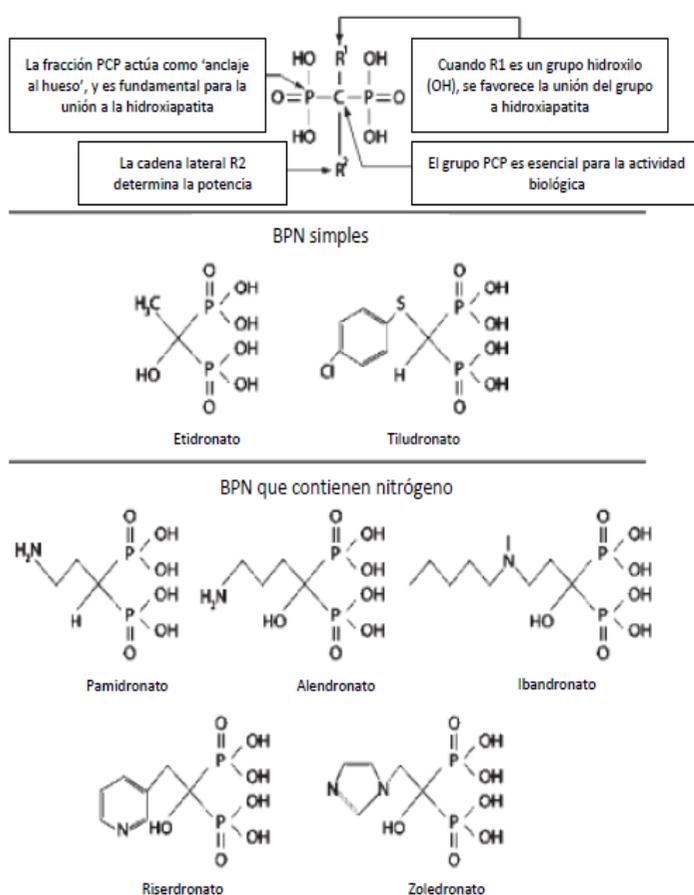


Figura 1. Dominios funcionales de la estructura de un BPN (parte superior) y estructuras de diferentes BPN (parte inferior). Imagen modificada de la Fuente [1].

2.2. Actividad farmacocinética y farmacodinámica

Los BPN pueden dividirse en dos grupos, en función de su estructura química y mecanismo de acción: BPN simples (no nitrogenados) como el etidronato o el tiludronato, con baja actividad antiresortiva; y BPN nitrogenados, con una potencia entre 10 y 100 veces mayor que

¹ *Hidroxiapatita*: material biológico formado por fosfato cálcico cristalino. Representa el 99% del depósito de calcio corporal, y confiere resistencia al tejido óseo ante la compresión.

los simples (Figura 1).

Los BPN simples son incorporados al adenosín trifosfato (ATP) como agentes no hidrolizables, inhibiendo enzimas intracelulares dependientes de ATP e induciendo la apoptosis osteoclástica. Por otro lado, los BPN nitrogenados inhiben enzimas de la ruta del mevalonato² en los osteoclastos, suprimiendo la biosíntesis de isoprenoides que intervienen en la modificación postraduccional de enzimas GTPasas. [1]

Un dato a tener en cuenta es el efecto de la competitividad entre distintos BPN presentes en el mismo organismo. En ratas, se ha demostrado que el etidronato (BPN simple) administrado en altas dosis compete con el alendronato (BPN nitrogenado), inhibiendo la absorción de este último compuesto por parte del hueso. [2]

Los BPN son altamente polares, y por tanto difíciles de extraer de fluidos biológicos. La mayoría no contiene grupos cromóforos, lo que supone también una dificultad añadida para el desarrollo de técnicas de análisis. [3]

Los BPN suelen encontrarse en el mercado como un tratamiento oral. No obstante, poseen una baja absorción en el tracto gastrointestinal (vía transporte paracelular), siendo la vía óptima de administración la parenteral (empleada, a modo de ejemplo, como coadyuvante en algunos tipos de cáncer). [2], [4]

La acción general de los BPN se realiza en varias etapas:

- 1- Unión selectiva del BPN a la hidroxiapatita y su consecuente liberación local durante la RO.
- 2- Inducción de una serie de cambios intracelulares en los osteoclastos que conllevan la apoptosis celular.
- 3- La inhibición de la RO puede medirse estimando la concentración de los productos de degradación del colágeno de tipo I en la orina. Para la detección pueden emplearse marcadores bioquímicos telopeptídicos³ NTx y CTx, específicos para la degradación del colágeno tipo I predominante en la estructura ósea. [3]

Una vez el BPN se encuentra en la sangre, desaparece rápidamente del plasma sanguíneo para unirse a hidroxiapatita, siendo la fracción restante excretada por el riñón. La distribución de los BPN en los huesos no es homogénea, siendo preferente la unión a huesos con una alta tasa de resorción. [2]

También existe cierta actividad de los BPN sobre los osteoblastos, produciendo el efecto contrario: disminución de su apoptosis y estimulación osteoblástica para la secreción de inhibidores del reclutamiento de osteoclastos. [4]

La retención del fármaco en el esqueleto depende de factores como el funcionamiento renal, la tasa de reem-

plazo óseo y las propiedades específicas de unión, que a su vez depende del tipo de BPN empleado [3]. Por lo general, los BPN son compuestos muy resistentes (la vida media del alendronato son 12 años, aproximadamente), ya que no son degradados al incorporarse al tejido óseo [5].

3. OSTEOGÉNESIS IMPERFECTA

La osteogénesis imperfecta (OI) es una enfermedad genética rara habitualmente causada por una anomalía en los genes COL1A1 y COL1A2, que codifican para las cadenas de colágeno de tipo I $\alpha 1$ y $\alpha 2$, respectivamente. Se identifica principalmente con una baja densidad ósea y una alta fragilidad en el hueso. [6]

Actualmente no existe cura para la OI. Sin embargo, los pacientes que sufren de los tipos más graves de OI son tratados con BPN intravenosos con el objetivo de aumentar la densidad mineral del hueso. Esta terapia ha demostrado ser más efectiva en niños que en adultos, - experimentos anteriores con ratas constataron que los BPN eran más efectivos en las jóvenes que en las adultas [2] - de manera que en muchos casos ha ayudado a remodelar las vértebras comprimidas por fracturas en casos de niños en crecimiento. [7]

La OI más frecuente es la de tipo I, - los pacientes son longevos por lo general, apareciendo las fracturas después del nacimiento - y no solo puede afectar a las extremidades o a la columna vertebral, sino también a la zona dental (dentinogénesis imperfecta). La mayor parte de las personas que padecen OI presentan un gran deterioro dental, y en algunos tipos de esta enfermedad manifiestan síntomas craneofaciales de la enfermedad, consistentes en la maloclusión exacerbada de la mandíbula. Este factor supone la necesidad de un tratamiento odontológico añadido al resto de tratamientos. [7], [8]

La OI de tipo I se divide a su vez en tipos 1A y 1B, en función de si presentan o no dentinogénesis imperfecta. La anomalía suele ser la falta de un alelo del gen COL1A1, que causa una reducción del 50% de la cantidad de colágeno tipo I. Otros tipos de OI son más críticos para el paciente, pudiendo originar deformaciones óseas o incluso la muerte durante el desarrollo del feto, o ir aumentando de forma progresiva a lo largo de los años hasta la incapacidad total de la persona. [8]

Para el tratamiento con BPN suelen emplearse los BPN nitrogenados más recientes: alendronato, ibandronato y pamidronato (uno de los más empleados en niños), siguiendo los mecanismos descritos en apartados anteriores.

3.1. Osteonecrosis maxilar: un posible efecto secundario

El tratamiento con BPN tiene doble filo, especialmente en el caso de la OI. Se ha demostrado que, en varias

²Ruta del mevalonato: vía metabólica empleada en la síntesis de precursores de isoprenoides como el colesterol, vitamina K, los grupos hemo, hormonas esteroideas...

³Marcadores telopeptídicos: fragmentos de unión a crosslinks (enlaces entre cadenas poliméricas) específicos del colágeno tipo I.

ocasiones, se produce un efecto secundario notable como consecuencia de la terapia con BPN, llamado osteonecrosis maxilar (OM). Puesto que los BPN inhiben la actividad de los osteoclastos, esto también afecta a la remodelación ósea; en casos de altas dosis, puede verse afectado el flujo de sangre que recubre las heridas producidas en esta zona, originando un riesgo de padecer OM. [7]

¿Por qué en los maxilares? En la boca suelen originarse microfracturas diariamente, debido a los efectos de la masticación en la mandíbula y el maxilar. Estas microfracturas son reparadas mediante remodelación ósea, cuya necesidad se incrementa ante la presencia de infecciones en los maxilares o al realizar extracciones dentales. Dado que la terapia con BPN afecta a la remodelación ósea, estas alteraciones no se reparan, aumentando el riesgo de aparición de OM. [5]

3.2. Tests de diagnóstico para OI: Biopsia cutánea vs Análisis de ADN

Las biopsias dérmicas constituían el diagnóstico estándar para la OI; muestran los tipos de proteínas de colágeno sintetizadas por cultivos de fibroblastos, utilizando geles de poliacrilamida para electroforesis. El análisis por electroforesis resultaba positivo en el 90% de los casos en los que se sospechaba de OI.

Por otro lado, la secuenciación directa de los genes COL1A1 y COL1A2 ha permitido identificar la mutación en un 95% de los casos, englobando además mutaciones en otros genes, presentes en una OI severa o letal que se hereda de forma recesiva.

En conclusión, la secuenciación de ADN genómico es más sensible que el cultivo de fibroblastos, permitiendo además detectar la mutación en otros miembros de la familia. Normalmente no es necesario emplear las dos técnicas a la vez; se recomienda la secuenciación de ADN como análisis inicial, complementado por la biopsia en el caso de que la secuenciación no permitiese detectar grandes deleciones de exones. En este caso, la electroforesis de colágeno permitiría identificar esa región en la proteína. [9]

4. CONCLUSIONES

A pesar de la asociada eficacia anti-fracturas, el nivel exacto de inhibición de RO por parte de los BPN permanece en su mayoría el desconocimiento, dada la dificultad para comparar diferentes estudios, en los que los marcadores y disoluciones empleados son muy distintos. Además, los niveles de supresión de la RO dependen en gran parte de la sensibilidad de los marcadores. No obstante, el tratamiento con BPN ha demostrado ser efectivo en diversas aplicaciones terapéuticas, a las que habitualmente se suman complementos terapéuticos como vitaminas, tratamientos odontológicos, o sesiones de fisioterapia, muy frecuentes en el tratamiento de la OI.

Es de suponer que el objetivo en algunos casos concretos, como es el de la OI, sea el de enfocar el tratamiento de una forma más específica, como pueda ser la terapia génica. Si bien los BPN ayudan a solucionar las conse-

cuencias más graves y directas de esta enfermedad - y de otras muchas, como la osteoporosis o efectos colaterales propios del cáncer -, no están enfocados a eliminar o combatir el origen de la enfermedad en sí misma, y por tanto pueden originar una cierta variedad de efectos secundarios.

REFERENCIAS

- [1] A. L. (2005). Discovery, Clinical Development, and Therapeutic Uses of Bisphosphonates. *The Annals of Pharmacotherapy*, 39. doi:10.1345/aph.1E357
- [2] J. L. (1996). Bisphosphonates: A review of their pharmacokinetic properties. *Bone*, 18(2), 75-85. doi:https://doi.org/10.1016/8756-3282(95)00445-9
- [3] Cremers, S.C.L.M., Pillai, G., & Papapoulos, S.E. *Clin Pharmacokinet* (2005) 44: 551. https://doi.org/10.2165/00003088-200544060-00001
- [4] Reyes Tur, María Isabel, & Troche Concepción, Yenilen. (2012). Utilización de bisfosfonatos en las enfermedades de los huesos. *Revista Cubana de Farmacia*, 46(4), 457-469. Recuperado en 16 de diciembre de 2018, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75152012000400009&lng=es&tlng=es
- [5] Cardona, F., Bagán, J.V., Sáinz, E., Figuerido, J., Giner, F., & Vidán, F.J.. (2009). Osteonecrosis de los maxilares por bisfosfonatos: Actualización y puesta al día. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 32(3), 423-437. Recuperado en 16 de diciembre de 2018, de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272009000500012&lng=es&tlng=es.
- [6] J. S. (2018). A Multicenter Observational Cohort Study to Evaluate the Effects of Bisphosphonate Exposure on Bone Mineral Density and Other Health Outcomes in Osteogenesis Imperfecta. *JBMR Plus*. doi:[10.1002/jbm4.10118]
- [7] Rousseau M. et al. (2018). Osteogenesis imperfecta: potential therapeutic approaches. *PeerJ*: e5464 <https://doi.org/10.7717/peerj.5464>
- [8] Tau, Cristina. (2007). Tratamiento de osteogénesis imperfecta con bisfosfonatos. *Medicina (Buenos Aires)*, 67(4), 389-395. Recuperado en 16 de diciembre de 2018, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0025-76802007000400013&lng=es&tlng=es
- [9] S., Et al. (2009). Osteogenesis imperfecta: Questions and answers. *Current Opinion in Pediatrics*, 21(6), 709-716. doi:10.1097/MOP.0b013e328332c68f



Belén Benítez Domínguez es actualmente estudiante de tercer curso del Grado de Biotecnología en la Universidad Pablo de Olavide.

Arca Pharrmarithmica

Daniel León Perrián

Resumen—En este artículo, se hace una revisión general de cómo se están aplicando actualmente las técnicas de Machine Learning, concretamente las Redes Neuronales, desde el diseño de fármacos *de novo* hasta la extracción de efectos adversos, con la posibilidad para la industria farmacéutica de reducir costes económicos y de recursos humanos, y llegar a tratamientos que cubran más necesidades, de forma personalizada.

Palabras Claves— Machine Learning, *De novo*, SMILES, Fármacos, Codificación, Redes Sociales

1. INTRODUCCIÓN

A tanasio Kircher propuso a mediados del siglo XVII un método algorítmico denominado *Arca Musarithmica*, basado en patrones y combinatoria, para poder componer compleja música eclesiástica polifónica adaptada a una letra y modo [1]: supo ver, con casi 3 siglos de antelación, lo que sucedería con una frecuencia asombrosa durante los siglos XX y XXI no solamente en el campo de la música: desde hace varias décadas, y prácticamente ligado al concepto de informática, surge el deseo de conseguir un determinado procesamiento de información, cuya lógica intrínseca proceda en último término de los propios datos. En la actualidad, hay métodos como el Deep Learning (DL) o el Machine Learning (ML), que están siendo de gran ayuda en áreas como el del diseño de fármacos, la economía [2] o el marketing [3] no por su novedad, sino por el incesante aumento en la capacidad de cálculo del hardware, sobre todo en sistemas basados en GPU [4], y por el auge del *big data*, impulsado en gran medida por el crecimiento de las bases de datos, en este caso, de carácter científico [5].

Un patrón es, según Watanabe, “lo opuesto al caos; es una entidad, vagamente definida, a la que se puede dar un nombre”. Y, precisamente, el diseño de tecnologías de Machine Learning toma como principal objetivo la construcción y entrenamiento de sistemas capaces de clasificar o reconocer patrones, con el fin de poder llegar a métodos que de forma independiente puedan aprovechar las propiedades emergentes en la generación de patrones totalmente nuevos, o en el reconocimiento de otros ligados en mayor o menor medida al entrenamiento [6].

Con lo expuesto, se indica que normalmente las tareas de ML siguen una dinámica que comienza por la recolección, criba y representación de datos de forma que se adapte al algoritmo utilizado para la clasificación. Para entender a qué nos referimos con *representación* de datos, podríamos señalar la existencia de tecnologías que reconocen patrones a partir de análisis de archivos de imagen, de sonido, incluso de texto.

Para entender muchos de los métodos a exponer en los siguientes apartados, se definirán y tendrán en cuenta una serie de conceptos básicos referentes al ML:

- *En función del grado de detalle de los datos de partida*, existe el *aprendizaje no supervisado* - utilizado, por ejemplo, en los casos en los que se quiera someter información a un análisis de patrones - y el *aprendizaje supervisado* - aquel en el que se indica en la información de entrenamiento cómo esta debe ser procesada -.
- *En función de si queremos un resultado cualitativo o cuantitativo*, emplearemos un sistema de *clasificación* - para el que se emplea un sistema de calidad basado en sensibilidad y especificidad - o un sistema de *regresión* - con sistema de calidad basado en errores -, respectivamente.

Por otra parte, son numerosos los tipos de enfoques y sistemas basados en DL y ML: las *Recurrent Neural Networks* (RNNs) [7], las unidades *Long Short-Term Memory* (LSTM) [8] o las *Convolutional Neural Networks* (CNNs) [9], que son, básicamente, las empleadas en el desarrollo de los siguientes puntos, en referencia a la aplicación de éstas en el descubrimiento y desarrollo, mejora permanente y puesta en marcha de fármacos en el mercado [10].

2. APLICACIONES DEL MACHINE LEARNING A LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA

2.1. Diseño de fármacos *de novo*

Uno de los puntos críticos a la hora de diseñar un fármaco es el conocimiento de antemano de moléculas con cierto grado de actividad biológica de interés que puedan servir de base de desarrollo y mejora. En la actualidad, existen varios métodos *in silico* basados en DL que permiten esquivar esta necesidad mediante el diseño de moléculas *de novo*, como plantean Popova *et al.* [11]: ReLeaSE es un sistema Stack-RNN doble que permite en primera instancia, mediante el uso de una red generativa (G), la generación de moléculas químicamente viables en notación SMILES [12] y, en segundo lugar, la evaluación dirigida de estas moléculas en un sistema de puntuación dado por una red predictiva (P) que sirve de retroalimentación al primero, para llevar la generación de dichas moléculas en una dirección determinada, por ejemplo, mediante propiedades físicas como la temperatura de fusión (T_f), el coeficiente de partición en *n*-octanol/agua ($\log P$) y propiedades biológicas en relación a predicciones de activi-

dad. La red generativa fue entrenada con ~1.5 millones de estructuras químicas extraídas de bases de datos como ChEMBL21, generando más de 1 millón de compuestos, de los cuales el 95% fueron válidos - considerados estructuras químicas sensatas -, y sólo ~32000 de esas moléculas ya se encuentran registradas, lo que sirve como una validación del método.

Al orientar la red predictiva y coordinarla con la generativa para buscar moléculas con actividad moduladora sobre JAK2, el sistema fue capaz de sintetizar virtualmente un 76% de moléculas que superaron el filtro P, con lo que se podrían considerar activas. Como verificación del método, cabe apuntar que de las aproximadamente 15000 moléculas generadas en este caso, 15 ya se encuentran la base de datos ZINC como posibles inhibidores de JAK2 [11], [14].

2.2. Predicción de la absorción de fármacos y viabilidad de su administración por vía oral

Uno de los procesos fundamentales que determina la efectividad de un fármaco es su absorción. Hasta hoy, la experimentación con animales y modelos basados en descriptores como la hidrofobicidad, posibles enlaces de hidrógeno, polaridad o parámetros de química cuántica, han permitido determinar si un fármaco es apto o no para administración por vía oral, en función de su absorción a lo largo del tracto gastrointestinal, y su consiguiente biodisponibilidad para ejercer acción sobre su diana. Respecto a las contribuciones del Machine Learning a este campo, Guerra *et al.* [13] utilizan una red neuronal de aprendizaje no supervisado, a la que se ofrece como entrada los datos generados por el programa CODES, que procesa moléculas notadas en SMILES y genera un vector de información que contiene todos los descriptores numéricos estructurales necesarios, convirtiéndose en un método más escalable y simple que otros, al no depender de una modelización inicial para dar resultados, ya que se trata a la molécula como descriptor en sí misma. El modelo predictivo utiliza una filosofía de *clasificación*, tomando gran importancia la sensibilidad y la especificidad en la parametrización de falsos positivos y negativos, y verdaderos positivos y negativos.

La red neuronal, orientada a la predicción de logP a pH 6.5, resultó más efectiva bajo la arquitectura neuronal 3:7:1 con un conjunto de datos de entrenamiento de 41 compuestos con una gran diversidad estructural, de forma que no se presente sesgo hacia verdaderos positivos o verdaderos negativos, haciendo que en procesos de verificación el modelo también se desvíe (Tabla 1).

2.3. Predicción de la interacción proteína-ligando

La existencia de unión o no de ciertas moléculas o ligandos a proteínas de distinta naturaleza, como receptores o enzimas, además del tipo de unión y la acción ejercida sobre la misma es un pilar fundamental de la actividad biológica de los fármacos. Por el carácter dinámico tanto de proteínas como de sus ligandos, esto es, por la dependencia en la conformación tridimensional, es a menudo

TABLA 1
VALORES HIA EXPERIMENTALES Y PREDICHOS DEL MODELO 3:7:1 (ADAPTADO DE [13])

Compuestos	HIAexp	HIAth
Clorotiazida	0.49	0.49
D-anfetamina	0.90	0.98
Ouabaina	0.01	0.62
Neomicina	0.00	0.41
Ácido Salicílico	1.00	1

HIAexp: valor experimental de la absorción intestinal humana, *HIAth*: valor predicho de la absorción intestinal humana, representando mejor absorción los valores próximos a 1.

complicado hacer estudios de *docking* [15], por la necesidad de definir de forma precisa un número nada despreciable de descriptores para conocer la posibilidad de unión entre ambas. Uno de los métodos utilizados para la predicción de estas interacciones es el de la función de puntuación de AutoDock Vina, altamente dependiente de la parametrización inicial por parte del usuario. El método propuesto por Ragoza *et al.* [16] involucra la utilización de una red neuronal convolucional (CNN) de análisis de imágenes con dos conjuntos de entrenamiento, uno para la predicción de conformación y el otro para *screening* virtual. En el primer caso, se toma el conjunto de datos CSAR-NRC HiQ con 745 ejemplos positivos de 327 dianas distintas, y 3251 ejemplos negativos de 300 dianas distintas. Para el *screening* virtual, se tomaron datos de DUD-E, con 22645 y 1407145 ejemplos positivos y negativos, respectivamente. El sistema tiene la capacidad de generar distintas conformaciones de la diana, para tomar los datos de conformación tridimensional, generar una matriz discreta de valores RGB, y analizar las imágenes mediante la red CNN, y generar un resultado estadístico o puntuación que nos indique la viabilidad de cierta conformación de una diana, con la unión a un ligando - en nuestro caso, un fármaco -. La red convolucional presentada por Ragoza *et al.* [16] demuestra una mejora sustancial respecto a otros métodos computacionales en la evaluación interdiana, aunque peor en la intradiana, probablemente debido al tipo de entrenamiento al que se ha sometido la CNN. El principal potencial de las redes convolucionales frente a otros métodos es, por tanto, la capacidad de establecer modelos multitarea de afinidad proteína-ligando más generales [7], [9].

2.4. Predicción del metabolismo de los fármacos

Uno de los campos más importantes en el estudio del metabolismo que tiene lugar no sólo en humanos sino en los organismos en general es la metabolómica, por lo que su conocimiento no solo puede permitir la determinación de nuevas dianas para fármacos o la personalización de las terapias, sino ser de interés en áreas como la bioremediación [17]. Actualmente, muchos modelos basados en ML permiten el modelado del metabolismo a través del enfoque de los metabolitos que toman parte, como Cytoscape. Ya que es posible construir estos modelos tomando como principio la fragmentación, esto es, representando el me-

tabolismo como una red de nodos interconectados a través de la teoría de grafos, de forma que podamos integrar los procesos bioquímicos y la expresión génica como parte de un todo. Gracias al *big data* y a la existencia creciente de bases de datos que registran información sobre metabolismo, es posible, a través de redes neuronales, predecir y modificar sobre la marcha estos modelos, de forma que se adapten a una necesidad concreta como puede ser la predicción del comportamiento de un fármaco a lo largo de su metabolismo, la actividad de sus metabolitos, y la forma de excreción [10].

Otro de los enfoques más interesantes de aplicación del ML en la predicción de metabolitos es reducir el espectro metabólico a enzimas concretas que de antemano sabemos que pueden tomar un papel crucial en la transformación del fármaco: para esto, Waldman *et al.* [18] han desarrollado ANNE, un conjunto de redes neuronales que, de forma coordinada, puede predecir los sitios de metabolismo de las moléculas por parte de los citocromos P450 [19], encargados de procesar la mayoría de los fármacos. El entrenamiento de ANNE consiste en la utilización de una base de datos de metabolitos, para obtener un modelado capaz de generar descriptores atómicos, a partir de los que la red seleccionará los mejores candidatos, dando una salida con cierta probabilidad. Como ejemplo se propone la predicción de sitios CYP1A2 para el neuroléptico Cloropromazina, en la que ANNE encontró 5 posibles sitios de los que 1 se tenía información de antemano, 3 se describieron más tarde y el restante sigue sin confirmarse en la literatura.

2.5. Predicción de la interacción con otros fármacos

Al igual que en los apartados anteriores, uno de los hechos en los que el estudio de las interacciones fármaco-fármaco puede verse beneficiado por el ML es la existencia de un trasfondo de *big data* considerablemente amplio y detallado. Así, es fundamental conocer este tipo de interacciones antes de aprobar un fármaco para uso clínico y por supuesto antes de su prescripción, sobre todo en el caso de coadministración. Hay ciertos descriptores, que mayormente son los registrados por dichas bases de datos, que nos permiten estudiar la similitud de fármacos entre sí - por similitud terapéutica, estructural y fenotípica (intrínseca del paciente) -, de modo que tendremos información suficiente para construir un entorno de red o conjunto de redes neuronales que permitan, a partir de la variada información que nos ofrecen las múltiples bases de datos como DrugBank [20], generar modelos que permitan completar las relaciones de interacción entre fármacos sin la necesidad de que éstas sean reportadas experimentalmente. Según Cheng y Zhao [21], el método más eficaz es el de algoritmo Supported vector machine (SVM), desarrollado por Cortes y Vapnik [22], al mostrar la mayor relación de verdaderos positivos respecto a falsos positivos (sensibilidad frente a especificidad). Como ejemplo de interacción predicha por SVM encontramos la de la Clozapina con la Olanzapina, que en su coadministración pueden provocar ganancia de peso por los efectos sinérgicos sobre la Histamina H. Una de las venta-

jas de los sistemas ML frente a otros que pueden mostrar una efectividad mayor, como el minado de texto, es la menor cantidad de variables e información o dimensiones necesarias para el entrenamiento y predicción, de forma que llegamos a entender más fácilmente el funcionamiento intrínseco del mismo.

2.6. Extracción de menciones de efectos adversos

Respecto al reporte de efectos adversos, uno de los problemas es la relativa falta de información como para ser considerados a disposición del *big data*, de modo que el análisis por ML-DL se complica. Esta farmacovigilancia es fundamental, ya que los efectos adversos, en el caso de darse, suponen un gran inconveniente a los pacientes. No obstante, gracias a la explosión digital y a las redes sociales, muchos de estos pacientes ven la oportunidad de expresar su situación frente a éstos a través de, por ejemplo, Twitter. Distintos métodos, como la red LSTM bidireccional y semisupervisada de Gupta *et al.* [23] llevan a la extracción de menciones a efectos adversos haciendo un barrido masivo de, en este caso, *tweets*, estableciendo un mapa conceptual para el corpus de cada uno de estos en el que se conecte un fármaco determinado con una serie de efectos adversos, como la ganancia de peso. En el caso de esta red, utilizaron 960 *tweets* del periodo 2007-2010 referidos a 81 fármacos, previa normalización de enlaces y eliminación de emoticonos, caracteres especiales y nexos o conectores. Como ejemplo de información extraída se propone: @BLENDOS_o Lamictal_o and_o trileptal_o and_o seroquel_o of_o course_o the_o seroquel_o I_o take_o in_o severe_o situations_o because_o weight_{I-ADR} gain_{I-ADR} is_o not_o cool_o., donde se hacen las siguientes puntualizaciones: I-ADR indica posible efecto adverso y O, fuera de mención. El potencial de este tipo de desarrollo es interesante por la posibilidad de explorar la relación entre las menciones con la extracción de los propios efectos adversos, en un proceso múltiple de aprendizaje.

3. CONCLUSIONES

Las tecnologías de Machine Learning y Deep Learning nos pueden permitir la automatización de procesos que antes eran dependientes de una modelización específica, y que requerían una inversión considerable en recursos humanos y económicos para campos como el del desarrollo, mejora y comercialización de fármacos. Con los puntos descritos, desde las etapas de caracterización de posibles moléculas activas en una diana deseada hasta la línea que afecta directamente al consumidor de estos fármacos, sería interesante establecer sinergias que permitan constituir sistemas basados en Redes Neuronales - Inteligencia Artificial para acelerar todas las etapas de desarrollo de fármacos en un mismo entorno, de manera que las fases iniciales puedan beneficiarse de la retroalimentación final, lo que resulta tremendamente interesante por la capacidad sin precedentes de reducción de costes, de las líneas temporales entre la descripción de enfermedades y la de su posible fármaco, y la llegada a una medicina cada vez más personalizada y eficaz.

REFERENCIAS

- [1] A. Kircher, "Musurgia Universalis," vol. II, 1650.
- [2] S. Athey, "The Impact of Machine Learning on Economics," 2018.
- [3] P. Sundsøy, J. Bjelland, A. M. Iqbal, A. Pentland, and Y. A. De Montjoye, "Big data-driven marketing: How machine learning outperforms marketers' gut-feeling," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 8393 LNCS, pp. 367–374, 2014.
- [4] D. Schlegel, "Deep Machine Learning on GPUs," *Semin. Talk-Deep Mach. Learn. Gpus*, p. 1, 2015.
- [5] R. Bhatnagar, "The International Conference on Advanced Machine Learning Technologies and Applications (AMLT2018)," vol. 723, no. February, 2018.
- [6] G. Rättsch, "A brief introduction into machine learning," *21st Chaos Commun. Congr.*, pp. 1–6, 2004.
- [7] P. Liu, X. Qiu, and H. Xuanjing, "Recurrent neural network for text classification with multi-task learning," *IJCAI Int. Jt. Conf. Artif. Intell.*, vol. 2016–Janua, pp. 2873–2879, 2016.
- [8] K. Greff, R. K. Srivastava, J. Koutnik, B. R. Steunebrink, and J. Schmidhuber, "LSTM: A Search Space Odyssey," *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.*, vol. 28, no. 10, pp. 2222–2232, 2017.
- [9] S. Ren, K. He, R. Girshick, and J. Sun, "Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 39, no. 6, pp. 1137–1149, 2017.
- [10] M. Cuperlovic-Culf, "Machine learning methods for analysis of metabolic data and metabolic pathway modeling," *Metabolites*, vol. 8, no. 1, 2018.
- [11] M. Popova, O. Isayev, and A. Tropsha, "Deep reinforcement learning for de novo drug design," no. July, pp. 1–15, 2018.
- [12] D. Weininger, "S(MILES), a {C}hemical {L}anguage and {I}nformation {S}ystem. 1. {I}ntroduction to {M}ethodology and {E}ncoding {R}ules," *J. Chem. Inf. Comput. Sci.*, vol. 28, pp. 31–36, 1988.
- [13] A. Guerra, N. E. Campillo, and J. A. Pérez, "Neural computational prediction of oral drug absorption based on CODES 2D descriptors," *Eur. J. Med. Chem.*, vol. 45, no. 3, pp. 930–940, 2010.
- [14] G. Schneider and U. Fechner, "Computer-based de novo design of drug-like molecules," *Nat. Rev. Drug Discov.*, vol. 4, no. 8, pp. 649–663, 2005.
- [15] X.-Y. Meng, H.-X. Zhang, M. Mezei, and M. Cui, "Molecular Docking: A Powerful Approach for Structure-Based Drug Discovery," *Curr. Comput. Aided-Drug Des.*, vol. 7, no. 2, pp. 146–157, 2011.
- [16] M. Ragoza, J. Hochuli, E. Idrobo, J. Sunseri, and D. R. Koes, "Protein-Ligand Scoring with Convolutional Neural Networks," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 57, no. 4, pp. 942–957, 2017.
- [17] H. Ben Mansour, R. Mosrati, D. Barillier, K. Ghedira, and L. Chekir-Ghedira, "Bioremediation of industrial pharmaceutical drugs," *Drug Chem. Toxicol.*, vol. 35, no. 3, pp. 235–240, 2012.
- [18] M. Waldman, R. Fraczkiwicz, D. Miller, J. Zhang, and R. D. Clark, "In Silico Metabolite Prediction Using Artificial Neural Network Ensembles," p. 93534.
- [19] U. M. Zanger and M. Schwab, "Cytochrome P450 enzymes in drug metabolism: Regulation of gene expression, enzyme activities, and impact of genetic variation," *Pharmacol. Ther.*, vol. 138, no. 1, pp. 103–141, 2013.
- [20] D. S. Wishart *et al.*, "DrugBank: A knowledgebase for drugs, drug actions and drug targets," *Nucleic Acids Res.*, vol. 36, no. SUPPL. 1, pp. 901–906, 2008.
- [21] F. Cheng and Z. Zhao, "Machine learning-based prediction of drug-drug interactions by integrating drug phenotypic, therapeutic, chemical, and genomic properties.," *J. Am. Med. Inform. Assoc.*, vol. 21, no. e2, pp. 1–9, 2014.
- [22] C. Cortes and V. Vapnik, "Support-Vector Networks," *Mach. Learn.*, vol. 20, no. 3, pp. 273–297, 1995.
- [23] S. Gupta, S. Pawar, N. Ramrakhiani, G. K. Palshikar, and V. Varma, "Semi-Supervised Recurrent Neural Network for Adverse Drug Reaction mention extraction," *BMC Bioinformatics*, vol. 19, 2018.



Daniel León Perifán estudia 3º de Biotecnología en la Universidad Pablo de Olavide. En su faceta de músico trata de combinar campos como la genética molecular y las tecnologías de IA para la composición.

La evolución de la Tabla Periódica

Francisco José Guerra García

Resumen—El ser humano no se conforma con las limitadas posibilidades que le ofrece la naturaleza. En las últimas décadas hemos dedicado energía y recursos para la creación de nuevas unidades fundamentales que conforman la materia, la creación de elementos sintéticos.

Palabras Claves— Elementos sintéticos, Energía nuclear, Isótopos radioactivos, Propiedades periódicas, Tabla periódica.

1. INTRODUCCIÓN

No importa la rama del conocimiento que hayas seguido en el transcurso de tu vida, todos nos hemos cruzado alguna vez con la tabla periódica de los elementos [1] (véase Figura 1). Para algunos ha sido una tortura contemporánea diseñada para generar pesadillas en los adolescentes, pero para otros, es una de las más útiles herramientas, indispensable para todo químico o físico que se precie.

mentos que en su momento fueron considerados artificiales han sido encontrados en cantidades de trazas en la naturaleza. Entre ellos destacan Tecnecio, Plutonio, Neptunio y Californio. No obstante, estos al igual que los puramente artificiales [4], se presentan como isótopos inestables radioactivos [5]. Esto es, se degradan en elementos más estables por emisión de corpúsculos (núcleos de helio, protones, electrones...) o radiación electromagnética (rayos X, rayos gamma...). Así la vida útil media de estos elementos puede ir desde millones de años hasta apenas milésimas de segundo.



Tabla periódica de los elementos

Fig. 1. Tabla periódica de los elementos. Imagen tomada de [16].

Gracias al patrón que el gran químico ruso Dmitri Mendeléyev [2] nos dejó para la historia, hoy poseemos en nuestras manos un diagrama ordenado que nos brinda información acerca de todos los elementos químicos. Tal es así, que tan solo con fijarnos en una casilla de la tabla podemos saber gran variedad de propiedades y características de un elemento, como su radio atómico, energía de ionización, afinidad electrónica, configuración electrónica, número de oxidación, etc.

2. UN PEQUEÑO REPASO...

En fin, ya todos conocemos en cierta medida la tabla en su estado actual, pero... ¿podemos llegar a imaginarnos como será en un futuro? Primero hagamos un barrido de tiempo. Hasta 1936 tan solo contábamos con los elementos naturales, aquellos que no requieren ser sintetizados artificialmente. Es a partir de ese año con la fructuosa síntesis del Tecnecio cuando surge el interés por generar nuevos elementos e indagar acerca de sus propiedades.

Actualmente contamos con 118 elementos químicos, 98 de ellos pueden ser encontrados con mayor o menor facilidad en la naturaleza [3]. Curiosamente, varios ele-

3. ¿CÓMO LO HACEN?

Pero, ¿cómo es posible sintetizar nuevos elementos? Para muchos es algo inimaginable, concebimos los elementos químicos como los ladrillos infinitesimales que conforman el mundo tal y como lo conocemos. Sin embargo, esto es una práctica común y contamos con los medios necesarios para llevar a cabo estos experimentos.

Entre los principales métodos de síntesis de nuevos elementos destacan dos: fusión nuclear [6] y captura neutrónica [7]. Ambos, de forma general, tratan de obtener un elemento más pesado a partir del bombardeo de iones o neutrones a un núcleo denominado blanco o diana. Puesto que se requieren y liberan grandes cantidades de energía, estos procedimientos se realizan en centrales nucleares [8] y aceleradores de partículas [9] donde se pueden controlar las numerosas reacciones nucleares en cadena.

4. HAGAMOS HUECO EN LA TABLA...

Hoy día tenemos el Oganésón (Og, 118) [10] como último y más pesado elemento químico de la tabla periódica. La historia de su síntesis es conmovedora, comenzando por la falsación de resultados experimentales obtenidos por un equipo estadounidense y terminando por ciertas sorpresas acerca de sus propiedades [11]. El Oganésón posee configuración electrónica de capa cerrada en su estado neutro (véase Figura 2) y es el último elemento del periodo 7, situado en el grupo 18. Esto, junto a su nombre, nos llevaría a pensar que se trata de un nuevo elemento que se sumaría al carro de los gases nobles (con el Neón, Argón, Kriptón...), sin embargo, se deduce (a partir de las características de los elementos anteriores) que

este debe ser un sólido en condiciones normales. Cabe recalcar que es una deducción puesto que tan solo se han detectado tres o cuatro átomos de Oganesson-294 cuya vida media fue de apenas un milisegundo, propiedad que no permite en la actualidad explorar su química.

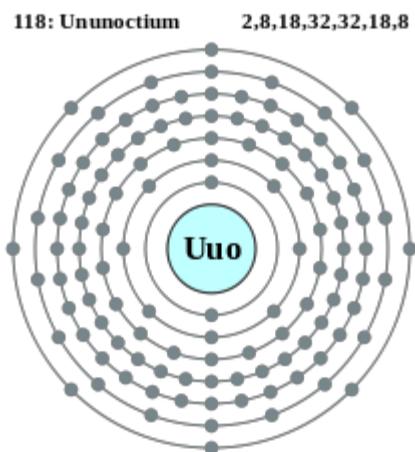


Fig. 2. Configuración electrónica de un átomo neutro de Oganesson (Og, 118). Imagen tomada de [17].

Si prestamos atención nos damos cuenta de que, en caso de sintetizar otro nuevo elemento, el 119, sería necesario añadir una nueva fila: el periodo 8. Esto es algo muy importante, y no hablamos de que haya que modificar todos los libros de texto, hablamos de que sería un elemento de un tamaño sustancialmente mayor, puesto que en su estado neutro incorporaría el último electrón en el orbital 8s. Pero esto no es ni mucho menos un sueño, el elemento 119 ya es un objetivo real propuesto por equipos japoneses y estadounidenses, su nombre provisional es Ununennio (Uue) y sus propiedades podrían corresponderse con las de su grupo, los alcalinos (alta reactividad con halógenos, oxígeno...). Todos los intentos realizados, además de costosos, han sido infructuosos.

Podríamos dedicar horas discutiendo la formación de nuevos elementos y sus propiedades, sin ir más lejos se han deducido las características de elementos próximos como el Unbinilio (Ubn, 120) o el Unbiunio (Ubu, 121) que inauguraría el bloque g y el grupo de los superactínidos.

5. ¿ESTAMOS PERDIENDO EL TIEMPO?

Llegados a este punto nos percatamos de que se invierten inimaginables recursos económicos y energéticos para lo que aparenta ser un capricho de un milisegundo de vida media, ¿por qué? Sencillo, con vistas al futuro. La población mundial crece descontroladamente y nuestras mayores limitaciones son los recursos y la energía. Una de nuestras principales fuentes de energía es la nuclear [12], no como fin, sino como medio. Esto es, se aprovecha la fisión controlada de isótopos radioactivos para transformar la energía producida en energía térmica y, de esta, al resto (eléctrica, mecánica...). La fisión más usada en las centrales nucleares es la del Uranio-235 [13]. Esta, junto con la del Plutonio-239 [14], fueron las protag-

onistas de las catástrofes producidas por las bombas nucleares arrojadas en Japón durante la Segunda Guerra Mundial. Fue en ese momento cuando se demostró el verdadero potencial energético que posee la química nuclear y cuando surge el interés por buscar nuevas aplicaciones.

En otras palabras, buscar nuevos elementos que tengan un isótopo radioactivo relativamente estable (con un periodo de semidesintegración considerable) podría resultar en el descubrimiento de un análogo a nuestro Uranio-235 actual (véase Figura 3), impulsando la tecnología mundial y permitiéndonos llegar mas allá de nuestras fronteras.

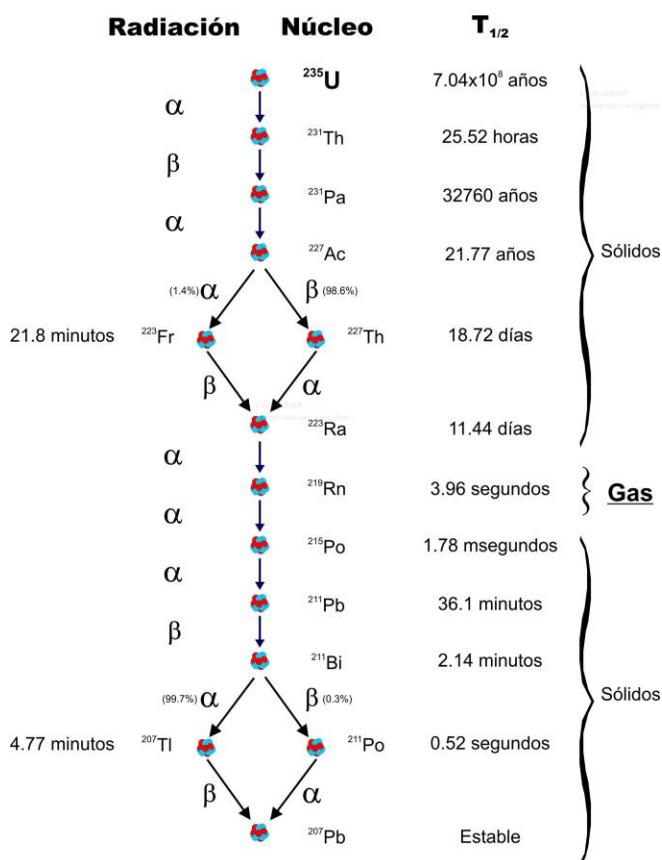


Fig. 3. Desintegración por fisión en cadena del Uranio-235 para la obtención de energía nuclear. Imagen tomada de [18].

6. CONCLUSIÓN

Respondiendo a la pregunta del inicio, no sabemos a ciencia cierta si la tabla periódica nos limitará en nuestra búsqueda de nuevos elementos pesados, pero si existiera dicho límite desde luego no es cercano aún.

Por ello hay que aprovechar que ya dejamos atrás aquellos tiempos en los que la química nuclear [15] tenía como único fin demostrar una supremacía ideológica, para generar nuevos descubrimientos mediante la colaboración y el estudio científico ya que, quizás rozando el escepticismo, desconocemos si es la única vía para evitar el consumo total de los recursos que la naturaleza nos ofrece.

REFERENCIAS

- [1] Más información en: "Tabla periódica", <https://tablaperiodica.info/>.
- [2] Biografía: "Dmitri Mendeléyev", Biografías y Vidas, <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/m/mendeleiev.htm>.
- [3] Catherine Martinez, "¿Cuáles son los Elementos Químicos Naturales?", Lifeder, <https://www.lifeder.com/elementos-quimicos-naturales/>.
- [4] Más información en: "Elemento sintético", esAcademic, <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/422423>.
- [5] Más información en: "¿Qué es la radiactividad?", Foro de la Industria Nuclear Española, <https://www.foronuclear.org/es/el-experto-te-cuenta/119402-que-es-la-radiactividad>.
- [6] Más información en: "Fusión nuclear", Wikipedia, https://es.wikipedia.org/wiki/Fusi%C3%B3n_nuclear. 2018.
- [7] Más información en: "Captura neutrónica", Schlumberger Oilfield Glossary, https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/n/neutron_capture.aspx.
- [8] Partes y funcionamiento de un reactor nuclear: "Reactor nuclear", Foro de la Industria Nuclear Española, <https://www.foronuclear.org/es/energia-nuclear/faqs-sobre-energia/capitulo-8/115748-108-ique-es-un-reactor-nuclear-y-que-elementos-lo-constituyen>.
- [9] María del Mar, "Acelerador de partículas", Espacio Ciencia, <https://espaciociencia.com/acelerador-de-particulas/>. 2018.
- [10] Más información en: "Oganesón", Wikipedia, <https://es.wikipedia.org/wiki/Oganes%C3%B3n>. 2018.
- [11] Francisco R. Villatoro, "La rareza del elemento químico más raro, el oganesón", La Ciencia de la Mula Francis, <https://francis.naukas.com/2018/02/12/la-rareza-del-elemento-quimico-mas-raro-oganeson/>. 2018.
- [12] Energía nuclear, fusión, fisión: "Energía nuclear", CSN, <https://www.csn.es/la-energia-nuclear>.
- [13] Blanca Espada, "¿Por qué el Uranio es un elemento tan importante para la tierra?", Erenovable, <https://erenovable.com/por-que-el-uranio-es-un-elemento-tan-importante-para-la-tierra/>. 2017.
- [14] Más información en: "Plutonio", Wikipedia, <https://es.wikipedia.org/wiki/Plutonio>. 2018.
- [15] Más información en: "Química nuclear", EcuRed, https://www.ecured.cu/Qu%C3%ADmica_nuclear.
- [16] Tabla periódica de los elementos. Imagen tomada de: "Tabla periódica de los elementos ordenada alfabéticamente", espaciociencia.com, <https://espaciociencia.com/tabla-periodica-de-los-elementos/>.
- [17] Configuración electrónica de un átomo neutro de Oganesón. Imagen tomada de: "Oganesón", Wikipedia, <https://es.wikipedia.org/wiki/Oganes%C3%B3n>.
- [18] Desintegración por fisión en cadena del Uranio-235 para la obtención de energía nuclear. Imagen tomada de: "Información general sobre el gas radón", Universidad de Santiago de Compostela (USC), <http://fpsalmon.usc.es/lar/esp/servicios/servicioradon/inforadon.php>.



En octubre del 2018 obtuvo el título de inglés FCE de Cambridge (B2 según el Marco Común Europeo). Con 17 años, en septiembre de ese mismo año, comienza su primer año en el Grado en Biotecnología tras ser admitido en la Universidad Pablo de Olavide (UPO) en Sevilla.

Francisco José Guerra García nació en noviembre del 2000. Recibió su título de Bachillerato en San Fernando (Cádiz) en 2018 tras completar la secundaria en 2016. Tras presentarse a las Pruebas de Evaluación de Bachillerato para Acceso a la Universidad de Andalucía obtiene la mayor nota a nivel provincial con un 13,975 sobre 14.

Los riesgos de la acrilamida

José Antonio Herrera Gavilán

Resumen— Numerosos estudios que confirman la presencia de acrilamida en determinados alimentos cocinados a altas temperaturas han causado una gran preocupación en todo el mundo. Esto se debe a que la acrilamida ha sido clasificada como posible carcinógeno en humanos por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer. En la actualidad, los posibles riesgos y efectos que puede originar la ingesta de acrilamida siguen siendo una incógnita, puesto que se han realizado estudios que confirman el desarrollo de mutaciones genéticas y tumores en animales, pero estos resultados no pueden extrapolarse al ser humano.

Palabras Claves— Acrilamida, Reacción de Maillard, Asparagina, Glicidamida, Cáncer.



1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el debate sobre los posibles efectos cancerígenos que la acrilamida podría causar está abierto.

Desde que la Agencia de Seguridad Alimentaria de Suecia (*Swedish National Food Agency*) publicara en 2002 un estudio sobre la presencia de este compuesto en alimentos ricos en almidón cocinados a altas temperaturas, se han sucedido otros muchos estudios con el objetivo de esclarecer los procesos a partir de los cuales tiene lugar la formación de este compuesto y los riesgos que puede ocasionar en los seres humanos.

2. LA ACRILAMIDA

La acrilamida es una sustancia química comúnmente utilizada en la fabricación de colorantes, papel y otros productos industriales. Esta sustancia se crea de forma natural en algunos alimentos ricos en hidratos de carbono, tales como las patatas o el pan y en alimentos de uso cotidiano como el café, cuando se calientan a altas temperaturas (por encima de los 120°C) y en condiciones de baja humedad [1]. Cabe destacar que no solo los alimentos son una fuente de exposición de acrilamida, puesto que el humo del tabaco también lo es. A continuación, se puede observar la estructura de dicho compuesto (Fig 1).

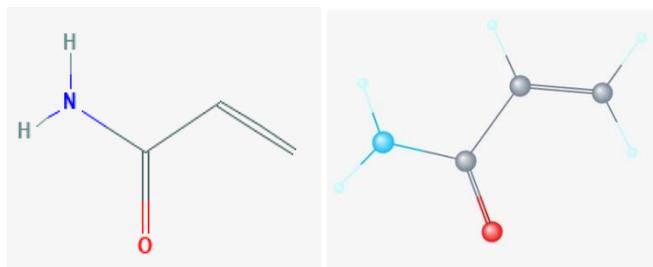


Fig. 1. Estructura de la acrilamida [12].

José Antonio Herrera Gavilán. Universidad Pablo de Olavide.

jahergav@alu.upo.es

El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC) ha clasificado la acrilamida como un probable carcinógeno (sustancia capaz de originar cáncer o favorecer su aparición) en humanos, concretamente dentro del grupo 2A donde se encuentran sustancias con una alta probabilidad cancerígena como el glifosato, un herbicida que ha causado gran polémica en los últimos meses [2].

El proceso de formación de la acrilamida en los alimentos se produce mediante la denominada reacción de Maillard, un conjunto de reacciones químicas que tienen lugar cuando los alimentos son cocinados a altas temperaturas a través de procesos como la fritura, el horneado o el tostado, generando cambios en su composición y textura, y confiriendo a los alimentos un agradable olor, color y sabor [3], [4]. Cabe destacar que la reacción de Maillard no es el único mecanismo a través del cual se crea acrilamida, ya que existen muchos otros entre los que se encuentran la degradación del aceite de fritura o la descarboxilación de ácidos orgánicos comunes como el ácido cítrico o el ácido málico, este último, presente en vegetales, sobre todo en las frutas de sabor ácido como las uvas o las manzanas.

3. LA REACCIÓN DE MAILLARD

Se conoce como reacción de Maillard a un complejo conjunto de reacciones químicas en cadena que se producen entre el grupo amino de aminoácidos o péptidos y el grupo carbonilo de azúcares reductores (como por ejemplo la glucosa o fructosa) que se dan al calentar los alimentos, dando lugar a los denominados productos de la reacción de Maillard como pueden ser la pirralina o la pentosidina. Fue estudiada por primera vez por Louis-Camille Maillard en 1912 [5]. A continuación, se muestra el proceso de formación de algunos productos de la reacción de Maillard (Fig 2).

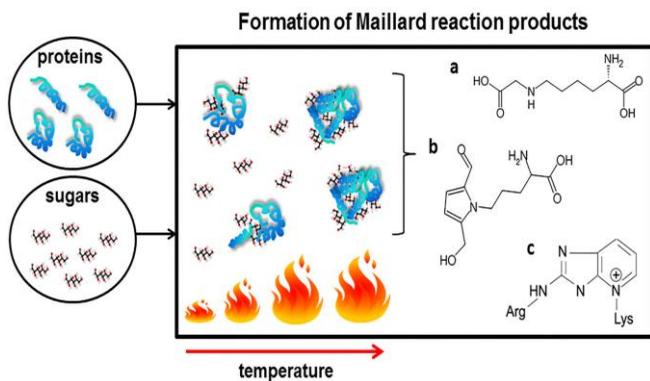


Fig 2. Reacción de Maillard y ejemplos de productos: pirralina (b) y pentosidina (c) [13].

Se le han atribuido a dicha reacción diversos cambios en las propiedades de los alimentos entre los que podemos encontrar cambios en la textura y el color, concretamente pardeamiento, producción de compuestos aromáticos y de compuestos bioactivos (tanto beneficiosos como tóxicos). La reacción de Maillard se ve favorecida con el aumento de la temperatura y se acelera al superar los 150°C. Es por este motivo por el cual un exceso en el cocinado de los alimentos conlleva a un mayor desarrollo de la reacción, lo que genera un gusto amargo en el paladar y origina compuestos tóxicos y/o mutagénicos entre los que se encuentra la acrilamida [6], [7], [8].

Como se ha comentado anteriormente, en la reacción de Maillard reaccionan azúcares y aminoácidos. En el caso de la acrilamida, los grupos carbonilo son aportados por azúcares reductores, mientras que los grupos amino proceden, en la mayoría de los casos, de un aminoácido en particular: la asparagina, aminoácido presente de forma natural en muchos alimentos (Fig 3). Un dato relevante es que los azúcares de cadena más corta presentan mayor reactividad que aquellos que presentan una cadena más larga, debido a que el grupo carbonilo se encuentra en mejor disposición para el ataque nucleófilo de asparagina.

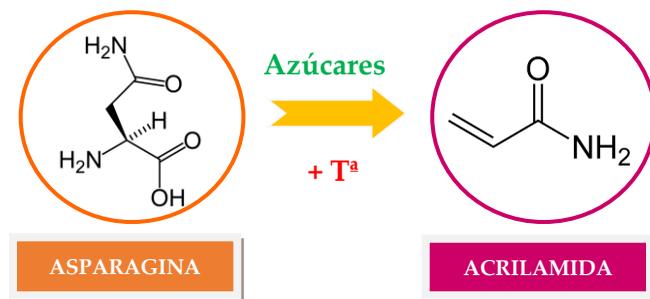


Fig 3. Formación de acrilamida a partir de asparagina. Elaboración propia.

4. RIESGOS

La exposición a acrilamida puede generar diversos efectos perjudiciales en la salud de los seres humanos. Entre las fuentes de exposición podemos encontrar los alimentos ricos en carbohidratos, el café o el humo del tabaco. A continuación, se muestra un gráfico en el que se representa la cantidad de acrilamida que contiene un kilogramo del alimento indicado (Fig 4).

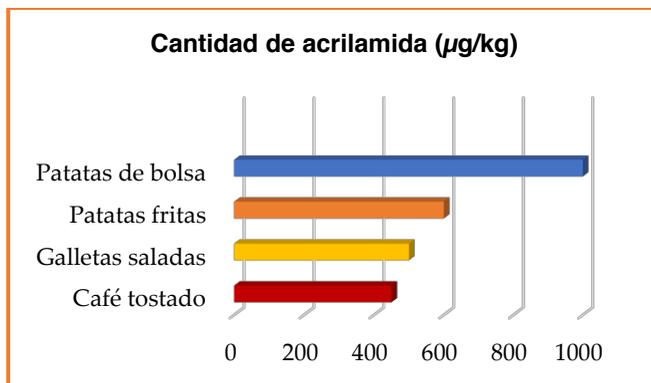


Fig. 4. Cantidad de acrilamida en algunos alimentos. Elaboración propia [14].

4.1. Efectos sobre el sistema nervioso

Estos efectos se han observado en trabajadores que han estado expuestos a la acrilamida tanto por vía cutánea como por inhalación. Las consecuencias de la exposición ocupacional para estos trabajadores han sido trastornos tanto del sistema nervioso central como de las terminaciones nerviosas.

4.2. Cáncer

Existen evidencias de estudios en animales que muestran que la acrilamida y su metabolito, la glicidamida, son genotóxicos y cancerígenos: dañan el ADN y pueden causar cáncer [9], [10], [11].

4.3. Situación actual

Hoy en día, se están llevando a cabo numerosos estudios con el objetivo de erradicar, o al menos reducir, la presencia de acrilamida en los alimentos y así evitar la aparición de la glicidamida, uno de los principales metabolitos resultantes de la ingesta de acrilamida. En los estudios realizados, los animales de laboratorio expuestos oralmente a esta sustancia tienen mayor probabilidad de desarrollar mutaciones genéticas y tumores. Según la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), la glicidamida sería la causa más probable de estos efectos adversos en los animales. En la actualidad no está claro que estos resultados pueden extrapolarse al ser humano, de ahí a que el compuesto haya sido clasificado como posible carcinógeno [10].

5. CONCLUSIONES

Numerosos estudios nos permiten concluir que la acrilamida se puede formar en determinados alimentos, especialmente en aquellos ricos en hidratos de carbono, y que son cocinados a altas temperaturas. Aunque ciertos estudios han demostrado que la exposición a acrilamida puede producir neurotoxicidad en seres humanos, otros efectos como la carcinogénesis sólo se han podido confirmar en animales.

Por el momento, la única recomendación para intentar mitigar la exposición a acrilamida es seguir una dieta equilibrada y saludable, evitando el consumo de alimentos muy fritos, tostados o asados, puesto que no hay evidencia científica suficiente sobre una ingesta diaria tolerable (TDI) de acrilamida en alimentos. Los estudios realizados hasta el momento no son concluyentes para confirmar la existencia de riesgo real para el ser humano, por lo que deben continuar las investigaciones para poder confirmar o refutar la relación entre la exposición a acrilamida y el riesgo de cáncer.

REFERENCIAS

- [1] Web de la Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición (AECOSAN). <http://www.aecosan.msssi.gob.es>
- [2] Web de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA). <https://www.efsa.europa.eu/>
- [3] Web del Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC), <https://www.iarc.fr/>
- [4] Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA), "Acrylamide Questions and Answers", <https://www.fda.gov/Food/FoodborneIllnessContaminants/ChemicalContaminants/ucm053569.htm#3>, 2016.
- [5] Fayle, S.E.; Gerrard, J.A., *La reacción de Maillard*. Zaragoza: Acribia, 2005.
- [6] Instituto Nacional del Cáncer, "Acrilamida y el riesgo de cáncer", <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/dieta/hoja-informativa-acrilamida>, 2017.
- [7] Mottram, D.S., Wedzicha, B.L. & Dodson, A.T. "Acrylamide is formed in the Maillard Reaction". *Nature*, vol 419(6906), pp 448-449, 2002, doi:10.1038/419448a.
- [8] Stadler, R.H., Blank I., Varga N., et al. "Acrylamide from Maillard reaction products". *Nature*, vol 419(6906): pp 449-450, 2002, doi:10.1038/419449a.
- [9] Pingot, D., Pyrzanowski, K., Michałowicz, J., & Bukowska, B. "Toxicity of acrylamide and its metabolite-glycidamide". *Medycyna Pracy*, vol 64(2), pp 259,271, 2013. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23829070>
- [10] Food Standards Agency (FSA), "Potencial health effects of acrylamide", <https://www.food.gov.uk/safety-hygiene/acrylamide>, 2018.
- [11] Besaratinia, A., & Pfeifer, G. P., "DNA adduction and mutagenic properties of acrylamide". *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, vol 580(1-2), pp 31-40. doi: 10.1016/j.mrgentox.2004.10.011
- [12] Web de PubChem. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/acrylamide>
- [13] Teodorowicz M., van Neerven J. & Savelkoul H. "Food Processing: The Influence of the Maillard Reaction on Immunogenicity and Allergenicity of Food Proteins". *Nutrients*, 2017, doi: 10.3390/nu9080835.
- [14] Web de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA). <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/acrylamide>



José Antonio Herrera Gavilán, es actualmente estudiante del primer curso del Grado de Biotecnología en la Universidad Pablo de Olavide (Sevilla).

Alcohol y efectos bioquímicos en nuestro organismo

Cristina Vez Rodway

Resumen—El alcohol afecta a la sociedad y a las personas de muy diversas maneras en función del volumen de alcohol consumido, hábitos de consumo y otros factores. Es un factor causal en muchas enfermedades y trastornos mentales y comportamentales, incluyendo el alcoholismo y otras enfermedades no transmisibles como el cáncer o la cirrosis. Puede actuar como droga estimulante o como depresora en función de la cantidad y del hábito de consumo. Sus efectos nocivos se deben fundamentalmente a la interacción directa con neurotransmisores del sistema nervioso central y con el desgaste producido en ciertos órganos como el hígado.

Palabras Claves— Alcohol, Alcoholismo, Trastorno, Exceso, Intoxicación, Lesión.

1. EL ALCOHOL

El alcohol tal y como estamos acostumbrados a verlo es un líquido incoloro, de olor característico, soluble tanto en agua como en grasas; se caracteriza por ser una sustancia psicoactiva, depresora del sistema nervioso central, y con capacidad de causar dependencia [1].

En cuanto a su composición química vemos como está formado por un grupo de moléculas orgánicas que presentan uno o más grupos hidroxilos (-OH) como grupos principales unido a dos átomos de carbono. En cuanto a su estructura, esta es semejante a la del agua aunque con la diferencia de que uno de los hidrógenos por los que está formado esta última se ve sustituido por un grupo alquilo.

Su fórmula química es $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$. [2]

Una de las propiedades más características del alcohol, es que a mayor tamaño, mayor punto de fusión y menor solubilidad en agua. La densidad es menor que la de el agua, además se difunde con facilidad por las membranas biológicas lo cual fomenta su dispersión por el cuerpo.

Al aumentar el tamaño de la molécula disminuye su solubilidad.

Es capaz de formar puentes de hidrógeno con otras moléculas y aniones gracias a la alta polaridad del grupo hidroxilo [3].

Tiene multitud de aplicaciones gracias a sus propiedades entre las que destacan las industriales y farmacéuticas, pero a nosotros nos interesarán las culinarias en lo que se refiere a las bebidas alcohólicas, que son las bebidas en las que encontramos etanol de forma natural o adquirida y con una concentración igual o superior en un 1% a su volumen en función del proceso de elaboración usado: por destilación o por fermentación (con ayuda de bacterias y levaduras) tal y como vemos en la siguiente imagen [1].

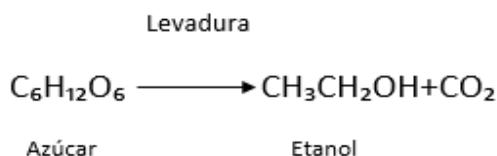


Fig 1. Fermentación alcohólica [4].

2. EFECTOS EN LAS PERSONAS

El consumo de alcohol afecta a las personas y sociedades de diferentes formas, variando sus efectos en función de los hábitos de consumo y el volumen de alcohol consumido. Es un factor causal en muchas enfermedades como la cirrosis hepática, enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer, así como de trastornos mentales y comportamentales entre los que se encuentra el alcoholismo [5]. Este último, consiste en la ingestión repetida de bebidas alcohólicas, en cantidades que exceden los límites dietéticos y sociales aceptados por la comunidad, que causan perjuicio a la salud del bebedor, a sus relaciones con otras personas y finalmente a su actividad económica [6]. Aún así, no existe un único factor de riesgo dominante, cuanto más vulnerable sea una persona, con más facilidad desarrollará problemas relacionados con el alcohol [5].

Cuando se ingiere el alcohol, se producen cambios bioquímicos hasta que se transforma en acetaldehído que pasa a la sangre. Es entonces cuando produce la intoxicación o "borrachera". Una vez aquí puede ser eliminado de diferentes formas: por la orina, por el aire espirado y por metabolización hepática transformándolo en CO_2 y H_2O [7].

El alcohol tiene un fuerte efecto sedante sobre el organismo, en concreto sobre algunas áreas cerebrales, dis-

minuyendo considerablemente su actividad e inhibiendo su actividad sináptica producida por un neurotransmisor llamado ácido gamma-aminobutírico. Este neurotransmisor GABA, actúa en muchas regiones cerebrales gracias a su alta solubilidad en lípidos y es debido a esta alteración de la corteza cerebral por lo que se produce una gran influencia en la conducta del individuo [7].

Según algunos autores, este efecto anestésico del que hemos hablado con anterioridad se lleva a cabo mediante la acción inhibitoria en los receptores NMDA del neurotransmisor glutamato, principal mediador de la información sensorial, emocional, cognitiva y motora que además es precursor de GABA e interviene en los procesos de aprendizaje [8].

A pesar de esto, no existe un consenso acerca de sus efectos en el Sistema Nervioso pues parece que esta droga actúa sin mediación de receptores específicos. Investigaciones actuales sugieren que es la alteración de la función de la membrana la que consecuentemente altera los mecanismos de los neurotransmisores [7].

El alcohol inhibe la liberación de oxitocina (relacionada con los lazos afectivos y a cuyo déficit se le atribuye la depresión) y la vasopresina, encargada de la formación de los recuerdos. Es por esto por lo que se cree que influyen en nuestro comportamiento, concretamente sobre la memoria, aprendizaje y otras formas elevadas de este [9]. La acción psicofisiológica y farmacodinámica atribuida al alcohol es semejante a la producida por anestésicos como el diazepam, es decir depresiva [10].

Por otra parte encontramos que el alcohol puede tener en ocasiones cierto efecto estimulante en las personas como liberador de las inhibiciones sociales. Investigaciones reflejan que en función de la dosis que se consuma, el efecto será uno u otro [10].

Los efectos físicos del consumo de alcohol son atribuibles al acetaldehído. Este, es más tóxico que el alcohol y actúa como sustancia estimulante. Niveles altos de acetaldehemia provocarían efectos como cefaleas, náuseas, taquicardia y malestar general [7].

Puede ser absorbido por todo el tracto gastrointestinal, siendo en el intestino delgado donde se produce la mayor parte de esta. Es absorbido incluso por la mucosa bucal y por los pulmones ya que es volátil. Tras esto, pasa al torrente sanguíneo para luego acabar en el hígado, donde tendrá lugar el 95% de su oxidación. Tal tarea supone una carga masiva para el hígado, puesto que se estaría encargando de metabolizar un componente que no es el suyo habitual (grasas) dando lugar a múltiples trastornos como acumulación de grasas y liberación masiva de hidrógeno (resultado de la oxidación del alcohol) usado para sintetizar más grasa.

Otra de las funciones del hígado es llevar a cabo el metabolismo y almacenamiento de ciertos nutrientes por lo que un consumo excesivo de alcohol provocaría deficiencias nutricionales secundarias (descenso en ciertas

vitaminas y en el propio ATP o “energía celular”).

Es por esto por lo que los alcohólicos suelen llegar a un estado de hígado graso alcohólico, lo que altera y aumenta su tamaño hepático. Si se desarrolla un hígado graso agudo aparecen dolores abdominales y anorexia, que si no se soluciona con abstinencia de esta sustancia durante unos cuantos meses, terminará en necrosis e inflamación grave de este órgano. Este estado se conoce como hepatitis alcohólica que derivará en cirrosis hepática [7]. Esta enfermedad se produce como consecuencia del intento de autorreparación producido por el hígado que forma tejido cicatricial para regenerar sus lesiones. Desafortunadamente, a mayor cantidad de tejido reparado más dificultad para realizar las funciones que tiene encomendadas. La cirrosis es irreversible y en la mayoría de los casos mortal [12].

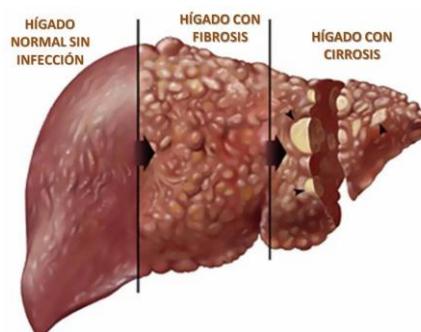


Fig 2. Hígado con infección, fibrosis y cirrosis [13].

Un consumo de alcohol prolongado producirá una disfunción aguda y crónica del cerebro, trastornando el SNC. Además, alteraciones en la memoria, juicio, actividad y funciones intelectuales complejas [10].

Si se producen lesiones anatómicas cerebrales específicas hablaríamos de síndrome alcohólico cerebral, caracterizado por una atrofia progresiva de los lóbulos frontales y pérdida de proteínas plasmáticas que generarían microhemorragias. Algunos síntomas serían pérdidas de la memoria reciente, desorientación y disminución de la capacidad de concentración [7].

También sería destacable la pérdida acelerada de neuronas, que no tienen capacidad de regeneración, lo cual generaría apatía, depresión, pérdida de interés y ansiedad, así como ciertos cambios de personalidad y pérdida en la capacidad de razonamiento y concentración [7 y 10].

El alcohol se relaciona con algunas enfermedades y alteraciones del miocardio relativas a la velocidad y tensión máxima del músculo cardíaco, perdiendo eficacia a medida que aumenta el alcoholismo. Una enfermedad relacionada sería la miocardiopatía alcohólica, consistente en arritmias o insuficiencia cardíaca, taquicardias, disnea y palpitaciones, permaneciendo el resto del sistema circulatorio sano y afectando únicamente al corazón [7].

3. CONCLUSIONES

El alcohol afecta principalmente al Sistema Nervioso Central y a órganos fundamentales como el hígado o el corazón. Se ha comprobado como altera negativamente la conducta y el funcionamiento de nuestro organismo, además de provocar trastornos psíquicos y físicos como el alcoholismo o la adicción. Es causante de cientos de muertes al año en España pues es la droga más consumida a nivel nacional y Europeo [14], y de más de 3'3 millones de muertes en el mundo [6].

Pese a todo esto, y a diferencia de muchas otras drogas con efectos igualmente nocivos, es legal.

Los beneficios que aporta al Estado la venta de alcohol y el hecho de que sea una de las pocas drogas aceptadas socialmente son algunos de los motivos por los que no se incluye en el marco de drogas ilegales. Lejos de ilegalizar esta sustancia (pues la historia nos ha demostrado que así no se evita un problema social de esta índole como con la Ley Seca), habría que intentar reducir el mensaje de aceptación moral de las bebidas alcohólicas y demostrar la importancia de evitar su abuso. Evitar las campañas en las que se venera y mostrarlo tal y como es, como una droga peligrosa cuyos efectos a largo plazo son más nocivos que estimulantes.

descompensada-reduce-incidencia-muerte/

- [13] ¿Cuáles son las drogas más consumidas en España?. (2018). <http://www.tercerainformacion.es/articulo/ciencia/2018/07/25/cuales-son-las-drogas-mas-consumidas-en-espana>



Cristina Vez Rodway estudia actualmente la asignatura de Química forense del doble grado de Derecho y Criminología en la Universidad Pablo de Olavide.

REFERENCIAS

- [1] Alcohol.(2018). <https://www.infodrogas.org/drogas/alcohol>
- [2] Alcohol. (2018). <https://www.ecured.cu/Alcohol>
- [3] Ellery ortega, M. (2018). Propiedades generales y químicas de los alcoholes - Monografias.com. <https://www.monografias.com/trabajos79/propiedades-generalres-quimicas-alcoholes/propiedades-generalres-quimicas-alcoholes.shtml>
- [4] Fermentación Alcohólica - Aprender de Vino. (2018). Retrieved from <http://www.aprenderdevino.es/fermentacion-alcoholica/>
- [5] Alcohol. (2018). OMS <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/alcohol>
- [6] Souza, M. y Macharro, S. (1988). Alcoholismo, conceptos básicos. México: Manual Moderno.
- [7] Arias Duque, R. (2018). Reacciones fisiológicas y neuroquímicas del alcoholismo. http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-99982005000200003
- [8] Glutamato (neurotransmisor): definición y funciones. (2018). <https://psicologiyamente.com/neurociencias/glutamato-neurotransmisor>
- [9] ¿Qué es la oxitocina y qué funciones realiza esta hormona?. (2018). <https://psicologiyamente.com/neurociencias/oxitocina-hormona>
- [10] Fernández, V. (1980). *Salud mental, enfermedad mental y alcoholismo*. México
- [11] Cirrosis - Síntomas y causas - Mayo Clinic. (2018). <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/cirrhosis/symptoms-causes/syc-20351487>
- [12] Cirrosis (2018) <https://hepatitis2000.org/tratamiento-cirrosis->

Contaminación por partículas en suspensión

Javier García Reyes

Resumen — A continuación, se comentarán ciertos apartados sobre la contaminación a partir de partículas en suspensión, desde su clasificación hasta métodos de eliminación, pasando por cuáles son más peligrosas.

Palabras Claves — Atmósfera, Contaminación, Partículas, Peligrosidad, Suspensión.

1. INTRODUCCIÓN

Las partículas en suspensión son diminutos constituyentes presentes en la atmósfera en estado sólido o líquido, con la excepción del agua pura, con un tamaño superior al de las moléculas simples e inferior a unas 100 micras. Están constituidas por una amplia variedad de tamaños, formas y composiciones químicas como pueden ser compuestos orgánicos (mayormente las secundarias) y elementos como aluminio (Al), calcio (Ca), silicio (Si) y oxígeno (O) en sales (mayormente las primarias)¹.

2. CLASIFICACIÓN

2.1. Según su origen

- **Primarias:** Son aquellas emitidas directamente por las fuentes bajo forma de partícula, tales como el polvo en suspensión causado por el viento o por las partículas de humo emitidas por una chimenea.
- **Secundarias:** Consisten en partículas producidas en la misma atmósfera a causa, por ejemplo, de reacciones químicas gaseosas que producen especies capaces de condensarse bajo forma de partículas. Las partículas primarias son de todos los tamaños, en cambio las secundarias son principalmente partículas muy pequeñas².

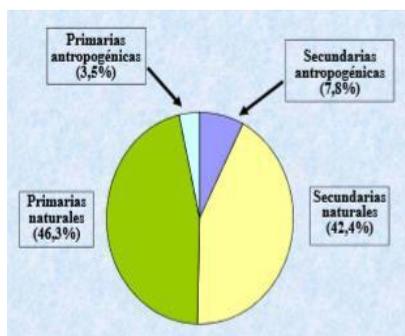


Figura 1. Proporciones de partículas primarias y secundarias².

Basándose en esta clasificación, aproximadamente la mitad de las partículas en la atmósfera son primarias y la otra mitad secundarias.

2.2. Según su fuente

- **Fuentes naturales:** Se trata de partículas que tienen su origen en la naturaleza, como los aerosoles marinos, incendios, polvo...
- **Fuentes artificiales:** Son producidas por alguna actividad humana, por ejemplo la combustión de carbón, emisiones agrícolas...³

3. EFECTOS

- **Cantidad de luz solar,** la luz solar choca en las partículas y retrocede, al mismo tiempo que se dispersa y esto hace que llegue menos cantidad de luz a la superficie de la tierra.
- **Visibilidad,** el primer efecto condiciona el segundo, al llegar menos cantidad de luz solar a la superficie de la tierra la visibilidad será menor, así como la temperatura en la superficie de la misma⁴.

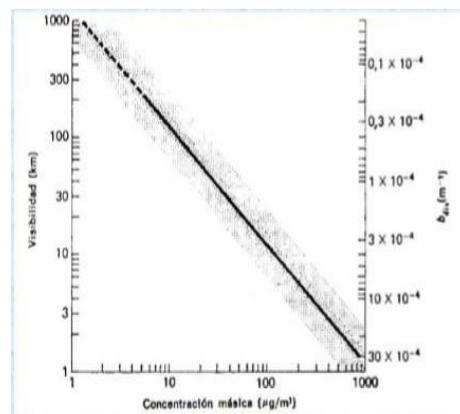


Figura 2. Visibilidad frente a concentración de partículas².

4. PELIGROSIDAD

- Las partículas más grandes, al penetrar en nuestro organismo, quedan en la nariz y la garganta, ya que el aire debe tomar curvas pronunciadas. Para las partículas que lleguen a los pulmones, se originan una especie de torbellinos y por fuerza centrípeta quedan en las paredes de los pulmones, que son pegajosas, suben hacia arriba con la mucosidad y nos las tragamos.
- Las partículas medianas, entre 0,1-1 μm pueden penetrar más hondo que las grandes pero es difícil que lleguen hasta los pulmones.
- Las partículas más pequeñas son las más peligrosas, ya que son las que penetran más hondo y pueden llegar hasta los alveolos. Por otra parte también son las que mayor vida media poseen, ya que al ser más pequeñas tardan más en caer y contaminan durante más tiempo¹.

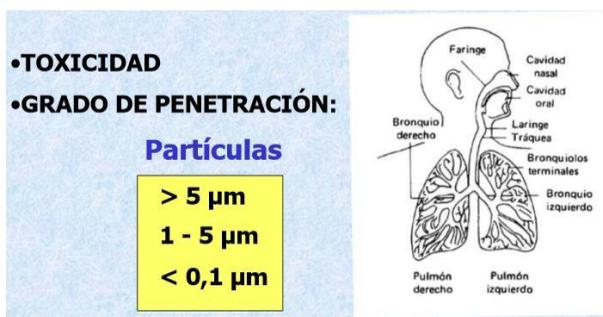


Figura 3. Grado de penetración de partículas según su tamaño².

Si los contaminantes son gases, dependerá de la solubilidad de los mismos en agua, a más solubilidad en agua más fácil de quedar atrapado en nariz y garganta.

Cuando la presencia de dos contaminantes hace más daño que la suma de ellos por separado se llama efecto sinérgico.

Las partículas de humo con SO_2 en su interior penetran dentro del organismo gracias al humo que no es soluble, una vez dentro se libera el SO_2 y puede dañar al organismo, el SO_2 sólo no entra ya que es soluble y quedaría atrapado en las vías como nariz o garganta⁵.

5. ELIMINACIÓN

5.1. Deposición húmeda

- **Rainout:** El vapor de agua condensa mediante un núcleo, este núcleo puede ser una partícula, condensa en forma de gotas o de copos de nieve. Se da en partículas superiores a 0,1 μm .
- **Lavado:** Si una gota cae y por el camino encuentra una partícula la arrastrará hacia abajo⁶.

5.2. Deposición seca

- **Atracción gravitatoria:** Si sopla viento, la partícula tarda mucho más en caer, pero las partículas mayores de 1 μm son atraídas por la propia gravedad.
- **Impacto inercial:** Cuando una línea de corriente viaja en una dirección y se encuentra un obstáculo algunas partículas pueden chocar.
- **Difusión browniana:** Partículas muy pequeñas pueden chocar y dar lugar a una más grande y ser eliminadas mediante otro de los métodos anteriores⁶.

6. CARACTERIZACIÓN DE PARTÍCULAS

El tamaño es un parámetro muy importante en las partículas, la eficacia que tengan los métodos de captación, dependen de él y como afectan a la salud humana, existen diferentes métodos de medida.

Para las formas irregulares, usamos diámetro aerodinámico, esfericidad, esfera equivalente, superficie específica.

- El diámetro aerodinámico de una partícula es el diámetro de una esfera de densidad unitaria que tiene la velocidad de sedimentación idéntica que la partícula.
- La esfericidad es la relación entre la superficie de la esfera equivalente y la superficie de la partícula.
- La esfera equivalente es la esfera de igual volumen que la partícula.
- Superficie específica es la relación entre la superficie y la masa (o volumen) de la partícula⁷.

7. EQUIPOS DE CAPTACIÓN DE PARTÍCULAS

A la hora de eliminar partículas en un proceso que puede ser químico o de otra índole, se utilizan equipos de captación, para que estas partículas no intervengan de manera negativa en el proceso en cuestión. Algunos de esos equipos usados como método de final de línea son:

- **Cámaras de gravedad:** Emplean la fuerza de la gravedad para remover partículas sólidas, el flujo de gas ingresa a una cámara donde disminuye la velocidad del gas. Las partículas más grandes caen del flujo de gas en una tolva. Debido a que las cámaras de sedimentación son efectivas sólo para la remoción de partículas más grandes, usualmente se usan junto con un dispositivo más eficiente de control.

- **Separadores ciclónicos:** Son equipos utilizados para separar partículas sólidas suspendidas en el aire, gas o flujo de líquido, sin el uso de un filtro de aire, utilizando un vórtice para la separación. Los efectos de rotación y la gravedad son usados para separar pequeñas gotas de un líquido de un flujo gaseoso.
- **Precipitadores electrostáticos:** Son dispositivos que se utilizan para atrapar partículas mediante su ionización, atrayéndolas por una carga electrostática inducida. Se emplean para reducir la contaminación atmosférica producida por humos y otros desechos industriales gaseosos, especialmente en las fábricas que funcionan con combustibles fósiles.
- **Filtros de mangas:** Son dispositivos para la separación de partículas sólidas en suspensión de una corriente gaseosa. Se utilizan sobre todo en instalaciones industriales como alternativa a los precipitadores electrostáticos⁸.

cal. Madrid, 1978.

- [7] UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. "Fine Particulate Pollution". Pergamon Press. Oxford, 1979.
- [8] A. Parker; "Contaminación del Aire por la Industria". Reverte. Barcelona, 1983.
- [9] K. WARK y C.F. WARNER; "Contaminación del Aire. Origen y Control". Limusa, 1990.



Javier García Reyes recibió el título de Ingeniero en Química por la Universidad de Sevilla en 2016. Actualmente estudia el Máster en Biotecnología Ambiental, Industrial y Alimentaria en la Universidad Pablo de Olavide.

8. CONCLUSIONES

Las partículas en suspensión son contaminantes presentes a día de hoy, se deben tener en cuenta porque, aunque no sean de los más peligrosos, a unos niveles altos de partículas pueden llegar a causar grandes daños, tanto en personas como en el planeta⁹.

Los métodos de eliminación comentados son todos de manera natural, por lo que se debería controlar la emisión de las mismas, ya que no hay un método artificial para eliminarlas.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer en primer lugar a Juan Antonio Anta, profesor de la asignatura Química Ambiental Avanzada por este curso y los conocimientos adquiridos en este campo gracias a él.

En segundo lugar a mis compañeros de clase por ayudarme a lo largo de este curso cuando lo he necesitado.

REFERENCIAS

- [1] Apuntes asignatura Química ambiental avanzada de Máster en Biotecnología Ambiental, Industrial y Alimentaria.
- [2] Apuntes asignatura Tecnologías del medio ambiente del Grado en Ingeniería Química.
- [3] <https://es.wikipedia.org> (Enlace web).
- [4] A.C. STERN; "Air pollution". Third edition. Academic Press. New York, 1976.
- [5] H.S. STOKER y S.L. SEAGER; "Química Ambiental: Contaminación del Aire y del Agua". Blume. Barcelona, 1981.
- [6] J.H. SEINFELD; "Contaminación atmosférica. Fundamentos Físicos y Químicos Instituto de Estudios de Administración Lo-

El fenómeno de la lluvia ácida

Eduardo Hernández Amador

Resumen—El fenómeno de la lluvia ácida es un evento muy frecuente en zonas muy industrializadas y por ende, con altos niveles de contaminación ambiental. Los efectos que dan lugar a la lluvia ácida son diversos y lo que se pretende en este artículo es darlos a conocer a la par que se exponen medidas para reducir la frecuencia de este evento en el planeta.

Palabras Claves— Lluvia ácida, Contaminación, Efectos, Medidas.

1. INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos que han acompañado a las diferentes civilizaciones a lo largo de la historia, han buscado siempre mejorar la calidad de vida de la población facilitando las tareas y dando respuesta a sus necesidades. Sin embargo, como hemos comprobado con el paso de los años, ese desarrollo que aprovecha los recursos naturales ha traído consigo efectos negativos sobre el planeta. Son numerosos los casos de contaminación que hoy en día podemos encontrar, sin ir más lejos en nuestra propia ciudad, como resultado de unos modelos energéticos irrespetuosos con el medio ambiente.

Durante el siglo XIX en Reino Unido tiene lugar la revolución industrial, un hito que marcaría un antes y un después en los modelos socioeconómicos de la época, y que son el punto de partida de la escalada tecnológica que llegaría en el siglo XX. El empleo de recursos naturales, como la quema de carbón, de petróleo o gases naturales en las industrias, en los transportes y en los hogares, dio lugar a un aumento en la contaminación del aire debido a las altas concentraciones de gases y partículas contaminantes en la atmósfera. Es así como, en la ciudad industrial de Manchester, se registra el término de lluvia ácida según describe Rober Angus Smith en 1872 [3]. Pese a que este término es el más empleado, muchos científicos prefieren referirse al fenómeno como deposición ácida.

2. LLUVIA ÁCIDA

2.1. Precursores

Los principales causantes de la formación de la lluvia ácida son el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno. Los orígenes de los compuestos son tanto naturales como antropogénicos.

Las fuentes naturales del SO₂ son los océanos y las erupciones volcánicas, mientras que las de origen antropogénico derivan de la quema de carbón, petróleo y otros procesos industriales [1].

Por otro lado, los óxidos de nitrógeno proceden de forma natural, de los rayos, erupciones y otros procesos biológicos donde suelen estar involucrados los microorganismos.

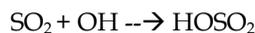
El origen antropogénico es el resultado de la combustión de vehículos, procesos industriales y centrales energéticas.

El origen antropogénico es el resultado de la combustión de vehículos, procesos industriales y centrales energéticas.

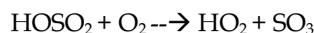
2.2. Reacciones químicas

Antes de comentar las reacciones que participan en la formación de la lluvia ácida es importante mencionar, que el pH de la lluvia corriente es ácido como resultado de la presencia del ácido carbónico. De este modo, valores de pH por debajo de 5.6 ya son considerados lluvia ácida propiamente dicha [3].

Los dióxidos de azufre liberados participan en las siguientes reacciones para dar lugar al ácido sulfúrico. La primera es el ataque por parte del radical OH.



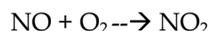
Tras reaccionar con el hidroxilo, se produce una oxidación del dióxido de azufre. Seguidamente tiene lugar su reacción con oxígeno:



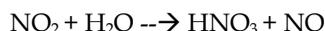
La oxidación que se produce en la reacción superior da lugar al trióxido de azufre, el cual al reaccionar con agua origina el ácido sulfúrico.



Por otro lado, los óxidos de nitrógeno siguen las siguientes reacciones oxidativas para dar lugar al ácido nítrico:



Una vez se ha oxidado el monóxido de nitrógeno, este reacciona con agua y da lugar a ácido nítrico y dióxido de nitrógeno:



Una vez se han formado los ácidos, estos pueden depositarse de forma húmeda o seca. La deposición húmeda agrupa a la lluvia, llovizna y el rocío. Mientras la deposición seca engloba a la nieve y granizo [2].

3. EFECTOS DE LA LLUVIA ÁCIDA

3.1. Efectos sobre el agua

El principal efecto negativo que experimentan las aguas afectadas por las lluvias ácidas son los incrementos en los valores de acidez del pH (Figura 1). Como consecuencia de esta acidificación, los organismos que habitan en las aguas o se suministran de ellas se ven perjudicados. La tolerancia de la fauna y flora de los lagos y ríos acidificados a veces no es suficiente para sobrevivir en estas condiciones dando lugar a la disminución o desaparición de las especies. Este hecho puede conducir a la modificación de las cadenas tróficas y derivar en deficiencias nutricionales e impactos sobre el ecosistema afectado [3].



Fig. 1. Lago afectado por la lluvia ácida. Fuente: <https://estudiantes.elpais.com/EPE2015/periodico-digital/ver/equipo/1609/articulo/fotos-lluvia-acida>

3.2. Efectos sobre las plantas

La lluvia ácida promueve que los nutrientes biodisponibles en el suelo se vean disueltos, lo que puede generar deficiencias nutritivas para las plantas. Los tejidos más afectados bajo estas circunstancias son las raíces y las hojas. Las primeras, al ser las encargadas de la absorción de sales y nutrientes, experimentan el cambio en el pH del suelo que conlleva un aumento en la entrada de aluminio y otros metales tóxicos, los cuales en concentraciones elevadas son negativos para los individuos. Mientras, las hojas, ante las carencias nutricionales, sufren clorosis y su daño puede ir a más si la situación se mantiene de forma prolongada. Ante un estado de salud débil, las plantas se ven más expuestas a la entrada de patógenos y enfermedades que acaban perjudicando, en gran medida, su estado (Figura 2.) [4].



Fig. 2. Ramas de pino bajo síntomas de clorosis (izquierda) frente a otra sana (derecha). Fuente: Sivaramanan, 2015.

3.3. Efectos sobre la salud

Los efectos sobre la salud humana, provocadas por la lluvia ácida, van desde la irritación de ojos y piel hasta incrementar los efectos del asma sobre personas que lo sufren. Sin embargo, los efectos indirectos son incluso más peligrosos, y es que la acidificación del suelo como resultado de esta lluvia, implica que los metales pesados se liberen y estén más disponibles, pudiendo afectar a las aguas subterráneas y los animales que sirven como fuente de alimento a los humanos. La acumulación de metales pesados en los humanos puede desembocar en graves problemas de salud [3].

3.4. Efectos sobre el patrimonio

La lluvia ácida también juega un papel en la destrucción del patrimonio material. Este fenómeno participa en procesos de corrosión de metales, en el deterioro de pinturas y de la piedra (como mármol y caliza). Al mismo tiempo, inducen daños en construcciones que tengan carbonatos cálcicos. De este modo, es posible encontrar edificios, puentes, monumentos, estatuas y otros elementos del patrimonio cultural dañados a causa de las deposiciones de lluvia ácida (Figura 3.) [4].



Fig. 3. Escultura de arenisca del Castillo de Herten, en Alemania. Fuente: Sivaramanan, 2015.

4. SOLUCIONES

Entre las diferentes vías para reducir este problema encontramos [3]:

- Liming**, que consiste en la incorporación de limo a ambientes acuáticos afectados por la lluvia ácida. El empleo de esta técnica es más un tratamiento de remediación que de prevención de los efectos de la lluvia ácida puesto que se encarga de elevar el pH ácido hacia valores más adecuados. Sin embargo, se trata de una técnica costosa y que debe repetirse de manera periódica en ambientes contaminados.
- Reducción de las emisiones de los agentes precursores. Esta medida debería centrarse en el cambio en los modelos energéticos empleados de manera cotidiana. Los combustibles fósiles deberían ser sustituidos por energías limpias que no liberen emisiones que resulten contaminantes, como lo son en este caso el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno
- Aplicación de políticas medioambientales. En es-

te plano, los gobiernos y agencias estatales deben encargarse de realizar políticas verdes, que gestionen la emisión de contaminantes, buscando reducir su liberación en pro de energías limpias.

5. CONCLUSIONES

El fenómeno de la lluvia ácida se debe a una contaminación excesiva del aire como resultado de las emisiones ingentes de óxidos de nitrógeno y dióxidos de azufre. Esta problemática tiene lugar en zonas industrializadas del hemisferio norte principalmente, siendo los países con un gran tejido del sector secundario los más expuestos a sufrir sus efectos. El cambio en los modelos energéticos usados hoy en día en favor de energías limpias, debe ser el pilar fundamental que limite este fenómeno. Para que esto último suceda, las medidas gubernamentales deberán ser estrictas, con el fin de asegurar la protección ambiental.

REFERENCIAS

- [1] Cullis, C. F. & Hischler, M.M. (1980). Atmospheric sulphur: Natural and man made sources. *Atmos. Environ.*, 14, 1263-1278.
- [2] Manahan, S.E., (1994). *Environment Chemistry*. Lewis, Boca Raton, FL.
- [3] Singh, A., & Agrawal, M. (2007). Acid rain and its ecological consequences. *Journal of Environmental Biology*, 29(1), 15.
- [4] Sivaramanan, S. (2015). Acid rain, causes, effects and control strategies.

Eduardo Hernández Amador graduado en Biología por la Universidad de La Laguna, Islas Canarias en 2017. Actualmente se encuentra cursando el Máster de Biotecnología Ambiental, Industrial y Alimentaria en la Universidad Pablo de Olavide, centrándose en la rama ambiental de dicho máster.

Lateral Flow Assays and their applications

Cristina Guillén Mendoza

Abstract— Lateral flow assay is a simple and inexpensive test with a huge potential, not only for home tests as the well-known pregnancy test but for clinical diagnosis at point-care and hospitals. Recently, experts in this field have been developing lateral flow assays to detect different analytes increasing their applications. These tests were designed to improve our life and undoubtedly, they could become in applications that would improve our daily life, probably thanks to our own smartphone.

Keywords— Lateral Flow assay, Pregnancy test, Prostate Specific Antigen, smartphone

1. INTRODUCTION

Lateral Flow Assays (LFA) are simple tests based on a device able to detect an analyte. Traditionally, they have given a positive/negative result, as the well-known home pregnancy test. However, there are experts improving these tests adding them quantitative abilities. For this aim, the coloured particles that we could see are being replaced by magnetic beads and magnetic sensors. [1]

Many experts in the field are trying to introduce these LFA in the daily routine of Hospitals and even at home due to its easy of use, rapidity and its price. The number of these tests in the market has increased a lot, just as their applications. Recent works have described that they can be used to detect several biological entities as allergens in the food, human hormones, biomarkers of diseases as hearth damage or cancer and bacteria. Here, we are going to discuss the characteristics of LFA and some of its applications. [1],[2]

2. SELECTION OF LATERAL FLOW IMMUNOASSAYS AS A GOOD DIAGNOSTIC TEST

A general selection criteria for a good diagnostic test is the ASSURED criteria. It means that a test should be Affordable, Sensitive, Specific, User-friendly, Rapid and Robust, Equipment-free and Deliverable to those who need it. Of course, this is a general criteria and each case needs to be studied because not always a test for a specific issue can be simplified to the ASSURED criterio. [2]

3. DIFFERENT APLICATIONS FOR LATERAL FLOW ASSAYS

3.1. Pregnancy test

The first pregnancy test appeared in 1976 what is really recent. However, in less than 50 years this test has become the diagnosis test most used at home. Its success relies on the analyte chosen to be studied, which is the human chorionic gonadotropin (hCG) because it increases in early pregnancy and it's easy and rapid to see this in-

crease just using urine as sample. Nowadays, as a result of its success, there are many brands that commercialize these tests and there are different types of them. [3]

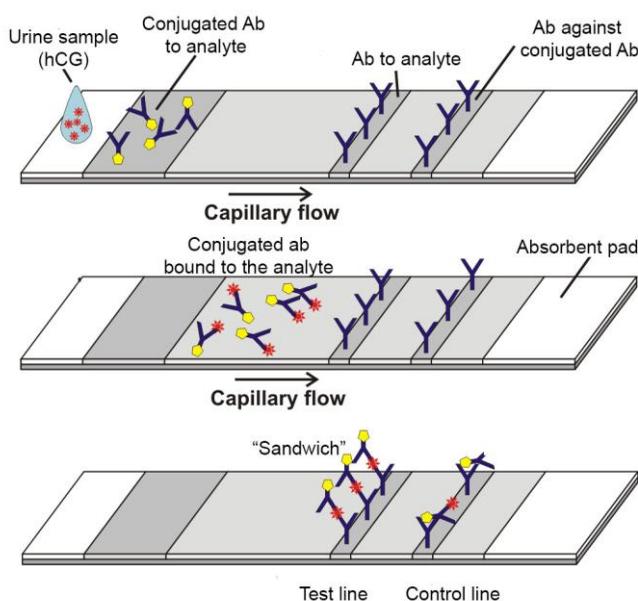


Fig. 1. Basis of the LFA of the pregnancy test. It is possible to see the flow of the analyte bound to the conjugated antibody along the strip, arising both, the test and the control line. Image adapted from [5].

The simplest basis of this device consists on a strip where the sample, in this case urine, travels by capillarity through it. The sample is placed in one end of the strip (sample pad) that contains buffers and salts that allows the analyte, if it is present, to be recognized. The next step in this movement is the recognition of the analyte by a conjugated or labelled antibody specific for this analyte. These antibodies can be conjugated with coloured, fluorescent or gold particles that allows its visual detection. The antibodies conjugated bound or not to the analyte migrates along the strip and they are going to find two detection lines. The first one is the test/detection line for the analyte under study and it has immobilized specific antibodies against the analyte. If a "sandwich" of the analyte between two antibodies appears in the test line

means pregnancy. The second one is the control line and it has immobilized specific antibodies for the antibody conjugated used in the test. So, it has to be always positive if the test has worked properly. At the end of the strip, an absorbent material is placed to ensure the flow of the sample and to avoid the backflow. In Figure 1 it is possible to see a strip and the distribution of the elements described according to the direction flow. [4][5]

3.2. Prostate Specific Antigen as a biomarker for the detection of prostate cancer

LFA is considered as a good application not only for home tests but also for hospitals. LFAs are easy and quick tests that wouldn't need even qualified professionals. So, it would be a relevant and low cost-implementation to the rapid diagnosis of different diseases. [6]

In this article, we are going to focus in a test to detect the Prostate Specific Antigen (PSA) which is a generally accepted biomarker for the detection of prostate cancer. In fact, it has been studied that when serum PSA concentration is above 4 ng/mL correlates with the possible presence of prostate cancer with a 25% of probability. In this situation, further analysis would be needed to check the disease. If the concentration of PSA is above 20 ng/ml the probability of suffering prostate cancer arise until 80% and it is almost 100% when is higher than 30ng/mL. [7][8]

PSA can be measured through LFA in strip being this time the sample serum, instead of urine and PSA the analyte recognized. The conjugated antibodies are often labelled with gold nanoparticles whose gold is reduced with sodium citrate giving a red color that allows a visual and qualitative detection, as we have seen in pregnancy test. [8][9]

However, to know other type of LFA used to determine PSA concentration in serum, we are going to introduce one that use paramagnetic particles (PMPs). The analyte PSA is recognized for an antibody conjugated to PMPs that are particles whose behavior is magnetic when they are in a magnetic field. These PMPs act as as labels that are detected thanks to their magnetic properties. When the antibody and the PMPs are in the test and/or the control line, they are measured by a device called resonant coil magnetometer (RCM). RCM will measure PMPs in the antibodies along both lines and not only those visible on the surface but all of them. That's why this is a truly quantitative analysis. PMPs have advantages like they allow a quantitative test and they are stable over long period of time, so it is possible to reanalyze the strip. In figure 2 we can see all the elements described. [7]

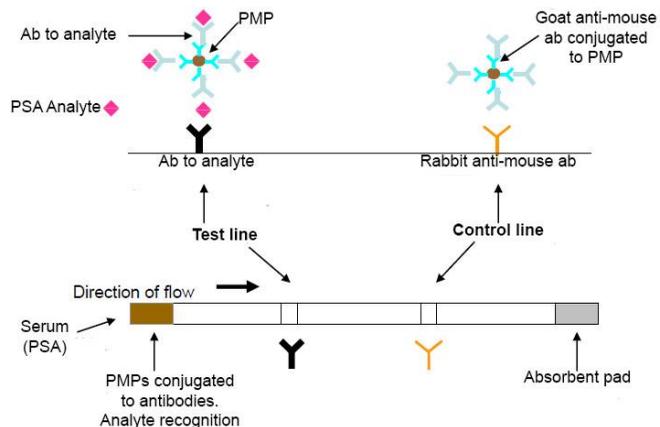


Fig.2. Basis of the LFA using PMPs to detect PSA. It is possible to see the direction flow of the elements and above the strip we can see in detail the structure recognized in both, test and control lines. Adapted from [7]

The measurement of PSA is controversial because of the indolent and non-invasive nature of most prostate cancer. A severity biomarker is needed to treat the disease just in the cases that really need a treatment. PSA and other severity biomarkers could be measured in the same strip at the same time using PMPs. [7],[10]

3.3. Smartphones in LFAs

A recent advance in LFAs is the use of smartphones to read the outcomes of the strips. It allows to transform ordinary qualitative test into quantitative test without having to use expensive or complex equipment. [11]

To use your smartphone as a LFA reader, it would be necessary to download the app, run your LFA measuring the analyte desired and read the result with your new app. Besides, it has other advantage which is the storage of your result with the possibility of sharing them with for example your doctor or other people or synchronize them with other devices. In figure 3 it's possible to see this workflow.

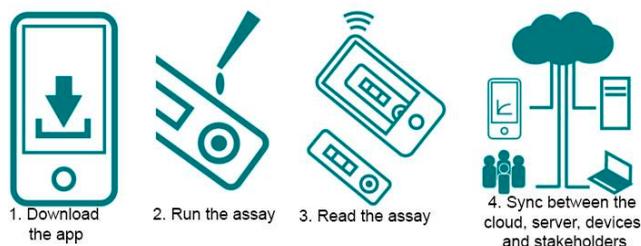


Fig. 3. Workflow using a smartphone as LFA reader. [12]

This app can be used at innumerable fields, for instance, in agriculture to check the presence of pathogens preventing devastating losses. Moreover, the data collected can be storage and linked to their geographic data helping other producers to control plagues. The same can be done with enviromental contaminants that can affect water quality as microorganisms, heavy metal, pollutants, etc. All these

lements can be geotagged and time stamped creating a map useful for travellers to avoid infections among others. [11]

This smartphone reader is also useful to healthcare. It can empower patients to manage their conditions at home saving and/or sharing the results of their LFAs with their doctor. It would be possible to measure many analytes that need to be under control but one of them that has been described is the cortisol. Cortisol is a biomarker of physiological stress which is one of the major causes of psychiatric diseases. Cortisol would be the analyte that can be measured in the sample of saliva and the colourimetric signal from the LFA would be readed using a smartphone, obtaining a quantitative result. These real-time measurements allow a patient's situation monitoring and an easy data record that can improve the treatment and the patient life. [13],[14]

Related to healthcare, LFAs have been really attractive for doctors that are working in difficult areas like poor countries, war regions or after a catastrophe because they are simple and low-cost test that can provide valuable information and with this application for the smartphone the result can be quantitative without any bulky equipment. [11],[13]

CONCLUSIONS

Lateral Flow assay is understood as a technique affordable and rapid to evaluate different analytes. LFA is a versatile test that results interesting in clinical environments, in different industries and at home. Their applications are in exponential growth, even more with the introduction of the smartphone as a reader, and in this article have been reviewed only few of these applications.

ACKNOWLEDGMENTS

The author would like to thank all the readers of this magazine, specially the Biotechnological section and encourages others to submit articles to "MoleQla Biotecnológica".

REFERENCES

[1] D. Lago-Cachóna, M. Rivasa, J.C. Martínez-García, M. Oliveira-Rodríguez, M.C. Blanco-López, J.A. García, "High frequency lateral flow affinity assay using superparamagnetic nanoparticles", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 423, pp. 436-440, Feb 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2016.09.106>

[2] C.S. Kosack, A-L. Page and P.R. Klatser, "A guide to aid the selection of diagnostic tests," *Bull World Health Organ*, vol. 95, pp. 639-645, Jun 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.2471/BLT.16.187468>

[3] C. Gnath and S. Johnson, "Strips of hope: accuracy of home pregnancy tests and new developments", *Geburtsh Frauenheilk*, vol. 74, pp. 661-669, May 2014, doi: <http://dx.doi.org/10.1055/s-0034-1368589>

[4] K.M. Koczula and A. Gallotta, "Lateral flow assays", *Essays in Biochemistry*, vol. 60, pp. 111-120, June 2016, doi: [10.1042/EBC20150012](https://doi.org/10.1042/EBC20150012)

[5] L.G. Lee, E.S. Nordman, M.D. Johnson and M.F. Oldham, "A low-cost, high-performance system or fluorescence lateral flow assays", *Biosensors*, vol. 3, pp. 360-373, October 2013, doi: [10.3390/bios3040360](https://doi.org/10.3390/bios3040360)

[6] E.B. Bahadir and M.F. Sezginçtürk, "Lateral flow assays: principles, designs and labels", *Trends in analytical chemistry*, vol. 82, pp. 286-306, September 2016, <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.06.006>

[7] J.M. Barnett, P. Wraith, J. Kiely, R. Persad, K. Hurley, P. Hawkins and R. Luxton, "An inexpensive, fast and sensitive quantitative lateral flow magneto-immunoassay for total prostate specific antigen", *Biosensors*, vol. 4, pp. 204-220, July 2014, doi: [10.3390/bios4030204](https://doi.org/10.3390/bios4030204)

[8] I.P. Andreeva, V.G. Grigorenko, A.M. Egorov and A.P. Osipov, "Quantitative lateral flow immunoassay for total prostate specific antigen in serum", *Analytical Letters*, vol. 94, pp. 579-588, September 2015, <https://doi.org/10.1080/00032719.2015.1075130>

[9] E.B. Bahadir and M.K. Sezginçtürk, "Lateral flow assays: principles designs and labels, Trends in analytical chemistry", vol. 82, pp. 286-306, September 2016, <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.06.006>

[10] T. Grozescu, F. Popa, C. Davila, "Prostate cancer between prognosis and adequate/proper therapy", *Journal of medicine and life*, vol.10, pp.5-12, October 2016.

[11] Web of Mobile assay. <https://mobileassay.com/applications>

[12] Web of Abingdon health. <https://www.abingdonhealth.com/contract-services/smartphone-lateral-flow-reader-customisation/>

[13] Web of Novarum. <https://www.novarumdx.com/>

[14] S. Choi, S. Kim, J.S. Yang, J.H. Lee, C. Joo and H.I. Jung, "Real-time measurement of human salivary cortisol for the assessment of psychological stress using a smartphone", *Sensing and bio-sensing research*, vol. 2, pp. 8-11, December 2014, <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2014.08.001>



Cristina Guillén Mendoza obtained her Biotechnology degree at University of Pablo de Olavide (2016) and a Masters in Molecular Genetic and Biotechnology at University of Seville (2017). Cristina is currently pursuing her PhD in Genetics at the University of Seville, where she works at CABIMER

Generación de Sistemas seguros a partir de ataques

Alberto Machado García

Resumen— Hoy en día se producen cada vez más ataques contra diferentes Sistemas públicos y privados, cuyo fin es coger información confidencial de una empresa o simplemente por hobby. Por ello, los informáticos de las propias empresas o informáticos en general, intentan mejorar su seguridad para poder lidiar mejor con ellos y salir impunes de dichos ataques. Sin embargo, siempre habrá un punto o puntos débiles por donde los sistemas podrán ser traspasados por un ataque malicioso. Es muy común ver a empresas que mejoran su seguridad a partir de ataques maliciosos controlados, efectuados por empresas autorizadas para ello.

Palabras Claves— Ataques, Empresas, Hackers, Seguridad, Sistemas.



1. INTRODUCCIÓN

Según los últimos estudios de entidades tipo Cisco, ESET España y kaspersky, entre otras, 2016 fue el año de la extorsión online debido a la eclosión del **phishing** y el **ransomware** [el conocido virus de la policía, el de correos, el de la factura de ENDESA, etc]; seguido de la **suplantación de identidad y el robo de importantes cantidades económicas**, utilizando correos corporativos de directivos con privilegios de autorización de pago [como el virus del CEO]; robo de información en tránsito no securizada en local en su viaje a la nube; **acceso a información confidencial y bases de datos a través de WiFis públicas; infecciones por adware** (software que descarga publicidad no consentida por el usuario); sofisticadas **técnicas de ingeniería social**; descuidos de los usuarios y a partir de ahí, un largo etcétera de formas de ataques.

Debido a los numerosos ataques, que sobre todo son sufridos por las empresas, éstas muchas veces dejan sus datos más confidenciales en manos de empresas que están expresamente dedicadas a la seguridad de los Sistemas, y otras, recurren a empresas externas solicitando ayuda para mejorar la seguridad de su propio Sistema.

Como se puede observar en la imagen, estos son los ataques realizados entre diferentes países en tan solo un día. Esto hace que realmente debamos plantearnos en qué queremos invertir más dinero a la hora de desarrollar un nuevo software o incluso mejorar uno ya existente.

2. TIPOS DE ATAQUES

Hay infinidad de variedades usadas para conseguir realizar un ataque malicioso exitoso hacia una empresa o un particular. Nosotros nos centraremos en los más efectuados hacia las empresas, los cuales son: troyanos, spyware, ransomware, el phishing y el DDos.

2.1. Troyanos

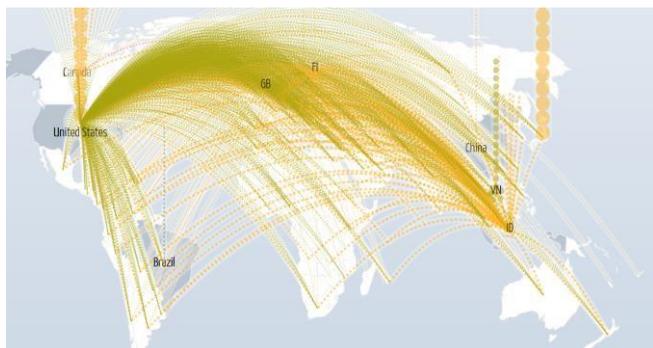
Son similares a un virus pero tienen una tarea diferente. Su función es abrir una puerta trasera, para favorecer la entrada de otros programas maliciosos. Su nombre hace alusión a “el caballo de Troya”, ya que su misión es infiltrarse en el sistema, pasando desapercibido.

2.2. Spayware

Los spyware son programas espías y tienen como finalidad recolectar información del ordenador infectado. Son silenciosos y no dan muestra de su funcionamiento para no poder ser detectados. Además, pueden instalar otros programas.

2.3. Ransomware

Este ataque es uno de los más sofisticados y modernos malwares, ya que se encarga de **secuestrar datos (encriptándolos) y pedir un rescate por ellos**. Normalmente, se solicita una transferencia en *bitcoins*, la moneda digital, para evitar el rastreo y localización.



2.4. Phishing

El phishing no es un software como tal, se trata más bien de diversas técnicas de suplantación de identidad para obtener datos privados de las víctimas, como por ejemplo, las contraseñas o datos de seguridad bancarios.

2.5. DDoS

De todos los tipos de ataques informáticos éste es uno de los más conocidos y temidos. La eficacia de los ataques DDoS se debe a que no tienen que superar las medidas de seguridad que protegen a un servidor, pues no intentan penetrar en su interior, sólo lo bloquea. Este tipo de ataque consiste en realizar tantas peticiones a un servidor como para lograr que éste colapse o se bloquee. Existen diversas técnicas y entre ellas, la más común es, el uso de *botnets*: equipos infectados con troyanos y gusanos, no siendo los usuarios conscientes de que están formando parte del ataque.

3. EMPRESAS DE SEGURIDAD

Como hemos comentado ya, cada vez es más reclamada la seguridad en el mercado, y por ello, surgen nuevas empresas con métodos diferentes para combatir estos ataques y ahorrar una gran cantidad de tiempo y de millones a las empresas. En esta sección comentaremos algunas de estas empresas y cuáles son sus métodos para enfrentarse a dichos ataques.

3.1. Trendmicro

Las Trendmicro permiten interconectar toda su infraestructura de seguridad en una defensa personalizada y adaptable, ajustada a su entorno particular y a sus atacantes específicos. Su plataforma es Network Defense y ofrece protección frente a amenazas especializadas que supervisa la red para detectar malware de día cero, comunicaciones maliciosas y comportamientos de ataque. Ejecuta código sospechoso en un entorno seguro y controlado, que se puede optimizar para el rendimiento y configurar para eludir las técnicas de los hackers, que buscan soluciones para el aislamiento de procesos. Es capaz de adaptar la seguridad automáticamente para proporcionar protección.

3.2. Tinfoil Security

Es una empresa creada por dos antiguos estudiantes del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Han desarrollado un software de análisis que utiliza trucos propios de ataques virtuales para encontrar vulnerabilidades en sitios web, alertando a desarrolladores e ingenieros para su arreglo antes de que la página esté activa. El software funciona mediante el rastreo de sitios web, pero en lugar de buscar texto o imágenes, buscamos cualquier sitio por donde podamos introducir código para explotar

vulnerabilidades. La herramienta recurre directamente a las mismas técnicas que usaría un hacker externo ya que ellos no tienen acceso al código fuente ni a cualquier otra cosa.

La novedad de Tinfoil es su orientación hacia los desarrolladores, de forma que puedan corregir las vulnerabilidades como parte de su trabajo y, de esta forma, agilizar el proceso de seguridad.

3.3. Hiberus Legaltech & CyberSec

Esta empresa realiza ataques autorizados cumpliendo las máximas políticas de confidencialidad, situándolos como si fueran un atacante malintencionado y proporcionando así, a los clientes, un mapa de todos los vectores de ataque de los que dispone en su superficie de exposición. De esta manera, identifican las vulnerabilidades expuestas para que puedan poner medidas para hacerlas desaparecer o minimizarlas; identifican los riesgos, evalúan la potencialidad y el impacto en los objetivos de negocio de la empresa, y les recomiendan las medidas técnicas y organizativas en la medida de sus necesidades.

3.4. Hacker individual

A parte de las empresas encargadas de la seguridad, hay empresas propias que están comenzando a contratar a los llamados, hackers de guante blanco, para mejorar la seguridad de su Sistema. El trabajo de estas personas es realizar *pen tests* (penetration tests), pruebas en las que el hacker intenta de todas las formas que conoce, burlar la seguridad de la red de la empresa en cuestión, con el único fin de adelantarse a los ciberdelincuentes. Esto ocurre por el dicho de si no puedes con tu enemigo, únete a él. Esto es una herramienta de prevención y protección de datos.

4. CONCLUSIONES

Como hemos podido ver, cada vez hay más gente que se dedica a intentar explotar las vulnerabilidades de las empresas con el fin de sacar beneficios y el problema es que aumenta el número de hackers pero no aumenta el número de empresas que mejoran la seguridad de sus sistemas, lo que hace que cada día haya más ataques exitosos en todo el mundo. Cada vez, con más frecuencia, las empresas se van concienciando de que la seguridad es una de las cosas más importantes de cara a una empresa. Es importante tener un buen equipo de desarrolladores pero también hay que tener un buen equipo dedicado a la seguridad del Sistema.

La Unión Europea calcula que para 2020 se crearán más de un millón de empleos relacionados con la seguridad informática. Las empresas tienen que concienciarse de lo fácil que puede llegar a ser para un hacker penetrar su seguridad si no está bien definida, por lo que en el caso de no poder enfrentarse por uno mismo a este tipo de ataques,

hay infinitudes de empresas dedicadas profesionalmente únicamente a este sector.

Desde mi punto de vista, la Seguridad del Sistema de nuestra empresa es como la seguridad de nuestra casa. Nos preocupamos mucho en poner puertas fuertes, alarmas contra las intrusiones y una infinidad de medidas que tomamos para que nadie pueda entrar en nuestra casa, pero si dejamos entrar a un intruso cualquiera a nuestro Sistema, también sería un robo. Por lo tanto, igual que ponemos medidas en nuestra casa, las tenemos que poner en los Software de nuestra empresa. No dejemos las puertas abiertas y las alarmas desconectadas.

5. REFERENCIAS

- [1] Web de Optical. <http://www.computer.org>
- [2] Web de Trendmicro.
<http://www.trendmicro.es/tecnologiainnovacion/seguridad-cibernetica/>
- [3] Web de Tendencias 21.
http://www.tendencias21.net/Unsoftware-recurre-a-tecnicas-de-hackeo-para-reforzar-laseguridad-de-sitios-web_a37284.html
- [4] Web de Hiberus Tecnología.
<http://hiberus.com/crecemoscontigo/ciberataques-la-amenaza-constante-empresas/> [5] Web de Emprendedores.
<http://www.emprendedores.es/gestion/contratar-un-hackerseguridad-ataques-informaticos>



Alberto Machado García, actualmente estudiando en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Pablo de Olavide, el grado en Ingeniería Informática de Sistemas de Información.

SCADA el Sistema de Información para Procesos Productivos Industriales

Juan Alberto García Barroso

Resumen— Este artículo realiza una exposición de los Sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) desde la perspectiva de los Sistemas de Información. También se expondrán las diferentes arquitecturas de implementación a nivel hardware.

Palabras Claves— Sistema de Información, SCADA, Automatización, Control y Supervisión, Procesos, Tiempo Real.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la mayoría de los Sistemas Productivos tienen un nivel de automatización muy elevado, por lo que se requiere un cambio de paradigma en la Supervisión de los Procesos Productivos de una empresa. Por ello, la implementación de los Sistemas SCADA está muy extendida en los diferentes sectores industriales. Siendo el SCADA el Sistema de Información por excelencia para el Control de los Procesos Productivos.

Laudon & Laudon (2004) definen el Sistema de Información como:

“Un sistema de información definido técnicamente es un conjunto de componentes interrelacionados que recopilan, procesan, almacenan y distribuyen información para soportar la toma de decisiones y el control en la organización”.

Extrapolando esta definición a un SCADA: éstos recopilan información de los procesos, mediante variables de campo que son claves para la supervisión. Procesan información, realizando cálculos y adaptando la información al perfil del controlador o usuario. Almacenan en los históricos y cronológicos la información para análisis de incidencias y poder generar conocimiento. Distribuye información apoyándose en otros sistemas, siendo el SCADA el proveedor de los datos del Proceso Productivo (“core” o competencia central de la empresa) a los Sistemas de Información, que están en una capa superior en la gestión empresarial, estando todo ello orientado a ayudar a la toma de decisiones y control de la organización. Por tanto, podemos aseverar que un Sistema SCADA se considera un Sistema de Información.

Un Sistema SCADA desde el enfoque de la Automatización, se divide en tres sistemas:

1. Sistema de Supervisión, con tres subsistemas:
 - a. Servidor Central de Proceso
 - b. Puesto de Operación (Estación de trabajo)
 - c. Estación de Ingeniería
2. Sistema de Comunicaciones
3. Sistema de Control de Procesos (adquisición y mando). RTU, IED, PLC, PAC, sensores y actuadores

La información generada por un Sistema de Control, habitualmente es compleja y difícil de interpretar, siendo el SCADA una herramienta software que facilita la supervisión, explotación y la toma de decisiones en tiempo real.

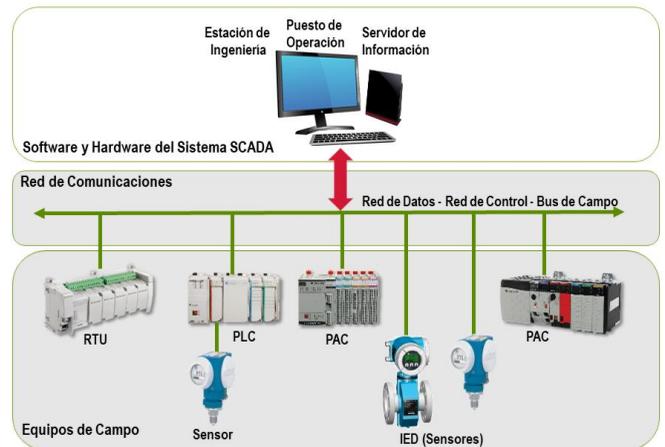


Fig. 1. Arquitectura Básica de un Sistema SCADA.

El Sistema SCADA permite aplicar procedimientos para detectar, analizar, jerarquizar, actuar e informar de incidencias y eventos relevantes de los procesos productivos de la empresa, siendo más eficientes en la supervisión de un Proceso Productivo complejo y/o crítico.

2. ARQUITECTURA SOFTWARE DE UN SCADA

Un Sistema SCADA está compuesto por una serie de módulos, encargados de funcionalidades específicas (reparto de responsabilidades), siendo los más relevantes:

1. Configuración y Gestión de Usuarios
2. Módulo de Archivo de Datos
3. Módulo de Proceso, encargado de gestionar alarmas y eventos
4. Interfaz Gráfica
5. Módulo de Cálculos
6. Comunicaciones

Estos módulos pueden ser implementados en un Sistema Centralizado o Descentralizado (Distribuido). Si se decide distribuir las funcionalidades entre varias máquinas, el

sistema será más complejo, no obstante, será más robusto y seguro ante fallos, al disponer de redundancia de servicios y no sobrecargar las máquinas. Además, facilita la continuidad del servicio cuando se realizan nuevas integraciones, modificaciones y tareas de mantenimiento.

2.1 Configuración y Gestión de Usuarios

En este módulo se configura el sistema y suele implementarse en la Estación de Ingeniería. En ella se dispone de la instancia a la base de datos, la gestión de las pantallas, el módulo de cálculos y herramientas para depuración de comunicaciones y fallos mediante análisis de ficheros "log".

En este módulo se realiza la gestión de usuarios, asignando privilegios y niveles de acceso de Grupos y Usuarios. También nos ofrece datos de auditoría del sistema, usados para análisis de incidencias.

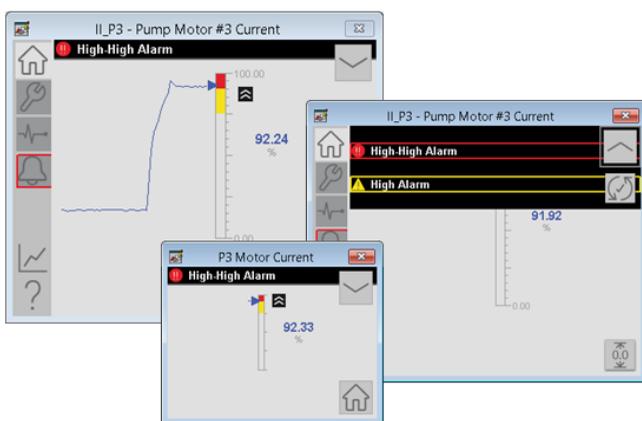


Fig. 2. Faceplate de Gestión de Alarmas en Interfaz Gráfica [1].

2.2 Módulo de Archivo de Datos

Se encarga del almacenamiento de datos, para que el sistema o terceros puedan acceder a ellos. Esta es una prestación que diferencia al SCADA frente a otros tipos de HMI (Human Machine Interface).

En los inicios se usaban ficheros como recursos de almacenamiento. Y éstos se han mantenido en algunos fabricantes hasta la actualidad, siendo necesario la recuperación y transformación para su uso en otros sistemas, herramientas de análisis o simplemente en una tabla de cálculos. No obstante, la tecnología de las bases de datos se ha descrito como una de las áreas de la ciencia de la computación y la información de más rápido desarrollo [2] y como es habitual en el mundo industrial, estos avances se han aplicado cuando son robustos y estables.

Los Modelos de base de datos usados [3] más relevantes son:

1. Jerárquico
2. En red
3. Relacional
4. Orientada a Objetos
5. Orientada a documentos

Las bases de datos relacionales normales no son adecuadas para almacenar datos de procesos [4], por ello, en la actualidad por la exigencia del almacenamiento de datos en tiempo real, se usan bases de datos adaptadas. Éstas

dan solución al almacenamiento de la cantidad y frecuencia de registros generados por los procesos.



Fig. 3. Gráficos de Operación (Diagrama de Equipos) [5].

2.3 Módulo de Proceso

En este módulo gestionamos las alarmas (Fig. 2) y eventos, siendo una de las tareas más importantes para el Control y Supervisión de los Procesos.

Podemos automatizar tareas, como envío de correos o generación de informes por eventos relevantes o incidencias, también podrían ser ejecutados cíclicamente o por programación de fecha y/o hora.

Para ello, se pueden usar lenguajes de alto nivel como C, Visual Basic, Java, Python y lenguajes con sintaxis similares a éstos, adaptados por los fabricantes de automatización.

2.4 Interfaz Gráfica

Ofrecen al usuario un entorno amigable, facilitándole mediante pantallas la supervisión de los procesos. En ellas, se disponen de imágenes fijas, en combinación con elementos dinámicos que cambian de estado o valor en función de la variable a la que están vinculadas. Se pueden usar diagramas de equipos (Fig. 3) o procesos (Fig. 4), cuya elección depende del sector del proceso productivo y de la complejidad de la información a representar.

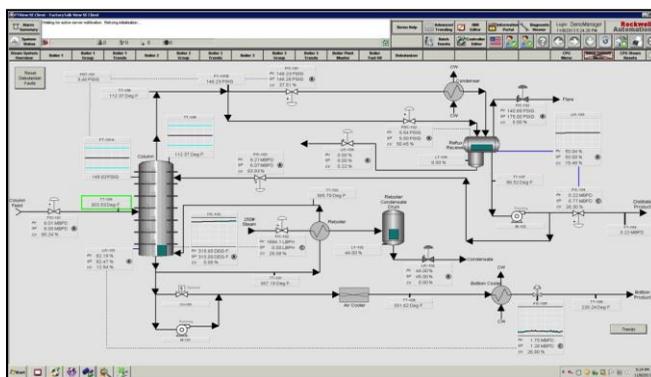


Fig. 4. Gráfico de Operación (Diagrama de Procesos) [6].

2.5 Módulo de Cálculos

Es el motor de cálculos el que nos permite adaptar los datos al usuario, generar datos derivados y realizar pequeñas tareas de control.

Este módulo se alimenta de la información obtenida por el Módulo de Proceso para adaptarla a las distintas

necesidades de la organización, además de tareas en segundo plano (background), transparentes al operador.

2.6 Comunicaciones

Nos permite la lectura de los datos de campo y el intercambio con otros sistemas.

Tradicionalmente en los Sistemas de Control se han usado protocolos propietarios y que no tenían interconectividad con otros fabricantes, incluso entre sus propios sistemas. Una de las tecnologías que ha permitido salvar este problema, es OPC (OLE for Process Control) que está gestionado por la OPC Foundation.

OPC no es un protocolo de comunicaciones como ModBus, Profibus, DeviceNet, Hart, CAN, Ethernet/IP... OPC es una tecnología que ofrece una serie de especificaciones, que permiten una conectividad abierta sin dependencia de los fabricantes, por ello está considerado un estándar.

Los datos intercambiados en OPC clásico y sus respectivas especificaciones son [7]:

1. Datos en Tiempo Real. OPC Data Access Specification (OPC DA)
2. Datos Históricos. OPC Historical Data Access Specification (OPC HDA)
3. Alarmas y Eventos. OPC Alarm & Events Specification (OPC A&E)

OPC Clásico usa la tecnología de Microsoft DCOM (Distributed Component Object Model) y para evitar las vulnerabilidades de este servicio de Windows, OPC Foundation ha desarrollado OPC UA (Unified Architecture).

Además de OPC, para intercambio entre aplicaciones y sistemas se usan tecnologías de Windows como DDE (dynamic Data Exchange), OLE (Object Linking and Embedding), Active X y ODBC (Open Data Base Connectivity) y estándares como SQL (Structured Query Language), SOAP (Simple Object Access Protocol), ASCII (a bajo nivel) y herramientas API (Application Programming Interfaces).

3. ARQUITECTURA HARDWARE DE UN SCADA

En el punto anterior, hemos descrito las diferentes funcionalidades a nivel software, no obstante, para un reparto real de responsabilidades y así conseguir una alta disponibilidad del Sistema SCADA, se deben implementar estos módulos sobre máquinas diferentes, todo ello se realizará en función de la criticidad de los procesos a supervisar y de los recursos de los que se dispone en la empresa (económicos, humanos y técnicos).

3.1 Arquitectura Básica

Es la solución menos robusta y sin redundancia (Fig. 1), no obstante, tiene la ventaja de ser más sencilla a la hora de desarrollar, mantener y evolucionar. Presentan baja disponibilidad, vulnerabilidad ante fallos y sobrecarga de la máquina, al encargarse de todas las tareas básicas necesarias en la implementación de un SCADA.

Estas funcionalidades son:

1. Estación de Ingeniería
2. Puesto de Operador
3. Servidor de Información (Histórico y Cronológico)

La Estación de Ingeniería puede ser omitida en soluciones que no van a soportar ningún tipo de cambio (correcciones y nuevos desarrollos), no obstante, esto genera muchos problemas y dependencia del cliente final con el integrador del SCADA. Por ello, es aconsejable en la medida de lo posible, obtener una licencia de desarrollo, incluso si se contratan empresas que sean partner de los fabricantes.

En esta solución, la denominada como Unidad Central, se encarga de recolectar los datos de campo, gestionarlos y almacenarlos, además de presentarlos gráficamente.

3.2 Arquitectura Distribuida

Esta solución se utiliza en aquellos diseños, que lo requieren por criticidad de los procesos, exigencias funcionales, necesidad de redundancia o alta disponibilidad. Las funcionalidades descritas anteriormente son duplicadas a nivel físico y lógico, incluso la red de comunicación e interfaces de red (Fig. 5).

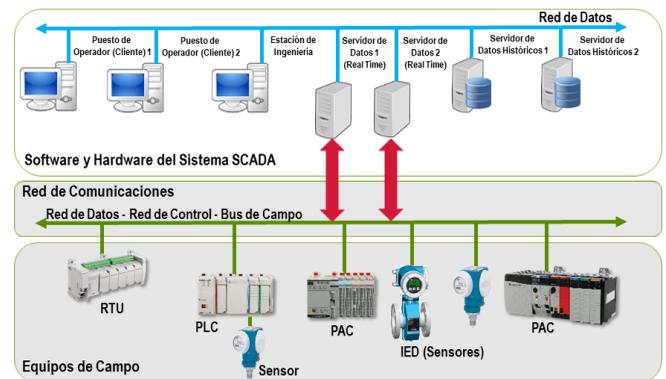


Fig. 5. Arquitectura Distribuida de un Sistema SCADA.

Aplicando dos estrategias:

1. Distribución de tareas (tolerancia parcial al fallo). Los subsistemas están distribuidos entre diferentes servidores.
2. Redundancia de tareas (alta tolerancia al fallo). Los subsistemas están distribuidos en diferentes servidores en clúster

En la actualidad, una de las soluciones para sistemas de alta disponibilidad y alta tolerancia a fallos, es la tecnología de virtualización, de manera que se tienen servidores con máquinas virtuales y puestos ligeros que acceden como clientes del Sistema SCADA.

4. CONCLUSIONES

En el desarrollo de una solución mediante un Sistema SCADA, debemos valorar la criticidad y necesidades funcionales del Proceso Productivo a Supervisar y aplicar las técnicas y teoría que subyacen al desarrollo de proyectos de alta calidad. Para ello, es necesario disponer de un equipo multidisciplinar, que tenga conocimientos de Sistemas de Control, Comunicaciones, Sistemas de Información e Infraestructuras Hardware. Así podremos desarrollar una solución de alta calidad, que satisfaga a clientes y usuarios.

AGRADECIMIENTOS

A la familia y su infinita paciencia, al Dpto. Centro de Control de Operaciones y Planificación de EMASESA, a Tomás Albacete García (Account Manager de Rockwell Automation Andalucía) y a Norberto Díaz-Díaz por la oportunidad de escribir este artículo.

REFERENCIAS

- [1] Rockwell Automation, "Process Solutions PlantPAx 4.5 System Release Presentation", pp. 37 y 114, 2018
- [2] C. J. Date, "Introducción a los Sistemas de Bases de Datos", Addison-Wesley Iberoamericana, pp. 5, 1988
- [3] Bases de datos: qué tipos hay y para qué se usan. <https://www.ionos.es/digitalguide/hosting/cuestiones-tecnicas/bases-de-datos/>
- [4] Aquilino Rodríguez Penin, "Sistemas SCADA Guía práctica", Marcom Ediciones Técnicas, pp. 32, 2007
- [5] SCADA3DSolutions. <https://www.andaluciaemprende.es/empresas/scada3d-solutions-2/>
- [6] Martin Berutti, "Mimic Debutanizer Operator Training Package for PlantPAx". <https://www.mynah.com/knowledge-base/mimic-debutanizer-operator-training-package-plantpax%C2%AE>
- [7] Web de OPC Foundation, The Industrial Interoperability Standard. <https://opcfoundation.org/>



Juan Alberto García Barroso se dedica desde hace veinte años a la Automatización e Instrumentación Industrial. Actualmente trabaja en la Empresa de Aguas de Sevilla (EMASESA) en la Sección de Automatización y Sistemas de Control (Dpto. Centro de Control de Operaciones y Planificación) como Coordinador Técnico, y hasta hace cinco años su actividad principal en EMASESA la compaginaba como trabajador "freelance", realizando trabajos de integración y formación de Sistemas de Control. Anteriormente, la actividad principal la compaginaba con un contrato a tiempo parcial, como Técnico Investigador en el Dpto. Automática y Sistemas de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla. En la actualidad está inmerso en una nueva aventura: El grado en Ingeniería Informática en Sistemas de Información en la UPO.

<https://www.linkedin.com/in/juan-alberto-garcía-barroso-2b621b42>

https://investigacion.us.es/sisius/sis_showpub.php?idpers=9477

<https://www.noaju.com/>

MOLEQLA

n°
33

Revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide

ISSN 2173-0903