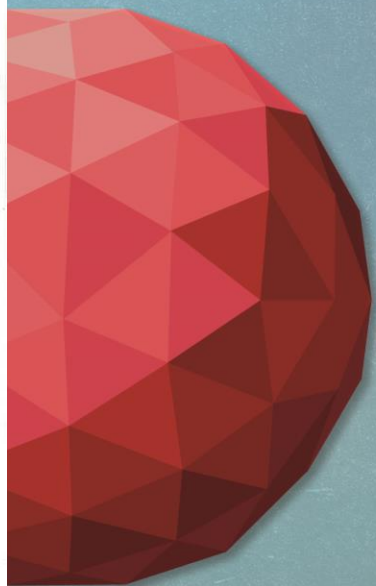
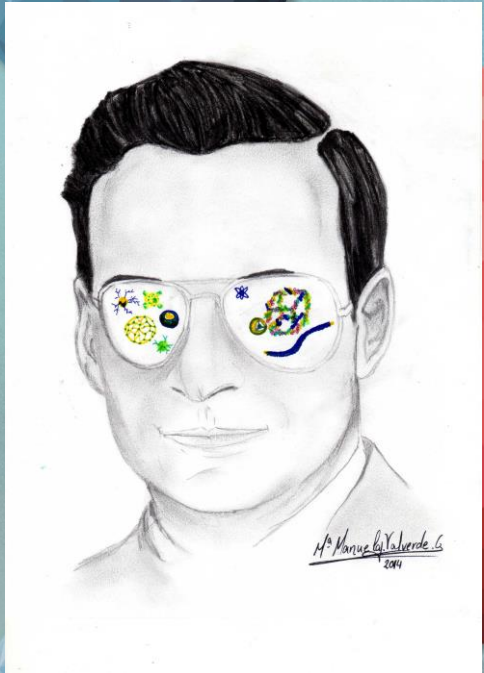


MOLEQLA

Revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide

·Número 15·



Portada

Carmen Santisteban Trigo y María Manuela Valverde

Logotipo y Título de la revista

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

Plantilla de la revista

Norberto Díaz Díaz

Responsables de las secciones que aparecen en este número

MoleQla Entrevista: Almudena Ponce Salvatierra
MoleQla Celular: Guillermo López Lluch
MoleQla Ciencia Ficción: Rocío Bueno Pérez
MoleQla Química: Patrick J. Merling
MoleQla Deporte: Alberto Grao Cruces
MoleQla Ambiental: Ana Martín Calvo
MoleQla Informática: Norberto Díaz Díaz
MoleQla Forense: Paula Gómez Álvarez
MoleQla Nanotecnología: Ana Paula Zaderenko Partida
MoleQla Energía: Juan José Gutiérrez Sevillano
MoleQla Sanitaria: Matilde Revuelta González
MoleQla Tierra: Manuel Díaz Azpiroz
MoleQla Patrimonio: María Pilar Ortiz Calderón

Responsables de maquetación de las secciones que aparecen en este número

MoleQla Entrevista: Cristina Guillén Mendoza
MoleQla Celular: David Cabrerizo Granados
MoleQla Ciencia Ficción: Javier Macías León
MoleQla Química: Alfonso Muñoz Baeza
MoleQla Deporte: Cristina Guillén Mendoza
MoleQla Ambiental: Jesús Lavado García
MoleQla Informática: Juan Humanes Ferrer
MoleQla Forense: Isabel Guerrero Montero
MoleQla Nanotecnología: Rafael Ruiz González
MoleQla Energía: Jorge Martínez Cano
MoleQla Sanitaria: Rafael Blanco Domínguez
MoleQla Tierra: Pablo Rodríguez Núñez
MoleQla Patrimonio: Clara Rodríguez Fernández
Maquetador Global: Rafael Rastrero Prieto

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

Editores

Sofía Calero Díaz
Ana Paula Zaderenko Partida
Juan Antonio Anta Montalvo
Patrick J. Merkling



ISSN 2173-0903
Editado el 21 de Septiembre de 2014
Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España

EDITORIAL

Amanece un nuevo curso y nuestra revista lo emprende con energías renovadas. Este año, además de nuestro número otoñal, celebramos la Primera Edición de los **Premios MoleQla**, que se entregarán en la Ceremonia de Apertura del Curso. Los galardonados son el Prof. Dr. Roque Hidalgo Álvarez, en la modalidad “mejor artículo escrito por un autor externo”, Dña. Miriam Palomar Bonet, en la modalidad “mejor artículo de divulgación escrito por un alumno de la UPO” y Dña. Jorgelina Carballo en la modalidad “mejor artículo de investigación escrito por un alumno de la UPO”. Animamos a nuestros lectores a asistir a la entrega de premios y compartir con los autores galardonados y el equipo de MoleQla este emotivo acto.

En este número otoñal nuestra portada comparte protagonismo con un magnífico retrato del físico Richard Feynman, que anticipó las ventajas que ofrecería la Nanotecnología décadas antes de su existencia, realizado por la alumna de Máster M^a Manuela Valverde.

Desde la redacción de molécula los editores os damos la bienvenida al nuevo curso, y os deseamos una feliz lectura.



ÍNDICE

1. MoleQla Entrevista

2. MoleQla Celular

2.1 *Vacunas recombinantes viva*

2.2 *Neuronas GABAérgicas, centro del tratamiento contra la epilepsia*

2.3 *Pero...¿por qué florecen las flores?*

3. MoleQla Ciencia Ficción

3.1 *La Gran Simulación*

4. MoleQla Química

4.1 *Los superátomos: sus aplicaciones y los superátomos magnéticos*

4.2 *En busca de la piedra filosofal*

4.3 *La química de Caín*

5. MoleQla Deportes

5.1 *Los Parques de Mayores: Análisis y Propuestas de Intervención*

5.2 *La seguridad del equipamiento deportivo en las instalaciones deportivas
municipales de Sevilla*

5.3 *Primeros auxilios contra la muerte súbita durante el deporte*

6. MoleQla Ambiental

6.1 *Accidente nuclear, Fukushima Daiichi con el grumo en la masa: Bizcocho y
memoria atómica*

6.2 *Grafeno, descontaminación de aguas residuales*

7. MoleQla Informática

7.1 Acelerando la bioinformática mediante GPU

8. MoleQla Forense

8.1 Química con luz propia al servicio forense

9. MoleQla Nanotecnología

9.1 Puntos cuánticos en la detección precoz de tumores

9.2 Nanomatrices en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares

9.3 Matrices biomiméticas y factores de crecimiento: aplicación en la curación de heridas

10. MoleQla Energía

10.1 El Fracking: ¿Energía o Salud?

10.2 New avances in bacterial electricity

11. MoleQla Sanitaria

11.1 La cara peligrosa de la penicilina

11.2 Morfina, ¿peor el remedio que la enfermedad?

12. MoleQla Tierra

12.1 Revisión bibliográfica sobre el tema de la contaminación por nitratos en acuíferos someros

12.2 Ambientes extremófilos de interés en Astrobiología en la Península Ibérica

13. MoleQla Patrimonio

13.1 La presencia de nanopartículas metálicas en vidrieras históricas

13.2 Pequeñas micromuestras que dan gran información sobre el Patrimonio Histórico

13.3 IR y su aplicación en el estudio de objetos artísticos

Katie McKissic: teacher, biologist, blogger and scientist

Almudena Ponce Salvatierra

Summary— Katie McKissic grew up in Reno, she earned her bachelor degree in biological sciences from the University of Southern California, as well as her master's of arts in teaching. She created *Beatrice the biologist*, a cool tool for teachers and also for people willing to learn more about scientific facts in a funny way. Currently, she lives in Los Angeles, together with her husband and their guinea pig.

Key words— Beatrice the biologist, Katie McKissic, Amoeba hugs, blog, illustration.

WHO'S BEATRICE THE BIOLOGIST?

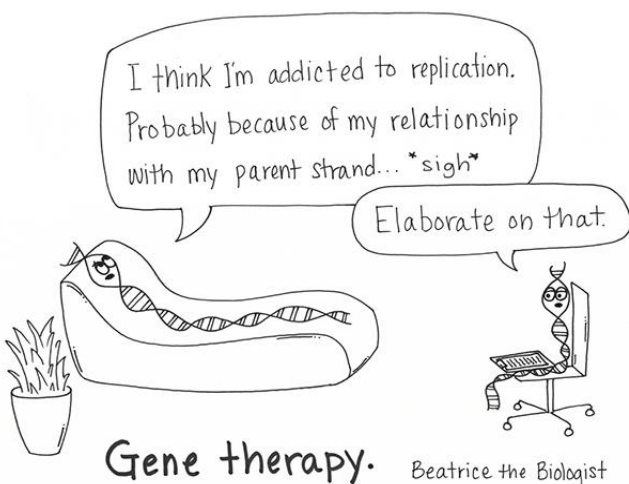
Beatrice the Biologist is the mascot for making science fun and understandable for everyone. I named my blog Beatrice the Biologist because I've always thought Beatrice was a very lovely name, and I liked the alliteration; that Beatrice and Biologist both begin with "b". Beatrice is now my pen name and alter ego where I explain science concepts in very silly ways.

How was she born?

It started out as just a blog. I started a Facebook page for it more than a year after I started blogging, and Twitter and Tumblr came much later.

Where does this idea come from?

I started the blog after I left the classroom. I wanted to have a website that was useful to teachers, so I started writing about common misconceptions about biology with the hope that teachers could print out the articles and use them in their classes.



What is the motivation behind?

I think science is important and interesting, and my happiest teaching moments were when my students would tell me that they thought they hated science before they took my class. I want more people to realize how amazing science is.

For how long were you a biology teacher?

Only for one year.

What is your job currently?

I currently work in the marketing and communications office for the USC Viterbi School of Engineering. There, I write stories about engineering research, which is always just fascinating. It's a great job for me because I get to communicate science, be creative, and tell stories in different formats: writing, illustration, videos, etc.

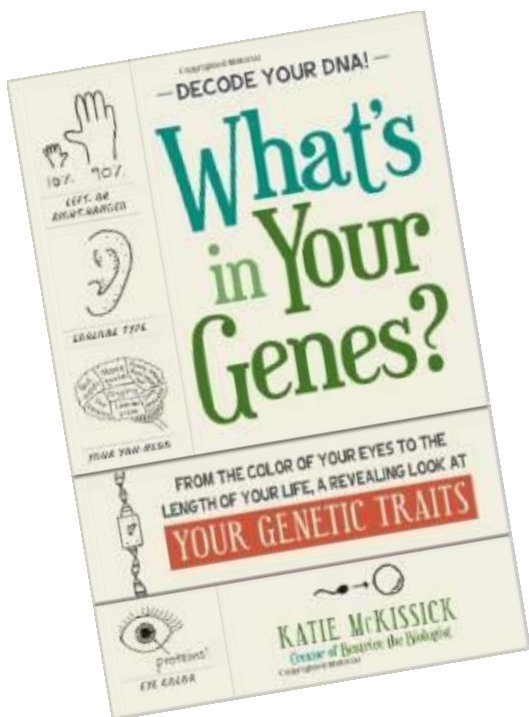
How did you start writing for *Scientific American*?

My co-bloggers Glendon Mellow and Kalliopi Monoyios asked me to join their science and art blog, *Symbiartic*. I was overjoyed to be joining their team!

Which of your books did you write first?

My first book, *Amoeba Hugs and Other Nonsense*, is a collection of some of my favorite comics at the time. A lot of people thought it was intended for children, since it appears to be juvenile, but it's not. But since so many seemed to want content from me to give to their children, I wrote a very short children's book about cells called *Little Cells*.

Those both were self-published projects, and I had a lot of fun doing them, but my latest book *What's in Your Genes?* is different: it's a full book with original content, original drawings, and it's written for adults. A publisher approached me about writing it, and I spent 3 months putting it all together.

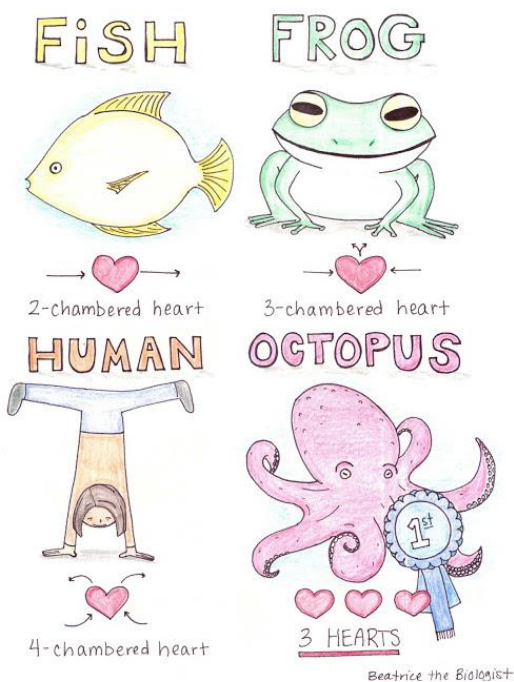


Does Beatrice receive many questions?

I do! I get a lot of random questions from people about their genetics, like someone who was very concerned he would go bald because his father is bald, and I explained why men inherit baldness from their mothers, not fathers.

Who are the target readers of your books and comics?

Teenagers and adults who like me, have a silly sense of humor and want to hear more about science while looking at goofy drawings.



Which are your hobbies?

I love the ocean, so my favorite place is the beach, and I love boogie boarding and swimming. I also like sewing, gardening, and staying home with a cup of coffee, sitting in my comfy chair and reading a good book.

it is somehow an atypical "job" for a scientist... after university studies in sciences the obvious jobs such as medical doctor, pharmacist, researcher, working in industry, are the first ones coming to one's mind.

However, illustrating and writing about science in a way that anybody can understand is not the most usual thing.

How did this idea come to you? Did you ever know you wanted to teach?

I always thought I'd be a good teacher, but when I started college, I didn't know what I wanted to do. All I knew was that I did not want to be a doctor. I considered going into medical illustration, but wasn't sure if that was quite right. I decided to teach because I thought I'd be good at it, I loved my subject, and I genuinely wanted to give back to my community and help kids. When I left teaching, I decided I would keep up the bit where I make science fun and understandable, but from my own little corner of the internet instead of in a classroom.

I find this thing you do very inspiring, and I am sure many other people will feel it the same way.

Do you think Beatrice will meet any other friends in the future? Like for example Lea the chemist? or Andreas the physicist? I, personally, would love to be able to create one called "Almu the Crystallographer".

Haha yeah. When I do chemistry comics, I get people saying "wait, this is Beatrice the Biologist; what gives?" so at times I think that I painted myself into a corner putting biology in the name, but it would be great to have spinoffs of other science areas. Chleo the Chemist, Phoebe the Physicist, Emily the Entomologist.

A MORE ACCURATE SHORTHAND FOR "I LOVE YOU."



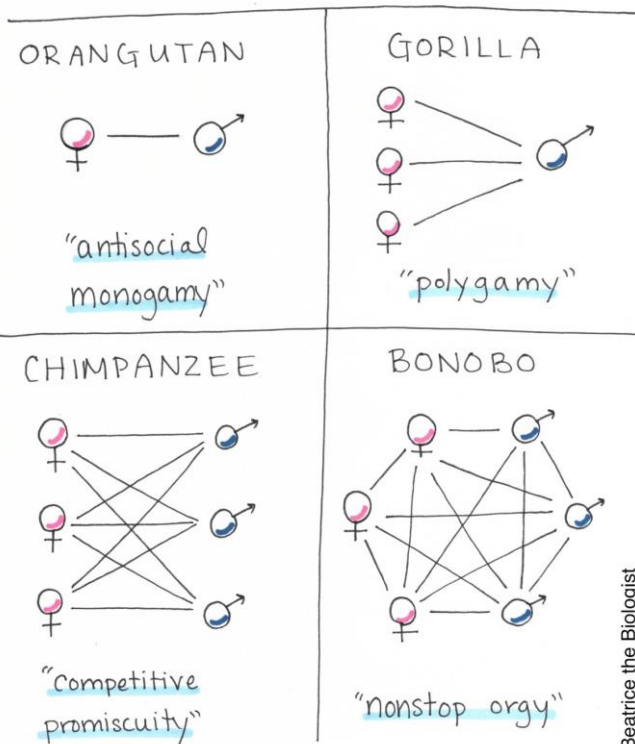
What are your future plans for Beatrice?

I want to write more books, produce bigger content like posters and t-shirt designs, and I want to find a way to support low income schools in my area.

For the guys that are reading now the magazine. Some of them are still bachelor students, some of them are master students, some are graduate students. Would you send them a special message?

Whenever you are having a rough day, think about the last 3.8 billion years of living things that all survived and reproduced and ultimately led to you. Think about the vastness of the universe, and the beauty of a single flower. There is wonder all around us!

Quick Guide to ^{non-human} Great Ape Sexy Times



Beatrice the Biologist

Which is your favourite topic to read about?

Evolution is my favorite, and neuroscience is a close second. Such big ideas!

How do you think your work could be fruitfully used by teachers? Either at university or at high-school?

I know teachers usually use my comics at the start of a class or lecture to get students laughing and thinking, and I know of a few teachers that want to use *What's in Your Genes?* as a class text. That makes me so happy.

Thank you Katie for the opportunity of having you in MoleQla.

ACKNOWLEDGEMENTS

To Katie, for her time and availability.

REFERENCES

For more comics, illustrations and funny science, visit beatricebiologist.com.



Almudena Ponce-Salvatierra recibió el título de Licenciado en Farmacia por la Universidad de Sevilla en 2011, y de Máster en Cristalografía y Cristalización por la Universidad Internacional Menéndez Pelayo en 2012. Después de un año y medio trabajando en cristalografía de proteínas en el CSIC, se mudó a Alemania. En la actualidad lleva a cabo sus estudios de doctorado en el Instituto Max Planck de biofísica química en Göttingen.

Vacunas recombinantes vivas

Rubén de Dios Barranco

Resumen— Las vacunas vivas son bacterias no patogénicas o patogénicas atenuadas que producen el antígeno principal del agente patógeno frente al que se quiere inmunizar. Las grandes ventajas que presentan son su facilidad de producción y su bajo coste, pero su desarrollo se ve limitado por el ajuste de dosis y la capacidad de controlar el *carrier* una vez dentro del organismo. Aquí analizamos algunos ejemplos y vemos un par de variaciones curiosas de este tipo de vacunas que, se espera que próximamente, sean comercializadas económicamente y con unos resultados óptimos.

Palabras Claves—Bacteria, *Carrier*, Recombinante, Vacuna, Viva.

1. INTRODUCCIÓN

Una vacuna es un componente de un patógeno que, al introducirse en el organismo, produce una respuesta inmune específica contra dicho patógeno y hace que se desarrolle una memoria inmunológica contra éste. Las vacunas pueden ser de diversos tipos (atenuadas, inactivadas, de subunidad, etc.), pero nosotros nos vamos a centrar en una mezcla de varios de estos tipos: las vacunas recombinantes vivas, o *bacterial carriers*. Se trata en este caso de bacterias no patogénicas, como las del ácido láctico, o patogénicas atenuadas, como las del género *Salmonella*, modificadas genéticamente para producir dentro del organismo el antígeno principal del agente patógeno contra el que se quiere inmunizar, ya sea secretándolo o exponiéndolo en la membrana [1].

2. VENTAJAS E INCONVENIENTES

La principal ventaja de este tipo de vacuna reside en su facilidad de producción, ya que una vez desarrollado el microorganismo modificado, sólo se tiene que crecer y seleccionar (por supuesto, tomando precauciones frente a la biocontaminación). Además, al usar cepas bacterianas que colonizan el sistema digestivo, la administración puede ser oral. Lamentablemente, este tipo de vacunas presentan algunos problemas técnicos, como la dificultad en el ajuste de dosis y en el desarrollo de una cepa recombinante suficientemente segura y a la vez que produzca suficiente inmunogenicidad, ya que normalmente una mayor atenuación del microorganismo causa una menor respuesta inmune [2]. También puede ser problemática la inducibilidad del sistema, ya que el antígeno, idealmente, sólo debería producirse cuando el microorganismo coloniza los tejidos diana del hospedador, no en cualquier parte del organismo [1].

3. EJEMPLOS DE APLICACIONES Y ESTRATEGIAS

Este tema no es precisamente nuevo, ya que a finales de los años 90 se publicaron los primeros estudios sobre la inmunización de ratones con este tipo de vacunas. Por ejemplo, en 1997 se consiguió inmunizar ratones frente a *Clostridium tetani* (causante del tétanos) mediante la administración oral de una cepa modificada genéticamente de *Lactobacillus lactis* [3], y en 1998 se consiguió igualmente una inmunización contra *Helicobacter pylori* (que puede producir en muchos casos cánceres gástricos) mediante el uso de una cepa atenuada recombinante de *Salmonella typhimurium* [4]. De esta forma, podemos comprobar la versatilidad del método, ya que permite intentar desarrollar vacunas contra casi cualquier patógeno, siempre y cuando la expresión del antígeno en el hospedador sea estable y su plegamiento, correcto, además de que no afecte a la viabilidad del *carrier*.

Este enfoque de vacuna no sólo es aplicable a patógenos bacterianos o víricos, sino que también se ha intentado aplicar al campo de las vacunas antitumorales. En este caso, el *carrier* produciría un antígeno asociado a tumores. Por ejemplo, en 2010 se publicó un estudio en el que se detalla la inmunización de ratones frente al cáncer de colon mediante el uso de una cepa atenuada de *S. typhimurium* modificada genéticamente para producir el antígeno asociado a tumores survivina (involucrado en la persistencia, la proliferación y la invasión de las células tumorales) [5]. De hecho, el microorganismo utilizado es muy apropiado, ya que posee un sistema de secreción tipo III (una "jeringa" que introduce proteínas en células hospedadoras) que inyecta en este caso la survivina, preferentemente en células presentadoras de antígenos, de forma que se produce una respuesta inmune efectiva.

Para intentar evitar el problema de la insuficiente inmunogenicidad por la atenuación excesiva, Curtiss *et al.* [6] desarrollaron una ingeniosa estrategia. El método más común de atenuación de *Salmonella* es la mutación de genes de respuesta a estrés metabólico, fase

estacionaria y genes de virulencia. La estrategia propuesta por estos autores consiste en cambiar los promotores de estos genes por el promotor P_{BAD} , activado por arabinosa mediante el activador AraC. El objetivo final de esta estrategia es conseguir una atenuación progresiva del *carrier* una vez introducido en el organismo, lo cual se consigue de la siguiente manera. Antes de la inmunización, se incuba el *carrier* en un medio rico en arabinosa, de forma que los genes que se pretende atenuar se expresan en niveles altos. Una vez dentro del organismo, ya no hay arabinosa en el medio, con lo que el único inductor disponible es el que ya se había introducido en la bacteria. Esto hace que, con las sucesivas divisiones, cada vez haya menos arabinosa intracelular, reduciéndose la expresión de estos genes y aumentando la atenuación con el tiempo (Figura 1A). Con esto, se consigue una respuesta inmune fuerte y un límite de replications del *carrier*, lo que a la vez limita su viabilidad.

En la bibliografía, además, podemos encontrar alternativas y modificaciones curiosas de este método de vacunación. Por ejemplo, se ha intentado aprovechar la capacidad de algunas bacterias Gram-negativas para producir vesículas extracelulares a partir de su membrana externa, de forma que los antígenos recombinan-

tes insertados en la membrana externa difundan más fácilmente [1], aunque surge la dificultad del ajuste de dosis, ya que la tasa de producción de vesículas difiere de unas cepas a otras.

Otra forma de aplicación curiosa de las vacunas vivas recombinantes es la liberación de antígenos por lisis programada del *carrier*. El objetivo de este método consiste en inducir la lisis bacteriana una vez el *carrier* ha colonizado el organismo, preferentemente, los órganos linfoides secundarios, liberando así todo el antígeno acumulado en el citosol y produciendo una respuesta inmune específica adecuada. La principal ventaja de este método es la completa eliminación del *carrier* tras inducir la lisis [7]. De hecho, esta estrategia puede incluso combinarse con la propuesta por Curtiss *et al.* [6], optimizando tanto la inmunogenicidad de la vacuna como la difusión del antígeno y la eliminación del *carrier* (Figura 1B).

Por supuesto, la única opción no son las bacterias. También se está utilizando el virus vaccinia para desarrollar vacunas recombinantes vivas. Como es bien sabido, este virus se utilizó como vacuna contra la viruela, pero al no estar inactivado ni atenuado, la vacuna era muy reactogénica y provocaba la muerte de una o dos personas por cada millón de vacunados. Para evitar este problema, se desarrolló el virus vaccinia Ankara (MVA, *Modified Vaccinia virus Ankara*). Esta es una variante no patógena del virus, atenuada y deficiente en cuanto a la replicación, utilizada en las últimas campañas de vacunación contra la viruela, pero en el ámbito de las vacunas recombinantes se está intentando utilizar como *carrier* contra enfermedades infecciosas, como la malaria, y contra tumores [8].

4. CONCLUSIÓN

Como hemos visto, las vacunas vivas recombinantes poseen unas cualidades que las hacen idóneas, pese a sus limitaciones, para una producción sencilla y económica de vacunas suficientemente efectivas y que producen una memoria inmunológica apropiada. El principal problema se encuentra en la aprobación por parte de las agencias reguladoras de medicamentos de este tipo de "fármacos vivos", que además están genéticamente modificados. Pero con la cantidad de estudios favorables que han surgido en los últimos años y sus alentadoras perspectivas de futuro, es muy posible que finalmente estas vacunas de comercialicen.

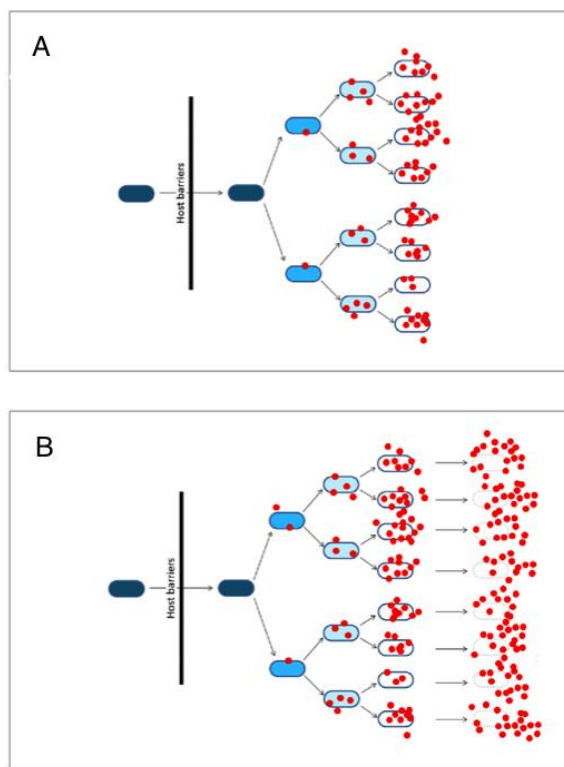


Fig. 1. Esquema del desarrollo de la atenuación del *carrier* según la estrategia de Curtiss *et al.* [6]. Con el tono de azul se esquematiza el nivel de atenuación (cuanto más pálido, mayor atenuación). Los puntos rojos simbolizan el antígeno. A) Estrategia simple de atenuación progresiva. B) Estrategia de atenuación progresiva combinada con la lisis programada del *carrier* [2].

REFERENCIAS

- [1] M. Unnikrishnan, R. Rappuoli and D. Serruto, "Recombinant bacterial vaccines," *Current Opinion in Immunology*, no. 24, pp. 337-342, Apr 2012, <http://dx.doi.org/10.1016/j.coi.2012.03.013>.
- [2] J.E. Galen, R. Curtiss III, "The delicate balance in genetically engineering live vaccines," *Vaccine*, submitted for publication, <http://dx.doi.org/10.1016/j.vaccine.2013.12.026>.
- [3] K. Robinson, L.M. Chamberlain, K.M. Schofield, J.M. Wells, R.W. Le Page, "Oral vaccination of mice against tetanus with recombinant *Lactococcus lactis*," *Nature Biotechnology*, no. 15, pp. 653-657, Jul 1997.
- [4] O.G. Gomez-Duarte, B. Lucas, Z.W. Yan, K. Panthel, R. Haas, T.F. Meyer, "Protection of mice against gastric colonization by *Helicobacter pylori* by single oral dose immunization with attenuated *Salmonella typhimurium* producing urease subunits A and B," *Vaccine*, no. 16, pp. 460-471, Mar 1998.
- [5] G. Xiong, M.I. Hussein, L. Song, A. Erdreich-Epstein, G.M. Shackelford, R.C. Seeger, D. Jäckel, M. Hensel, L.S. Metelitsa, "Novel cancer vaccine based on genes of *Salmonella* pathogenicity island 2," *International Journal of Cancer*, no. 126, pp. 2622-2634, Jun 2010, doi:10.1002/ijc.24957.
- [6] R. Curtiss III, S.Y. Wanda, B.M. Gunn, W. Zhang, S.A. Tinge, V. Ananthnarayan, H. Mo, S. Wang, W. Kong, "Salmonella enterica serovar typhimurium strains with regulated delayed attenuation *in vivo*," *Infection and Immunity*, no. 77, pp. 1071-1082, Mar 2009, doi:10.1128/IAI.00693-08.
- [7] W. Kong, S.Y. Wanda, X. Zhang, W. Bollen, S.A. Tinge, K.L. Roland, R. Curtiss III, "Regulated programmed lysis of recombinant *Salmonella* in host tissues to release protective antigens and confer biological containment," *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, no. 105, pp. 9361-9366, Apr 2008, doi:10.1073/pnas.0803801105.
- [8] S.C. Gilbert, "Clinical development of Modified Vaccinia virus Ankara vaccines," *Vaccine*, no. 31, pp. 4241-4246, Mar 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.vaccine.2013.03.020>.



la Asociación de Biotecnólogos de Andalucía (AsBAN).

Rubén de Dios Barranco es estudiante de 4º curso de Grado en Biotecnología en la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla en el curso 2013-14. Desde 2013, es alumno interno en el Departamento de Biología Molecular e Ingeniería Bioquímica con la Dra. Francisca Reyes Ramirez y compagina sus prácticas en externas con la Beca de Colaboración del Ministerio de Educación en Centro Andaluz de Biología del Desarrollo. Actualmente, pertenece a la Junta Directiva de

Neuronas GABAérgicas, centro del tratamiento contra la epilepsia

Amalia Ruiz Serrano

Resumen— La epilepsia es una enfermedad neurológica con respuesta hiperexcitatoria. Afecta a una parte significativa de la población mundial, pero su tratamiento no responde de forma positiva en todos los pacientes, por ello se están realizando diferentes ensayos preclínicos para encontrar una alternativa. Uno de ellos es la inserción de precursores neuronales GABAérgicos que regulen el balance excitatorio-inhibitorio. Los resultados de los trasplantes realizados muestran un papel crítico de las interneuronas en la epilepsia y se obtiene un descenso de las convulsiones y un restablecimiento de los déficits producidos.

Palabras Claves— Epilepsia, GABA, Antiepilépticos, MGE, Hipocampo.

1. INTRODUCCIÓN

La epilepsia es una enfermedad neurológica que presenta diverso origen y sintomatología. Las causas de dicha anomalía incluyen una mala sincronización, excesiva excitación y/o una inapropiada inhibición nivel neuronal. Resultando siempre una hiperactividad, que frecuentemente se expresa a modo de convulsiones [1,2].

Según los datos de la OMS recopilados en 2012, 50 millones de personas padecen esta enfermedad. Con tratamiento farmacológico se presentan efectos secundarios significativos a nivel cognitivo y neuroconductual. A ello, hay que añadir, que un tercio de los pacientes tratados poseen una respuesta refractaria, donde la resección cerebral no es siempre aplicable como tratamiento alternativo [3].

Ante la incapacidad de englobar todos los pacientes de forma efectiva con los tratamientos actuales, se están investigando alternativas. Una de las más relevantes, en la actualidad, se centra en la inserción de neuronas inhibitorias GABAérgicas.

El ácido γ -aminobutírico (GABA) se trata del principal neurotransmisor inhibitorio en el sistema nervioso central, por lo tanto, se encarga de regular el nivel de excitación e inhibición. En la epilepsia su síntesis, secreción, y recaptación se encuentran alterados dándose también un déficit de interneuronas GABAérgicas [2,4].

Así pues, a continuación, se tratarán diferentes antiepilépticos centrados en la alteración GABAérgica y estudios preclínicos que intentan regular dicha alteración.

2. ANTIEPILÉPTICOS

Los antiepilépticos son fármacos que se aplican a los pacientes con la finalidad de eliminar los ataques epilépticos. Según los estudios clínicos realizados hasta la fecha, un estudio individualizado del paciente nos permitiría obtener una terapia más eficaz y menos tolerante farmacológicamente. Además, se piensa que cada paciente presentará un sinergismo farmacológico óptimo para su enfermedad.

Los inhibidores GABA se relacionan con dos receptores. El primero de ellos, $GABA_A$, se encuentra a nivel post-sináptico mediando el flujo de cloruro hacia el interior neuronal, provocando una hiperpolarización y reducción de la excitabilidad. En la epilepsia a veces se encuentran afectados, llevando a una despolarización. El segundo receptor, $GABA_B$, se encuentra a nivel pre- y post-sináptico. Se trata de un receptor metabotrópico dependiente de proteína G.

Para obtener la cantidad adecuada en la hendidura sináptica se emplean diferentes fármacos con una farmacocinética diversa. El bromuro fue el primero empleado, donde aumentaba el funcionamiento de los receptores $GABA_A$ y la inhibición. El fenobarbital también se lleva usando bastante tiempo, en este caso se une a un sitio específico del receptor $GABA_A$ potenciando su respuesta. Si se aplica a dosis bajas se prolonga la duración en la que el canal se mantiene abierto, mientras que si se administra a dosis elevadas se activa directamente el canal. Las benzodiazepinas se unen a otro sitio específico del receptor aumentando su afinidad y la probabilidad de que se abra el receptor. No solo se han realizado fármacos que tengan como diana los receptores GABAérgicos sino que otros, como la vigabatrina, inhiben la enzima GABA transaminasa que se encarga de degradar dichos neurotransmisores u otros, como la tiagabina, inhiben la recaptación pre-sináptica y por las células de glía.

Así, pues existen numerosos fármacos cuya diana se encuentra en componentes relacionados con la acción

GABAérgica. En un futuro, el estudio con biomarcadores podría aportar información sobre los mecanismos de acción, así como, sobre el desarrollo de una terapia más efectiva [5].

3. ENSAYOS PRECLÍNICOS

Con el deseo de que todos los pacientes puedan acceder a un tratamiento que les conlleve a una mejora o cura de su enfermedad se están llevando a cabo estudios donde se implantan precursores neuronales GABAérgicos. Debido a que la mayoría de las neuronas corticales nacen en la eminencia ganglionar media (MGE) del telencéfalo ventral embrionario, se hacen injertos de esta zona hacia el hipocampo y la amígdala, dos zonas donde se han observado alteraciones en pacientes con una neuropatología similar como es la pérdida de neuronas inhibitorias. Los ensayos de estos estudios se realizan sobre ratones en los que se induce la epilepsia lóbulo temporal, uno de los tipos más comunes en humanos [2,4].

Hunt et al. [4] ha verificado la dispersión de los precursores GABAérgicos, como se puede observar en la Figura 1a y 1b. Las características fisiológicas y la expresión de RNA fue la esperada para células maduras de la MGE. Además, no se inhiben completamente los potenciales excitatorios, por lo que se lleva al balance deseado.

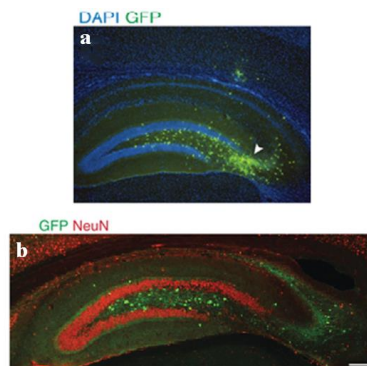


Fig. 1. Secciones del hipocampo adulto de ratón con inserción de células de la MGE. (a) Modelo con epilepsia con tinción azul (DAPI) y verde (GFP) las células inhibitorias trasplantadas. La flecha señala el lugar de inyección. (b) Control con tinción roja (NeuN) y verde (GFP) las células inhibitorias trasplantadas [4].

Sin embargo, existen diferencias en los casos donde se produjo la implantación en la amígdala o en el hipocampo. Mientras, que en el primer caso los ataques epilépticos se seguían produciendo, en el segundo caso el 50% de los ratones no presentaron convulsiones en el período de 7-10 días que se realizó el estudio.

En casos epilépticos humanos y animales se han detectado alteraciones en los brotes de la fibra musgosa del giro dentado. No obstante, el descenso de convulsiones no se encontraba relacionado con dichas alteraciones en este estudio.

Respeto a las diversas alteraciones comportamentales, se detectó que el nivel de agresión elevado en modelos epilépticos descendía a los niveles control donde la implantación se produjo en el hipocampo. La comprensión espacial, igualmente, mejoró en los casos del hipocampo. Mientras que la hiperactividad disminuía a niveles control tanto en los modelos con implantación en el hipocampo como en la amígdala [4].

4. CONCLUSIONES

En la epilepsia no se sostiene el balance sináptico requerido para la correcta función del organismo, resultando una hiperexcitación. Dicha alteración se puede restaurar centrándonos en las alteraciones GABAérgicas.

En la actualidad, existe gran variedad de antiepilépticos que tienen como efecto terapéutico la restauración de los niveles de GABA. Sin embargo, no todos los pacientes responden de forma positiva y, por ello, se llevan a cabo ensayos preclínicos insertando precursores GABAérgicos en el hipocampo y en la amígdala. Los resultados de los experimentos llevados a cabo muestran que la pérdida de neuronas inhibitorias en la epilepsia guardando relación con el descenso de la inhibición sináptica en el hipocampo.

En un futuro, resultaría de interés producir una línea de células madre que resulte segura para la aplicación en humanos, como se ha mostrado con las de la MGE en ratones.

REFERENCIAS

- [1] S. Shorvon, "Epilepsy", Oxford University Press, pp. 1-2, 2009.
- [2] M. Álvarez Dolado, V. Broccoli, "GABAergic Neuronal Precursor Grafting: Implications in Brain Regeneration and Plasticity", *Neural Plasticity*, Article ID 384216, April 2011, doi: 10.1155/2011/384216.
- [3] Anonymous, "Epilepsy Fact Sheet", World Health Organization, (<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs999/en/index/html>), October 2012.
- [4] R. F. Hunt, K. M. Girsakis, J. L. Rubenstein, A. Alvarez-Buylla, S. C Baraban, "GABA progenitors grafted into the adult epileptic brain control seizures and abnormal behaviour", *Nature Neuroscience*, no.16, pp. 692-697, May 2013, doi: 10.1038/nn.3392.
- [5] K. K. Madsen, H. S. White, A. Schousboe, "Neuronal and non-neuronal GABA transporters as targets for antiepileptic drugs", *Pharmacology & Therapeutics*, vol. 125, no. 3, pp. 394-401, 2010, doi:10.1016/j.pharmthera.2009.11.007.



Amalia Ruiz Serrano estudiante de cuarto curso en el grado de Biotecnología por la Universidad Pablo de Olavide, en el curso 2013-14.

Pero... ¿por qué florecen las flores?

Alicia Casanueva-Vozmediano

Resumen— El que una especie de planta florezca en una determinada estación del año es consecuencia de un largo proceso evolutivo que ha hecho posible su adaptación a un determinado medio: cada especie florece en el momento más favorable tanto para la dispersión de las semillas como para el nacimiento de una nueva generación. Esta adaptación implica que las plantas sean capaces de captar señales del entorno que les permitan determinar en que período específico del año se encuentran. Estas señales son principalmente la temperatura y la duración de horas de luz o fotoperiodo. Sin embargo, a nivel molecular se trata de un proceso muy complejo puesto que la inducción de la floración implica cambios genéticos, fisiológicos y metabólicos que permiten a la planta interpretar estas señales ambientales. En el presente artículo se traza un ligero esbozo de las diferentes vías de regulación de la floración en *Arabidopsis thaliana*.

Palabras Claves— floración, vernalización, fotoperiodo, vía autónoma, *Arabidopsis thaliana*

1. INTRODUCCIÓN

Cada especie de planta florece y, por tanto, se reproduce en el momento más favorable para la dispersión de las semillas y el nacimiento de una nueva generación. Para ello, las plantas deben ser capaces de captar señales del entorno, principalmente la temperatura y la duración de horas de luz o fotoperiodo [3], que les permitan determinar en qué período específico del año se encuentran. En *Arabidopsis thaliana*, la floración está sometida a una complicada trama de vías de regulación interconectadas entre sí (Figura 1): la vía del fotoperiodo, la vía de respuesta a la temperatura (que incluye la vía de la vernalización y la autónoma) y la vía hormonal/nutrientes [2].

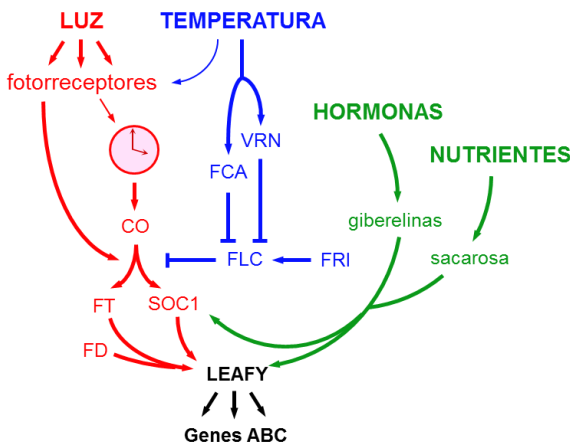


Fig. 1. Rutas principales de floración en *A. thaliana*. En rojo la vía del fotoperiodo, en azul la vía de respuesta a la temperatura y en verde la vía hormonal/nutrientes. CO: *CONSTANS*; FT: *FLOWERING LOCUS T*; FD: *FLOWERING LOCUS D*; SOC1: *SUPPRESSOR OF OVEREXPRESSION OF CONSTANS 1*; VRN: *VERNALIZATION*; FLC: *FLOWERING LOCUS C*; FRI: *FRIGIDA*.

2. LA VÍA DEL FOTOPERIODO

Las plantas pueden medir la longitud de los días a través de unos sensores que detectan la luz: los fotorreceptores. Gracias a ellos, se sincroniza el reloj interno, o reloj circadiano, de la planta con el ciclo solar externo. En la transición floral mediada por fotoperiodo intervienen dos genes: *CONSTANS* y *GI (GIGANTEA)* que codifican para proteínas que inducen la floración en respuesta al fotoperiodo de día largo (DL). *CO* es un regulador transcripcional cuya expresión está sometida a la regulación del reloj circadiano [19]: *CO* se sintetiza al final de la tarde y durante la noche. Sin embargo, la proteína *CO* se degrada por acción del proteasoma a no ser que *CO* se estabilice. Esta estabilización de *CO* depende de la luz [22]. Así, la activación de los fotorreceptores de luz azul como el fitocromo A [22] y el criptocromo 2, *CRY2*, también llamado *FHA* [7] estabilizan la proteína *CO*, mientras que los fotorreceptores de luz roja como el fitocromo B [22] la desestabilizan y *CO* es degradada por el proteasoma. Por tanto, sólo cuando los días son largos coinciden al final del día el pico máximo de cantidad de RNAm de *CO* y la cantidad máxima de proteína [22]. *CO* activa a *FT* (*FLO-*

WERING LOCUS T) y a *SOC1* (*SUPRESOR OF OVEREXPRESSION OF CONSTANS 1*) que a su vez activan la floración.

FT es un potente inductor de la floración cuya expresión ocurre en las hojas para ser posteriormente transportado por los haces vasculares hasta el meristemo apical donde interactúa con *FD* (*FLOWERING LOCUS D*). Este complejo activa genes de identidad floral como *AP1* (*APETALA 1*) y otros elementos activadores de la floración como *SOC1*.

3. LA VÍA DE LA TEMPERATURA

La vernalización (del latín *vernus*, "de la primavera") implica la necesidad de un periodo prolongado de frío para activar el proceso de floración. En *A. thaliana*, uno de los principales actores de la respuesta a la temperatura es la proteína FRIGIDA (*FRI*) que induce la expresión de una proteína de la familia de las MADs-box proteins, *FLOWERING LOCUS C* (*FLC*) [5,9,18], represor de los promotores florales *FT* (*FLOWERING LOCUS T*), *SOC1* (*SUPPRESSOR OF OVEREXPRESSION OF CONSTANS 1*) y *FD* (*FLOWERING LOCUS D*). La inactivación de *FLC* por vernalización es epigenética [20] y dominante sobre cualquier otro mecanismo de regulación: sólo se reactiva en la siguiente generación. La activación de *FLC* mediante *FRI* también se debe a un mecanismo epigenético, concretamente a un patrón de trimetilación de la histona H3 en la Lys 4 (H3K4me3), marca asociada a genes expresados activamente [4].

La percepción de la temperatura asociada al fotoperiodo garantiza que la floración tenga lugar en el momento apropiado, es decir, cuando se dan las condiciones ambientales favorables para el éxito reproductivo (Figura 2).

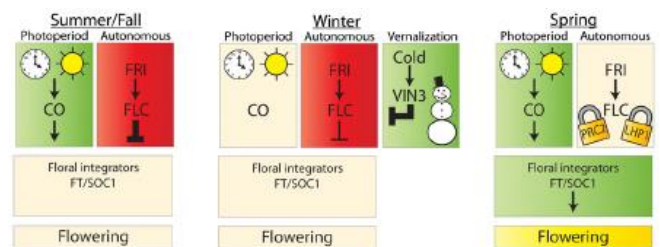


Fig. 2: Regulación estacional de la floración en *Arabidopsis thaliana*. Las vías de floración activadas por cada estación están indicadas en las cajas rojas o verdes; en verde las vías activadoras y en rojo las represivas. El marrón indica inactivo. En verano/otoño *FLC* inhibe la floración reprimiendo los integradores florales que estarían activados por *CO* en respuesta a las condiciones de DL (izquierda). Durante el invierno, la vía del fotoperiodo está inactiva y la vernalización conlleva la inducción de *VERNALIZATION-INSENSITIVE 3* (*VIN3*) y la represión epigenética de *FLC* (centro). En primavera, se ha completado la represión de *FLC* y se mantiene por acción de *POLYCOMB-GROUP COMPLEX 2* (*PCR2*) y *LIKE HETEROCHROMATIN PROTEIN 1* (*LHP1*) (y *VRN1*), como las condiciones son de DL, *CO* puede activar los integradores florales y se inicia la floración (derecha) [9].

Sin embargo, la activación de la floración vía vernalización no se debería exclusivamente a la regulación de *FLC* ya que mutantes *flc* mantienen cierta respuesta a la vernalización [9]. En estos mutantes, *FT* y *SOC1* se activan después de la vernalización sugiriendo que las vías dependiente e independiente de *FLC* compartirían dianas comunes. Otros genes estarían implicados en esta respuesta como podrían ser los genes *MAFs* (*MADs AFFECTING FLOWERING*), homólogos de *FLC* [12,17], que constituyen un grupo de 5 genes, *MAF 1-5*, aunque se desconocen exactamente las bases moleculares de su mecanismo de actuación [13]. En general los genes *MAFs*, al igual que *FLC*, están regulados por vernalización: mientras que *MAF1*, *MAF2* y *MAF3* se reprimen por vernalización, *MAF5* se activaría y *MAF4* no se vería afectado [13,21]. Si bien la marca H3K27me3 es esencial para la represión de *FLC* por vernalización, no está claro si estaría implicada en la regulación de los genes *MAFs* [1]. *Flowering Locus M* (*FLM* o *MAF1*), al igual que *FLC*, actuaría como represor de la floración [13], y, por tanto, la represión de *MAF1* contribuiría a la aceleración de la floración por aumento de la temperatura [11]. Además, estudios previos parecen indicar que *FRI* no sólo actuaría sobre *FLC* sino que también reprimiría la floración a través *MAF5* [14].

4. LA VÍA HORMONAL/NUTRIENTES

En esta ruta el gen *LEAFY* (*LFY*) integraría diversos factores internos como el estado nutricional de la planta así como otros mediados por giberelinas [2]. *LFY* es uno de los últimos responsables de la floración, donde también intervienen otros integradores florales como *SOC1* ó *API1*. Esta activación se ve precedida por un aumento de la concentración de giberelinas y de sacarosa en el floema.

Estudios sobre el efecto de la sacarosa en la floración parecen apuntar que ésta estimularía la expresión de los genes *GI*, *TOC1* (*TIMING OF CAB EXPRESSION 1*) y *CCA1* (*CIRCADIAN CLOCK ASSOCIATED 1*), genes centrales del reloj circadiano [6]. Así, el reloj estaría ajustado por señales metabólicas como algunos azúcares independientemente de la percepción de la luz mediada por fitocromos. A su vez el reloj estaría involucrado en la regulación de la biosíntesis de *GA* (giberelinas) y *JA* (jasmonato), poniendo en evidencia una posible relación bilateral con esas hormonas. La importancia de los azúcares en la floración se hace cada vez más patente y se está estudiando el efecto de estos en la floración.

Recientes estudios han puesto de manifiesto la importancia de la trehalosa-6-fosfato (T6P) en la floración. Así, mutantes de pérdida de función de la *TREHALOSE-6-PHOSPHATE SYNTHASE 1* (*TPS1*) presentan un gran retraso en la floración aún cuando las condiciones ambientales son favorables a la floración [23,24]. Se ha sugerido que la T6P, en concentraciones trazas en la mayoría de las plantas, podría funcionar como una molécula señalizadora que informaría sobre la disponibilidad de carbohidratos a otras vías señalizadoras.

Si bien la sacarosa por una parte activaría la floración [16] a través de la vía autónoma, por otra estabilizaría la proteína *FRI*, tal vez a través de una regulación postraduccional, ya que los niveles de proteína aumentan cuando se cultiva *A. thaliana* en sacarosa sin que el nivel de transcrito de *FRI* se vea alterado [15]. Este papel antagónico de los azúcares que por un lado activarían la floración y por otro la inhibirían pone en evidencia la estrecha interconexión entre las diferentes vías de regulación de la floración.

5. CONCLUSIÓN:

Si bien cada vez se va conociendo mejor el complicado entramado de vías de regulación de la floración, cada vez se hace más patente la profunda interconexión entre las diferentes vías. Así, actores de la activación de la floración a menudo aparecen en vías represoras de la misma dependiendo del estadio de desarrollo de la planta. Probablemente estos aparentes papeles antagónicos contribuyan no sólo a minimizar el número de reguladores, con el consecuente ahorro energético, sino también a afinar al máximo la percepción de las condiciones externas e internas poniendo de manifiesto la importancia de florecer sólo en el momento adecuado.

REFERENCIAS

- [6] Alexandre, C. M., & Hennig, L. "FLC or not FLC: The other side of vernalization." *Journal of Experimental Botany*, 59(6), 1127-1135, 2008
- [7] Blázquez, M. A., Piñeiro, M., & Valverde, F. "Bases moleculares de la floración". *Investigación y Ciencia*, mayo, 28-36., 2011.
- [8] Garner, W. W., & Allard, H. A. "Effect of the relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plants". *Journal of Agricultural Research*, 18, 553-606 1920.
- [9] He, Y., Doyle, M. R., & Amasino, R. M. "PAF1-complex-mediated histone methylation of FLOWERING LOCUS C chromatin is required for the vernalization-responsive, winter-annual habit in Arabidopsis". *Genes and Development*, 18(22), 2774-2784, 2004.
- [10] Johanson, U., West, J., Lister, C., Michaels, S., Amasino, R., & Dean, C. "Molecular analysis of FRIGIDA, a major determinant of natural variation in Arabidopsis flowering time". *Science*, 290(5490), 344-347, 2000.
- [11] Knight, H., Thomson, A. J. W., & McWatters, H. G. "SENSITIVE TO FREEZING6 integrates cellular and environmental inputs to the plant circadian clock". *Plant Physiology*, 148(1), 293-303, 2008.
- [12] Liu, L., Zhang, Y., Li, Q., Sang, Y., Mao, J., Lian, H., Yang, H. "COP1-mediated ubiquitination of CONSTANS is implicated in cryptochrome regulation of flowering in Arabidopsis". *Plant Cell*, 20(2), 292-306, 2008.
- [13] Lunn, J. E., Feil, R., Hendriks, J. H. M., Gibon, Y., Morcuende, R., Osuna, D., Stitt, M. "Sugar-induced increases in trehalose 6-phosphate are correlated with redox activation of ADP-GLUCOSE PYROPHOSPHORYLASE and higher rates of starch synthesis in Arabidopsis thaliana". *Biochemical Journal*, 397(1), 139-148, 2006.

- [14] Michaels, S. D., & Amasino, R. M. "FLOWERING LOCUS C encodes a novel MADS domain protein that acts as a repressor of flowering". *Plant Cell*, 11(5), 949-956, 1999.
- [15] Michaels, S. D., & Amasino, R. M. « Loss of FLOWERING LOCUS C activity eliminates the late-flowering phenotype of FRIGIDA and autonomous pathway mutations but not responsiveness to vernalization". *Plant Cell*, 13(4), 935-941, 2001.
- [16] Posé, D., Verhage, L., Ott, F., Yant, L., Mathieu, J., Angenent, G. C., Schmid, M. « Temperature-dependent regulation of flowering by antagonistic FLM variants". *Nature*, 503(7476), 414-417, 2013.
- [17] Ratcliffe, O. J., Nadzan, G. C., Reuber, T. L., & Riechmann, J. L. "Regulation of flowering in *Arabidopsis* by an FLC homologue". *Plant Physiology*, 126(1), 122-132, 2001.
- [18] Ratcliffe, O. J., Kumimoto, R. W., Wong, B. J., & Riechmann, J. L. "Analysis of the *Arabidopsis* MADS AFFECTING FLOWERING gene family: MAF2 prevents vernalization by short periods of cold". *Plant Cell*, 15(5), 1159-1169, 2003.
- [19] Ribeiro-Pedro, M. A. "Estudio de la relación entre el metabolismo del carbono y procesos de desarrollo en *Arabidopsis thaliana*: Caracterización de mutantes y análisis proteómico y transcriptómico." 2011. (Tesis Doctoral Del Instituto De Biología Vegetal y Fotosíntesis)
- [20] Ribeiro-Pedro, M., Ezzahra-Said, F., Ruiz, M. T., Romero, J. M., & Valverde, F. "El estudio comparativo, proteómico y transcriptómico, de la respuesta a azúcares en *Arabidopsis thaliana* muestra una relación entre el metabolismo y el desarrollo floral". *Proteómica*, 5, 162-164, 2010.
- [21] Roldán, M., Gómez-Mena, C., Ruiz-García, L., Salinas, J., & Martínez-Zapater, J. M. "Sucrose availability on the aerial part of the plant promotes morphogenesis and flowering of *Arabidopsis* in the dark". *Plant Journal*, 20(5), 581-590, 1999.
- [22] Scortecchi, K.C., Michaels, S.D., and Amasino, R.M. "Identification of a MADS-box gene, FLOWERING LOCUS M, that represses flowering". *Plant J.* 26, 229-236, 2001.
- [23] Sheldon, C.C., Burn, J.E., Perez, P.P., Metzger, J., Edwards, J.A., Peacock, W.J., and Dennis, E.S. "The FLM MADS box gene: A repressor of flowering in *Arabidopsis* regulated by vernalization and methylation". *Plant Cell* 11: 445-458, 1999.
- [24] Suárez-López, P., Wheatley, K., Robson, F., Onouchi, H., Valverde, F., & Coupland, G. "CONSTANS mediates between the circadian clock and the control of flowering in *Arabidopsis*." *Nature*, 410(6832), 1116-1120, 2001.
- [25] Sung, S., & Amasino, R. M. "Vernalization and epigenetics: How plants remember winter". *Current Opinion in Plant Biology*, 7(1), 4-10, 2004.
- [26] Sung, S., Schmitz, R. J., & Amasino, R. M. "A PHD finger protein involved in both the vernalization and photoperiod pathways in *Arabidopsis*". *Genes and Development*, 20(23), 3244-3248, 2006.
- [27] Valverde, F., Mouradov, A., Soppe, W., Ravenscroft, D., Samach, A., & Coupland, G. "Photoreceptor regulation of CONSTANS protein in photoperiodic flowering". *Science*, 303(5660), 1003-1006, 2004.
- [28] Van Dijken, A. J. H., Schlupepmann, H., & Smeeckens, S. C. M. "*Arabidopsis trehalose-6-phosphate synthase 1* is essential for normal vegetative growth and transition to flowering". *Plant Physiology*, 135(2), 969-977, 2004.
- [29] Wahl, V., Ponnu, J., Schlereth, A., Arrivault, S., Langenecker, T., Franke, A., Schmid, M. "Regulation of flowering by trehalose-6-phosphate signaling in *Arabidopsis thaliana*". *Science*, 339(6120), 704-707, 2013.



Alicia Casanueva-Vozmediano

recibió el título de Licenciada en Ciencias Biológicas por la Universidad de Sevilla en 2001, y de Master Universitario en Análisis y Tecnologías del Agua en 2003. Realizó las prácticas del Master Oficial de Biotecnología Ambiental, Industrial y Alimentaria, de la Universidad Pablo de Olavide, en el Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis (CSIC) donde realizó su proyecto de fin de master "Estudio comparativo, proteómico y transcriptómico de la respuesta a azúcares de FRIGIDA

en *Arabidopsis thaliana*".

La Gran Simulación

Juan Antonio Anta

Resumen—Todas las élites científicas del mundo se unen en un proyecto histórico. Simular numéricamente la historia de la Tierra desde sus inicios, y así poder predecir el futuro. Mientras políticos y periodistas se disponen a explotar el evento el gran público asiste con incredulidad a los primeros datos del espectáculo. Sin embargo, algo parece ir mal al poco de terminar la fase de equilibrado...

Palabras Claves— Historia. Política. Periodismo. Religión. Simulación Molecular



La pantalla de fondo azul celeste mostró el mensaje: “¿Desea iniciar la simulación? SÍ/NO” y fue entonces cuando el técnico postdoc, de origen hispano a juzgar por sus *looks*, un Martínez o Fernández becado probablemente desde algún Ministerio en los límites del Imperio, pulsó con diligencia el botón de ENTER. Y así, justo en el momento en el que el viejo presidente americano de color lo indicaba con una sonrisa, billones de Terabytes de información empezaban a cruzar la telaraña global, y el objetivo principal del W2P2 echó, literalmente, a correr.

- Nunca se había sentido tanta emoción en todo el mundo desde que Neil Amstrong pisó la luna, hace 60 años – recitó con tensión televisiva el presentador de la CNN.

Las pantallas del centro de congresos de Nueva York ofrecían la salida gráfica de la simulación. Miles de periodistas abarrotaban la sala, *sandwiches* y cervezas poblaban las mesas, no se conocía realmente la longitud del experimento. El algoritmo es autoajutable, habían dicho los técnicos, el paso de tiempo, variable, la presentación de los resultados logarítmica, billones de discos duros en todo el mundo acumulando desde ahora la información para su posterior análisis.

- El nodo principal está en Los Álamos, y el de apoyo en Beijing, pero relativamente pronto cada país recibirá su particular salida nacional, previsiblemente mañana por la mañana, hora de la península – dijo el moderador.

Algunos de los expertos tertulianos no estaban de acuerdo en interrumpir el tráfico de internet para arrancar el W2P2, y tampoco paralizar el trabajo de millones de ordenadores.

- Sin embargo, sólo si todos los centros de cálculo unen esfuerzos...

- El problema es que no se sabe si realmente va a funcionar, serían millones de dólares tirados a la basura.

- Merece la pena el esfuerzo, sería absurdo no intentarlo.

- No se conocen todas las fuerzas de la naturaleza todavía, si falla el modelo, ¿cómo podemos simular lo real?

- Se usará la Historia conocida para calibrarlo. Los

parámetros son ajustables, la simulación buscará la trayectoria más probable, el gradiente de máximo descenso.

- Aún así es inviable, ¡las posibilidades son infinitas!

- Pero millones de ordenadores trabajando en paralelo pueden hacerlo, y discernir lo importante de lo accesorio.

- Es una locura se mire por donde se mire, ¡convertir toda la Tierra en un procesador gigantesco!

La pantalla gigante del centro de congresos ofrecía imágenes del universo en formación, púlsares y galaxias danzando en torno a invisibles vórtices de gravedad, mientras billones de procesadores bramaban en oscuros sótanos, con sus ventiladores a máxima potencia refrigerando el titánico esfuerzo.

- Los directores del proyecto indican que llevará más tiempo de lo programado llegar a la etapa actual. Damos por tanto paso a la publicidad.

Y el anuncio más caro de la historia se proyectó en todo el mundo. Y aquella marca de bebida azucarada, *sponsor* principal del proyecto, mostró cientos de manos haciendo girar un globo terráqueo. Las gentes de todos los lugares miraban con incredulidad sus televisores, sin entender del todo lo que estaba pasando.

- Es algo así como si nos metiéramos dentro de la *play* – decía la niña de gafas redondas.

Y la niña de mirada angelical sonreía mientras se imaginaba la princesa del cuento.

La publicidad tardaba más de lo esperado. Al final emitieron una película: Juego de Dioses. Unos subtítulos se proyectaban en pantalla: “El centro de Los Álamos informa sobre el retraso de los primeros resultados”. La pantalla gráfica del centro de congresos todavía mostraba la sopa primigenia. Uno de los puntos críticos del proyecto se ejecutaba en esos momentos. Cómo aparecería la primera molécula de ácido nucleico con capacidad de auto-replicarse era la clave. El algoritmo se aceleraba y se retardaba. Producía oscilaciones. Daba vueltas en círculo.

Los ordenadores de apoyo acumulaban ingentes cantidades de datos. Nuevas simulaciones harían falta para interpretar el *output* de la Gran Simulación.

Un avance informativo interrumpe la película. Imágenes en directo desde el centro de congresos se doblaban con esfuerzo al castellano. El primer hito del W2P2 conseguido: organismos unicelulares infestaban el océano arcaico. La tertulia de expertos se anima.

- Es un gran espaldarazo. Significa que el puro juego químico originó la vida.

- En realidad no supone nada, puesto que el algoritmo ha sido diseñado de forma artificial.

- Un sector de la Iglesia vaticinó el fracaso del W2P2 porque argumentaba que las puras leyes de la naturaleza no podían originar la vida, ni tampoco el Hombre. Esa hipótesis se está demostrando falsa.

- La posición oficial de la Iglesia es muy diferente. Es Dios quien diseñó las leyes, por lo que el W2P2 sólo puede aspirar a recrear su obra.

Nueva conexión con Nueva York, los cálculos se aceleran, las leyes de la evolución toman el relevo mediante algoritmos genéticos, el ratio de tiempos crece exponencial: la explosión cámbrica inunda las pantallas de todo el mundo.

- En nada aparecerán los dinosaurios - decía la niña de gafas redondas.

Y la niña de mirada angelical se imaginaba escondiéndose entre helechos gigantes, jugando con esporas naranjas.

Les pasamos a leer el comunicado recibido desde el nodo de Beijing: "La ejecución del W2P2 está resultando un éxito. La formación de organismos vivos reproduce fielmente los datos geológicos y paleontológicos. Son pocos los ajustes requeridos. La aparición del Homo Sapiens se prevé para las 18:00 GMT, y la entrada en el periodo histórico para las 21:00 GMT. Los nodos regionales recibirán las salidas nacionales muy poco después.

El panel de expertos se revuelve agitado. Alguien menciona que por fin se sabrá el alcance del calentamiento global. Otro el fracaso de las predicciones del Fondo Monetario Internacional. Y los otros suspiran por conocer, si es que en verdad todo esto funciona, el ganador de las próximas elecciones generales.

Pero todo se va al garete de repente. Las salidas gráficas se interrumpen. Una neblina catódica inunda las pantallas. Un agudo y estridente acople deshabilita los pinganillos de miles de locutores. La pantalla del centro de congresos se funde en negro.

Unos segundos después, unas grandes frases amarillas

y brillantes, en caracteres mayúsculos Comic Sans MS, desfilan lentamente en las pantallas centrales de cada una de las naciones de la Tierra:

SENTIMOS COMUNICARLES QUE ESTA SIMULACIÓN HA SIDO CANCELADA DE MANERA DEFINITIVA. EL PROGRAMA HA SIDO DETENIDO DE FORMA SIMULTÁNEA EN TODOS LOS NODOS DE CÁLCULO Y TODOS LOS FICHEROS DE ENTRADA Y SALIDA HAN SIDO BORRADOS. DEL MISMO MODO SE HA ELIMINADO TODO RASTRO DEL CÓDIGO FUENTE UTILIZADO Y SE HAN DETERIORADO DE MANERA DELIBERADA LOS PROCESADORES INVOLUCRADOS EN EL W2P2.

- ... ¿qué significa esto?...

EL OBJETIVO DE LA PRESENTE ACCION ES IMPEDIR QUE UN HECHO SIMILAR PUEDA SER INTENTADO DE NUEVO. EMPRESAS TALES COMO ENTROMETERSE EN LOS INVOLUCRABLES MISTERIOS DE LA NATURALEZA O MUCHO MENOS PREDECIR EL FUTURO NO DEBEN FORMAR PARTE DEL INTERÉS DEL HOMBRE PORQUE PERTENECEN AL IMPERIO DE DIOS Y SOLO PUEDEN SER TRATADOS CON LA VENERACIÓN Y EL RESPETO QUE MERECE EL MAGNO ESPECTÁCULO DE LA CREACIÓN. NUESTRA ORGANIZACIÓN SE HA ENCOMENDADO A LA SALVAGUARDIA DE ESTOS VALORES ETERNOS Y CON ESTE OBJETIVO HEMOS TRABAJADO CON FIRMEZA PARA DETENER ESTE ATENTADO CONTRA EL VERDADERO SENTIDO DE LA CIENCIA.

- ¿se trata de una broma?

NO DESEAMOS QUE ESTA ACCIÓN SE CONSIDERE FRUTO DE UN ANIMO DESTRUCTIVO. NUESTRA ORGANIZACIÓN APOYA Y RECOMIENDA EL USO DE LA SIMULACIÓN PARA FINES ETICAMENTE ACEPTABLES. EN ESTE SENTIDO PROPONEMOS QUE TODO EL ESFUERZO INVERTIDO EN LA PUESTA A PUNTO DEL INQUIETANTE INTENTO QUE ACABAMOS DE IMPEDIR SE REDIRIJA A OBJETIVOS MÁS LOABLES Y MUCHO MÁS ASEQUIBLES. A SABER:

(1) DEMOSTRAR QUE EL COMUNISMO, EL SOCIALISMO, LA SOCIALDEMOCRACIA Y EL CENTRO DERECHA SON PERNICIOSOS PARA EL SER HUMANO Y CONDUCEN A LA DESINTEGRACIÓN DE LA SOCIEDAD. MUESTRAS DE UNOS POCOS MILLONES DE PERSONAS CON CONDICIONES PERIÓDICAS DE CONTORNO SERÁN SUFICIENTES.

(2) ANALIZAR LA FUERZA GRAVITATORIA Y DE ESTA FORMA DEJAR CLARO QUE, COMO CONSECUENCIA DE UNA RECONSIDERACIÓN DEL PUNTO DE REFERENCIA QUE EN REALIDAD DEBE SER TOMADO, GALILEO NO TENIA

RAZÓN CUANDO DIJO QUE LA TIERRA GIRABA ALREDEDOR DEL SOL.

- (3) RASTREAR DE FORMA ADECUADA LA EVOLUCIÓN DEL GENOMA HUMANO, Y DE ESTA FORMA DEMOSTRAR QUE CUANDO DARWIN DIJO QUE EL HOMBRE DESCENDÍA DEL SIMIO, SE REFERÍA A UNA MERA SUCESIÓN TEMPORAL Y NO A NINGÚN VÍNCULO GENÉTICO.
- (4) Y LO QUE SERÍA MÁS FÁCIL: UTILIZAR UN CÁLCULO POR SIMULACIÓN PARA DEMOSTRAR DE MANERA INEQUÍVOCA LA EXISTENCIA DE DIOS Y DE ESTA FORMA CONVENCER A AQUELLOS QUE SÓLO CREEN EN LOS DOGMAS DE LA CIENCIA.

CREDO IN UNUM DEUM, PATREM OMNIPOTENTEM, FACTOREM CAELI ET TERRAE, VISIBILIIUM OMNIUM ET INVISIBILIIUM.

- ¿Qué ha ocurrido? - decía la niña de mirada angelical.

La niña de las gafas redondas no decía nada. Tan sólo sonreía. Y es que siempre le había gustado el buen humor de los creadores de troyanos.



Juan Antonio Anta Montalvo es Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid. Actualmente vive en Sevilla y es Profesor Titular del Área de Química Física de la Universidad Pablo de Olavide.

LOS SUPERÁTOMOS: SUS APLICACIONES Y LOS SUPERÁTOMOS MAGNÉTICOS

Soraya Peralta Garzón

El concepto de superátomo vuelve a salir a la luz, después de que Einstein los “descubriera”, gracias a tres investigadores que han demostrado que ciertas combinaciones de átomos elementales pueden imitar a otros elementos, además del descubrimiento de los superátomos magnéticos, muy importantes en la electrónica molecular.

Palabras Claves— Superátomo, clúster, condensado de Bose-Einstein, espectroscopia de fotoelectrones.

1. ¿QUÉ ES UN SUPERÁTOMO?

Un superátomo es un cluster de átomos que parece tener algunas propiedades de átomos elementales.

Para entender este concepto es necesario entender primero el concepto de cluster. En química, un cluster es un conjunto de átomos unidos o moléculas que tiene un tamaño intermedio entre una molécula y un sólido a granel. Existen clusters de diversos estequiometrías y nuclearidades. Por ejemplo, átomos de carbono y boro forman grupos de fullereno y borano, respectivamente. Los metales de transición y elementos principales del grupo forman grupos especialmente robustos. Los clusters también pueden consistir únicamente en un cierto tipo de moléculas, tales como las agrupaciones de agua. [1]

En un superátomo los electrones libres del clúster ocupan un nuevo conjunto de orbitales que están definidos por todo el grupo de átomos, es decir, el cluster en lugar de cada átomo por separado. Los superátomos se comportan de tal forma que puedan tener un nivel completo de electrones en este nuevo conjunto de orbitales. Las conclusiones obtenidas son que los superátomos donarán muy fácilmente electrones comportándose como metales alcalinos, mientras que los clústeres tendrán una afinidad electrónica muy alta, como los halógenos.

2. EL PRIMER SUPERÁTOMO

2.1. Condensado de Bose-Einstein

Es importante que antes de hablar de los superátomos en profundidad, hablemos un poco del condensado de Bose-Einstein ya que muchos autores consideran este descubrimiento como uno de los primeros superátomos.

El condensado de Bose-Einstein es un estado de la materia diferente de los tres estados habituales que conocemos (sólido, líquido y gaseoso). Se da en ciertos materiales a muy bajas temperaturas y la propiedad que lo caracteriza es que una cantidad macroscópica de las partículas

del material pasan al nivel de mínima energía, el estado fundamental, a la vez. La agrupación de átomos en ese nivel inferior es lo que se conoce como Condensado de Bose-Einstein (como se muestra en la figura 1), esta masa de material con todos sus átomos en el mismo nivel implica que todos los átomos son absolutamente iguales, no se puede diferenciar uno de otro, por lo que se puede llamar superátomo. [2,3]

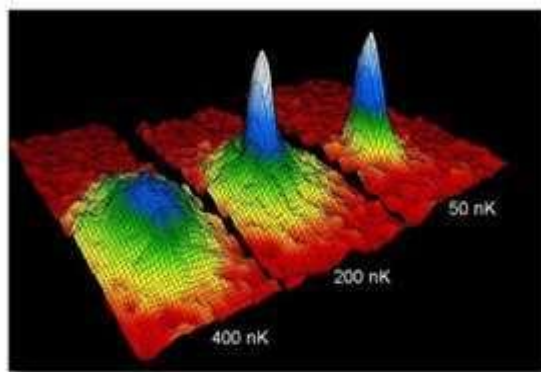


Figura 1: Condensado de Bose-Einstein. En la imagen se muestran los datos obtenidos en un gas de átomos de rubidio. En la gráfica de la derecha se observa el diagrama más cercano al condensado de Bose-Einstein, con la menor velocidad y temperatura. El pico no está totalmente definido debido al principio de incertidumbre de Heisenberg. [5]

3. NUEVOS DESCUBRIMIENTOS RELACIONADOS CON LOS SUPERÁTOMOS

3.1. Superátomos y superelementos

Un reciente descubrimiento ha revolucionado el mundo de la química. Se trata del descubrimiento de superátomos capaces de imitar elementos de la tabla periódica.

Un grupo de investigadores de la Universidad Estatal de Pensilvania, liderado por A. Welford Castleman Jr., y en el que se incluyen a los científicos Samuel Peppernick

(actualmente en el Laboratorio Nacional del Pacífico Noroeste) y Dasitha Gunaratne de la Universidad Estatal de Pensilvania, han demostrado que ciertas combinaciones de átomos elementales tienen la misma configuración electrónica que otros elementos. El hallazgo es una revolución para diversas aplicaciones ya que se podrían utilizar materiales más baratos con las mismas propiedades que otros usados anteriormente en diferentes métodos y proyectos científicos.

Este tipo de superátomos es diferente al concepto de superátomo que se explicó con el condensado de Bose-Einstein, ya que el condensado era un conjunto de átomos del mismo tipo y en este caso, se trata de un conjunto de átomos de diferentes elementos, pero ambos conceptos están relacionados entre sí ya que ambos hacen referencia a un conjunto de átomos, iguales o diferentes, que funcionan como un elemento único.

3.2. Nueva perspectiva de la tabla periódica

Estos investigadores también demostraron que es posible predecir los átomos que han sido identificados hasta el momento en estas combinaciones superatómicas mirando la tabla periódica. Castleman dijo que no se sabe si el patrón utilizado se puede aplicar a toda la tabla o si se limita a solo una parte de ella.

Uno de los experimentos consistió en usar una técnica sofisticada conocida como espectroscopia de fotoelectrones de imágenes para examinar las similitudes entre el monóxido de titanio (TiO) y el níquel (Ni), entre el óxido de circonio (ZnO_2) y el paladio (Pd), y entre el carburo de tungsteno (WC) y el platino (Pt). Los resultados fueron que la cantidad de energía necesaria para extraer los electrones de una molécula de TiO es igual a la cantidad de energía que se necesita para quitar los electrones de un átomo de níquel, es decir, que tienen la misma energía de ionización, tal y como se puede ver en la imagen de la figura 2. Lo mismo ocurre con el ZnO_2 y el paladio, y con el WC y el platino. El equipo analizó los puntos brillantes obtenidos en las imágenes, que corresponden a la energía de los electrones emitidos durante su retirada de las capas exteriores de los átomos, y parecieron ser similares entre los tres pares mencionados.

La conclusión es que todos los pares de elementos mencionados están compuestos por elementos con la misma configuración electrónica.

Por lo tanto, las moléculas de TiO, ZnO_2 y WC son los superátomos del níquel, el paladio y el platino, respectivamente, ya que, como conjunto de diferentes átomos, tienen algunas propiedades de los átomos elementales. [4,5]

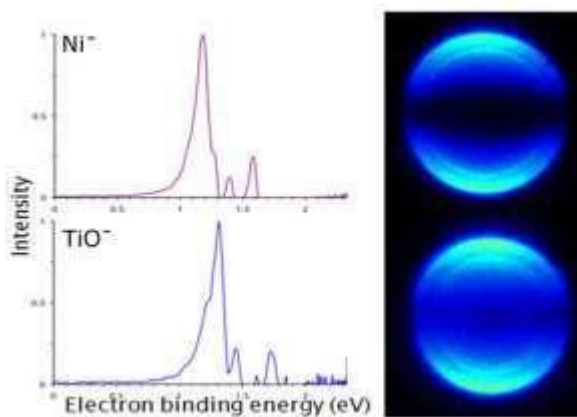


Figura 2. En la imagen se muestran dos gráficas, la primera corresponde a la energía de enlace de un electrón del anión níquel y en la segunda la del anión monóxido de titanio. Ambas gráficas son muy parecidas, por lo que se puede comprobar que el TiO es el superátomo correspondiente al níquel.

3.3. Nuevas investigaciones

Uno de los antiguos experimentos de Castleman demostró que un grupo de 13 átomos de aluminio se comportaba como un único átomo de yodo. La adición de un electrón más, provocó que el cluster se comportara como un gas raro. Además, se demostró que un grupo de 14 átomos de aluminio tiene una reactividad similar a un átomo de tierra alcalina.

En la actualidad, este equipo de investigadores está trabajando en el estudio de los átomos de metales de transición. En el futuro, se plantean investigar si los superátomos son químicamente similares a sus respectivos átomos elementales. [6]

3.4. Aplicaciones de los superátomos

El uso de los superátomos supondría un gran avance en la química, en la física y en la industria. Esto se debe a que la mayoría de los elementos químicos empleados para la investigación científica y el desarrollo de la industria son difíciles de conseguir y muy caros. Por tanto, el uso de compuestos más fáciles de obtener y más baratos, con las mismas propiedades, podría suponer un gran paso en la investigación y en la industria ya que se dispondría de más presupuesto para realizar otra clase de experimentos y productos. Por ejemplo, el platino se usa en casi todos los convertidores catalíticos de los automóviles y es muy caro. Sin embargo, el carburo de tungsteno es barato, el inconveniente reside en la sustitución del platino por este último y en si los fabricantes son capaces de hacerlo. Lo mismo pasa con el paladio, utilizado en varios procesos de combustión, y el óxido de circonio. [7,8]

4. SUPERÁTOMOS MAGNÉTICOS

4.1. Concepto y descubrimiento

Otro importante descubrimiento ha sido el de los superátomos magnéticos, su descubrimiento se debe a un

grupo de científicos, entre los que destaca el profesor del Departamento de física de *Virginia Commonwealth University* Shiv Khanna, Ulises Reveles, A.C. Reber, P. Clayborne y otros científicos del *Naval Research Laboratory* (EE.UU), y del instituto de investigación *Harish-Chandra*, en la India.

El superátomo en cuestión está formado por un átomo de vanadio rodeado por ocho átomos de cesio (figura 3) y combina características magnéticas y conductoras por lo que podría decirse que funciona como un imán conductor de la electricidad. Estas características hacen que sea un elemento con importantes aplicaciones en la electrónica de un futuro no muy lejano.

El superátomo tendría la misma fuerza magnética que un átomo de manganeso a la vez que permite a electrones fluir a través del “mar de electrones” del cesio. Por lo que se considera que este compuesto es un superátomo del manganeso.

Estos científicos se dieron cuenta de que una agrupación de átomos es más estable cuando tiene ocho átomos de cesio. Es una estabilidad extraña que deriva de cumplir la regla del octeto.

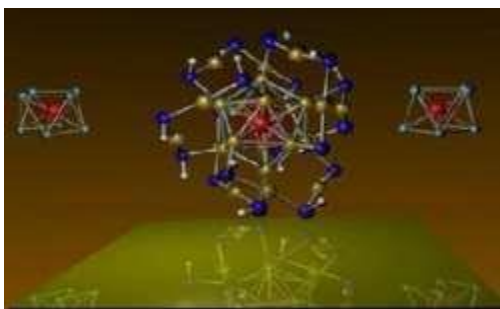


Figura 3: la imagen muestra lo que podría ser el superátomo de vanadio y cesio que imita al átomo de manganeso.

4.2. Aplicaciones

La combinación conductora y magnética de este superátomo mencionada anteriormente, podría dar lugar a un gran desarrollo de lo que se conoce como la electrónica molecular, es decir, la rama de la ciencia que estudia el uso de moléculas orgánicas e inorgánicas en la electrónica. Se espera que estas moléculas ayuden al desarrollo de la memoria de datos no volátiles, de dispositivos

También se están realizando experimentos de este tipo para dar un empuje a la espintrónica, una ciencia que explota la carga del electrón y su espín con la misma finalidad que la electrónica molecular.

Otra propuesta de estos investigadores es combinar oro y manganeso para fabricar superátomos magnéticos no conductores de la electricidad con una finalidad biomédica para la detección de enfermedades, captación de imágenes o fabricación de medicamentos. [9]

5. CONCLUSIONES

Como conclusión sólo queda decir que, como ya se ha expuesto en este artículo, el descubrimiento de los superátomos ha sido un gran hallazgo porque tiene una amplia variedad de aplicaciones en diferentes campos, como la química, la física, la industria y la medicina, pero todas estas aplicaciones tienen la misma finalidad: el desarrollo de la ciencia y del ser humano.

La investigación en superátomos puede traer numerosas ventajas a la sociedad actual como el abaratamiento de los materiales de investigación, de construcción, automovilísticos, y en fin, de la industria en general, sin olvidarnos de la medicina. Que los materiales sean más baratos acerca el desarrollo y el bienestar a más gente y eso es la mayor ventaja de cualquier investigación científica y aún más en los tiempos que corren.

Todos los investigadores mencionados en el artículo continúan con investigaciones relacionadas con los superátomos, solo nos queda esperar que obtengan los resultados que ellos y nosotros esperamos para ver un gran auge de la ciencia en general.

WEBGRAFÍA

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Cluster_chemistry
- [2] http://es.wikipedia.org/wiki/Condensado_de_Bose-Einstein
- [3] <http://labellateoria.blogspot.com.es/2006/10/el-condensado-de-bose-einstein-un.html>
- [4] <http://es.wikipedia.org/wiki/Super%C3%A1tomo>
- [5] <http://teresaversyp.com/wp-content/uploads/2009/08/condensado-bose-einstein.jpg>
- [6] <http://futuros-cientificos.blogspot.com.es/2012/07/quimica-super-atomos-de-imitar.html>
- [7] <http://www.amazings.com/ciencia/noticias/290110d.html>
- [8] <http://www.scitech-news.com/2010/01/superatoms-mimic-elements-research.html>
- [9] http://www.tendencias21.net/Superatomos-magneticos-mejoraran-la-electronica-molecular_a3403.html

BIOGRAFÍA



Artículo escrito por Soraya Peralta Garzón, alumna de primer curso de Grado en Biotecnología en la Universidad Pablo de Olavide.

En busca de la piedra filosofal

Francisco José Paniagua Balbuena

Resumen— Este artículo expone las diferentes fases del Opus Magnum y trata de explicar desde el punto de vista de la química actual las transformaciones en las propiedades de la materia que observaban los antiguos alquimistas.

Palabras Claves— Alquimia, colores, etapas, química, Opus Magnum.

1. INTRODUCCIÓN

El Opus Magnum o vía maestra es el conjunto de técnicas empleadas por los alquimistas con el fin de obtener la piedra filosofal. Para ello, trataban la materia de mil formas, justificadas todas ellas por enrevesadas reflexiones filosóficas pero ¿qué había detrás de esos procedimientos? ¿A qué transformaciones sometían la materia para “perfeccionarla”? Es evidente que observaban cambios de color, de aspecto, de forma, de propiedades y por lo tanto es evidente que detrás del Opus Magnum había un importante componente químico desconocido que trataremos de desatar a lo largo de este artículo.

2. EL OPUS MAGNUM U OBRA MAESTRA

El Opus Magnum [1], también llamada obra maestra, es el proceso de creación de la piedra filosofal. Para los alquimistas significaba algo más que una serie de transformaciones a la que sometían la materia, sino un proceso hacia el perfeccionamiento y la purificación de la materia y el espíritu. Constaba de cuatro etapas [2], que representaban estados perceptibles de la material y que los alquimistas asociaban con otros más esotéricos.

2.1. Nigredo

También conocido como ennegrecimiento, debido a que al final de este paso la materia con la que se trabajaba adquiría un color negruzco que los alquimistas asociaban a la muerte y la putrefacción. En realidad en esta fase aplicaban los procesos conocidos de purificación de metales a la llamada materia primera. Según Aristóteles [3], la materia primera es aquella de la que procede el resto de la materia (de ahí que los alquimistas creyeran que a partir de ella podían obtener oro). Este término ha derivado en la actualidad en materia prima, término apto para designar a la

muestra de oro, estaño o cobre que los alquimistas usaban como base de sus “experimentos”.

Existen dos métodos para la purificación de metales que los alquimistas usaban, la vía seca y la vía húmeda, términos que se siguen empleando hoy en día en química analítica. La vía seca consiste en la purificación de metales a través de la calcinación, es decir, sometiéndolos a altas temperaturas para separar la mena. La vía húmeda por el contrario se basaba en el empleo de, en términos medievales, vitriol (ácido sulfúrico) y agua regia (mezcla de ácido nítrico y clorhídrico concentrado). En la actualidad sabemos que este tratamiento no es más que una reacción de sustitución entre el metal y los ácidos que nos permite separar el metal (formando una sal) del resto de los elementos.

En ambos casos es evidente que la negrura de los productos no se debía a la putrefacción de la materia, sino a la formación de óxidos y sales metálicas, tanto del metal en cuestión como del resto de la muestra, de colores variados, que formaban una mezcla oscura.

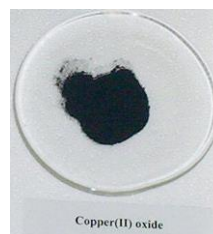


Fig. 1. Óxido de cobre (II).

Otra posible explicación a esta primera fase del proceso alquímico puede darse si suponemos que la materia primera no es un mineral metálico, sino un compuesto orgánico con alto contenido en azúcar.

La calcinación del azúcar por la vía seca daría lugar a un líquido semejante al caramelo, aunque puede que de distintas propiedades en función de la temperatura alcanzada y del tiempo que se aplica dicha temperatura.

Por el contrario por la vía húmeda la reacción de deshidratación que llevan a cabo la sacarosa y el ácido sulfúrico da lugar a un cuerpo negro sólido de carbono. Se trata de una reacción espontánea y rápida, por lo que produce un efecto bastante espectacular.

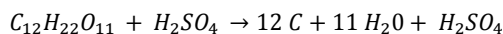


Fig. 2. Resultado de la deshidratación ácida de la sacarosa

Aunque esta explicación es posible desde el punto de vista químico, resulta difícil pensar que los alquimistas usaran azúcar como materia primera, pues, a diferencia de los metales, no se le atribuye una perfección o significado filosófico. Así lo corroboran los textos alquímicos, en los que no parece haber referencia alguna al azúcar.

2.2. Albedo

En latín, albedo significa blancura, lo que nos da una idea de lo que observaban los alquimistas en esta fase del proceso alquímico. En efecto blanco era el color que adquiría la mezcla procedente del nigredo al añadir determinados componentes.

Conocer de qué componentes estamos hablando puede darnos una idea de por qué adquiría un color blanquecino (evidentemente no vamos a aceptar que se debía a la acción de la Luna y los astros benignos como creían los alquimistas). Pues bien, se cree que las sustancias que se añadían en esta fase eran el cinabrio, la galena y la bismutina, que son sulfatos de, respectivamente, mercurio, plomo y bismuto. Por lo demás basta con saber que los nitratos y cloruros (e incluso algunos sulfatos una vez separados del resto del mineral) de estos elementos son, en efecto, de color blanco.

Evidentemente, para dar por buena esta explicación hemos de suponer que en la primera fase o bien en esta segunda se añade un exceso de ácido, pues estamos hablando en todo momento de ácidos fuertes. Si estos ácidos se consumieran del todo en la primera fase, la constante de la reacción de disociación de las sales metálicas sería muy baja, y nunca se daría la reacción con las sales del mercurio, plomo y bismuto.

2.3. Citrinitas

También llamada chantosis o amarilleamiento, es una fase que los alquimistas asociaban al sol (en contraposición al albedo, asociado con la luna) y, por extensión, al hombre, a la vejez y la sabiduría, cosas del amarillo. El primer elemento que se nos viene a la mente cuando pensamos en este color es, sin lugar a dudas, el azufre. Ya hemos visto anteriormente que este elemento está muy presente en forma de ácidos y sulfatos a lo largo del proceso alquímico pero en esta etapa se emplea además en su forma elemental.



Fig. 3. Azufre

Samuel Norton es un alquimista que divide en varios procesos cada fase del Opus Magnum [4]. Concretamente, la chantosis queda dividida en "Putrefacción en azufre", "Solución de azufre corporal" y "Solución de azufre de luz blanca". Desconocemos en qué consistían estos procesos, pero lo que parece evidente es la intervención del azufre llamado como tal (y no como vitriol o ácido sulfúrico usado anteriormente), lo cual nos conduce a pensar que se usaba azufre en su estado elemental. Esto daría un color amarillo a la muestra, más aún disuelto en agua pues el azufre no es soluble y daría lugar a una suspensión amarillenta.

2.4. Rubedo

También llamada enrojecimiento, purpúreo o iosis, es la fase final del proceso alquímico. Sobra decir cuál es el color que adquiere la supuesta piedra filosofal al final de esta fase, asociada al ave fénix y al renacimiento propio de ella. Como en el resto de las etapas, podemos encontrar distintos textos que especifican procedimientos variados para alcanzar el fin perseguido.



Fig. 4. Supuesta piedra filosofal

Sin embargo, llama la atención que en todos ellos se menciona la fermentación de la muestra. No sabemos concretamente a qué se referían estos alquimistas (Samuel Norton, George Ripley [5]) pero en la actualidad sabemos que existe un tipo de bacteria, perteneciente al orden *Chromatiales* que prolifera en manantiales de azufre (muy presente a estas alturas del Opus Magnum). Se trata de bacterias sulfuroxidas anaerobias también llamadas bacterias púrpuras del azufre [6].



Fig. 5. Estanque con alta concentración de bacterias *Chromatiales*.

Es posible que los alquimistas crearan un medio escaso en oxígeno en el que estas bacterias acabarían confiriendo un color rojo-púrpura a la muestra y llamaran a este proceso fermentación, en semejanza al proceso, también anaerobio, de obtención de bebidas alcohólicas.

3. Aclaraciones.

Dado que la alquimia siempre ha sido una actividad oculta y misteriosa, no se tienen muchos escritos sobre los primeros alquimistas, ni existe un proceso universal de obtención de la piedra filosofal. De hecho, se puede decir que cada alquimista tenía su propio método específico. Por este motivo resulta imposible dar una explicación universal y válida para las transformaciones a las que los alquimistas sometían la materia. De hecho, hay algunos textos alquímicos, como la tabla esmeralda, que resultan tan crípticos, que incluso hay quien cree que los procedimientos descritos, así como los colores y las sensaciones, no son más que metáforas filosóficas para ejemplificar un viaje espiritual, una suerte de purificación del alma similar al camino de meditación que se emplea en algunas religiones para alcanzar el nirvana.

Sea como fuere, parece claro que muchos tomaron las indicaciones de los textos alquímicos al pie de la letra, y trataron obtener una piedra capaz de conceder sabiduría, longevidad y riqueza por métodos del todo tangibles. Puede que la explicación ofrecida en este artículo no sea la única válida para las transformaciones alquímicas, pero al menos aporta un punto de vista químico y científico al esotérico mundo de la alquimia.

4. CONCLUSIONES

Lo que debemos extraer de este artículo es la importancia de tener una mirada crítica con todo aquello que nos rodea, que no nos limitemos a la explicación sencilla de la “magia” y busquemos, más allá de ella, una explicación racional incluso para los eventos típicos de nuestra vida cotidiana.

Por otra parte, también es importante resaltar que la alquimia no es ciencia y viceversa. Esto quiere decir que la ciencia no es, como se piensa comúnmente entre la sociedad, mezclar líquidos de distintos colores para obtener uno nuevo. Si seguimos este camino, el de la alquimia, llegaremos a donde llegaron los alquimistas, a cambios de color y nada más, sin que la humanidad obtenga beneficio alguno. Por ello es fundamental resaltar la importancia del método científico, que es lo que hace que la ciencia sea ciencia, lo que proporciona una base sólida sobre la que experimentar, un camino seguro que podemos seguir sin miedo a perdernos en busca de la piedra filosofal.

REFERENCIAS

- [1] Opus Magnum. Wikipedia en español. [http://es.wikipedia.org/wiki/Opus_magnum_\(alquimia\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Opus_magnum_(alquimia)).
- [2] J. Hedesan, “The four Stages of alchemical work” *Esoteric Coffehouse*. <http://es.scribd.com/doc/11441835/The-Four-Stages-of-Alchemical-Work>. 2009
- [3] Aristóteles, *Metafísica*, Libro Octavo, IV. Biblioteca Filosófica. Obras filosóficas de Aristóteles. Volumen 10.
- [4] S. Norton. *Elixer, seu Medicina vitae, seu Modus conficiendi verum aurum et argentum potabile*. Fráncfort, Alemania, 1630.
- [5] G. Ripley. *Compound of Alchemy*. Londres, Inglaterra, 1471.
- [6] Chromatiaceae (Bacterias Púrpuras Sulfurosas; Bacterias Purpúreas Sulfurosas; Bacterias Sulfurosas Purpúreas). Look for diagnosis. http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Chromatiaceae&lang=2.



Francisco José Paniagua Balbuena cursó la ESO y el bachillerato en el Instituto de Educación Secundaria La Campiña de Arahal, Sevilla, donde obtuvo matrícula de honor y mejor expediente académico de la promoción 2012/2013. Posteriormente obtuvo el Premio extraordinario de Bachillerato por la Comunidad Autónoma de Andalucía. Actualmente cursa el primer año del grado en biotecnología de la universidad Pablo de Olavide de Sevilla.

La química de Caín

Nayra Luzardo Perdomo

Resumen— A lo largo de este artículo, definiremos y explicaremos las propiedades fisicoquímicas de las armas químicas, indicaremos los agentes mortíferos más relevantes y nos centraremos en los efectos que su uso ha tenido y tiene en la fatídica guerra civil de Siria.

Palabras Claves— Arma química, agentes mortíferos, toxicidad, Siria.

1. INTRODUCCIÓN

Decía Albert Einstein que, con respecto a la ciencia, lo único importante es no dejar nunca de hacerse preguntas. Hoy en día, conociendo las situaciones a las que ciertos avances científicos y tecnológicos nos han llevado (armas, drogas sintéticas, piratería...) nos vemos en la obligación de añadir que un buen científico debe buscar respuestas que conduzcan al progreso de la humanidad, desechando las que vayan en detrimento de este.

La química, junto con la física moderna, cuando es empleada con fines bélicos tiene un enorme potencial de destrucción. Desde tiempos remotos se han utilizado productos tóxicos con el fin de combatir al enemigo (ya los griegos en el 400 a.C hacían uso de humo de azufre), pero ha sido durante el siglo pasado cuando la efectividad de los medios utilizados para la intoxicación ha experimentado un mayor crecimiento –el ataque con armas químicas más mortal se produce en la II Guerra Mundial. Este desarrollo es fruto de la investigación y los progresos tecnológicos, y se traduce en la aparición de potentes bombas y de sus devastadoras consecuencias.

2. ARMA Y GUERRA QUÍMICA.

La Convención sobre las Armas Químicas o CAQ se abrió para la firma en una ceremonia celebrada en París el 13 de enero de 1993. En ella, la participación de numerosos países permitió la legislación y restricción del uso de armas químicas, volviendo su producción y almacenamiento acciones ilegales.

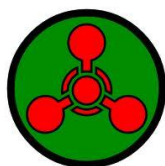


Fig.1. Símbolo internacional de las armas químicas. En wikipedia.org

Comúnmente, arma química se relaciona con cualquier sustancia química tóxica encerrada en un medio de lanzamiento (como bomba o granada). El segundo artículo de la CAQ las define de una forma mucho más amplia: cualquier sustancia química tóxica, o precursores, que puede causar la muerte, heridas, incapacidad temporal o irritación sensorial por su acción química. La definición incluye a las municiones o dispositivos cuyo destino es la

dispersión de armas químicas, con o sin ellas en su interior.[1]

3. AGENTES MORTÍFEROS MÁS IMPORTANTES.

Existen dos tipos principales de armas químicas: agentes incapacitantes y agentes mortíferos. Éstos últimos poseen una mayor toxicidad (capacidad de cualquier sustancia química de producir efectos perjudiciales sobre un ser vivo) que los incapacitantes y se caracterizan por atacar directamente a un centro vital del organismo y provocar la muerte en el acto si se carece de un tratamiento específico instantáneo para él. Destacan los agentes nerviosos, el gas mostaza, el cianuro de hidrógeno y el fosgeno.

- **Agentes nerviosos:** bloquean el aparato nervioso impidiendo la llegada a los músculos de las órdenes enviadas por el cerebro. La intoxicación se produce mediante inhalación o por vía cutánea. Son compuestos organo-fosforados, esto es, están compuestos por cadenas de carbono, fósforo, hidrógeno y oxígeno (figuras 2, 3 y 4). Son líquidos incoloros muy estables en condiciones normales y se dispersan con mucha facilidad.

Los agentes nerviosos más importantes:

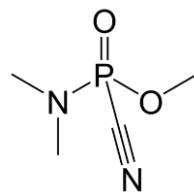


Fig.2. TABUN (Etil N,N-dimetilfosforamidocianato) En wikipedia.org

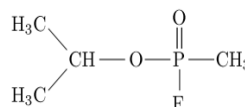


Fig.3. SARIN (metilfosfonofluoridato de O-isopropilo).

Tendrá relevancia en el conflicto sirio. Es el más tóxico de la familia de los organo-fosforados. En zdnet.com

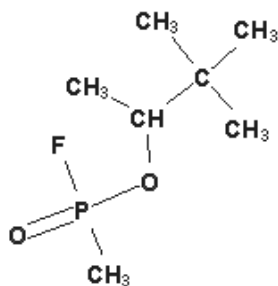


Fig.4.SOMAN (metilfosfonofluoridato de O-pinacolilo). En chemspider.com

- **Cianuro de hidrógeno:** obstruye el aparato respiratorio, inhibiendo la enzima citocromooxidasa (complejo IV de la cadena respiratoria), lo que bloquea la respiración celular. Inhibe, además, proteínas que contienen hierro (la hemoglobina entre otros), implicadas en el transporte del oxígeno y, por tanto, responsables de proporcionar energía a las células. Todo aquel sometido a su exposición tendrá dificultad en la respiración, palpitos y dolor de cabeza, pudiendo perder la consciencia y, finalmente, morir. El medio de transmisión más frecuente es la inhalación, aunque también se puede producir la intoxicación por contacto con la piel.

Su fórmula es HCN (CN⁻ es cianuro) y, al igual que los agentes nerviosos, en condiciones normales es un líquido incoloro.

- **Gas mostaza:** o "Yperita" daña los ojos, pulmones y la piel. Por su carácter lipofílico, son absorbidas por la piel intacta, y se mantiene en ella un 10%, mientras que el 90% alcanza la circulación y se distribuye a prácticamente todos los órganos y tejidos.

La fórmula química del compuesto es sulfuro de dicloroetileno, ClCH₂CH₂SCH₂CH₂Cl.

- **Fosgeno:** Es un potente irritante del aparato respiratorio. Concentraciones superiores a 1 ppm producen quemazón ocular, lagrimeo, tos, broncoespasmo, disnea e insuficiencia respiratoria. Su fórmula química es CCl₂O. [2]

4. PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS

Las características fisicoquímicas de las armas químicas son las que van a determinar sus efectos clínicos. Algunas de las propiedades que definen a estos agentes son:

- **Volatilidad:** La volatilidad se define como la tendencia a formar vapor o gas. A temperatura y presión ambientales, la mayor parte de armas químicas son líquidas, dispersándose como suspensiones de gotas tras la detonación.

El cianuro de hidrógeno es un compuesto excepcionalmente volátil; y el fosgeno, 3.43 veces más pesado que el aire, es un compuesto poco volátil. Clínicamente, que un compuesto sea volátil, disminuye el contacto y, por tanto, el riesgo a lesiones graves.

- **Persistencia:** Se refiere a la longitud de tiempo que un compuesto está en el ambiente, una vez desprendido y, en general, es inversamente proporcional a la volatilidad. Es dependiente de las condiciones climáticas (temperatura, viento) y ambientales. Desde un punto de vista médico, una mayor persistencia aumenta el riesgo de daños, tanto en la contaminación primaria (el primer contacto) como en la secundaria, a la que está expuesta el personal hospitalario. Se considera muy persistente el gas mostaza (1-4 días de persistencia), semipersistente el sarín (entre media hora y ocho) y muy poco persistente el cianuro (debido a su gran volatilidad).

- **Latencia:** La latencia es el tiempo que transcurre entre la absorción por cualquier vía y el inicio de los síntomas o signos clínicos.

El gas mostaza es una de los agentes químicos con mayor período de latencia, pudiendo tardar en aparecer los primeros síntomas entre 6 y 8 horas, lo que no excluye la necesidad apenas de una rápida atención médica. Poseen fases de latencia muy cortas el cianuro y los gases nerviosos (de apenas minutos). [3, 4]

5. ARMAS QUÍMICAS EN EL CONFLICTO SIRIO.

En 2011, con las primeras protestas de sirios contra el gobierno por la búsqueda de una plena democracia y un mayor respeto de los derechos humanos, comienza la crisis. La respuesta violenta por parte de los dirigentes del Estado hace que la rebelión se intensifique y alargue en el tiempo, perdurando hasta hoy día.

Es a comienzos de 2013 cuando fuentes de la oposición siria declaran la utilización de armas químicas contra los civiles, acusando al gobierno sirio de Bashar Al-Assad de ser el responsable. El primer ataque con armas químicas en esta guerra se produce el 18 de marzo de este mismo año: la localidad de Jan Al Assal, al sur de la ciudad de Alepo, sufre un ataque con misiles y armas químicas, que produce la muerte de 26 personas y causa daños a otras 86. Rebeldes y soldados se culpan mutuamente. Las grandes potencias se posicionan a favor de los rebeldes, culpando al gobierno del país. [5]

La Masacre de Ghouta, acontecida en Damasco (Siria) el 21 de agosto de 2013, es considerada hasta el momento el ataque con armas químicas más grave del siglo XXI, el segundo más mortal desde la Segunda Guerra Mundial, y la mayor matanza humana del año. Según los supervivientes de la pesadilla, tropas del régimen bombardearon con gas sarín la localidad a las 3 y 5 a.m, haciendo uso de misiles con cabezas químicas. Se terminó con la vida de 1400 personas, siendo 400 de ellas niños. Médicos sin fronteras afirma haber tratado a más de 3600 heridos con síntomas como asfixia, cianosis y contracciones del globo ocular. Los afectados pierden la voz y se inmovilizan. [6]

La OPAQ, Organización para la prohibición de armas químicas, aprueba el pasado noviembre de 2013 la destrucción del arsenal de armas químicas del país. Esta organización es fundada en 1997 y actualmente presenta 194 estados miembros. Es la encargada de poner en marcha el mandato de erradicar para siempre el flagelo de las armas químicas y de verificar su destrucción en los plazos establecidos por la CAQ, descrita anteriormente. La organización ha sido galardonada con el premio Nobel de la Paz el 10 de diciembre de 2013 por el trabajo realizado en Siria. El presidente del comité, Thorbjorn Jagland (Fig.5), explicó que las personalidades con carisma que "den esperanzas en un mundo complicado y para muchos hostil" son necesarias, pero que no se puede lograr en solitario por individuos o idealistas". Así, Ahmet Üzumcü, presidente de la OPAQ, destacó el trabajo de cientos de personas que buscan la paz a través del trabajo de la organización. [7]



Fig. 5. Ahmet Üzumcü, presidente de la OPAQ. En radiofides.com

6. CONCLUSIONES.

A pesar de todo el afán internacional por suprimir las armas químicas a finales del siglo pasado, los fatales sucesos que se han ido desarrollando en la actualidad hacen que los esfuerzos continúen hasta hoy día: el Consejo de Seguridad de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aprobó por unanimidad una resolución que exige destruir el arsenal de armas químicas de Siria. El Desarme químico del país está vigente y se espera que se concrete a mediados de 2014[8]. Sin embargo, fuentes denuncian ataques químicos posteriores al del 21 de agosto.

Lamentablemente, la masacre de Ghouta es una de las muchas protagonizadas por armas químicas. La historia nos ha mostrado que ciencia y progreso humano van de la mano,

pero también, el potencial altamente destructivo que tiene un mal uso de los conocimientos científicos. No podemos dar la espalda al avance, pero tampoco al respeto que dicho avance debe tener por los derechos humanos que tantos siglos nos ha llevado adquirir.

REFERENCIAS

- [1] Página web de la CAQ <http://www.opcw.org/sp/convenccion-sobre-las-armas-quimicas/>
- [2] [Matthew Meselson, Julian Perry "Libros de investigación y ciencia" Tomo "Armas nucleares", sección sobre armamento químico
- [3] [http://centrovirtual.imss.gob.mx/qbrn/archivos/Accidentes o atentados con armas químicas, bases para la atención sanitaria.pdf](http://centrovirtual.imss.gob.mx/qbrn/archivos/Accidentes_o_atentados_con_armas_químicas_bases_para_la_atención_sanitaria.pdf)
- [4] <http://zl.elsevier.es/es/revista/medicina-clinica-2/accidentes-o-atentados-armas-quimicasbases-atencion-13020915-articulos-especiales-2001!>
- [5] <http://redaccion.lamula.pe/2013/05/27/asi-se-vive-un-ataque-quimico-en-siria/tamaralasheras/>
- [6] Documental sobre la masacre de Ghouta <http://www.youtube.com/watch?v=O6gRRDFnzRw>
- [7] <http://cnnespanol.cnn.com/2013/12/10/la-organizacion-contra-las-armas-quimicas-recibe-el-nobel-de-la-paz/>
- [8] <http://elmanana.com.mx/noticia/7068/Aprueba-ONU-resolucion-para-eliminar-armas-quimicasen-Siria-.htm>



Nayra Luzardo Perdomo, estudiante de primero del grado de Biotecnología en la Universidad Pablo de Olavide.

Los Parques de Mayores: Análisis y Propuestas de intervención

Inmaculada Lopera Lucena

Resumen—El ejercicio y la actividad física aportan un gran beneficio en la salud y bienestar de los adultos mayores. Se propone un programa de entrenamiento combinado de 4 semanas de duración en el que se realizan ejercicios aeróbicos, de fuerza, equilibrio y rango de movilidad articular (ROM). Con dicho programa se observaron mejoras significativas en 2 de las 6 pruebas de la batería de condición física (*Senior Fitness Test*): levantarse y sentarse y ROM de hombro. De igual modo, se aumentó considerablemente el gasto calórico total.

Palabras Claves— Actividad Física, Ejercicio, Envejecimiento Activo, Parques geriátricos, Salud

Abstract— Exercise and physical activity provide a great benefit to the health and wellbeing of older adults. A combined training program of 4 weeks with aerobic exercises, strength, balance and range of movement (ROM) is proposed. With this program were observed significant improvements in 2 of the 6 tests of fitness battery (*Senior Fitness Test*): get up and sit back and shoulder ROM. Similarly, the total energy expenditure is significantly increased.

Keywords— Active Aging, Exercise, Geriatric parks, Health, Physical activity



1. INTRODUCCIÓN

El envejecimiento se ha convertido en uno de los principales problemas de la sociedad actual. Según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) en 2011, la edad media de la población española es de 41.5 años, habiendo aumentado de manera considerable en las últimas décadas. De igual modo, la esperanza de vida ha aumentado, desde los 77 años en 1991 a los 82 en 2011 [1]. Por este motivo, está cobrando gran importancia el “envejecimiento activo” [2].

1.1 Características de los adultos mayores

El envejecimiento es un proceso fisiológico natural y complejo que está influenciado por muchos factores, algunos de los cuales son modificables. Se caracteriza por la disminución de las capacidades funcionales y la alteración de la composición corporal, así como una disminución en el volumen y la intensidad de la actividad física (AF) y un aumento de enfermedades crónicas [3]. Es importante desarrollar intervenciones que puedan ser llevadas a cabo fácilmente y así contribuir al “envejecimiento exitoso” [4].

1.2 Beneficios del ejercicio y la AF en los adultos mayores

El ejercicio puede mitigar los efectos del envejecimiento sobre las funciones fisiológicas, la capacidad funcional y sus efectos asociados sobre la salud y el bienestar. La cantidad recomendada de AF disminuye el riesgo de muerte, impide el desarrollo de ciertos tipos de cáncer, reduce el riesgo de osteoporosis y aumenta la esperanza y la cali-

dad de vida. Los adultos mayores son capaces de realizar ejercicios aeróbicos o de fuerza y de adaptarse positivamente al entrenamiento físico [3], [4], [5].

1.3 Recomendaciones de ejercicio y AF para adultos mayores

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la AF para los adultos mayores de 65 años consiste en la práctica de ejercicio durante el tiempo libre, actividades ocupacionales, tareas domésticas, juegos, deportes o ejercicios programados, en el contexto de las actividades diarias, familiares y comunitarias.

1.3.1 Ejercicios de Resistencia

Se recomienda AF de intensidad moderada (5-6 en la *escala de Borg*) entre 30-60 min/día en sesiones de mínimo 10 min para un total de 150-300 min/semana. En cuanto a la AF física intensa (7-8 Borg), se recomienda un mínimo de 20/30 min/día para un total de 75/150 min/semana. La intensidad será medida a través de la *escala de percepción subjetiva de Borg* (0-10), $VO_{2máx}$ o METs. Se realizará cualquier tipo de ejercicio de bajo impacto articular: andar...

1.3.2 Ejercicios de Fuerza

Frecuencia al menos 2 días/semana de intensidad entre moderada (5-6 en una escala de 0-10) y vigorosa (7-8) o $>60\%RM$. Se recomienda un programa progresivo de entrenamiento con pesas realizando 10-12 repeticiones de entre 8-10 ejercicios de grandes grupos musculares.

1.3.3 Ejercicios de ROM

Frecuencia de al menos 2 días/semana a una intensidad moderada (5-6 en la *escala de Borg*). Cualquier tipo de ejercicio que mantenga o incremente el ROM con estiramien-

tos sostenidos para cada grupo muscular y movimientos estáticos.

1.3.4 Ejercicios de Equilibrio

1. Posturas de dificultad progresiva que disminuyan progresivamente la base de apoyo.
2. Movimientos dinámicos que perturben el centro de gravedad (caminar en tándem, gritos circulares, etc).
3. Destacar los grupos musculares principales.
4. Reducción de la entrada sensorial.

1.4 Parques geriátricos

Llamados *circuitos biosaludables*, son espacios verdes compuestos por diferentes aparatos para ejercitar distintos grupos musculares. Uno de sus incentivos principales, es que fomenta las relaciones sociales y el entretenimiento. Además, permiten trabajar la fuerza muscular, la coordinación y el ROM, así como mejorar la función respiratoria y cardiovascular entre otros [6].

1.4.1 Equipamiento

- Máquinas de tren superior (fig. 1)
- Máquinas de tren inferior
- Máquinas de tronco
- Máquinas de cuerpo completo



Fig. 1. Izquierda: máquina de tronco; Centro: máquina de tren inferior; Derecha: máquina de tren superior [7].

1.5 Objetivos

- Conocer el efecto de una intervención de ejercicio saludable de 4 semanas de duración, sobre la salud y calidad de vida de adultos mayores
- Conocer las consecuencias de 4 semanas de intervención sobre el IMC y la condición física de los adultos mayores.
- Conocer los resultados sobre el gasto energético semanal y la frecuencia de actividades durante 4 semanas de intervención en los adultos mayores.

2. INTERVENCIÓN

2.2 Metodología

2.2.1 Participantes

La muestra seleccionada para este ensayo fueron 10 adultos mayores seleccionados por conveniencia. Las localidades provenientes fueron Palma del Río y Lora del Río, provincia de Córdoba y Sevilla respectivamente.

Los criterios de inclusión en el estudio, se atuvieron preferentemente a: sujetos sanos, constatando un informe médico de aptitud física para ello; que fuesen sedentarios y de edades comprendidas entre 65 y 85 años.

De los 10 individuos seleccionados por su edad, 2 fueron excluidos. Finalmente fueron 8 los voluntarios (3 hombres y 5 mujeres) de 74.75 ± 6.51 años, los que iniciaron el programa.

2.2.2 Instrumentos

- Historia médica

Antes de comenzar el programa se realizó un informe de elaboración propia (además del informe de aptitud física elaborado por el especialista).

- Índice de masa corporal (IMC)

Utilizamos la fórmula de Quételet, que consiste en dividir la masa corporal (kg) por la estatura² (m). Para medir la estatura se utilizó un tallímetro portátil SECA 214 (SECA Ltd., Hamburgo, Alemania) y para el peso, una báscula ASIMED (España).

Para el IMC, se utilizaron las medidas establecidas por la OMS para la población adulta: bajo peso, $IMC < 18.5 \text{ kg/m}^2$; peso normal, $18.5 \leq IMC < 25.0 \text{ kg/m}^2$; sobrepeso, $25.0 \leq IMC < 30.0$ y obesidad, $IMC \geq 30.0 \text{ kg/m}^2$.

- "WHOQOL-BREF"

La calidad de vida se midió a través del *World Health Organization Quality of Life – BREF* (WHOQOL-BREF), cuestionario genérico de calidad de vida validado para personas mayores en España [8].

- Cuestionario CHAMPS

El *Community Healthy Activities Model Program for Seniors* (CHAMPS), es un cuestionario específico para las personas mayores y nos da información sobre las actividades realizadas en las últimas 4 semanas. Una vez interpretado, nos proporciona de forma aproximada, el gasto calórico diario [9].

- *Senior Fitness Test*

Para valorar la condición física se utilizó el *Senior Fitness Test*, elaborado por Rikli y Jones [10]. Consta de 7 pruebas. Las pruebas son las siguientes: 1) levantarse y sentarse en una silla (durante 30 segundos); 2) flexiones completas de bíceps (30 segundos); 3) test de los 6 minutos andando y 4) caminar en el sitio elevando las rodillas (2 minutos) (elegir entre la prueba 3 o 4); 5) ROM de hombro; 6) ROM de tren inferior; 7) agilidad (levantarse de una silla, caminar y volver a sentarse).

- *Escala de Borg*

La intensidad de ejercicio se midió con la *escala de Borg* (0-10). Una escala de percepción subjetiva de fácil utilización [11].

2.2.3 Procedimientos

En el primer estadio se tomaron los datos para la historia médica y se distribuyeron los cuestionarios de actividad para personas mayores y calidad de vida. En la medición del peso y la talla, los sujetos estuvieron descalzos.

Para el desarrollo del *Senior Fitness Test*, se siguieron las indicaciones de Keith y Clark [12].

APLICACIÓN DEL PROGRAMA

Se realizó un entrenamiento de 4 semanas de duración que incluía trabajo de resistencia aeróbica, ROM, fuerza y equilibrio. La fuerza, equilibrio y ROM se trabajaban en

los *parques geriátricos*. Un día, el entrenamiento era personalmente supervisado; el resto, para asegurar la mayor adhesión y el cumplimiento o no del mismo, se realizaba por contacto telefónico. Se realizó una sesión de familiarización para evitar lesiones y se distribuyó un documento con la sesión de cada día en la que aparecía una *escala de Borg* (0-10) [11] en la que debían plasmar su sensación de esfuerzo tras cada sesión.

pos musculares. Al finalizar, se llevaba a cabo una vuelta a la calma con varios ejercicios de estiramientos pasivos. Los aparatos utilizados se rotaban cada semana, intentando que el entrenamiento fuera lo más completo posible.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó análisis descriptivo de datos y análisis de varianza ANOVA de medidas repetidas del Modelo Lineal General. Para las pruebas que no mostraron una distribución de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) se realizó análisis no paramétrico, más concretamente el test de Wilcoxon para dos muestras relacionadas. Se utilizaron como variables dependientes (VDs) el IMC, pruebas de condición física de la batería de Rikli y Jones, dimensiones de la calidad de vida del cuestionario WHOQOL-BREF y variables de gasto energético y frecuencia de actividades contempladas en el cuestionario de CHAMPS, y como variables independientes (VIs) el programa de AF. Para todos los análisis se utilizó el paquete informático SPSS 20.0 (Chicago, Illinois, Estados Unidos) y un nivel de significación del 95%.

2.3 Resultados y discusión

2.3.1 Análisis del IMC

El peso medio de la muestra en el pre-test fue de 72.91 ± 5.89 , mientras que en post-test, fue de 72.57 ± 6.02 . Estas mediciones no mostraron cambios significativos ($p = .077$). El IMC medio en el pre-test fue de $27.49 \pm 2.28 \text{kg/m}^2$ y de 27.27 ± 2.17 en el post-test. Mostró una leve disminución, pero el cambio no fue significativo ($p = .080$). En ambos casos, el IMC denota sobrepeso en la muestra de estudio $> 25.5 \leq 30 \text{kg/m}^2$.

Estos resultados son similares a estudios de 10 y 32 semanas de entrenamiento aeróbico y de fuerza [13], [14]. Por el contrario, en estudios combinados de entrenamiento más dieta, se encuentran mejoras significativas en el IMC.

2.3.2 Análisis del SENIOR FITNESS TEST

Tras las 4 semanas de entrenamiento, los cambios fueron significativos produciéndose mejoras en la prueba de levantarse y sentarse ($p < .05$). También se obtuvo una mejora significativa en la prueba de ROM de hombro ($p < .05$). No se obtuvieron mejoras significativas en las pruebas de flexión de bíceps, test 2 minutos, ROM tren inferior y agilidad.

No se encontraron resultados similares a otros estudios debido posiblemente a la brevedad de nuestro programa. En estudios de 10 y 16 semanas, se observan mejoras significativas en todos los parámetros del test [13], [15], por el contrario, en programas de 32 semanas, se produjo una disminución del rendimiento [14].

2.3.3 Análisis del cuestionario WHOQOL-BREF

Nos da información sobre los cuatro dominios del cuestionario y las dos preguntas. En todos los casos, los cambios no son significativos ($p > .05$), aunque sí se observa-

Resumen de las 4 semanas del programa de entrenamiento

Tabla 1

	Semana 1 y 2				Semana 3				Semana 4			
	RA	ROM	F*	EQ*	RA	ROM	F	EQ	RA	ROM	F	EQ
Días	5	2	2	2	5	2	3	2	5	2	3	2
Intensidad	5-6	5-6	5-8	5-8	5-6	5-6	5-8	5-8	5-6	5-6	5-8	5-8
Ejercicios	caninar	4	8	2	caninar	4	8	2	caninar	4	10	3
Repeticiones	1	10	10	10/t	1	10	10	10/t	1	10	10	10/t
Descanso	0	60	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0
Tiempo	60	15/20	23	7	60	15/20	23	7	60	15/20	28	12
Tiempo total	60	15/20	30	30	60	15/20	30	30	60	15/20	40	40

Resistencia aeróbica=RA; amplitud de movimiento=ROM; fuerza=F; equilibrio=EQ

*Fuerza y equilibrio se trabajan dentro de una misma sesión.

En base a la evidencia científica existente, se elaboró el programa de entrenamiento (tabla 1) [3], [4], [5]. Cada día, al comenzar el entrenamiento de fuerza y equilibrio, se calentaba con movilidad articular de los grandes gru-

ron mejoras del pre al post- test en los dominios físico, psicológico, relaciones sociales, entorno y calidad de vida general.

Debido a la brevedad de nuestro programa, no encontramos mejoras significativas, que sí aparecen en multitud de estudios de similares características con una duración más prolongada [17], [18].

2.3.4 Análisis del cuestionario CHAMPS

Los datos de los 8 participantes fueron analizados para determinar la evolución del gasto calórico y frecuencia de actividades a través del cuestionario CHAMPS. Se obtuvieron cambios significativos ($p < .05$), en el gasto calórico de actividades totales, así como el gasto calórico de actividades >3 MET. Los cambios en la frecuencia de actividades también fueron significativos ($p < .05$), tanto en el total de actividades, como en las actividades >3 MET.

Estos resultados coinciden con los encontrados en otros estudios de mayor duración [9].

2.4 Conclusiones

Con la propuesta de 4 semanas de entrenamiento para adultos mayores, se observaron mejoras significativas en 2 de las 6 pruebas de la batería de condición física (*Senior Fitness Test*): levantarse y sentarse y ROM de hombro. Los adultos mayores participantes en el programa, aumentaron significativamente su gasto calórico total, así como su gasto calórico en actividades >3 MET. Por el contrario, parece no tener efectos significativos sobre la salud y calidad de vida. Tampoco se observó disminución significativa en el IMC.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a la revista MoleQla y al Dr. Alberto Grao Cruces, responsable de MoleQla Deporte, la invitación para publicar el presente trabajo.

También me gustaría agradecer a todos los participantes del estudio, por su compromiso y dedicación.

REFERENCIAS

- [1] Web del INE. Instituto Nacional de Estadística. Evolución de la esperanza de vida en los españoles, 2011. http://www.ine.es/inebmenu/mnu_cifraspob.htm
- [2] Organización Mundial de la Salud, *Recomendaciones mundiales sobre actividad física para la salud*. Geneva: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 2010.
- [3] Wojtek, J. et al. "Exercise and Physical Activity for Older Adults. Position Stand: ACSM", *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 41, no. 8, pp. 1510-1530, Jul 2009, doi: 10.1249/MSS.0b013e3181a0c95c.
- [4] Gremaux et al., "Exercise and longevity", *Maturitas*, vol. 73, no. 4, pp. 312-317, Dec 2012, doi: 10.1016/j.maturitas.2012.09.012.
- [5] American College of Sports Medicine, *Manual de Consulta para el Control y la Prescripción de Ejercicio*. Editorial Paidotribo, 2008.
- [6] Hernández, E., "Estudio de los circuitos biosaludables para la tercera edad en España", *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, vol. 9, no. 33, pp. 25-38, mar 2009.

[7] 1ª Edición de "Actividades en Parques para Mayores, Ejercicios aconsejados y desaconsejados", con el apoyo de la Consejería de Turismo, Comercio y Deporte de la Junta de Andalucía (CTCDJA).

[8] Lucas-Carrasco, R., Laidlaw, K., & Power, M. J., "Suitability of the WHOQOL-BREF and WHOQOL-OLD for Spanish older adults", *Aging & Mental Health*, vol. 15, no. 5, pp. 595-604, Jul 2011, doi: 10.1080/13607863.2010.548054.

[9] Stewart, A. L., Mills, K. M., King, A. C., Haskell, W. L., Gillis, D., & Ritter, P. L., "CHAMPS physical activity questionnaire for older adults: outcomes for interventions", *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 33, no. 7, 1126-1141, Jul 2001, doi: 10.1080/13607863.2010.548054.

[10] Rikli, R. E., & Jones, C. J., *Senior fitness test manual*, Champaign, IL: Human Kinetics, 2013.

[11] Borg, G. A. V., "Psychophysical bases of perceived exertion", *Medicine & Science in sports & exercise*, vol. 14, no. 5, pp. 377-381, 1982.

[12] Keith, N. R., Stump, T. E., & Clark, D. O., "Developing a self-reported physical fitness survey", *Medicine and science in sports and exercise*, vol. 44, no. 7, pp. 1388-1394, Jul 2012, doi: 10.1249/MSS.0b013e31824bdc35.

[13] Martins, R. A., Neves, A. P., Coelho-Silva, M. J., Veríssimo, M. T., & Teixeira, A. M., "The effect of aerobic versus strength-based training on high-sensitivity C-reactive protein in older adults", *European journal of applied physiology*, vol. 110, no. 1, pp. 161-169, Sep 2010, doi: 10.1007/s00421-010-1488-5.

[14] Bates, A., Donaldson, A., Lloyd, B., Castell, S., Krolik, P., & Coleman, R., "Staying active, staying strong: pilot evaluation of a once-weekly, community-based strength-training program for older adults", *Health Promotion Journal of Australia*, vol. 20, no. 1, pp. 42-47, Apr 2009.

[15] Seguin, R. A., Heidkamp-Young, E., Kuder, J., & Nelson, M. E., "Improved physical fitness among older female participants in a nationally disseminated, community-based exercise program", *Health Education & Behavior*, vol. 39, no. 2, pp. 183-190, Jan 2012, doi: 10.1177/1090198111426768.

[17] Fox, K. R., Stathi, A., McKenna, J., & Davis, M.G., "Physical activity and mental well-being in older people participating in the Better Ageing Project", *European Journal Applied Physiology*, vol. 100, no. 5, pp. 591-602, Jul 2007.

[18] Herman, K. M., Hopman, W. M., VanDenKerkhof, E. G., & Rosenberg, M. W., "Physical activity, body mass index, and health-related quality of life in Canadian adults", *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 44, no. 4, pp. 625-636, Apr 2012, doi: 10.1249/MSS.0b013e31823a90ae.

Inmaculada Lopera Lucena

Graduada en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte por la Universidad Pablo de Olavide (2009/2013).



La seguridad del equipamiento deportivo en las instalaciones deportivas municipales de Sevilla

David Blanco Luengo, María Rosario Teva Villén

Resumen—La seguridad en las instalaciones deportivas de todo el territorio nacional es algo que preocupa a las personas encargadas de su gestión, por ello existen diferentes instrumentos que facilitan la evaluación de los equipamientos deportivos, como medida preventiva de futuros accidentes, ya que algunos de ellos tienen desenlaces fatales. Por ello, el presente documento tiene por objeto realizar un análisis del equipamiento deportivo correspondiente a las instalaciones municipales de Sevilla. Para ello utilizaremos los instrumentos (check-list sobre la normativa UNE-EN) empleados en el proyecto de Mejora y Armonización de Instalaciones Deportivas (en adelante MAID), liderado por el Instituto de Biomecánica de Valencia y el Consejo Superior de Deportes.

Palabras Claves— Seguridad, Instalaciones Deportivas, Equipamientos Deportivos, normativa, accidentes deportivos

Abstract—Safety in sports facilities throughout the country is something that concerns the people responsible for their management, so there are different instruments that facilitate the evaluation of sports equipment, as a preventive measure for future accidents as some of them have a tragic outcome. Therefore, this paper aims to make an analysis of the relevant local facilities of Sevilla sports equipment. We will use the tools (check-list on the UNE-EN) employed in the MAID project led by the Institute of Biomechanics of Valencia and the Sports Council.

Keywords— Security, Sports facilities, Sports Equipment, regulations, sports accidents



1. INTRODUCCIÓN

La infraestructura deportiva adquiere una especial importancia en los diferentes espacios deportivos municipales. Los espacios considerados como deportivos, desde las zonas de juego hasta los más reglamentados, son los que posibilitan que la actividad física discorra unida al desarrollo del individuo [1], independientemente de si se desarrollan en un espacio situado en un centro escolar [2], municipal, etc. La organización del espacio, así como la dotación y disposición de los materiales son tareas fundamentales para construir el ambiente de aprendizaje [3].

En este sentido, los servicios deportivos municipales colaboran con la comunidad en el desarrollo de actividades y programas deportivos donde, para su práctica no sólo es necesario el espacio deportivo propiamente, sino también la presencia del equipamiento asociado.

Sin embargo cada año, siempre en más ocasiones de las deseables, se difunden noticias de accidentes en centros docentes o municipales con resultados más o menos graves, como consecuencia de una mala seguridad o accesibilidad de las instalaciones deportivas.

Actualmente la seguridad cobra mayor valor, abarcando no sólo el ámbito personal, sino también el material. Por ello, la prestación de un servicio deportivo que busque el bienestar de la persona, tiene que tener en cuenta nece-

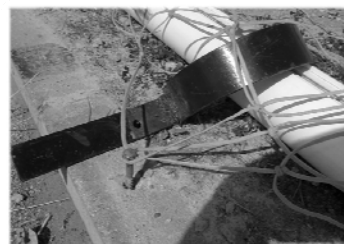


Fig. 1. Estado de la seguridad de un sistema antivuelco

sariamente la seguridad [4]. Según Durá [5] se hace necesario por tanto que la normativa existente, que actualmente no es de obligado cumplimiento, cobre este reconocimiento, ya que sólo es de carácter prescriptivo cuando la administración competente las haga obligatorias mediante ley, Decreto, Reglamentos o exija su cumplimiento en los pliegos de prescripciones técnicas".

Por ello, esta investigación pretende analizar la seguridad, atendiendo a criterios establecidos por la normativa vigente, la cual no es de obligado cumplimiento. Dicho de otra manera, se pretende estudiar la realidad de la ciudad de Sevilla, en un intento de hacer conscientes del problema a las autoridades pertinentes y conseguir que se produzca algún cambio positivo en ella.

David Blanco Luengo. Facultad de Deporte, Universidad Pablo de Olavide. dblalu@upo.es.

María Rosario Teva Villén. Facultad de Deporte, Universidad Pablo de Olavide. rteva@upo.es

2. METODOLOGÍA

2.1. Planteamiento del problema

Enmarcado dentro de una metodología cuantitativa, con carácter descriptivo, donde la investigación se realiza sobre estudios de campo a través de la observación directa, utilizando como instrumento una hoja de observación extraídas de los test de control para la seguridad de los equipamientos deportivos, del manual de seguridad en instalaciones deportivas del Consejo Superior de Deportes [6].

Los objetivos perseguidos por dicho estudio son los siguientes:

1. Medir el grado de cumplimiento de la normativa existente en función de las normativas UNE-EN de los diferentes equipamientos analizados (UNE-EN 1270:2005; UNE EN 749:2004; UNE-EN 748:2004; UNE EN 1510:2004; UNE-EN 1271:2004).
2. Conocer la existencia de diferencias sobre el cumplimiento de la normativa de los equipamientos deportivos, en función del distrito sevillano.

2.2. Características de la población y muestra

El trabajo de observación se desarrolla en el ámbito de las instalaciones deportivas municipales de Sevilla. Ante las diferentes fórmulas de gestión de instalaciones deportivas adoptadas en la ciudad, se decide centrar el estudio en la totalidad de instalaciones gestionadas de manera directa por el Instituto Municipal de Deportes de Sevilla (IMD) ($n=15$), considerando que los datos resultantes tendrán un alto índice de representatividad.

TABLA 1
RELACIÓN DE INSTALACIONES DEPORTIVAS Y DISTRITOS SEVILLANOS

Distrito	Nº Instalaciones Deportivas (gestión directa)
Este - Torreblanca - Alcosa	2
Cerro - Amate	2
Hytasa - Sur- Bellavista - La Palmera	5
Nervión - San Pablo - Santa Justa	1
Triana - Los Remedios - C. Antiguo	4
Macarena - Macarena Norte	1
TOTAL	15

3. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Cumplimiento del total de la norma

Al observar detenidamente la *Tabla 2*, se puede apreciar que la modalidad deportiva que más se acerca al 100% de la consecución de su correspondiente norma, es la de balonmano/fútbol sala, quedándose esta 40 puntos por debajo del objetivo perseguido. Las cuatro modalidades restantes obtienen resultados similares.

TABLA 2
PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO TOTAL DE LA NORMATIVA

Modalidad Deportiva	Porcentaje Rango Promedio
Baloncesto	56,89%
Balonmano/ fútbol sala	60,40%
Fútbol	56,17%
Voleibol	54,00%
Tenis	53,40%

Por otro lado, se pretende conocer el comportamiento de esta variable en los diferentes distritos, así se estudiará de todos los porcentajes estudiados cuál corresponde al total por distrito.

Los valores expresados en la *Figura 2*, acercan la realidad de esta variable en cada distrito en que está dividida la ciudad de Sevilla. Entre ellos, el mejor situado sería el de Triana-Los Remedios-Casco Antiguo con un 63,4%, valor en realidad bastante alejado del perseguido. Preocupante son los datos obtenidos en los distritos de Macarena (27,67%) y Cerro-Amate (36,66%).

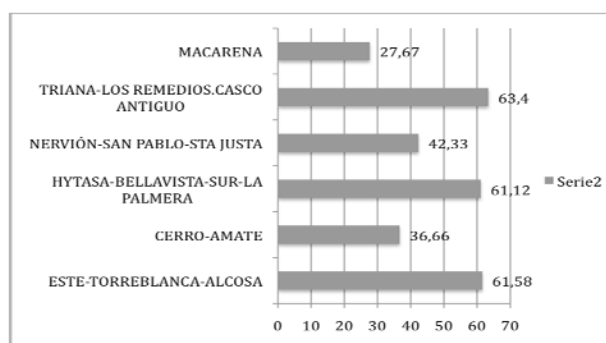


Fig. 2. Porcentaje consecución aspectos totales según distrito.

4. DISCUSIÓN

Se considera importante un análisis exhaustivo de las instalaciones y el material bajo el criterio de seguridad e higiene. Los datos obtenidos al respecto en esta investigación reflejan el bajo grado de cumplimiento de la normativa existente en relación a la seguridad del equipamiento deportivo de las instalaciones deportivas de Sevilla, lo que hace necesaria una discusión detallada y contrastada.

4.1. Incumplimiento de la normativa existente

En materia de equipamientos deportivos, la normalización a nivel nacional y Europeo se encuentra a cargo de las normas UNE. Las normas españolas "UNE", son elaboradas por AENOR a través de sus Comités Técnicos de Normalización (CTN).

Dichas normas recogen los aspectos de mayor relevancia para la seguridad del equipamiento, tratando desde la

disposición del etiquetado de normativa, la ausencia de aristas, la estabilidad de éstas, los sistemas que garantizan dicha estabilidad, el almohadillado de las estructuras para minimizar el efecto del posible impacto, etc.

Publicado el MAID [7], con el objetivo claro de reunir toda la normativa técnica que pueda servir de guía y así ser asumida por toda organización pública y privada titular de instalaciones deportivas, no existe pretexto alguno para que sigan apareciendo lugares donde no se cumplen dichas normas al 100%. Estapé y González [8] apunta que es necesario en relación a la seguridad pasiva, observar, revisar, e inventariar el estado de conservación de los diferentes espacios y materiales de las instalaciones deportivas, de la ciudad de Sevilla.

4.2. Influencia del distrito sevillano donde se ubica la instalación deportiva en la seguridad de la misma.

Sigfried y Zimbalist [9] tratan la influencia del contexto socioeconómico del contexto donde se ubican las Instalaciones Deportivas, en la seguridad de las mismas.

De la misma forma, la Universidad de Cádiz, [10] publica un estudio sobre el nivel socioeconómico de diversas zonas de Andalucía y su relación con los asentamientos inmigrantes en la comunidad. Dicho estudio, aporta datos significativos para nuestra investigación, colocando el distrito de Amate y Macarena entre aquellos con nivel socioeconómico más bajo y por ello, preferidos por la población inmigrante. Esto provoca la existencia de una relación entre los distritos con nivel socioeconómico más desfavorecidos, y la obtención de los niveles de cumplimiento de la seguridad más bajos. Los datos obtenidos son poco esperanzadores.

5. CONCLUSIONES

Se pueden establecer como conclusiones del estudio las siguientes:

- La ciudad de Sevilla no estaría incluida entre las ciudades que a la hora de proporcionarles las necesidades básicas de seguridad a sus equipamientos deportivos llegan a cumplir el 100% de la normativa existente.
- La mayoría de los equipamientos deportivos objetivo de estudio presentan carencias en cuanto a los requerimientos de seguridad.
- Existe una diferencia significativa entre la seguridad de equipamientos ubicados en unos u otros distritos sevillanos.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todas aquellas personas que se han visto implicadas, directa o indirectamente, en la realización de esta investigación y en especial a todo el personal de instalaciones del IMD de Sevilla, por el cariño mostrado.

REFERENCIAS

- [1] E. López-Moyá, y M. Estapé. "El aula de EF en la enseñanza primaria". *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, n° 2, pp. 1-20, 2002.
- [2] M.S. Lucio, "Calidad y seguridad de las instalaciones y el material deportivo en los centros de Educación Secundaria y Bachillerato de la provincia de Málaga", Universidad de Málaga, 2003.
- [3] J. Blandéz, *La utilización del material y del espacio en Educación Física. Propuestas y recursos didáctico*, Editorial INDE, 1995.
- [4] J.L., Gomez-Calvo, *Manual para la gestión de la seguridad en Instalaciones y Actividades deportivas*, Editorial Opade, 2007.
- [5] J.V. Durá, "Situación del equipamiento deportivo instalado en la Comunidad de Murcia con relación a los criterios técnicos establecidos en las normativas técnicas europeas". *Revista Biomecánica*, n° 26, pp. 17-20, 2000.
- [6] CSD/IBV. *Seguridad en instalaciones deportivas*. Madrid, Ed: Consejo Superior de Deportes e Instituto de Biomecánica de Valencia, 2010.
- [7] CSD/IBV. "Mejora y armonización de las instalaciones deportivas españolas: El proyecto MAID." *Revista Instalaciones Deportivas XXI*, n° 153, pp. 26-32, 2008.
- [8] E. Estapé, y González M.J., "Análisis de la implantación espacial de los equipamientos deportivos en la Comunidad Autónoma de Castilla y León", Universidad de León, 1995.
- [9] J. Sigfried., y A. Zimbalist, "The economics of sports facilities and their communities". *Journal of Economics Perspectives*, n°14(3), pp.95-114, 2000.
- [10] Universidad de Cádiz, "El nivel socioeconómico de Andalucía y su relación con los asentamientos inmigrantes en la comunidad", 2002.



David Blanco Luengo recibió el título de Licenciado en Ciencias de la Actividad física y del Deporte por la Universidad Pablo de Olavide en 2010, y de Máster en Dirección y Gestión de Entidades Deportivas en 2011 por la Universidad Católica San Antonio de Murcia. Ha participado como PSI en la Universidad Pablo de Olavide para las asignaturas de Planificación, Promoción y Dirección de Eventos Deportivos y Equipamientos e Instalaciones Deportivas. Actualmente coordina el Máster en Dirección Técnica de Actividades e Instalaciones Deportivas en dicha universidad. Cargo que compagina con el de Adjunto de Dirección en la entidad CGD E-Learning Center SL. Su interés investigador gira entorno a la gestión deportiva, donde ha firmado varias publicaciones con el grupo SEJ 046 "Análisis de la Actividad Física".



María Rosario Teva Villén, Doctora por la Universidad Pablo de Olavide, con mención Europea y Cum Laude. MBA en Gestión Empresarial por la EOI de Madrid y Licenciada en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte por la Universidad de Granada. Conocimientos que aplica como fundadora de la Empresa andaluza CGD E-Learning Center S.L. Profesora Asociada durante más de 7 años en la Universidad Pablo de Olavide. Miembro del grupo de investigación SEJ 046 "Análisis de la Actividad Física". Autora de varios libros y artículos científicos. Actualmente co-dirige el Máster Propio en Dirección Técnica en Actividades e Instalaciones Deportivas, de la Universidad Pablo de Olavide, actividad que también compatibiliza con la docencia y con su cargo como Responsable del Área de Actividades del SADUS. Cabe añadir que fue jugadora de hockey, deporte donde llegó a vestir la elástica nacional.

Primeros auxilios contra la muerte súbita durante el deporte

Eva María García Gómez

Resumen— La muerte súbita durante la práctica del deporte es un evento raro pero siempre dramático. Para incrementar la tasa de supervivencia tras eventos de esta índole, urge formar en primeros auxilios y resucitación cardiopulmonar a las personas que suelen estar cerca del deportista en el momento de un paro cardíaco repentino. En el presente trabajo se detalla el protocolo a seguir ante un caso de muerte súbita en un deportista adulto.

Palabras Claves— Cardiopatía, Desfibrilación cardíaca, Emergencia, Resucitación cardiopulmonar, Socorrismo.

Abstract— Sudden death during the sport practice is a rare but always dramatic event. To increase the survival rate after these events, it is urgent to train in first aids and cardiopulmonary resuscitation to people who are usually near of the sportsperson at the time of sudden cardiac arrest. In this paper, we detail the protocol to be followed in a case of sudden death in an adult sportsperson.

Keywords— Cardiac defibrillation, Cardiopathy, Cardiopulmonary resuscitation, Emergency, Lifesaving.



1. INTRODUCCIÓN

Existe suficiente evidencia científica que demuestra los efectos beneficiosos de la práctica regular de actividad física sobre la salud, incluyendo la salud cardiovascular. No obstante, con relativa frecuencia los medios de comunicación se hacen eco de muertes súbitas producidas en personas que estaban realizando deporte. Es cierto que la muerte súbita durante la práctica deportiva no es para nada común, y supone un pequeño porcentaje de los casos de muertes súbita [1]. Pero el sobreesfuerzo puede ser un factor de riesgo añadido que podría desencadenar en una muerte súbita [2]. Cuando este evento ocurre supone una tragedia devastadora para la familia, pero también alarmante para los profesionales del deporte y la población en general [3].

En España, la mayoría de las muertes súbitas que acontecen durante la práctica del deporte ocurren en la población general, personas que practica deporte de forma recreativa [4]. Entre 1995 y 2010 se registraron 8862 muertes súbitas en nuestro país, de ellas 168 fueron muertes súbitas desencadenadas durante la práctica deportiva. Dentro de las muertes súbitas relacionadas con el deporte en dicho periodo, el 29% ocurrieron en practicantes de ciclismo, 25.5% de fútbol, 8.9% en corredores y el 6.5 de gimnasia, como deportes con mayor incidencia de este evento [4]. Si bien es cierto que el porcentaje de población que practica una u otra modalidad deportiva supone un sesgo importante a la hora de relacionar incidencias de muerte súbita y un deporte en concreto.

En relación a las principales causas de muerte súbita, se debe hacer hincapié en que la práctica del deporte parece ser un detonante de paro cardíaco, un factor de ries-

go más en estos eventos, pero no es el causante. Entre las principales causas de paro cardíaco súbito en España durante el deporte se encuentran la enfermedad coronaria aterosclerótica (especialmente en sujetos que sobrepasan la treintena), miocardiopatía arritmogénica, cardiomiopatía hipertrófica, hipertrofia ventricular izquierda idiopática, anomalías coronarias congénitas, miocarditis y estenosis aórtica, entre otras [3]. Aunque las condiciones cardíacas parecen ser la principal causa de muerte súbita en el deporte, también cabe destacar que la muerte en el deporte también pueden acontecer por lesiones en la cabeza, en el cuello, golpes de calor, formación de células falciformes por el esfuerzo, asma y otros factores como diabetes [5]. En gran parte de las muertes súbitas registradas estas causas fueron asintomáticas [3].

Por esta razón, las pruebas diagnósticas son especialmente importantes y se ha propuesto que vayan más allá de la historia médica y el examen físico [3]. La mejor estrategia para combatir la muerte súbita en el deporte parece ser una combinación sinérgica de la prevención primaria, mediante la identificación previa a la participación de los deportistas afectados por el riesgo de miocardiopatías, y la prevención secundaria, con los primeros auxilios una vez producido el paro cardíaco repentino [3]. Conocer y aplicar las técnicas de resucitación cardiopulmonar y uso del desfibrilador semiautomático mientras llegan la asistencia sanitaria de emergencia resulta vital para revertir una muerte súbita [1], [5], [6].

Por lo tanto, urge formar a los entrenadores y técnicos deportivos, educadores físicos y otras personas que suelen estar presentes en el momento del paro cardíaco repentino, para que actúen de forma adecuada ante este evento [5]. Base a lo anterior, el objetivo que pretende el presente artículo es mostrar el protocolo de aplicación de

los primeros auxilios ante un caso de muerte súbita en deportistas adultos.

2. REANIMACIÓN CARDIOPULMONAR EN DEPORTISTAS ADULTOS

El presente apartado ha sido desarrollado, en su inmensa mayoría, tomando como base las directrices internacionales establecidas por la *American Heart Association* (AHA) [7], cuya última actualización data de 2010. Es importante informar al autor de que, con motivo de los continuos avances médicos, estas recomendaciones de reanimación cardiopulmonar (RCP) son actualizadas periódicamente. Por ello, es recomendable que se revisen las últimas modificaciones si el presente artículo se lee cierto tiempo tras su publicación.

Así mismo, cabe puntualizar que la RCP en niños y lactantes conlleva un protocolo específico, que no es objeto de este trabajo al no ser sujetos de riesgo a la hora de sufrir un paro cardíaco súbito durante la práctica deportiva.

2.1. Secuencia de actuación

Ante un posible caso de parada cardíaca en la práctica deportiva el protocolo de actuación siempre debe de ser el siguiente: Proteger, Avisar, Socorrer (PAS). El primer paso sería proteger al deportista. Existen deportes donde este paso se percibe más necesario que en otros, por ejemplo, en ciclismo en carretera vs en atletismo en pista. Sin embargo, las personas que acudan a prestar auxilio siempre deberán de garantizar que el deportista se encuentra en un lugar seguro y que ellos no se exponen a ningún riesgo considerable a la hora de proporcionar los primeros auxilios.

Seguidamente se pedirá ayuda a las personas cercanas. Si se confirmase la emergencia podrían ser estas personas quienes avisasen a los servicios sanitarios mientras se socorre de manera paralela. De requerir activar el sistema de respuesta de emergencia, el número 061 es el recomendable si sólo se precisa de asistencia sanitaria, mientras que el 112 es el más adecuado cuando se necesita coordinar distintos cuerpos de seguridad. Ambos números de teléfono son válidos para emergencias en España, sólo el 112 en el extranjero.

El último eslabón de esta secuencia es socorrer. Lo primero a la hora de socorrer es evaluar los signos vitales:

- **¿Responde?:** Hacer preguntas simples a la vez que se le golpea ligeramente el hombro o se le zarandeo un poco. Si no responde nos indica que está en estado de inconsciencia.
- **¿Respira?:** Tumbado boca arriba se coloca la mejilla del socorrista delante de la nariz del paciente, a la par que se observa el pecho en búsqueda de signos de respiración. Si respira se coloca en posición lateral de seguridad, en observación a la espera de la llegada de asistencia sanitaria. En caso de que no respirase o no lo hiciese de forma normal (jadea/bloquea), se comienza directamente con la RCP, no sin antes informar de ello a los servicios

de emergencia y que alguien vaya en búsqueda del desfibrilador más cercano. Un cambio que se

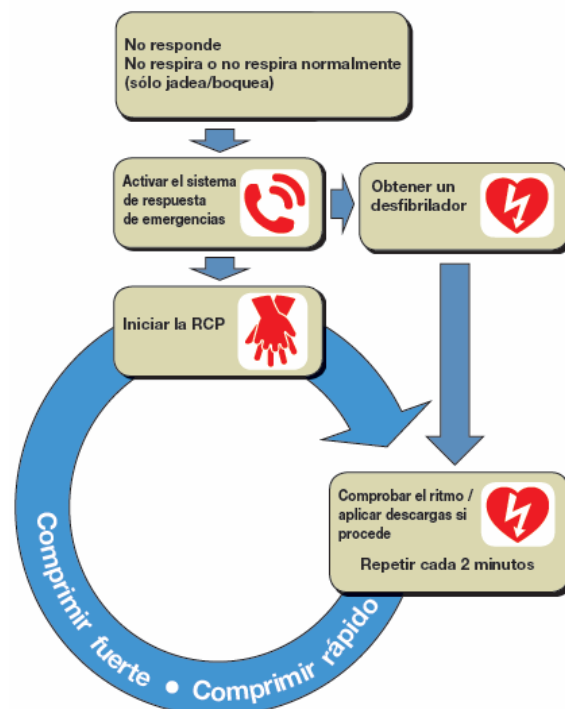


Fig. 1. Protocolo de soporte vital básico en adultos [7]

ha introducido recientemente fue precisamente el comenzar la RCP si el paciente no respira, sin abrir las vías aéreas y volver a comprobar la respiración.

En la Figura 1 se ilustra de manera esquemática la secuencia de actuación ante un paro cardíaco repentino.

2.2. Reanimación Cardipulmonar manual

Al hilo de lo que se comentó en el apartado anterior. El protocolo de la RCP ha sufrido cambios considerables en los últimos años. Uno de ellos es el orden de actuación: 1º) Compresiones, 2º) abrir vías aéreas, 3º) ventilaciones. Esto es debido a que las últimas evidencias científicas indican que se ha de poner énfasis en las compresiones torácicas, por encima de la ventilación. Con este cambio de orden se inician las compresiones torácicas antes de dar ventilación alguna. Por tanto, el reanimador debe comenzar la RCP con 30 compresiones y proseguir con dos ventilaciones, así sucesivamente hasta la llegada de los servicios de emergencia.

No sólo es imprescindible aplicar una RCP lo más inmediatamente posible a la parada cardíaca, sino que la RCP ha de ser de alta calidad. Para ello la AHA [7] hace hincapié en las siguientes cuestiones a la hora de aplicar el masaje cardíaco:

1. Frecuencia de compresión en el masaje cardíaco de al menos 100 por minuto
2. Profundidad de las compresiones de al menos 5cm en adultos
3. Permitir una expansión torácica completa después de cada compresión

4. Reducir al mínimo las interrupciones de las compresiones
5. Evitar una excesiva ventilación

En la Figura 2 se puede observar la colocación del reanimador mientras aplica las compresiones torácicas. Es importante añadir que los brazos han de caer de arriba-abajo sobre la mitad o tercio inferior del esternón, sin inclinación ni doblar los codos. Esto se facilita con la postura lateral al paciente y la colocación de rodillas.

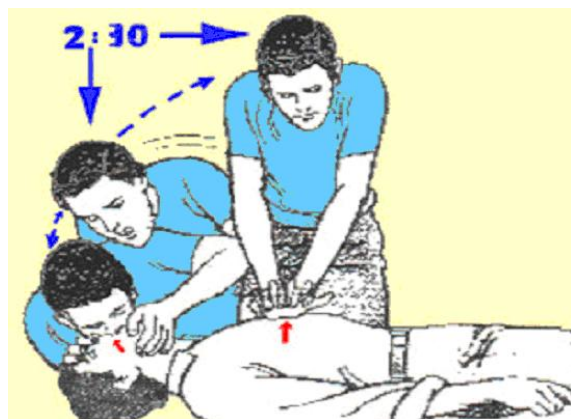


Fig. 2. Colocación durante una reanimación cardiopulmonar

Es imprescindible que las vías aéreas estén bien abiertas a la hora de realizar las ventilaciones. Para ello se recomienda realizar la maniobra frente-mentón. Esta maniobra hiperextiende la columna cervical del paciente, empujando hacia atrás con una mano colocada en la frente y otra en el mentón del sujeto. Igual de importante es que el reanimador selle la boca del paciente con la suya y cierre la nariz con sus dedos (Figura 2).

2.3. Desfibrilación semiautomática externa

El desfibrilador semiautomático está cada vez más presente en lugares con gran afluencia de público, incluido las instalaciones deportivas. Aunque aún estamos muy lejos de países como los Estados Unidos de América, donde las políticas de salud pública a este respecto parecen estar bastante más avanzadas que en España. La importancia de la desfibrilación radica en que es el único tratamiento eficaz para revertir una parada cardíaca, ¡el único! Con la RCP manual sólo retardamos la llamada "cadena de la muerte", o lo que es lo mismo, prolongamos el tiempo durante el cual el sujeto puede ser resucitado mediante una desfibrilación. Se habla de unos pocos minutos, con mayores secuelas conforme avanza el tiempo.

El presente trabajo no profundizará en el uso del desfibrilador semiautomático por una razón fundamentalmente: en la Comunidad Autónoma Andaluza se requiere de un curso específico para poder hacer uso de este instrumento. Aspecto que se puede compartir o no, pero en todo caso escapa al alcance de esta autora.

No obstante, este instrumento es muy fácil de utilizar: tras encender el desfibrilador y colocarlo como se indica en la Figura 3, te va indicando las instrucciones a seguir. Además, en todo momento con ausencia de riesgo para el reanimador, al ser imposible que se aplique la descarga mientras se está en contacto con el paciente.



Fig. 3. Colocación de electrodos del desfibrilador semiautomático

3. CONCLUSIONES

Ante una parada cardíaca repentina durante la práctica deportiva, se debe avisar a los servicios de emergencia y aplicar una RCP de calidad: 1º) 30 masajes cardíacos a un ritmo de, al menos, 100/minuto y 5cm de profundidad; 2º) apertura de vías aéreas, 3º) dos ventilaciones. Ciclo que sólo estaría justificado interrumpir para hacer uso del desfibrilador semiautomático, si se dispone de él, antes de la llegada de los servicios de emergencia.

AGRADECIMIENTOS

La autora desea mostrar su agradecimiento a todas aquellas personas que día tras día le ayudan a ser mejor profesional de la enfermería. Así como a sus "compañeros de fatiga" del mundo del deporte en general, y del atletismo en particular. Espera que este trabajo les resulte interesante y que no tengan necesidad de ponerlo nunca en práctica.

REFERENCIAS

- [1] R. Brion, "Sport-related sudden death and its prevention," *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, vol. 194, no. 7, pp. 1237-1245, Oct 2010.
- [2] A. Pelliccia, D. P. Zipes, B. J. Maron, "Bethesda Conference #36 and the European Society of Cardiology Consensus Recommendations revisited a comparison of U.S. and European criteria for eligibility and disqualification of competitive athletes with cardiovascular abnormalities," *Journal of the American College of Cardiology*, vol. 52, no. 24, pp. 1990-1996, Dic 2008.
- [3] D. Corrado, J. Drezner, C. Basso, A. Pelliccia, G. Thiene, "Strategies for the prevention of sudden cardiac death during

- sports," *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, vol. 18, no. 2, pp. 197-208. Abr 2011.
- [4] M. P. Suarez-Mier, B. Aguilera, R. M. Mosquera, M. S. Sanchez-de-Leon, "Pathology of sudden death during recreational sports in Spain," *Forensic Science International*, vol. 226, no. 1-3, pp. 188-196. Mar 2013.
- [5] D. J. Casa, K. M. Guskiewicz, S. A. Anderson, R. W. Courson, J. F. Heck, C. C. Jiménez, B. P. McDermott, M. G. Miller, R. L. Stearns, E. E. Swartz, K. M. Walsh, "National Athletic Trainers' Association position statement: Preventing sudden death in sports," *Journal of Athletic Training*, vol. 47, no. 1, pp. 96-118.
- [6] E. Marijon, W. Bougouin, D. S. Celermajer, M. C. Perier, N. Benameur, L. Lamhaut, N. Karam, F. Dumas, M. Tafflet, C. Prugger, H. Mustafic, J. P. Rifler, M. Desnos, J. Y. Le Heuzey, C. M. Spaulding, P. Avillach, A. Cariou, J. P. Empana, X. Jouven. "Major regional disparities in outcomes after sudden cardiac arrest during sports," *European Heart Journal*, vol. 34, no. 47, pp. 3632-3640, Ago 2013.
- [7] American Heart Association, "Aspectos destacados de las guías de la American Heart Association de 2010 para RCP y ACE" *American Heart Association*, http://www.heart.org/idc/groups/heart-public/@wcm/@ecc/documents/downloadable/ucm_317346.pdf. 2010.



Eva María García Gómez recibió el título de Diplomada en Enfermería por la Universidad de Sevilla en 2001. Formación académica que aún sigue ampliando con los siguientes Máster en el área de la Enfermería: Máster en Urgencias y Emergencias Sanitarias (2008), Máster en Acupuntura y Máster en Farmacoterapia (ambos en curso). Desde 2006 trabaja como enfermera en la Consejería de Salud de la Junta de

Andalucía. A nivel deportivo, se dedicó a la alta competición en atletismo durante 20 años. Actualmente sigue ligada al mundo del deporte como atleta aficionada y colaborando en diferentes actividades para promover los hábitos activos y saludables.

Accidente nuclear, Fukushima Daiichi (marzo de 2014)

Carlos Sánchez Casimiro-Soriguer

Resumen— El terremoto producido en marzo de 2011, con epicentro a pocos Kilómetros de las costas de Japón, y el subsiguiente tsunami que originó, provocaron un grave accidente en la Central Nuclear Fukushima Daiichi originando explosiones de hidrógeno y fusiones del núcleo en varios de los reactores de la central. Se liberaron grandes cantidades de radiación al medio ambiente, siendo los más peligrosos, por su capacidad de dispersión y actividad química, el Cs¹³⁷, I¹³¹ y Xe¹³³. El mar recibió aproximadamente el 80% de la radiación liberada, el restante 20% fue liberado a la atmósfera depositándose en las cercanías de Fukushima principalmente y alcanzando en pocos días Norte América y Europa.

Palabras Claves— Fukushima, Radioactividad, Nuclear, Contaminación, Cesio, Yodo, Xenon.

1. INTRODUCCIÓN

El 11 de marzo de 2011 se produjo un terremoto de magnitud 9.0 en las cercanías de la costa de la Prefectura Miyagi, Japón. Como consecuencia de este terremoto se originó un tsunami de aproximadamente 15 metros afectando seriamente a la central nuclear Fukushima Daiichi donde se liberó al medio ambiente grandes cantidades de material radiactivo.

Los reactores con los que funciona esta central nuclear son del tipo BWR (Boiling Water Reactor). Como su nombre indica, estos reactores nucleares generan calor que es utilizado para producir vapor de agua que se emplea para accionar una turbina donde se produce electricidad. Una vez utilizado, este vapor de agua se enfría pasando a estado líquido mediante un intercambiador de calor que emplea agua del mar.

De forma general, el accidente fue debido a que el terremoto provocó la rotura de la línea que suministraba electricidad a la planta y 50 minutos después el tsunami destruyó los generadores diesel de emergencia y las bombas de agua salada que suministraban agua para la refrigeración del sistema. Esta falta de refrigeración provocó un sobre calentamiento en los reactores nucleares llevando a la fusión del combustible nuclear presente núcleo de alguno de los reactores, que causó brechas en los diferentes compartimentos del reactor liberando el material radiactivo.

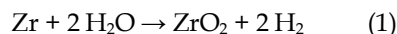
Además, el accidente se vio agravado a causa de varias explosiones de hidrógeno. Este hidrógeno se produjo durante el sobrecalentamiento del núcleo del reactor, que posteriormente fue liberado a los compartimentos interiores del edificio donde al entrar en contacto con el oxígeno estalló [1].

2. ORIGEN DE LAS EXPLOSIONES DE HIDRÓGENO

Los reactores de Fukushima Daiichi utilizan como combustible pellets cerámicos de Uranio²³⁵ enriquecido en forma de óxido de uranio (UO₂). Estos pellets que tie-

nen un tamaño menor de un cm son introducidos y apilados de forma longitudinal en el interior de unas vainas resistentes a la corrosión que están fabricadas mediante una aleación de circonio [2].

Estas vainas de circonio al alcanzar los 1200 °C reaccionan rápidamente con el vapor de agua produciendo una gran cantidad de hidrógeno (1) que fue lo que provocó las explosiones [3].



3. REACCIÓN Y PRODUCCIÓN DE FISIÓN

Durante el proceso de fisión del uranio²³⁵ un neutrón incide en el núcleo de uranio²³⁵ el cual se divide en dos fragmentos a la vez que liberan 2 o 3 neutrones que al chocar con otros núcleos provocarán sus fisiones, creando una reacción en cadena. El porcentaje de producción de estos productos de fisión varía según su peso atómico, teniendo dos picos de producción en el rango entre 80 y 110 (criptón, estroncio, molibdeno, etc.) y entre los 120 y 155 (yodo, xenón, cesio, bario, etc.) [2].

Estos productos de fisión se pueden clasificar en 5 grupos según su volatilidad y actividad química: 1) Productos de fisión volátiles incluidos gases nobles, 2) Semivolátiles, 3) Productos de fisión de baja volatilidad, 4) no volátiles, 5) Actinidos. Dentro del grupo de los volátiles y gases nobles se encuentran el yodo¹³¹, el cesio¹³⁷ y el xenón¹³³, que como se ha dicho anteriormente se producen abundantemente durante el proceso de fisión del uranio. Además, estos isótopos son inestables y sufren procesos de decaimiento en los cuales emiten energía en forma de radiación beta y gamma. Esto, unido a que tienen una actividad química fuerte, una vida media relativamente corta (excepto para el cesio¹²⁷ que es de 30,07 años) y que se dispersan fácilmente en el medio ambiente, hace que sean considerados los más importantes en términos de consecuencias radiológicas [4].

A temperaturas normales de operación en el núcleo del reactor (~315 °C) estos productos de fisión se mantienen dentro de los pellets de óxido de uranio pero, durante

procesos de sobrecalentamiento, cuando la temperatura alcanza aproximadamente los 1650 °C, alrededor del 50% de la cantidad total del Cs¹³⁷, I¹³¹ y Xe¹³³ es liberada fuera de los pellets de óxido de uranio y aproximadamente el 100% es liberado durante la fusión del núcleo al alcanzar los 2350 °C. Por lo tanto, durante el accidente ocurrido en Fukushima, entre el 50 y el 100% del total de isótopos presentes en los pellets de uranio fueron liberados dentro de diferentes compartimentos del reactor, parte de los cuales fueron vertidos al medio ambiente al intentar enfriar los reactores con agua de mar y al producirse brechas en los compartimentos del reactor debido al aumento de la presión, temperatura y a las explosiones de hidrógeno [5].

4. LIBERACIÓN DE RADIOACTIVIDAD AL MAR

Una vez que se reestableció la capacidad de refrigeración, se bombeó agua al interior de los núcleos de los reactores dañados. Este agua entró en contacto con el combustible contaminado y arrastrando isótopos radioactivos solubles en agua como el Cs¹³⁷ y el I¹³¹. Al no ser posible la recirculación, debido a los daños provocados por el accidente, este agua altamente contaminada tenía que ser almacenada. Una vez alcanzado el límite máximo de almacenamiento de la central se tuvieron que liberar al mar alrededor de 9000 m³ de agua contaminada con una radioactividad aproximada de 57 × 10¹⁰ Bq (1 Bequerel = 1 desintegración por segundo). Esto supuso alrededor del 80% de la radiación liberada al medio ambiente. En el caso del Cs¹³⁷ esto supuso la liberación al mar del 16% del Cs¹³⁷ producido en el núcleo [3].

5. LIBERACIÓN DE RADIOACTIVIDAD A LA ATMÓSFERA

Una vez que las brechas en los cascos de protección del reactor fueron provocadas por el accidente, los gases nobles como el Xe¹³³ y los productos de fisión volátiles como el Cs¹³⁷ y el I¹³¹ fueron liberados a la atmósfera en forma de gas y aerosoles. En el caso del Xe¹³³, esto supuso la liberación aproximada del 100% del total presente en los núcleos de los reactores afectados. Además hay que sumar el Xe¹³³ producido por el decaimiento del I¹³³ que se estima que supuso hasta un 59% más.

En el caso del Cs¹³⁷ el % estimado liberado está entre un 1,2 y un 6,6 % del total presente en los núcleos afectados y para el I¹³¹ se calculó que se liberó entre un 1,1 y un 7,7% del total presente en los núcleos afectados.

En total en masa se estima que se liberaron a la atmósfera entre 0.85 y 2.7 kg de Xe¹³³, 0.015 y 0.11 kg de I¹³¹ y entre 2.9 y 6.6 kg de Cs¹³⁷ lo que supone una radiación entre 0.60 y 1.90 × 10¹⁹ Bq para el Xe¹³³, entre 0.7 y 5.0 × 10¹⁷ Bq para el I¹³¹ y entre 1.0 y 5.0 × 10¹⁶ Bq para el Cs¹³⁷ [3].

6. CARACTERÍSTICAS DE TRANSPORTE Y DEPOSICIÓN

Por un lado, los gases nobles como el Xe no son solubles en agua y no reaccionan con otras especies por lo que no se depositan en el suelo. El Cs tiene una baja volatilidad por lo que reacciona rápidamente con partículas aé-

reas formando aerosoles siendo altamente susceptible de ser arrastrado por la lluvia y depositado en el suelo. El I principalmente se encuentra en forma de gas, generalmente se encuentra un 80% en este estado y el resto en forma de aerosoles de tal forma que al permanecer principalmente en forma gaseosa es transportado con mayor facilidad y a mayor distancia por las corrientes de aire, aunque también se ve afectado por las lluvias siendo depositado en el suelo [3][6].

Una vez depositados estos isótopos radioactivos en el suelo, se ha observado que la máxima concentración de I y Cs se encuentra en la superficie, decreciendo exponencialmente la concentración conforme profundizamos en el suelo, encontrando aproximadamente el 70% del Cs y I en los primeros 2 cm y el 90% en los primeros 5 cm [7].

7. RADIOACTIVIDAD EN JAPÓN

Debido al accidente se evacuó a la población que se encontraba a menos de 20 km de la central nuclear de Fukushima y se ordenó a las personas que se encontraban entre los 20 y los 30 km que se quedaran en sus casas o se les sugirió que evacuaran la zona.

En caso de emergencia la exposición máxima recomendada a la radioactividad se encuentra entre los 20 y los 200 mSv según la ICRP (International Commission on Radiological Protection) y según la IAEA (International Atomic Energy Agency) el máximo de radiación que puede tener un suelo no puede ser ≥ 40 kBq/m² ya que esto supondría que una persona que viva en esa zona recibiría una dosis de radiación de 1 mSv/año.

Hasta una distancia de más de 30 Km de la central de Fukushima, en forma de pluma orientada hacia el noreste, se han encontrado niveles de radiación en el suelo, para el Cs¹³⁷, de 3000 kBq/m² lo que supone para las personas que vivan en esa zona una exposición a la radiación de 75 mSv solamente durante el primer año. Esto es debido a las grandes emisiones de radiación emitidas a la atmósfera, la dirección del viento durante estas emisiones y a las precipitaciones en fechas posteriores al accidente [3].

8. RADIOACTIVIDAD EN EL OCEANO ATLÁNTICO

Antes del accidente los niveles de radioactividad en el agua de mar debida al Cs¹³⁷ estaban entre 1 y 3 Bq/m³. Después del accidente se midieron las concentraciones de radioactividad de Cs¹³⁷ en el agua de mar en un radio de 30 km desde la central. Se obtuvieron datos de 104 Bq/m³ a 30 km de la central y a 500 m de esta se obtuvieron datos de 6,8 × 10⁷ Bq/m³ [8].

Debido a la dispersión producida por las corrientes oceánicas y la dilución, se espera que los niveles de radiación lleguen hasta los 10 Bq/m³ en dos años y alcancen niveles similares a los anteriores al accidente en los siguientes 4 o 7 años [3].

9. RADIOACTIVIDAD EN EL MUNDO

La radioactividad emitida a la atmósfera en Fukushima se dispersó y depositó por todo el mundo, principalmente en el hemisferio norte. Las primeras concentraciones altas de Cs¹³⁷ llegaron a la costa oeste de Norte América el 17 de marzo de 2011 y para Europa las primeras

masas con concentraciones pobre de Cs¹³⁷ llegaron el 22 de marzo.

Excepto en las cercanías de Fukushima, en el resto del hemisferio norte no se alcanzó el límite establecido de 40 kBq/m² de contaminación del suelo [3].

10. CONCLUSIONES

Durante el accidente producido en la Central Nuclear de Fukushima Daiichi se liberaron cantidades, en términos de masa, relativamente pequeñas, con valores máximos estimados de 0.11 kg para el I¹³¹, 2.7 kg para el Xe¹³³ y 17 kg para el Cs¹³⁷. A pesar de ello, esto supuso la liberación de grandes cantidades de radioactividad, teniendo muy graves consecuencias a nivel local y afectando de forma general a todo el planeta.

Las consecuencias de este tipo de accidentes no conocen fronteras llegando a alcanzar en pocos días una escala global.

A día de hoy no se conocen los efectos a largo plazo de la exposición a niveles bajos de radiación en la población, aunque se prevee un aumento en las poblaciones cercanas a la central nuclear. Los artículos tendrán un tamaño limitado entre una y tres páginas; incluyendo título, resumen, cuerpo del artículo, tablas, figuras y referencias.

REFERENCIAS

- [1] M. Baba, "Fukushima accident: What happened?" *Radiat.Measur.*, vol. 55, pp. 17-21, 2013
- [2] L.T. Dauer, P. Zanzonico, R.M. Tuttle, D.M. Quinn and H.W. Strauss, "The japanese tsunami and resulting nuclear emergency at the fukushima daiichi power facility: Technical, radiologic, and response perspectives," *J.Nucl.Med.*, vol. 52, no. 9, pp. 1423-1432, 2011
- [3] Y. Koo, Y. Yang and K. Song, "Radioactivity release from the fukushima accident and its consequences: A review," *Prog.Nuclear Energy*, vol. 74, pp. 61-70, 2014
- [4] B. Grambow and C. Poinssot, "Interactions between nuclear fuel and water at the fukushima daiichi reactors," *Elements*, vol. 8, no. 3, pp. 213-219, 2012
- [5] Y. Pontillon, G. Ducros and P. Malgouyres, "Behaviour of fission products under severe PWR accident conditions VER-CORS experimental programme – Part 1: General description of the programme," *Nucl.Eng.Des.*, vol. 240, no. 7, pp. 1843-1852, 2010
- [6] O. Masson, A. Baeza, J. Bieringer, K. Brudecki, S. Bucci, M. Cappai, F. Carvalho, O. Connan, C. Cosma and A. Dalheimer, "Tracking of airborne radionuclides from the damaged fukushima dai-ichi nuclear reactors by european networks," *Environ.Sci.Technol.*, vol. 45, no. 18, pp. 7670-7677, 2011
- [7] H. Kato, Y. Onda and M. Teramage, "Depth distribution of 137Cs, 134Cs and 131I in soil profile after fukushima dai-ichi nuclear power plant accident," *J.Environ.Radioact.*, vol. 111, pp. 59-64, 2012
- [8] P. Bailly du Bois, P. Laguionie, D. Boust, I. Korsakissok, D. Didier and B. Fiévet, "Estimation of marine source-term following fukushima dai-ichi accident," *J.Environ.Radioact.*, vol. 114, pp. 2-9, 2012



Carlos Sánchez Casimiro-Soriguer recibió el título de Licenciado en Biología por la Universidad de Córdoba en 2005. Desde 2006 hasta 2013 fue Técnico Superior en Tragsatec. Actualmente es estudiante de la Universidad Pablo de Olavide, en donde está realizando el Máster en Bio-tecnología Ambiental, Alimentaria e Industrial.

Grafeno, descontaminación de aguas residuales

(Junio 2014)

José Ángel Amaya-Herruzo

Resumen— Durante años se han intentado resolver los problemas generados en el tratamiento de las aguas residuales debido a la acción de agentes contaminantes como los ácidos grasos, foaming, diversidad de tóxicos y microorganismos. Para solventarlos, se han dirigido las investigaciones al uso de compuestos químicos como el grafeno y sus derivados (familia del grafito). Los resultados evidencian que el grafeno contribuye óptimamente a la eliminación de los diferentes compuestos tóxicos presentes en las aguas residuales. En este artículo serán mencionadas algunas de las investigaciones más interesantes e importantes en cuanto al uso del grafeno y los mecanismos que se han empleado para mejorar la asimilación de tóxicos.

Palabras Claves— Grafeno, aguas residuales, contaminación, EDAR



1. INTRODUCCIÓN

El aumento demográfico ha traído en paralelo consecuencias importantes para el medio ambiente. Se estima que la población humana ha crecido durante el último milenio en un 2,5% [1], y con ello un incremento proporcional en los residuos urbanos. Por cada día, una persona genera una media de 1,8 kg de desperdicios y si a esto se suma lo que producen las industrias, las cifras disparan las estadísticas ambientales de contaminación. En este contexto la preocupación de los ambientólogos y ecologistas cada vez es mayor en su afán de conservar los recursos naturales, reducir la contaminación y mejorar la vida urbana.

Las aguas residuales pueden llegar a representar una seria amenaza de contaminación hídrica en el caso de ser indebidamente tratadas, por ello las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), juegan un papel muy importante en la mejora de las características de calidad del agua. Dentro de los compuestos químicos que llegan a las EDAR se encuentran muchos metales pesados, ciclohexanos, benzoicos, materia orgánica, tintes, compuestos fenólicos, pesticidas o nitrosaminas [2]. Normalmente, a esta agua se le realiza un tratamiento biológico para la degradación de dichos compuestos, pero actualmente se están ahondando nuevas tecnologías que puedan sustituir el proceso, tal es el caso del grafeno, un material con múltiples aplicaciones.

1.1 CARACTERÍSTICAS DEL GRAFENO

El grafeno está fabricado con láminas de carbono de una sola capa atómica con hibridación sp² y con una es-

tructura espacial similar al de un panal de abejas [3]. Tiene una amplia área de superficie que le proporciona características electro-químicas, mecánicas y físicas llamativas a los ojos de la comunidad científica e ingeniera [4]-[5].

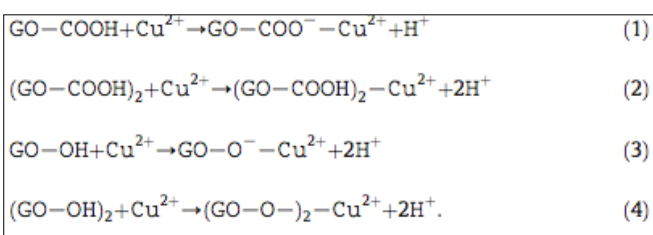
Se pueden distinguir tres tipos de grafenos: el óxido de grafeno (GO), óxido de grafeno reducido (RGO) y por último capas de óxido de grafeno (FGO) [6]. Estos materiales tienen óptimas características para realizar la adsorción y eliminación de contaminantes como la materia orgánica y metales pesados que se encuentran en las aguas residuales.

Los resultados que apoyan el uso del grafeno en el proceso de descontaminación, señalan que este material tiene afinidad por sustancias tóxicas como el azul de metileno, la rodamina B la violeta de metileno, o el naranja de metilo que se encuentran en los tintes [7], dicha afinidad es explicada por el grupo de Zhao et al., quienes concluyen que bajo condiciones de temperatura y pH controladas existe una interacción entre las cargas iónicas de los tintes y las características de la superficie del grafeno. Cuando el grafeno adsorbe alguno de estos componentes se produce un aumento simultáneo del pH y de las fuerzas iónicas. Concretamente, se ha reportado una mejora de retención de los contaminantes con un pH entre 4.0 a 9.0 y a una temperatura entre los 25 a 30°C [8].

1.2 GRAFENO Y LOS METALES PESADOS

En cuanto a los metales pesados, es clara su importante contribución contaminante en las aguas residuales, las concentraciones de mercurio (Hg), Zinc (Zn), cobre (Cu), plata (Pt), hierro (Fe), cadmio (Cd) y plomo (Pb) han incrementado como consecuencia de las actividades reali-

zadas por el hombre, especialmente en la industria automovilística, petroquímica, refinerías, en la fabricación de pinturas, la minería, los pesticidas y los fertilizantes [9]-[12], de hecho algunos países como China y Estados Unidos de America (USA), se destacan por los numerosos problemas con los metales pesados, un ejemplo alarmante son las 15,000 Tns de Hg generadas cada año [13]. Este tipo de escenarios han conllevado a investigar el uso del grafeno como adsorbente de metales pesados, por ejemplo Wu et al., se centraron específicamente en la eliminación del cobre (II) por medio del GO. Sus resultados mostraron una adsorción máxima de 117,5 mg g⁻¹ de Cu (II) a pH de 5,3 y temperatura ambiente. En la figura 1, se pue-



de observar la reacción existente entre la interacción de la superficie del grafeno y las cargas iónicas.

Figura 1. Ecuación donde se producen las diferentes reacciones químicas para dar lugar a la adsorción y eliminación del Cu (II) en una disolución acuosa a un pH de 5,3 y temperatura ambiente; el equilibrio se produce por los grupos de ácidos carboxílicos (-COOH-) y alcohol (-OH-).

Con este mismo metal se han intentado otras aproximaciones muy interesantes. Usando aerogel de grafeno; compuesto formado principalmente por un 90-95% de aire, con densidad de 0,16 mg/cm³ [14], se ha logrado eliminar Cu (II). Mi et al., encontraron que el metal se adsorbía tan sólo en 15 minutos de media, siendo el pH, las fuerzas de valencia y los cambios de electrones entre el compuesto adsorbido y el adsorbente, los factores que intervinieron en la reacción. Además de esto, se ha reportado que el Cu tiene una adsorción máxima de 17,73 mg g⁻¹ a una temperatura de 10°C y 29,59 mg g⁻¹ a 40°C [12].

La eliminación de otros metales pesados como el Pb (II) y Cd (II), ha sido probada con un producto derivado del grafeno. Se trata de una mezcla de 1-octil-3-metilimidazolio hexafluorofosfato (CP8) y hexafluorofosfato potasio (PF6), que junto a las nanopartículas de grafeno recibió el nombre de GNSCP8 y GNSPF6. Esta mezcla resultó eficaz al eliminar el Pb en un 34,38% y el Cd en un 24,75% usando el GNSCP8; sin embargo para el GNSPF6 los resultados fueron mucho mejores, con un 89,89% para el Pb y 53,60% para el Cd. En ambos casos el pH osciló entre 5,80 y 6,10 [15]. Otros grupos también han observado efectos positivos del grafeno en la eliminación otros metales pesados como uranio (U), mercurio (Hg), cromo (Cr), níquel (Ni) y selenio (Se) [16]-[19].

1.3 GRAFENO Y CONTAMINANTES ORGÁNICOS

Los contaminantes orgánicos son producidos por la

acción humana, son muy persistentes en el ambiente y son difíciles de degradar, sobre todo para los microorganismos. Su origen principalmente se debe a la combustión de los combustibles fósiles, actividad industrial, combustión de madera y carbón, pero también por los disolventes y pinturas. Los principales compuestos orgánicos son fenoles, aminas aromáticas, antibióticos, herbicidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos (PHA). Muchas de estas sustancias contribuyen a la contaminación hídrica y llaman la atención al manejo y tratamiento mediante el grafeno [20]-[22]. Para la remediación de los antibióticos en las aguas residuales, Tang et al., elaboraron un experimento con RGO/magnetita (RGO-M) para la adsorción de ciproflajacina (CIP) y norflojajacina (NOR). Estos medicamentos pertenecen a la familia de las fluoroquinolona, de uso en enfermedades e infecciones del tracto urinario. Esta investigación reveló que la RGO-M adsorbía CIP y NOR con facilidad. Las condiciones de pH en las que se encontraban las interacciones $\pi-\pi$, y las repulsiones electrostáticas con valores de 18,22 y 22,20 mg g⁻¹, fueron evaluados en el modelo de Langmuir y Temkin [19].

El tratamiento de las aguas residuales puede llevarse a cabo mediante técnicas físicas, químicas y biológicas (condiciones aerobias y anaerobias), pero los nuevos aportes en la investigación del grafeno, sugieren resultados positivos a la hora de usarlo como descontaminante. En la actualidad el proceso está en fase experimental, pero se espera poder llegar a emplear este compuesto para resolver los múltiples problemas de contaminación que se generan en las aguas residuales.

2. CONCLUSIONES

En los últimos años, el grafeno esta teniendo un papel protagonista en la descontaminación de las aguas residuales, sus características físico-química, eléctricas, lo hacen un material adecuado para la adsorción y eliminación de contaminantes presentes en las aguas. Aún así se deben seguir realizando estudios para mejorar los procesos de la adsorción como la afinidad a dichos contaminantes, las condiciones ambientales, termo-sensibilidad, conductividad, flexibilidad y biodegradación.

Los resultados observados en todos los experimentos mencionados son óptimos de cara al futuro en cuanto a la eliminación de los tóxicos que llegan a las aguas residuales, pero los costes de producción siguen siendo muy elevados, esto hace que la simulación real se este produciendo de forma más lenta. Por ello, se debe continuar investigando para encontrar la vía más rápida que haga disminuir los costes de producción y aumentar los valores de eliminación de tóxicos y contaminantes.

REFERENCIAS

- [1] "Población, total | Datos | Tabla." [Online]. Available: <http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL>. [Accessed: 04-Jun-2014].
- [2] M. Seredych and T. J. Bandoz, "Removal of ammonia by graphite oxide via its intercalation and reactive adsorption," Carbon N. Y., vol. 45, no. 10, pp. 2130-2132, Sep. 2007.

- [11] [3] A. A. Austin, E. F. Fitzgerald, C. I. Pantea, L. J. Gensburg, N. K. Kim, A. D. Stark, and S.-A. Hwang, "Reproductive outcomes among former Love Canal residents, Niagara Falls, New York," *Environ. Res.*, vol. 111, no. 5, pp. 693-701, Jul. 2011.
- [12] [4] S. M. Maliyekkal, T. S. Sreeprasad, D. Krishnan, S. Kouser, A. K. Mishra, U. V. Waghmare, and T. Pradeep, "Graphene: a reusable substrate for unprecedented adsorption of pesticides," *Small*, vol. 9, no. 2, pp. 273-83, Jan. 2013.
- [13] [5] L. Ai, C. Zhang, and Z. Chen, "Removal of methylene blue from aqueous solution by a solvothermal-synthesized graphene/magnetite composite," *J. Hazard. Mater.*, vol. 192, no. 3, pp. 1515-24, Sep. 2011.
- [14] [6] S. H. Ku and C. B. Park, "Myoblast differentiation on graphene oxide," *Biomaterials*, vol. 34, no. 8, pp. 2017-23, Mar. 2013.
- [15] [7] J. Zhao, W. Ren, and H.-M. Cheng, "Graphene sponge for efficient and repeatable adsorption and desorption of water contaminations," *J. Mater. Chem.*, vol. 22, no. 38, p. 20197, Sep. 2012.
- [16] [8] P. Sharma and M. R. Das, "Removal of a Cationic Dye from Aqueous Solution Using Graphene Oxide Nanosheets: Investigation of Adsorption Parameters," *J. Chem. Eng. Data*, vol. 58, no. 1, pp. 151-158, Jan. 2013.
- [17] [9] W. S. Wan Ngah and M. A. K. M. Hanafiah, "Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: a review," *Bioresour. Technol.*, vol. 99, no. 10, pp. 3935-48, Jul. 2008.
- [18] [10] M. Ahmaruzzaman and V. K. Gupta, "Rice Husk and Its Ash as Low-Cost Adsorbents in Water and Wastewater Treatment," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 50, no. 24, pp. 13589-13613, Dec. 2011.
- [19] [11] K. Vijayaraghavan, H. Y. N. Winnie, and R. Balasubramanian, "Biosorption characteristics of crab shell particles for the removal of manganese(II) and zinc(II) from aqueous solutions," *Desalination*, vol. 266, no. 1-3, pp. 195-200, Jan. 2011.
- [20] [12] D. Sud, G. Mahajan, and M. P. Kaur, "Agricultural waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions - a review," *Bioresour. Technol.*, vol. 99, no. 14, pp. 6017-27, Sep. 2008.
- [21] [13] Y. Zhang, J. Liu, Y. Zhou, T. Gong, J. Wang, and Y. Ge, "Enhanced phytoremediation of mixed heavy metal (mercury)-organic pollutants (trichloroethylene) with transgenic alfalfa co-expressing glutathione S-transferase and human P450 2E1," *J. Hazard. Mater.*, vol. 260, pp. 1100-7, Sep. 2013.
- [23] [14] X. Deng, L. Lü, H. Li, and F. Luo, "The adsorption properties of Pb(II) and Cd(II) on functionalized graphene prepared by electrolysis method," *J. Hazard. Mater.*, vol. 183, no. 1-3, pp. 923-30, Nov. 2010.
- [24] [15] P. Zong, S. Wang, Y. Zhao, H. Wang, H. Pan, and C. He, "Synthesis and application of magnetic graphene/iron oxides composite for the removal of U(VI) from aqueous solutions," *Chem. Eng. J.*, vol. 220, pp. 45-52, Mar. 2013.
- [25] [16] K. Zhang, V. Dwivedi, C. Chi, and J. Wu, "Graphene oxide/ferric hydroxide composites for efficient arsenate removal from drinking water," *J. Hazard. Mater.*, vol. 182, no. 1-3, pp. 162-8, Oct. 2010.
- [26] [17] X. Yuan, Y. Wang, J. Wang, C. Zhou, Q. Tang, and X. Rao, "Calcined graphene/MgAl-layered double hydroxides for enhanced Cr(VI) removal," *Chem. Eng. J.*, vol. 221, pp. 204-213, Apr. 2013.
- [27] [18] L. Hao, H. Song, L. Zhang, X. Wan, Y. Tang, and Y. Lv, "SiO₂/graphene composite for highly selective adsorption of Pb(II) ion," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 369, no. 1, pp. 381-7, Mar. 2012.
- [28] [19] M. Husain and Q. Husain, "Applications of Redox Mediators in the Treatment of Organic Pollutants by Using Oxidoreductive Enzymes: A Review," *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 38, no. 1, pp. 1-42, Dec. 2007.
- [29] [20] I. Michael, L. Rizzo, C. S. McArdell, C. M. Manaia, C. Merlin, T. Schwartz, C. Dagot, and D. Fatta-Kassinos, "Urban wastewater treatment plants as hotspots for the release of antibiotics in the environment: a review," *Water Res.*, vol. 47, no. 3, pp. 957-95, Mar. 2013.
- [30] [21] O. G. Apul, Q. Wang, Y. Zhou, and T. Karanfil, "Adsorption of aromatic organic contaminants by graphene nanosheets: comparison with carbon nanotubes and activated carbon," *Water Res.*, vol. 47, no. 4, pp. 1648-54, Mar. 2013.
- [31] [22] O. G. Apul, Q. Wang, Y. Zhou, and T. Karanfil, "Adsorption of aromatic organic contaminants by graphene nanosheets: comparison with carbon nano-tubes and activated carbon," *Water Res.*, vol. 47, no. 4, pp. 1648-54, Mar. 2013.



José Ángel Amaya-Herruzo recibió el título de Licenciado en Ciencias Ambientales en el año 2012 por la Universidad Pablo Olavide. Actualmente estoy cursando el Máster de Biotecnología Ambiental, Industrial y Alimentaria en la Universidad Pablo Olavide.

Acelerando la bioinformática mediante GPU

Gregorio L. Mármol Martínez

Resumen—El presente artículo trata la aplicación de la unidad de procesamiento gráfico, un dispositivo destinado al cómputo paralelo y masivo, en el procesamiento de datos biológicos para la posterior extracción de conocimiento.

Palabras Clave—Algoritmo, GPU, Bioinformática, Paralelización.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, todos disfrutamos de los grandes avances de la informática. Tanto los niños, como los adolescentes y los adultos han presenciado una aceleración del avance en el sector del ocio de la misma. Impulsado ferozmente por la industria de los video-juegos, la unidad de procesamiento gráfico utilizada tanto en dispositivos de entretenimiento como en ordenadores personales, se ha visto perfeccionada hasta el punto de que se aplican agrupaciones de ellas en grandes centros de cálculo y de investigación. ¿Cómo podría afectar esto a un amplio campo en desarrollo como lo es la bioinformática?

Abril, 2014

2. GRAPHICS PROCESSING UNIT (GPU)

Los orígenes de la GPU, acrónimo del inglés Graphics Processing Unit, se remontan a los procesadores vectoriales, la base de la mayoría de los supercomputadores de los años 80 y 90. Éstos proporcionaban un mecanismo para ejecutar operaciones matemáticas de manera simultánea sobre múltiples datos y suponía un gran avance frente a los procesadores escalares, los cuales sólo podían manejar un dato por vez.

Es lógico pensar que los procesadores vectoriales han influenciado directamente en el desarrollo de dichos dispositivos de procesamiento gráfico, pues su arquitectura resultó una idónea referencia. Sucintamente, son dos las premisas que infieren dicha conclusión.

1. En el proceso de renderización de gráficos, el cual se lleva a cabo en cualquier ordenador con pantalla, las imágenes toman de manera natural una representación matricial.
2. La realización de las mismas operaciones de cálculo sobre diferentes celdas de esta matriz. Por ejemplo para el cálculo de la refracción de la luz sobre un conjunto de puntos.

En la actualidad, la GPU presenta una mayor cantidad de núcleos o cores de procesamiento y de ancho de banda que el que una CPU puede aportar.

2.1. Comercialización y expansión

Actualmente existen dos grandes fabricantes: AMD y nVidia. La historia nos relata que esta última, nVidia, fue la primera que centró sus esfuerzos en abrir sus dispositivos al cómputo de propósito general, de modo que sus dispositivos no sólo ofrecerían su potencial de procesamiento paralelo a la renderización de gráficos.

Cual proverbio, da dos veces el que da con prontitud, la arquitectura CUDA (Compute Unified Device Architecture) de nVidia fue un éxito y pronto se estableció como estandar entre personal dedicado a la investigación. De hecho, la comunidad científica aún sigue mostrando un creciente interés en obtener beneficio de estas arquitecturas paralelas.

2.2. Arquitectura CUDA

La arquitectura CUDA de nVidia, está basada en un esquema propietario llamado SIMT (Single Instruction Multiple Threads). Éste permite que múltiples threads, hilos o hebras (la unidad de procesamiento más pequeña que puede ser planificada por un sistema operativo), que se ejecutan en una GPU, realicen una misma operación sobre diferentes datos en paralelo. CUDA es concretamente una extensión del lenguaje de programación C. Es decir, una herramienta para programadores. Además, CUDA distingue tres niveles de paralelismo: thread, block y grid, expuestos a continuación.

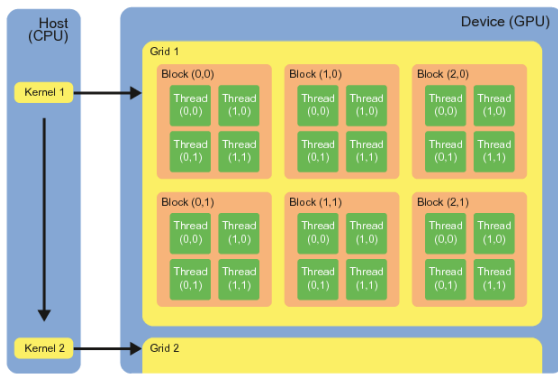


Figura 1. Función kernel vs Threads, blocks y grids

2.2.1. Funcionamiento general

El procesador principal o anfitrión (CPU) transmite a la GPU la invocación de una función kernel, que será la función a paralelizar, tras indicar el número de blocks y de threads (por block) que necesitaremos para su ejecución. A continuación se construye un grid con los blocks que contienen los threads que operan sobre el mismo kernel y se distribuye entre los multiprocesadores de la GPU. Los blocks son totalmente independientes entre ellos y el orden de ejecución de los mismos no es determinista. Además, cada block consta de un identificador, así como los threads que contiene. Es decir, cada thread está identificado únicamente. Asimismo, CUDA otorga a los threads de unos niveles de acceso a memoria:

- R/W Local Memory. Cada thread posee este espacio privado de memoria. En él pueden leer y escribir información. Está fuera del chip, en la tarjeta gráfica.
- R/W Shared Memory. Los threads que pertenecen a un mismo block comparten un espacio de memoria en el que pueden leer y escribir información. Éste es la Shared Memory. A diferencia de la Local Memory, esta memoria es compartida entre threads. Está ubicada dentro del chip (GPU).
- R/W Global Memory. Consiste en un espacio global de memoria al que cualquier elemento puede acceder bien para lectura o escritura de información. Está ubicada fuera del chip (en la tarjeta gráfica).
- Constant Memory. Es una pequeña memoria alojada dentro del chip de solo lectura cuyos datos son situados por la CPU antes de la ejecución del kernel. Consta de una velocidad de acceso similar a la de los registers. Es una caché que está ubicada dentro del chip (GPU).
- Texture Memory. Ésta memoria es rara vez utilizada en estos ámbitos pues, a pesar de que intenta suplir la funcionalidad de la Constant Memory, consta de dos niveles de acceso a datos que ofuscan la labor del programador. Es una

caché que está ubicada dentro del chip (GPU).

- Registers. Es el tipo más rápido de memoria que posee la GPU. Se aplica para almacenar datos intermedios de operaciones que serán utilizados con frecuencia. Está ubicada dentro del chip (GPU).

Hay que destacar que aunque la Shared Memory y los Registers son los más rápidos, son los que menos espacio disponen. En cambio, el resto de memorias ubicadas fuera del chip disponen de gran capacidad al coste de una mayor latencia de acceso a memoria. Conociendo que threads consecutivos de un mismo block son ejecutados en paralelo por un multiprocesador, los modelos colaborativos de acceso a memoria entre threads son una opción a tener en cuenta para compensar dicho coste.

No podemos olvidar que la CPU sigue interpretando un papel crucial, pues la GPU no puede acceder ni a la memoria principal ni a dispositivos externos. Consecuentemente, la CPU es la encargada de inicializar a la GPU, reservar memoria, transferir los datos y lanzar la ejecución de nuestro código en la GPU.

2.2.2. Reglas a tener en cuenta

Dadas las características mencionadas de la arquitectura de GPU, es conveniente destacar ciertas reglas que debemos plantear a la hora de pensar en inferir la paralelización de nuestro código.

1. ¿Justifica la complejidad de las operaciones realizadas por el algoritmo el coste del movimiento de los datos? Sería ideal que los datos estuviesen en todo momento en la GPU, algo difícilmente alcanzable.
2. ¿Resuelven estas operaciones datos que pueden ser obtenidos simultáneamente en paralelo? Sería ideal que la operación fuese la misma para multitud de datos diferentes.
3. ¿Las dificultades del algoritmo pueden ser desglosadas en otras más simples con independencia en el tiempo de su ejecución? Sería ideal que diferentes hilos resolviesen pequeños subproblemas locales para converger en conjunto a la solución del problema global.
4. ¿Los tipos de datos que necesito utilizar son apropiados a los patrones de acceso a memoria que necesito llevar a cabo? Es crítico tener en cuenta el tamaño en bits de los tipos de datos empleados.

3. APLICACIONES EN BIOINFORMÁTICA

A continuación veremos cómo los avances en procesadores masivamente paralelos (como lo es la GPU), también llamados procesadores manycore, ayudan a solucionar uno de los grandes problemas del campo.

3.1. Motivación

Como es sabido, el creciente volumen de información biológica aporta intrínsecamente un mayor conocimiento. Para la extracción de dicho conocimiento se requiere de unos medios que mucho tienen que ver con la computación. Sin embargo, la creciente tasa del volumen de información biológica implica un aumento en la complejidad de análisis, procesamiento y almacenamiento de dicha información.

Como consecuencia, al menos en lo que respecta a procesamiento y análisis, nos encontramos ante un cuello de botella, pues la eficiencia de las técnicas se mostraba incapaz de abordar el volumen de datos producido. Esto hace necesario el desarrollo de nuevas y mejores técnicas de análisis y comprensión de datos y, obviamente, herramientas que las empleen.

Hoy en día, las GPUs ponen al alcance de cualquier persona grandes potencias de cómputo a bajo coste (las GPUs de alto rendimiento no superan el coste de los 400€). Por ejemplo, una gráfica nVidia GTX 770 dispone de 1536 núcleos de procesamiento, cada uno funcionando a 1046 Mhz y, dependiendo del modelo, disponen de 2GB o más de memoria global y hasta 64 KB de memoria local.

La aplicación de su potencia de cálculo en el campo de la bioinformática es algo novedoso. Recientes paralelizaciones de algoritmos en GPU para el análisis de secuencias, han reportado incrementos de velocidad de hasta cien veces superior comparado con la versión original sobre un único núcleo de procesamiento. Seguidamente se detallan algunos casos de éxito.

3.2. Casos de éxito

Trataremos algunos de los casos de éxito más evidentes como la paralelización del algoritmo de alineamiento de secuencias de proteínas de Smith-Waterman, una implementación en GPU para la predicción de la estructura secundaria de ARN y por último en ámbitos de filogenia.

3.2.1. Alineamientos de secuencia de Smith-Waterman

El algoritmo de alineamientos de secuencia de Smith-Waterman[9] calcula alineamientos locales de secuencias mediante relaciones de recurrencia. Es decir, determina regiones similares entre dos secuencias de nucleótidos o de proteínas. Es un algoritmo que emplea la técnica de programación dinámica, permitiendo así encontrar el alineamiento local óptimo respecto a un sistema de puntuaje pre-establecido. En su versión original requería bastantes recursos de espacio y tiempo, ambos de $O(mn)$, siendo m y n las respectivas longitudes de las secuencias. Consecuentemente, en la práctica, BLAST resultó empleado como sustituto pues, aunque los alineamientos óptimos no están asegurados, es con diferencia más eficiente.

En 2009, Liu et al[3], lograron una implementación en GPU que ofrecía 16.8 GCUPS (millardos de actualizaciones de celdas por segundo) sobre la GPU de una tarjeta gráfica nVidia GTX 280 frente a los 3 GCUPS que en 2007 ofrecía un procesador Intel Xeon a 2.0 GHz (Farrar, 2007)[1]. Estos resultados se mostraban 5 y 100 veces superior, respectivamente, a la implementación original (Pearson y Lipman, 1988)[7]. Dicha implementación acelerada en GPU está publicada bajo el nombre de CUDASW++.

3.2.2. Predicción de estructura secundaria de ARN

Determinar el plegado del ARN es importante para el estudio de los ARN no codificadores. El algoritmo de Nussinov obtiene la estructura de ARN que contiene, a efectos de implementación, el mayor número de pares de bases (Nussinov et al, 1980)[5]. Sin embargo, los algoritmos que analizan completamente el plegado del ARN, como el modelo completo de Turner (Matthews et al, 1999)[4], realizan multitud de cálculos. Pues se basan en principios de minimización de la energía, zonas de apilado, bucles etc.

En 2009, Rizk y Lavenier[8] desarrollaron una implementación optimizada para GPU que lanzaba cálculos en paralelo según la compatibilidad de cada par de bases, siguiendo el modelo de programación dinámica y en paralelo.

Con ello, los autores fueron capaces de obtener un rendimiento 17 veces superior, empleando la GPU de una tarjeta gráfica nVidia GTX 280, frente al obtenido en la versión mononúcleo en un Intel Xeon a 2.66 GHz.

3.2.3. Filogenia

La filogenia estudia el desarrollo evolutivo de los organismos. Algunos métodos de análisis se basan en la inferencia estadística (como el análisis filogenético bayesiano) y pretenden, dado un árbol filogenético y un modelo de evolución, probar el parecido de un conjunto de secuencias. En 2009, Suchard y Rambaut[11] lograron una implementación sobre la GPU de una tarjeta gráfica nVidia GTX 280 capaz de obtener un rendimiento 60 veces superior al que ofrece la primera aplicación de inferencia filogenética basada en la maximización de semejanza (RAxML, Randomized Accelerated Maximum Likelihood, A. Stamatakis et al)[10].

4. CONCLUSIONES

Los procesadores manycore como la GPU ofrecen una gran cantidad de unidades de procesamiento a un bajo coste. El hecho de que sean por vez más frecuentes en los ordenadores personales permite explotar su poder sin coste extra. Las técnicas que los emplean tienen brutal impacto, sin embargo, estos algoritmos tienen que tener en cuenta las restricciones

impuestas por la arquitectura del procesador. A efectos de implementación tienen que ser nuevamente diseñados para su distribución entre los núcleos de procesamiento. Por contra, y a pesar de que la constante evolución de las GPU implica la continua modificación de las implementaciones de los algoritmos (con el fin de mantenerlos en el punto óptimo), las GPU han ampliado los horizontes en el análisis de datos biológicos.

Más aún, desde los puntos de vista biológico y bioinformático, dichos avances suponen un notorio apoyo (o revolución). Recordemos que contribuyen a la aceleración de problemas reales ligados a temáticas tan vitales como el tratamiento de enfermedades, en la que cualquier segundo es un segundo de vida.



Gregorio L. Marmol Martínez es alumno de 3er curso del Grado en Ingeniería Informática en Sistemas de Información, en la Universidad Pablo de Olavide. Finalizó sus estudios secundarios en el colegio Liceo Sagrado Corazón, bajo el itinerario de bachillerato científico-tecnológico. Entusiasta y autodidacta, subsana a diario su obsesión por aprender. Sueña con conseguir del mañana un mundo mejor para hoy.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Norberto Diaz-Diaz su especial atención y motivación que tanto nos transmite y la conducción hacia nosotros de la oportunidad de redactar para MoleQla. A la Escuela Politécnica Superior por otorgarnos la oportunidad de descubrir nuevos campos en la Ingeniería Informática. A la Universidad Pablo de Olavide por su genial atmósfera.

REFERENCIAS

- [1] Michael S. Farrar and Michael S. Farrar. Striped smith-waterman speeds database searches six times over other simd implementations. *Bioinformatics*, 23(2):156–161, 2007.
- [2] Lonnie R Welch Laura Elnitski, Helen Piontkivska. *Advances in genomic sequence analysis and pattern discovery*, volume 7. World Scientific, 2011.
- [3] Yongchao Liu, DouglasL Maskell, and Bertil Schmidt. Cudasw++: optimizing smith-waterman sequence database searches for cuda-enabled graphics processing units. *BMC Research Notes*, 2(1):1–10, 2009.
- [4] D H Mathews, J Sabina, M Zuker, and D H Turner. Expanded dependence of thermodynamic parameters improves prediction of rna secondary structure. *J Mol Biol*, 288(5):911–40, May 1999.
- [5] R Nussinov and R Nussinov. Fast algorithm for predicting the secondary structure of single-stranded rna. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 77(11):6309–6313, 1980.
- [6] Ruth Nussinov and Ruth Nussinov. Algorithms for loop matchings. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 35(1):68–82, 1978.
- [7] W R Pearson and D J Lipman. Improved tools for biological sequence comparison. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 85(8):2444–8, Apr 1988.
- [8] Guillaume Rizk and Dominique Lavenier. Gpu accelerated rna folding algorithm. In *Proceedings of the 9th International Conference on Computational Science: Part I, ICCS '09*, pages 1004–1013, Berlin, Heidelberg, 2009. Springer-Verlag.
- [9] Temple F.; Smith, Michael S. Waterman, Temple F.; Smith, and Michael S. Waterman. Identification of common molecular subsequences. *Journal of Molecular Biology*, 147(1):195–197, 1981.
- [10] Alexandros Stamatakis. Raxml version 8: A tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies. *Bioinformatics*, 2014.
- [11] Marc A. Suchard and Andrew Rambaut. Many-core algorithms for statistical phylogenetics. *Bioinformatics*, 25(11):1370–1376, 2009.

Química con luz propia al servicio forense

María Inmaculada Álamo Álvarez

Resumen— En películas y series de policías suelen aparecer técnicas y artefactos increíblemente sofisticados que ayudan a los protagonistas a resolver los casos. La mayoría son meras invenciones de los guionistas para desarrollar el argumento, pero una herramienta que puede parecer de lo más surrealista o extraña, una sustancia que revela restos de sangre en una superficie a pesar de haber sido limpiada, es completamente real. Hablamos del luminol, un producto que emite una intensa luz azulada al contacto con la sangre. Por sus propiedades ha supuesto toda una revolución en la criminalística, pero no es tan “perfecto” como lo presentan. Tiene sus limitaciones que, en ocasiones, no se señalan en televisión.

Palabras Clave— Crimen, Forense, Luminiscencia, Redox, Sangre.

1. INTRODUCCIÓN

Todo aquel que haya visto alguna película o serie de policías debe de estar familiarizado con el famoso luminol. Esta sustancia es comúnmente usada por investigadores forenses en escenas del crimen para detectar trazas de sangre que se ha tratado de eliminar, y que no es posible detectar a simple vista [1].

Además de dar información sobre el posible desarrollo de los acontecimientos por su localización, la sangre detectada se puede utilizar para un posterior análisis de ADN, y que el uso del luminol no interfiere en estas pruebas.

Es un gran aliado que hace más sencilla la labor de los investigadores forenses, pero ¿cómo funciona esta sustancia? ¿a qué se deben sus propiedades? y, ¿cuáles son sus limitaciones?

2. QUIMIOLUMINISCENCIA

Antes de centrarnos en el luminol, comprendamos en qué consiste el fenómeno que lo hace tan especial. La quimioluminiscencia consiste en la emisión de lo que llamamos “luz fría” como resultado de una reacción química. Normalmente implica la aparición de una especie electrónicamente excitada como producto, que al volver a su estado fundamental emite el exceso de energía en forma de luz visible [2]. Podemos observar este tipo de comportamiento en organismos como medusas, caracoles, o las luciérnagas [Fig. 1].



Fig. 1. Luciérnaga.

En estos casos, las responsables de tal luminiscencia son unas sustancias llamadas luciferinas, cuya oxidación es catalizada por luciferasas.

3. EL LUMINOL

3.1. Propiedades

El luminol, con fórmula química $C_8H_7N_3O_2$, es un sólido cristalino amarillento. Emite luz cuando se oxida y esto es lo que se aprovecha en los análisis forenses [2].

Las soluciones a base de luminol que se utilizan también llevan un hidróxido (que proporciona basicidad a la disolución), y peróxido de hidrógeno (agua oxigenada). En este caso, el oxidante del luminol es el agua oxigenada, que acepta electrones del mismo, reduciéndose¹. La reacción que tiene lugar es la que podemos observar en la imagen [Fig.2] [3].

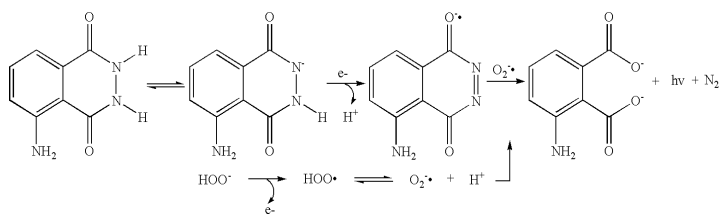


Fig. 2. Oxidación del luminol acompañada de emisión de luz.

Podemos ver que el medio básico propicia la pérdida del hidrógeno enlazado a los átomos de nitrógeno, quedando estos con carga negativa. Paralelamente, en este pH el agua oxigenada sufre unos cambios que desembocan en la formación de O_2^* electrónicamente excitado y protones. Este O_2^* se adiciona a los carbonos donde se encontraban los nitrógenos, que son liberados en forma de N_2 . Esta liberación está favorecida porque los enlaces del nitrógeno molecular son fuertes, y porque es un gas y la entropía (o “desorden”) del sistema aumenta [4], [5]. Lo que se forma es una especie con una energía que no es

¹Sus electrones tienen una energía mayor que la mínima posible, a la que tienden.

²La oxidación es una reacción redox, que se caracteriza por un intercambio de electrones entre los reactivos, que cambian su estado de oxidación.

la mínima posible, y tratará de volver a su estado fundamental emitiendo el exceso de energía en forma de radiación electromagnética. Ésta tendrá la frecuencia (ν) que corresponda al "salto" energético entre los dos estados según la relación de Planck³: $E_{\text{fotón}} = h\nu$.

En el caso del 3-aminoftalato, la frecuencia de tal onda se encuentra en el rango de la luz visible, por lo que podemos percibirla a simple vista [6].

La razón por la que la quimioluminiscencia no se produce hasta que la disolución entra en contacto con la sangre (o con otras sustancias, como veremos a continuación), es que la reacción por sí sola es muy lenta, así que precisamos de un catalizador⁴ para que sea más rápida y poder apreciar la luminiscencia.

3.2 Luminol para detectar sangre

Lo que se tiene en cuenta en la técnica forense es que el grupo hemo de la hemoglobina presente en la sangre es capaz de ejercer de catalizador en la oxidación del luminol [Fig. 3].

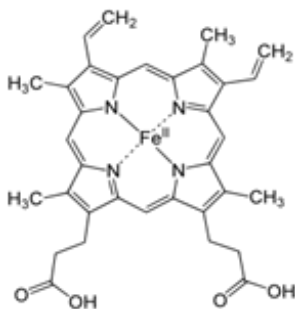


Fig. 3. Hemoglobina

Una característica de los catalizadores es que no se agotan en la reacción, además de ser capaces de actuar aunque estén en muy bajas concentraciones. Así, las trazas de sangre que han quedado tras limpiar, aunque sean mínimas, son capaces de catalizar la reacción, por lo que podemos decir que es un método muy sensible.

4. PROCEDIMIENTO DE INTERPRETACIÓN

La disolución de luminol es fácil y rápida de preparar, aunque hay que manejarla con cuidado porque puede ser irritante. Para las inspecciones de escenas del crimen se suelen utilizar kits comerciales [Fig. 4.], para los que sólo hay que disolver el producto (generalmente en agua destilada), y pulverizar sobre la zona en la que se sospecha que haya sangre. Se recomienda que la mezcla se haga inmediatamente antes de su utilización, pues su efectividad se reduce conforme pasa el tiempo. Tras la preparación de la disolución, suele probarse con una muestra control de la que se sabe seguro que es sangre, para comprobar que el reactivo funciona correctamente. Además, para documentar que se ha producido luminiscencia se

tomarán fotografías de tiempo de exposición largo.



Fig. 4. Kit Bluestar® de reactivo a base de luminol para investigación forense [7].

4.1. Factores que interfieren con la prueba del luminol

Como hemos visto antes, la luminiscencia se da cuando se produce la oxidación del luminol, pero no reacciona específicamente con la sangre. Esto quiere decir que se puede producir luminiscencia siempre que éste entre en contacto con algún agente oxidante con el que reaccionar le sea más sencillo (alguno tal que su reacción con el luminol tenga una menor energía de activación), o con cualquier otra sustancia capaz de catalizar su reacción con el peróxido de hidrógeno.

Por esta razón, la técnica del luminol se usa como prueba de presunción. Esto significa que por sí sola, el resultado solo tendrá carácter absoluto cuando sea negativo [5].

Cuando se obtiene un positivo, se considera que puede que haya habido sangre en la escena, pero se debe proceder a un posterior análisis que certifique que efectivamente la hubo, y que dé más detalles de la procedencia de la misma (si es animal o humana, materna, menstrual...). Ejemplos de sustancias que puedan interferir provocando un falso positivo son la lejía y los metales de transición [Fig. 5], [8].



Fig. 5. Escena del crimen tratada con luminol. Positivo.

Algunos estudios han mostrado que a partir de las 8 horas de la limpieza con la lejía la interferencia de ésta en el test es prácticamente despreciable, debido a la evaporación de la misma [9], [10].

Sin embargo, en caso de negativo se debería también tener en cuenta que hay sustancias que pueden inhibir la

³ Donde h es la constante de Planck y vale $6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \times \text{s}$.

⁴ El catalizador disminuye la energía de activación de la reacción, haciéndola más rápida.

oxidación del luminol aunque haya hemoglobina en el lugar, como bien podrían ser antioxidantes naturales como los presentes en el té negro y el verde [11], por lo que existe la posibilidad de que se den falsos negativos. Además, no hace mucho que unos investigadores españoles descubrieron que si las manchas de sangre se lavan con detergentes que contengan oxígeno activo, estas se vuelven indetectables al luminol (inclusivo si quedan rastros marrones, no se producirá luminiscencia). La verdad, no está claro el mecanismo por el cual el oxígeno activo interfiere con los métodos de detección de sangre, pero los autores del estudio plantean una hipótesis: “Los productos con oxígeno activo contienen percarbonato de sodio, que al ser disuelto en agua, libera una cantidad apreciable de peróxido de hidrógeno (agua oxigenada), y es posible que el efecto inhibitor se deba al ‘agotamiento’ de la hemoglobina en su intento de eliminar el peróxido”. En cualquier caso, se está trabajando en nuevos marcadores que no tengan estas debilidades [12].

5. CONCLUSIONES

Aunque es cierto que el luminol supone una gran ayuda para la investigación forense, es evidente que no es infalible, por lo que es importante que las personas encargadas de utilizarlo e interpretar los resultados obtenidos estén familiarizadas con la mecánica de su reacción y con sus limitaciones para no sacar conclusiones desacertadas. Además, esta curiosa molécula no sólo tiene aplicaciones en la ciencia forense, sino que cada vez se utiliza más en otros campos de investigación. Sin duda, conforme vayamos comprendiendo en mayor profundidad este tipo de reacciones, seremos capaces de idear nuevas aplicaciones para este fenómeno tan llamativo.

REFERENCIAS

- [1] HowStuffWorks, <http://science.howstuffworks.com/luminol2.htm>
- [2] <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=10638>
- [3] Patente US 2012/0083038 (5 Abril, 2012)
- [4] Forensic Sci Int. 2012 Jun 10;219(1-3):101-5. doi: 10.1016/j.forsciint.2011.12.005. Epub 2012 Jan 5.
- [5] Soderquist TJ, Chesniak OM, Witt MR, Paramo A, Keeling VA, Keleher JJ. Evaluation of the catalytic decomposition of H₂O₂ through use of organo-metallic complexes—a potential link to the luminol presumptive blood test.
- [6] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22227152>
- [7] Emil H. White, Maurice M. Bursey. *Chemiluminescence of luminol and related hydracides: The light emission step*. March 1964 <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja01059a051>
- [8] Bluestar® Forensics. <http://www.bluestar-forensic.com/gb/bluestar-chemistry.php>
- [9] Kent EJ, Elliot DA, Miskelly GM., J. *Inhibition of bleach-induced luminol chemiluminescence*. Forensic Sci. 2003 Jan;48(1):64-7 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12570200> Creamer JI, Quickenden TI, Crichton LB, Robertson P, Ruhayel RA. *Attempted cleaning of bloodstains and its effect on the forensic luminol test*. Luminescence. 2005 Nov-Dec;20(6):411-3.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15966054>

- [10] Finnis J, Lewis J, Davidson A. *Comparison of methods for visualizing blood on dark surface*. Sci Justice. 2012 Sep 25.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23601726>

- [11] J Forensic Leg Med. 2013 Aug;20(6). Bancirova M. *Black and green tea—how to make a perfect crime*.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23910850>

- [12] <http://www.agenciasinc.es/Noticias/Los-nuevos-productos-con-oxigeno-activo-eliminarian-totalmente-los-rastros-de-sangre> 2009.



María Inmaculada Álamo Álvarez es estudiante de 1º de Biotecnología en la Universidad Pablo de Olavide.

Puntos cuánticos en la detección precoz de tumores

Cristián Cuerva, Sandra Mazarío

Resumen—Dada su incidencia, prevalencia y mortalidad, el cáncer se ha convertido en un problema de salud pública que, a día de hoy, ya es universal. La búsqueda de nuevos métodos de diagnóstico más sensibles que los actuales ha dado lugar a una generación de nanopartículas semiconductoras que superan las limitaciones de los biomarcadores convencionales.

Palabras Claves— Puntos cuánticos, Cáncer, Diagnóstico, Nanopartículas, Biomarcadores.

1. INTRODUCCIÓN

En nuestra sociedad actual, el cáncer constituye la segunda enfermedad con mayor tasa de mortalidad (Figura 1) [1]. Dada su incidencia y prevalencia se ha convertido en un problema de salud pública que afecta tanto a hombres como a mujeres sin importar la edad, la religión o el estatus socioeconómico. De no frenar pronto su avance, cerca de 11,5 millones de personas de todo el mundo fallecerán entre 2007 y 2030. O dicho de otro modo, sólo en España, uno de cada tres varones y una de cada cuatro mujeres serán diagnosticados de cáncer en algún momento de sus vidas [2]. No obstante, la realidad es todavía peor, y es que esta enfermedad no sólo afecta a quienes la padecen, sino también a familiares y amigos, que de un modo u otro, se ven involucrados física y psicológicamente.

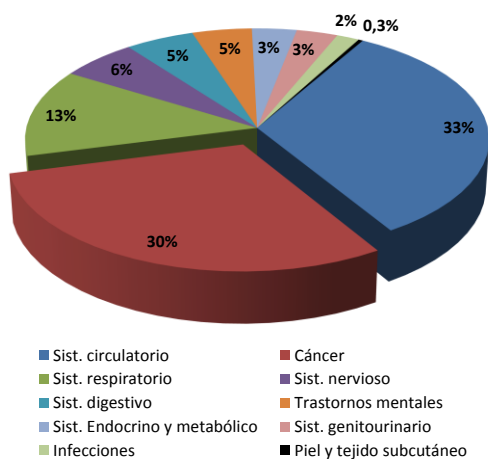


Fig. 1. Principales causas de mortalidad en el mundo.

Como es bien sabido, el pronóstico de una enfermedad neoplásica puede variar drásticamente según el estadio en la que ésta sea detectada. Aunque la eficacia del posterior tratamiento dependa de factores como la edad o el estado de salud, la detección precoz de un tumor incrementa notablemente las posibilidades de recuperación del paciente. Es evidente, por tanto, la necesidad de desarrollar

nuevos métodos de diagnóstico que sean más sensibles y selectivos que los actuales. Las mejoras introducidas en los últimos años han conseguido incrementar la probabilidad de supervivencia del enfermo y mejorar su calidad de vida, pero todavía queda mucho por hacer para derrotar a una enfermedad que, a día de hoy, ya es universal.

2. PUNTOS CUÁNTICOS

Las técnicas de imagen diagnóstica suponen una forma no invasiva e indolora de visualizar regiones afectadas del organismo. Hasta el momento actual, el empleo de sondas fluorescentes constituye una de las herramientas más poderosas para la detección de tumores. Cuando un fluoróforo orgánico es sometido a una radiación incidente, los electrones que han sido excitados a niveles de energía superiores regresan a su estado electrónico fundamental, liberando el exceso de energía en forma de fotones (luz). Sobre esta base, los fluoróforos son usados actualmente como marcadores luminiscentes al conjugarse con biomoléculas que sólo están presentes en masas cancerosas.

No obstante, el cáncer representa un modelo biológico que es tremendamente complejo de estudiar y comprender. Los tratamientos basados en radioterapia y quimioterapia requieren un seguimiento visual *in vivo* que permita valorar la respuesta de los tumores a los mismos. Sólo de esta manera será posible conocer con mayor exactitud si el paciente responde favorablemente al tratamiento al que ha sido sometido. Sin embargo, la mayoría de los fluoróforos no pueden ser utilizados como materiales de marcaje durante un periodo de tiempo prolongado, pues sufren un proceso de foto-oxidación irreversible (*photobleaching*) que desencadena su destrucción fotoquímica [3]. Además, estos materiales solo pueden ser excitados dentro de un rango estrecho de longitudes de onda y la emisión fluorescente está también restringida.

Con el fin de mejorar las propiedades de los marcadores convencionales, a finales del siglo XX se desarrollaron una nueva clase de nanosemiconductores denominados puntos cuánticos (*Quantum Dots* en inglés), más fotoestables y brillantes que cualquiera de los fluoróforos conocidos hasta entonces [4], [5]. Estos materiales eran tan pe-

queños que casi todos los átomos se encontraban en la superficie, obligando a sus electrones a mantenerse confinados en un pequeño volumen. Sus dimensiones nanométricas (1-10 nm de diámetro) modificaron sus propiedades ópticas, haciendo que su comportamiento fuese único y muy diferente al observado en un sólido macroscópico [6]. Algunas de sus características más destacadas son:

- **Color de emisión:** uno de los efectos del confinamiento cuántico es la modificación de la estructura electrónica al variar el tamaño de partícula. Así pues, el tamaño de los puntos cuánticos determinará la longitud de onda a la que éstos emitirán (y, por tanto, su color), sin que influya la composición que presenten. Como puede observarse en la Figura 2, tamaños de 2 nm emitirán en azul, de 2.5 nm en verde, de 3.5 nm en naranja y tamaños de aproximadamente 6 nm en rojo.
- **Fotoestabilidad:** independientemente de la fuente de excitación usada, ultravioleta (UV), infrarrojo (IR) o luz visible, los puntos cuánticos emiten un haz de luz monocromática de elevada intensidad, formando un espectro de emisión estrecho, simétrico y sin solapamientos. Estos factores mejoran notablemente su fotoestabilidad en comparación con los fluoróforos convencionales, permitiéndoles brillar durante horas e incluso días.
- **Imágenes multicolor:** empleando un único haz de luz de excitación sobre un área específica del organismo se pueden estimular simultáneamente puntos cuánticos de diferentes tamaños que se encuentren en distintas estructuras celulares (núcleo, mitocondria, citoplasma, etc). Esta propiedad es útil para generar imágenes multicolor que permitan reconocer fácilmente dichos componentes estructurales.

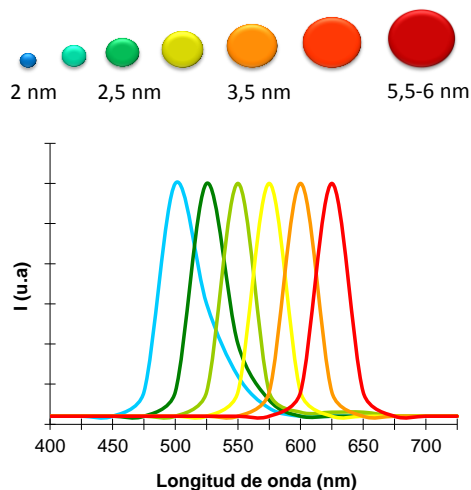


Fig. 2. Emisión característica de los puntos cuánticos en función de su tamaño.

- **Funcionalización:** la superficie de los puntos cuánticos puede ser funcionalizada convenientemente con anticuerpos u otras biomoléculas para reconocer células diana y unirse selectivamente a ellas.
- **Biocompatibilidad:** los puntos cuánticos pueden ser diseñados específicamente para que su empleo no distorsione la fisiología celular y puedan ser excitados con una radiación incidente que no dañe al tejido sano.

Por todo ello, los puntos cuánticos son hoy en día comerciales y diversos grupos de investigación han demostrado con éxito su utilidad para localizar tumores en los primeros estadios de una enfermedad. Para lograrlo, basta con recubrir la superficie de estos nanomateriales con grupos que reconocen compuestos específicos que se encuentran en mayor proporción sobre la superficie de las células cancerosas. Así, cuando los puntos cuánticos se unen a las moléculas diana y son excitados con una radiación incidente, es posible detectar el tejido afectado al observar su emisión característica (Figura 3).



Fig. 3. Dibujo esquemático de la emisión de un punto cuántico localizado en una región tumoral del organismo.

2. LÍNEAS ACTUALES DE INVESTIGACIÓN

Desde su descubrimiento en los años ochenta, los puntos cuánticos de CdSe y CdTe han sido ampliamente estudiados ya que pueden ser obtenidos en grandes cantidades mediante procesos químicos sencillos. Sin embargo, estos materiales son hidrófobos, lo que provoca que se agregan fácilmente al entrar en contacto con un medio acuoso. Además, para lograr su emisión fluorescente es necesario utilizar una radiación incidente muy energética (UV) que, de ser aplicada sobre la piel de los seres vivos, produciría daños en las células de los tejidos sanos. Por otro lado, el empleo de este tipo de radiación no sólo excitaría los puntos cuánticos, sino también el medio en el que se encontrasen, haciendo que la sensibilidad de la técnica fuese considerablemente baja.

En un intento por superar todos estos inconvenientes, se han desarrollado diversas estrategias para favorecer su solubilidad en agua y hacerlos más biocompatibles. La funcionalización de su superficie con ligandos hidrofílicos [7], la silanización [8] o la encapsulación con una capa polimérica [9] son tan sólo algunos ejemplos de diseño. De todos ellos, los puntos cuánticos recubiertos con polímeros como el TOP (trioctilfosfina), el TOPO (óxido de trioctilfosfina) o el PLGA (polímero derivado de los ácidos láctico y glicólico) son los que ofrecen mejores resultados

(Figura 4). Recientemente, se ha demostrado también que al impedir la existencia de interacciones directas entre los polímeros y los átomos de la superficie, se consigue una notable mejora de la fotoestabilidad de estos materiales. Para ello, basta con aislar su núcleo central recubriéndolo con una multicapa de ZnS [10].

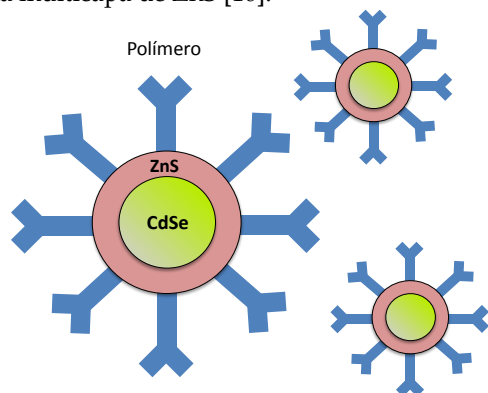


Fig. 4. Funcionalización de un punto cuántico.

Por otro lado, se están consiguiendo preparar puntos cuánticos que emiten al ser excitados con radiación IR [11], lo que permite una mayor penetración de la luz y por tanto, generar imágenes de mayor calidad. Además, el uso de esta radiación disminuye el efecto dañino sobre las células sanas y posibilita la observación del órgano afectado durante más tiempo.

A día de hoy los experimentos *in vivo* han sido únicamente realizados en animales, pero se prevé que en un futuro próximo puedan ser ensayados también en humanos. Persiguiendo este objetivo, el estudio de los puntos cuánticos es hoy uno de los campos de investigación más activos en todo el mundo.

3. CONCLUSIONES

En los últimos años, el estudio y desarrollo de nuevos métodos que permitan el diagnóstico precoz del cáncer y posibiliten, así, un tratamiento médico eficaz, ha dado lugar a una nueva clase de biomarcadores que superan las limitaciones de los utilizados convencionalmente. Los puntos cuánticos son pequeños semiconductores tridimensionales de tamaño nanométrico (1-10 nm) que producen luminiscencia debido a los efectos de confinamiento cuántico. La longitud de onda, y en consecuencia el color de emisión, pueden ser controlados variando el tamaño de partícula, lo que permite la obtención de imágenes multicolor. Gracias a su elevada estabilidad, soportan durante varias horas sucesivos ciclos de excitación y fluorescencia sin perder la eficiencia inicial. Además, su resistencia a la degradación metabólica y su facilidad para ser funcionalizados superficialmente, los convierten en marcadores luminiscentes bioconjugados con un futuro muy prometedor en el diagnóstico precoz del cáncer.

REFERENCIAS

- [1] Web del Instituto Nacional de Estadística (INE). <http://www.ine.es>
- [2] Web de la Asociación Española Contra el Cáncer (aecc). <http://www.aecc.es>
- [3] J. Lippincott-Schwartz, E. Snapp and A. Kenworthy, "Studying protein dynamics in living cells", *Nat. Rev. Mol. Cell. Biol.*, vol. 2, no. 6, pp. 444-456, Jun 2001, doi:10.1038/35073068.
- [4] I. L. Medintz, H. T. Uyeda, E. R. Goldman and H. Mattoussi, "Quantum dot bioconjugates for imaging, labelling and sensing", *Nat. Mater.*, vol. 4, no. 6, pp. 435-446, Jun 2005, doi:10.1038/nmat1390.
- [5] B. A. Kairdolf, A. M. Smith, T. H. Stokes, M. D. Wang, A. N. Young and S. Nie, "Semiconductor quantum dots for bioimaging and biodiagnostic applications", *Ann. Rev. Anal. Chem.*, vol. 6, pp. 143-162, Jun 2013, doi:10.1146/annurev-anchem-060908-155136.
- [6] V. Pombo y V. Goyanes, "Puntos cuánticos: nueva aportación de la nanotecnología en investigación y medicina", *Rev. Complutense Cienc. Vet.*, vol. 5, no. 1 pp. 69-102, 2011, ISSN 1988-2688.
- [7] C. M. Tyrakowski and P. T. Snee, "A primer on the synthesis, wáter-solubilization, and functionalization of quantum dots, their use as biological sensing agents, and present status", *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 16, no. 3, pp. 837-855, Jan 2014, doi:10.1039/C3CP53502A.
- [8] A. Fu, W. Gu, B. Boussert, K. Koski, D. Gerion, L. Manna, M. Le Gros, C. A. Larabell and A. P. Alivisatos, "Semiconductor quantum rods as single molecule fluorescent biological labels", *Nano Lett.*, vol. 7, no. 1, pp. 179-182, Jan 2007, doi:10.1021/nl0626434.
- [9] J. S. Kim, K. J. Cho, T. H. Tran, M. Nurunnabi, T. H. Moon, S. M. Hong and Y. Lee, "In vivo NIR imaging with CdTe/CdSe quantum dots entrapped in PLGA nanospheres", *J. Coll. Int. Sci.*, vol. 353, no. 2, pp. 363-371, Jan 2011, doi:10.1016/j.jcis.2010.08.053.
- [10] V. Brunetti, H. Chibli, R. Fiammengio, A. Galeone, M. A. Malvindi, G. Vecchio, R. Cingolani, J. L. Nadeau and P. P. Pompa, "InP/ZnS as a safer alternative to CdSe/ZnS core/shell quantum dots: in vitro and in vivo toxicity assessment", *Nanoscale*, vol. 5, no. 1, pp. 307-317, Jan 2013, doi:10.1039/C2NR33024E.
- [11] J. Gao, X. Chen and Z. Cheng, "Near-infrared quantum dots as optical probes for tumor imaging", *Curr. Top. Med. Chem.*, vol. 10, no. 12, pp. 1147-1157, Aug 2010, doi:10.2174/156802610791384162.



Cristián Cuerva recibió el título de Graduado en Química por la Universidad Complutense de Madrid en 2012, y de Máster en Ciencia y Tecnología Químicas (especialidad en Nanociencia y Nanotecnología) en 2013. Actualmente es doctorando de Química Avanzada en el Departamento de Química Inorgánica de la Facultad de Ciencias Químicas de la UCM.



Sandra Mazarío recibió el título de Graduada en Enfermería por la Universidad Complutense de Madrid en 2011, realizando sus prácticas universitarias en el Hospital 12 de Octubre. Desde entonces ha desempeñado su labor profesional en la Unidad de Hospitalización del Hospital Nuestra Señora de América, dedicándose al cuidado de pacientes de oncología, traumatología, cirugía maxilofacial y urología, entre otros.

Nanomatrices en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares

Livia López Noriega

Resumen—Las enfermedades cardiovasculares son una de las principales causas de muerte en los países desarrollados. En la actualidad, los principales métodos empleados para el tratamiento de estas enfermedades fallan al mejorar la supervivencia de los pacientes a largo plazo debido a la restenosis o la trombosis. La estrategia más prometedora para prevenir estos problemas es el uso de nanomatrices que imitan las características del endotelio, bien para el recubrimiento de los stents e implantes cardiovasculares, o bien como biomaterial para el diseño de vasos sanguíneos artificiales. Además, estas nanomatrices también se pueden usar como soporte para la implantación de células madre mesenquimales que regeneren el tejido cardíaco.

Palabras Claves— Nanomatrices, biomiméticos, implantes cardiovasculares, stents.

1. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardiovasculares son una de las principales causas de muerte en los países desarrollados. En la actualidad, los principales métodos para el tratamiento de estas enfermedades son el uso de stents (dispositivos de forma cilíndrica que se implantan en el interior de las arterias para corregir el estrechamiento de las mismas) e implantes cardiovasculares. Sin embargo, el éxito de estas estrategias se ve mermado por el riesgo de restenosis y trombosis. La restenosis se produce por la proliferación de células del músculo liso, mientras que la trombosis está causada por la agregación de plaquetas. Normalmente, el endotelio segrega factores solubles, como el óxido nítrico, que ayudan a prevenir tanto la trombosis como la restenosis. Por lo tanto, los implantes deben imitar, en la medida de lo posible, las características de la matriz extracelular del endotelio. En este sentido, una de las estrategias más prometedoras es el diseño de nanomatrices biomiméticas que tienen características muy parecidas a la matriz extracelular del endotelio. Estas nanomatrices se pueden usar para recubrir los stents implantados o para fabricar vasos sanguíneos artificiales [1].

Además, algunos estudios recientes han demostrado que las nanomatrices también pueden ser empleadas como soporte para células madre, usadas para la regeneración del tejido cardíaco tras un infarto de miocardio [2].

En este artículo se revisan los avances conseguidos en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares, gracias al diseño de nanomatrices que imitan la matriz extracelular del endotelio o el endocardio.

2. RECUBRIMIENTO DE STENTS E IMPLANTES CARDIOVASCULARES

Como se ha mencionado antes, los principales problemas

que surgen tras la implantación de un stent son la restenosis y la trombosis. Para evitar estos problemas, es necesario recubrir los stents con un biomaterial que impida la proliferación de células de músculo liso y la agregación de plaquetas, a la vez que debería promover la re-endotelización. En este sentido, la nanomatrix de péptidos anfífilos (PA) diseñada por Kushwaha et al. [1] supone una opción muy prometedora para recubrir y mejorar la re-endotelización de stents e implantes vasculares, y disminuir así el riesgo de restenosis y trombosis.

Esta matriz está formada por dos tipos de péptidos anfífilos: PA-YIGSR y PA-KKKKK. Ambos péptidos están formados por una secuencia sensible a la metaloproteasa-2 (MMP-2), unida a una cadena de 16 carbonos y, en cada caso, o bien a la secuencia YIGSR, que promueve la adhesión celular, o al residuo donador de óxido nítrico (NO), KKKKK. La secuencia sensible a la degradación de enzimas, junto con la secuencia de adhesión celular o la que conforma el residuo donador de óxido nítrico, suponen la parte hidrofílica de los péptidos, mientras que la cadena de 16 carbonos forma la cola hidrofóbica. Una de las ventajas de los péptidos anfífilos es que se autoensamblan en una estructura nanofibrilar con características parecidas a las de la matriz extracelular del endotelio. Para la síntesis de la nanomatrix se usó el método de evaporación del disolvente, empleando 5 μ l de dilución al 0.1% de PA, que se dejó secar durante una noche sobre una rejilla para Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM, del inglés Transmission Electron Microscopy). La caracterización de la nanomatrix formada por el autoensamblaje de los péptidos anfífilos se realizó por TEM, directamente sobre la rejilla (Fig 1). Las imágenes obtenidas muestran el auto-ensamblaje de los péptidos en nanofibras de 7-8nm de diámetro y varias micras de longitud [1].

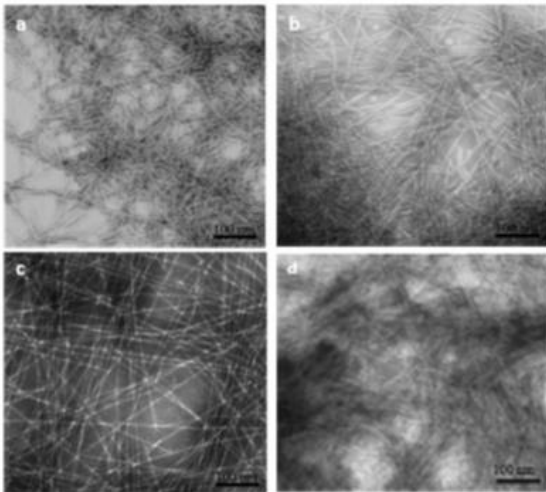


Figura 1. Imágenes TEM de la nanomatrix de péptidos anfifílicos. (a) PAYIGSR (b) PA-KKKKK (c) PA-YK y (d) PA-YK-NO [1].

La secuencia YIGSR es un péptido derivado de la laminina que promueve la adhesión específica de células endoteliales. De hecho, la laminina es uno de los componentes mayoritarios en la matriz extracelular del endotelio. Por tanto, la incorporación del péptido YIGSR a la nanomatrix es necesaria para promover la re-entotelización [3]. Por otro lado, la liberación de óxido nítrico es esencial, ya que este previene la agregación de las plaquetas y la proliferación de células de músculo liso. Además, el óxido nítrico también atrae a las células progenitoras endoteliales y promueve su diferenciación hacia el endotelio. Esto último es especialmente importante, ya que las células progenitoras endoteliales también pueden diferenciarse a músculo, lo que podría contribuir a la restenosis (Fig 2) [4]. Por otra parte, la secuencia sensible a la degradación de enzimas es necesaria para que la nanomatrix pueda ser remodelada *in vivo*, y mantiene un suministro de NO constante [1].

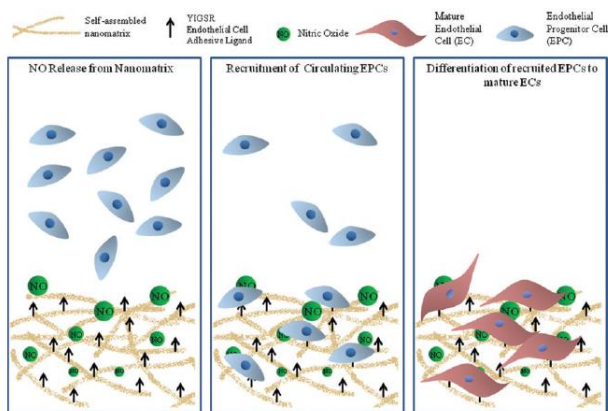


Figura 2. Representación esquemática de la nanomatrix y su efecto en las células progenitoras endoteliales [4].

En resumen, la utilización de una nanomatrix que tenga características bioquímicas parecidas al endotelio para el recubrimiento de stents e implantes cardiovasculares, es un gran avance, ya que disminuye el peligro de restenosis y trombosis.

3. FABRICACIÓN DE VASOS SANGUÍNEOS ARTIFICIALES.

En la actualidad existen varios vasos sanguíneos artificiales producidos con materiales sintéticos, como el Dracon, para reemplazar los vasos naturales defectuosos. Estos implantes han mostrado buenos resultados para diámetros internos de más de 6 mm. No obstante, cuando el vaso sanguíneo que se quiere reemplazar posee un diámetro menor, incrementa el riesgo de restenosis y trombosis. Por lo tanto, los vasos sanguíneos artificiales deben estar hechos de un material que imite las características del endotelio.

Como se ha mencionado en el apartado anterior, el endotelio segrega factores solubles vasodilatadores que son fundamentales para mantener la homeostasis vascular. Además, la estructura de la matriz extracelular del endotelio también le confiere unas propiedades mecánicas esenciales para soportar la tensión tangencial que ejerce la corriente sanguínea sobre la superficie endotelial. Por tanto, el biomaterial usado para la fabricación de vasos sanguíneos artificiales debería aunar todas estas características [5].

Se han desarrollado nanomatrices de polímeros creadas por el método de electrohilado que tienen una estructura bastante parecida a la de la matriz extracelular del endotelio, lo que también les confiere propiedades mecánicas similares a las de éste. La técnica de electrohilado o electrospinning consiste en aplicar un alto voltaje a una disolución polimérica, confiriéndole una carga eléctrica (polo positivo). Esta solución sale por la aguja de una jeringuilla que está conectada a la fuente de alimentación y es atraída por un plato colector que está conectado a una polaridad diferente (polo negativo). El disolvente se evapora en el camino al colector y se forman fibras con diámetros comprendidos en la nanoescala. Además, las nanofibras pueden ser depositadas en un eje rotatorio para formar una estructura tubular, lo cual es imprescindible en la fabricación de un vaso sanguíneo artificial [5, 6]. Las nanofibras de polímeros sintéticos, como polidioxanona (PDO), poliprolactona (PCL) o poli(L-lactico-co-ε-caprolactona) (PLCL), generadas mediante la técnica de electrohilado, tienen buenas propiedades mecánicas y soportan la tensión generada por la corriente sanguínea. Sin embargo, al estar formadas solo por polímeros sintéticos, no favorecen la filtración de células, lo que hace que sean reconocidas como "extrañas" por el cuerpo y se cree tejido fibrótico alrededor [6, 7].

Por otro lado, también se han creado nanomatrices compuestas por polímeros naturales usando el método de electrohilado. Por ejemplo, las nanofibras formadas por colágeno y elastina (los componentes mayoritarios de la matriz extracelular de los tejidos vasculares) promueven la adhesión, migración y proliferación de células endoteliales, y han sido propuestas como soporte para la fabricación de vasos sanguíneos artificiales. Sin embargo, éstas

nanoestructuras no tienen muy buenas propiedades mecánicas [7].

Recientemente se han diseñado nanomatrices híbridas, compuestas por una combinación de polímeros naturales y sintéticos, para su uso en ingeniería de tejidos vasculares. Entre ellas cabe destacar las compuestas por PDO y elastina y las compuestas por PLCL y colágeno. Ambas nanomatrices muestran las propiedades mecánicas de aquellas compuestas por polímeros sintéticos, pero, además, promueven la filtración de células, lo que puede ayudar a la re-entotelización del tejido. Sin embargo, los estudios realizados hasta el momento no contemplan la posible agregación de plaquetas en estas estructuras [6, 7]. En este sentido, es posible que la nanomatrix híbrida diseñada por Andakuri *et al.* solucione este problema. Esta nanomatrix combina las propiedades de las nanofibras de PCL generadas por el método de electrohilado y las propiedades de la nanomatrix formada por péptidos anfifílicos descrita en el apartado anterior (Fig 3). Para sintetizar esta nanomatrix, los péptidos anfifílicos se auto-ensamblaron, formando nanofibras mediante el método de evaporación del disolvente, sobre la nanomatrix de PCL, previamente creada por el método de electrohilado. La nanomatrix híbrida resultante, presenta las propiedades mecánicas de las nanomatrices de PCL, a la vez que promueve la adhesión de células progenitoras endoteliales (gracias a PA-YIGSR) y libera óxido nítrico para prevenir el riesgo de restenosis y trombosis (gracias a PA-KKKKK). Por lo tanto, puede tener un gran potencial para la fabricación de vasos sanguíneos artificiales [5].

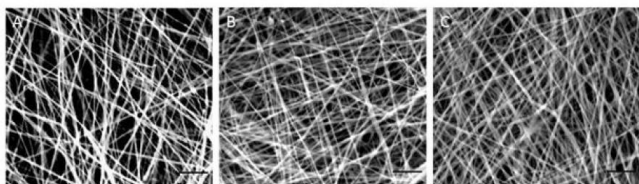


Figura 3. Imágenes obtenidas por SEM (scanning electron microscope) a 5000x. (A) ePCL. (B) ePCL-PA-YK (C) ePCL-PAYK-NO. Escala = 5µm [5].

4. SOPORTE PARA TERAPIA CÉLULAR EN LA REGENERACIÓN DE TEJIDO CARDIACO.

La terapia celular con células madre mesenquimales, derivadas del cordón umbilical, está mostrando resultados prometedores para la regeneración del tejido cardíaco tras un infarto de miocardio. Estas células pueden ser inyectadas por vía intravenosa o directamente en el miocardio. Sin embargo, alrededor del 80-90% de las células introducidas por este método mueren a las 72 horas de ser inyectadas, lo que limita su uso terapéutico. Para solucionar este problema, se ha visto que las células pueden ser cultivadas en una nanomatrix y posteriormente implantadas. En este sentido, nanofibras de PCL generadas por la técnica de electrohilado han sido utilizadas en varios estudios para promover la regeneración del tejido cardíaco. Para mejorar aun más la adhesión de las células madre mesenquimales, se puede, además, inmovilizar la proteí-

na fibronectina en las nanofibras de PCL (Fig 4). Esta proteína se encuentra de forma natural en la matriz extracelular del tejido cardíaco, y se ha demostrado que promueve la adhesión de células madre mesenquimales. Por tanto, esta estrategia parece una solución prometedora para los problemas encontrados en la regeneración del tejido cardíaco tras un infarto de miocardio.

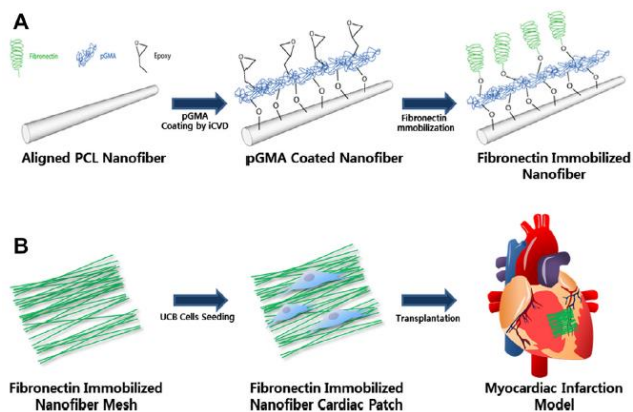


Figura 4. Representación esquemática de la fabricación de la nanofibras para su uso en terapia celular para la regeneración de miocardio.

5. CONCLUSIONES

Los stents e implantes cardiovasculares usados convencionalmente en la actualidad, tienen un alto riesgo de restenosis y trombosis. Por lo tanto, son solo soluciones temporales, que no logran del todo mejorar la supervivencia de los pacientes a largo plazo. Para mejorar la supervivencia de los pacientes, es necesario mejorar el diseño de los implantes, de manera que se asemejen lo máximo posible al tejido vascular. En este sentido, el diseño de nanomatrices que imitan la estructura y las características bioquímicas del endotelio son una estrategia muy prometedora, ya que previenen la agregación de plaquetas y la proliferación de células del músculo liso, a la vez que promueven la re-entotelización del implante o el stent. Además, también se ha propuesto el uso de nanomatrices como soporte para implantar células madre mesenquimales que promuevan la regeneración del tejido cardíaco infartado.

REFERENCIAS

- [1] M. Kushwaha, J.M. Anderson, C.A. Bosworth, A. Andakuri, W.P. Minor, J.R. Lancaster, P.G. Anderson, B.C. Brott, and H. Jun, "A Nitric Oxide Releasing, Self Assembled Peptide Amphiphile Matrix that Mimics Native Endothelium for Coating Implantable Cardiovascular Devices" *Acta Biomaterialia*. 2011, 7(1): 225-233; doi:10.1016/j.actbio.2010.08.013.
- [2] B. Kang, H. Kim, S.K. Lee, J. Kim, Y. Shen, S. Jung, K. Kang, S.G. Im, S.Y. Lee, M. Choi, N.S. Hwang, and J. Cho, "Umbilical-cord-blood-derived mesenchymal stem cells seeded onto fibronectin-immobilized polycaprolactone nanofiber improve cardiac function" *Acta Biomaterialia*. 2014, 10(7): 3007-

3017; doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2014.03.013>

- [3] A. Andukuri, W.P. Minor, M. Kushwaha, J.M. Anderson, and H. Jun, "Effect of endothelium mimicking self-assembled nanomatrices on cell adhesion and spreading of human endothelial cells and smooth muscle cells" *Nanomedicine*. 2010, 6(2): 289-297; doi:10.1016/j.nano.2009.09.004.
- [4] A. Andukuri, Y. Sohn, C. P. Anakwenze, D. Lim, B.C. Brott, Y. Yoon, and H. Jun, "Enhanced Human Endothelial Progenitor Cell Adhesion and Differentiation by a Bioinspired Multifunctional Nanomatrix" *Tissue engineering: Part C*. 2013, 19(5): 375-385; DOI: 10.1089/ten.tec.2012.0312
- [5] A. Andukuri, M. Kushwaha, A. Tambralli, J.M Anderson, D.R. Dean, J.L Berry, Y. Sohn, Y. Yoon, B.C. Brott, and H. Jun, "A hybrid biomimetic nanomatrix composed of electrospun polycaprolactone and bioactive peptide amphiphiles for cardiovascular implants" *Acta Biomaterialia*. 2011, 7(1): 225-233; doi:10.1016/j.actbio.2010.08.013
- [6] M.J. Smith, M.J. McClure, S.A. Sell, C.P. Barnes, B.H. Walpoth, D.G. Simpson, G.L. Bowlin "Suture-reinforced electrospun polydioxanone-elastin small-diameter tubes for use in vascular tissue engineering:A feasibility study" *Acta Biomaterialia*. 2008, 4(1): 58-66; doi:10.1016/j.actbio.2007.08.001
- [7] W. Fu, Z. Liu, B. Feng, R. Hu, X. He, H. Wang, M. Ying, H. Huang, H. Zhang, W. Wang "Electrospun gelatin/PCL and collagen/PLCL scaffolds for vascular tissue engineering." *International Journal of Nanomedicine*. 2014, 9(1): 2335 - 2344; DOI: <http://dx.doi.org/10.2147/IJN.S61375>.



Livia López Noriega, graduada en Biología por la universidad Oxford Brookes. Actualmente cursa el master en Biotecnología Sanitaria de la universidad de Pablo de Olavide.

Matrices biomiméticas y factores de crecimiento: aplicación en la curación de heridas

Paola Gallardo Palomo

Resumen— A lo largo de los años se han empleado diversas estrategias y metodologías para el tratamiento de heridas crónicas. Sin embargo, dada la complejidad del proceso de curación, los resultados obtenidos hasta el momento, aunque prometedores, no han sido lo suficientemente eficientes. Hace pocos meses se publicaron los resultados de una investigación, llevada a cabo en ratones, en la que se hacía uso de matrices bioactivas, diseñadas específicamente para que mimetizaran el ambiente en torno a una herida. Formadas por nanofibras y nanopartículas, estas matrices se caracterizan por la capacidad de liberar de forma diferencial dos factores de crecimiento distintos, uno más rápido y otro más lentamente, actuando en distintos estadios a lo largo del proceso de curación. Con este sistema se ha conseguido una mejora en el proceso de regeneración tisular en heridas crónicas mediante el uso de la nanotecnología.

Palabras Claves— Nanopartículas, Nanofibras, *Electrospinning*, Factores de crecimiento, Heridas.

◆

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de las últimas décadas, la ingeniería de tejidos se ha ido encontrando con numerosos retos en su camino, desde la mejora de las condiciones de cultivo celulares hasta el desarrollo de materiales biocompatibles. La nanotecnología ha contribuido enormemente al desarrollo de esta disciplina, mediante la aportación de nanoestructuras prácticamente hechas a medida. Ejemplo de ello son las matrices biodegradables y biocompatibles, sintéticas o naturales, que mimetizan la estructura y la función de las proteínas de matrices extracelulares naturales. Las investigaciones más recientes tratan de crear matrices a base de fibras nanométricas, que proporcionen un ambiente adecuado para la regeneración de los tejidos. Estas matrices sintéticas deben reunir varias características esenciales, entre las que se encuentran la capacidad de controlar el tejido a nivel funcional, manteniendo el estado de diferenciación celular, por ejemplo, y a nivel estructural, actuando como soporte mecánico [1, 2].

El tratamiento de heridas, sobre todo de aquellas de naturaleza crónica, es un asunto de vital importancia. Las heridas crónicas, que tardan hasta 12 semanas en curarse, pueden aparecer como consecuencia de la diabetes o infecciones crónicas, afectando a un elevado porcentaje de la población. La curación natural de las heridas es un proceso multicelular y dinámico, en el que intervienen la matriz extracelular, citoquinas, células sanguíneas y otros muchos factores [3]. Como consecuencia de esta complejidad, los resultados obtenidos hasta el momento son insuficientes; en términos técnicos, debido a la ausencia de tipos celulares idóneos que puedan usarse en varios tejidos, así como a la falta de matrices que mantengan el crecimiento y la proliferación celular [4].

Existen diversos tipos de apósitos para este tratamiento, que varían según el objetivo para el que quieran usarse y

el componente estructural, como los formados por hidrocoloides, alginatos, hidrogeles de polimetilmetacrilato y polivinilpirrolidona (PVP) [1]. La ingeniería tisular, junto con la nanotecnología, ofrecen un método para el tratamiento de heridas basado en los apósitos bioactivos, que ayudan a la recuperación del tejido más rápidamente. Generalmente combinan polímeros, como el colágeno, ácido hialurónico, quitosán, alginatos o elastina, biomateriales que forman parte de la matriz del tejido natural. Además, se han comenzado a incorporar agentes farmacológicos, como antibióticos, vitaminas, minerales o factores de crecimiento, que toman parte en el proceso de curación de forma activa [1].

2. EL ELECTROSPINNING PARA LA CONFORMACIÓN DE MATRICES BIOACTIVAS

La técnica llamada *electrospinning* (electro-rotatoria) es un proceso muy versátil que permite la formación de nanofibras mediante la aplicación de una corriente de voltaje alta que actúa sobre una disolución polimérica definida, aún en estado líquido. Este sistema, acoplado a una fina aguja, facilita la formación de un entramado de hilos poliméricos, nanofibras de entre 100 nm y 5 μ m, que constituyen una matriz con una gran área superficial, ideal para la adhesión y proliferación celular [5].

Las nanofibras formadas por *electrospinning* no sólo cumplen los requisitos necesarios para su utilización en el tratamiento de heridas, sino que parecen tener un gran potencial para este fin. Además, una de las mejoras implementadas en las matrices se basa en la capacidad de retención de factores de crecimiento dentro de las nanofibras poliméricas y de las nanopartículas, y en su liberación de forma progresiva durante periodos de tiempo largos. Estos factores de crecimiento intervienen en los procesos de división celular, migración, diferenciación,

inflamación, expresión de proteínas y producción de enzimas, estimulando la angiogénesis y la proliferación celular. Así, actúan sobre el tejido dañado en las distintas fases de su recuperación y favorecen la curación de la herida en menos tiempo y más eficientemente [4].

3. APLICACIÓN DE MATRICES BIOMIMÉTICAS EN LA CURACIÓN DE HERIDAS

Sin embargo, hasta la fecha, no se han conseguido resultados totalmente satisfactorios con los tratamientos existentes. En diciembre de 2013 vio la luz un estudio, llevado a cabo por un grupo de investigadores de los Departamentos de Bioingeniería de la Universidad del Estado de Pensilvania y de la Universidad de Tejas, en el que implementaban las últimas mejoras tecnológicas para la creación de apósitos de liberación controlada de factores de crecimiento, y lograban grandes avances en este campo. Veamos este caso con un poco más de profundidad.

Sabiendo que cada fase del proceso de curación de una herida cuenta con sus propias particularidades a nivel fisiológico y bioquímico, la aproximación de los investigadores consistió en el desarrollo de un sistema biomimético, compuesto por una matriz extracelular que mimetizaba la propia piel, y en la que se incorporaban factores de crecimiento clave en el proceso de regeneración tisular (Figura 1). El sistema permitía la liberación de dichos factores de forma continua, para prevenir su eliminación o degradación, y así estimular la angiogénesis y la proliferación celular en las distintas fases de la curación. En concreto, se utilizó el *electrospinning* para crear una matriz de nanofibras de quitosán y óxido de polietileno (CS-PEO) como elemento estructural, a la que se adhería el factor de crecimiento de endotelio vascular (VEGF). A su vez, dentro de la propia matriz se embebían nanopartículas de ácido láctico y glicólico (PLGA) que encapsulaban el factor de crecimiento derivado de plaquetas (PDGF), el cual es esencial a lo largo de todas las fases de la curación de la herida (inflamación, granulación, re-epitelización y remodelación tisular)[3].

Por un lado, la liberación del VEGF ocurre de forma rápida en los primeros estadios tras la implantación del apósito y ayuda a la formación de vasos sanguíneos, que proporcionan nutrientes y oxígeno a la zona de la herida. Por otro lado, el PDGF contenido en las nanopartículas se libera de forma más lenta y sostenida durante varios días. El 63% del VEGF era liberado de la matriz de CS-PEO rápidamente, en una hora aproximadamente, y al cabo de un día llegaba a un porcentaje de liberación total. Por el contrario, el PDGF mostró una liberación inicial del 28% en las primeras dos horas, seguida de una liberación basal continuada (40% a la semana). Además, se tuvo en cuenta que el quitosán es un polímero antibacteriano, lo cual ayuda a prevenir posibles infecciones, sin necesidad de añadir antibióticos [3].

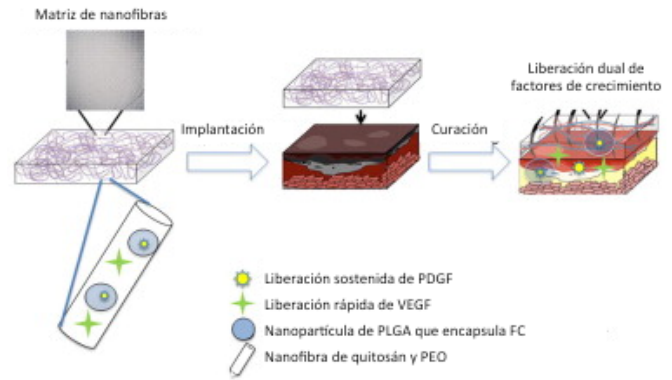


Figura 1. Ilustración esquemática de la matriz diseñada, compuesta por nanofibras de quitosán y PEO, creadas por *electrospinning* y adheridas a VEGF, y por nanopartículas de PLGA que encapsulan PDGF. Mediante la implantación de esta matriz biomimética en la zona herida, actúa como un andamio que favorece la regeneración tisular, mientras que la liberación de los factores de crecimiento, que actúan como agentes terapéuticos, acelera el proceso de curación. (Adaptada de [3])

Una vez realizada la caracterización del sistema *in vitro*, para comprobar la efectividad del sistema *in vivo*, se utilizaron ratas como organismo modelo, a las que se realizaban unas pequeñas heridas (cuatro por cada animal), y posteriormente se adhería la matriz bioactiva. Como controles se usaron una herida sin tratar, una herida tratada con Hydrofera Blue (un apósito antibacteriano comercial) y una matriz como las diseñadas pero sin factores de crecimiento incorporados. A lo largo de cuatro semanas se observó la progresión de las heridas (Figura 2), y pasado este periodo se analizó el tejido en torno a la herida a nivel histológico.

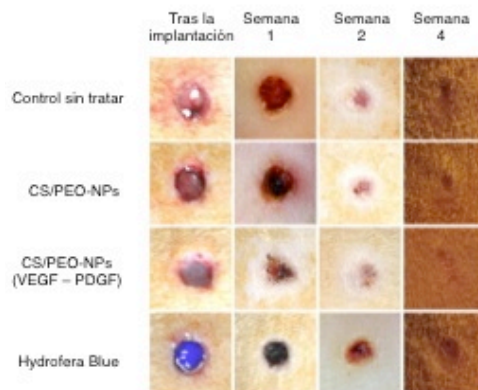


Figura 2 Evaluación de la curación de las heridas, usando ratas como organismo modelo. La imagen muestra la apariencia macroscópica de las heridas desde la semana 0 a la 4, con el tratamiento desarrollado (CS/PEO-NPs (VEGF - PDGF)) y sus respectivos controles (control sin tratamiento, 1 CS/PEO y Hydrofera Blue). (Adaptada de [3])

Tras cuatro semanas de tratamiento, todas las heridas habían cicatrizado. Sin embargo, los mejores resultados se obtuvieron con la matriz de CS/PEO-NPs (VEGF - PDGF): las heridas tratadas con ésta se había curado más rápido, mostraban una mayor regeneración epidérmica y una cicatriz más pequeña. Además, ninguna de las heridas se infectó. Con este estudio se concluyó que la matriz

sintética formada por nanofibras y nanopartículas libera los dos factores de crecimiento con una cinética diferente, permitiendo así que cada uno actuara durante una fase diferente de la cicatrización de la herida, contribuyendo a acelerar la curación [3].

4. CONCLUSIONES

Uno de los mayores obstáculos en la ingeniería de tejidos consiste en la liberación de forma continua de factores de crecimiento asociados a matrices extracelulares sintéticas para el tratamiento de heridas. A día de hoy, se han realizado grandes avances en este campo. Los primeros ensayos con organismos modelo han resultado bastante prometedores, y han permitido una mejora en el proceso de curación de heridas crónicas. Las matrices biomiméticas se aprovechan de las ventajas de la nanotecnología para crear un sistema de liberación sostenida de factores de crecimiento, necesarios en las distintas fases del tratamiento, mediante su adhesión a nanofibras y su encapsulamiento en nanopartículas, que permiten una liberación diferencial. Esta matriz ha mostrado su eficacia en el proceso de regeneración tisular, al promover el desarrollo de fibroblastos a la vez que inhibe el crecimiento microbiano. Una vez observados los buenos resultados en ratones, sólo queda poner a prueba este sistema de doble liberación de factores de crecimiento para el tratamiento de heridas crónicas en humanos.

REFERENCIAS

- [1] Boateng JS, Matthews KH, Stevens HN, Eccleston GM. (2008) *Wound healing dressings and drug delivery systems: a review*. J Pharm Sci. 97(8): 2892-923.
- [2] Rho KS, Jeong L, Lee G, Seo BM, Park YJ, Hong SD, Roh S, Cho JJ, Park WH, Min BM. (2006) *Electrospinning of collagen nanofibers: effects on the behavior of normal human keratinocytes and early-stage wound healing*. Biomaterials. 27(8): 1452-61.
- [3] Xie Z, Paras CB, Weng H, Punnakitikashem P, Su LC, Vu K, Tang L, Yang J, Nguyen KT. (2013) *Dual growth factor releasing multi-functional nanofibers for wound healing*. Acta Biomater. 9(12):9351-9.
- [4] Sahoo S, Ang LT, Goh JC, Toh SL. (2010) *Growth factor delivery through electrospun nanofibers in scaffolds for tissue engineering applications*. J Biomed Mater Res A. 15:93(4):1539-50.
- [5] Teo WE, He W, Ramakrishna S. (2006) *Electrospun scaffold tailored for tissue-specific extracellular matrix*. Biotechnol J. 1(9):918-29.

Paola Gallardo Palomo obtuvo el título de Biotecnología por la Universidad Pablo de Olavide en 2013, y actualmente cursa el Máster de Biotecnología Sanitaria en la misma universidad. Desde el año 2011 es miembro del grupo de investigación Control del espacio celular y morfogénesis, liderado por el Doctor Rafael R. Daga, en el Centro Andaluz de Biología del Desarrollo.

El Fracking: ¿Energía o Salud?

José Luis González Pimentel

Resumen— El “Fracking” es una técnica usada en la extracción de gas esquisto, la cual aúna la perforación tradicional utilizada en los pozos de petróleo y gas, y la fracturación horizontal del yacimiento que contiene dicho gas, gracias a la inyección de un fluido a altas presiones. Esta técnica se originó en Estados Unidos a finales del siglo XX, en un afán por buscar una alternativa a los hidrocarburos convencionales, cada vez más escasos en el territorio. Pero el auge de esta industria energética se viene dando desde los primeros años del siglo XXI, tras descubrirse grandes yacimientos de rocas de esquistos bituminosos. Estas rocas sufren un agresivo tratamiento in situ a causa del fluido inyectado, consistente en grandes cantidades de agua, arena y aproximadamente 650 agentes químicos. Este líquido denso, es introducido a presión para romper y disolver el material y conseguir extraer el gas. Sin embargo, la naturaleza tóxica y cancerígena de muchos de estos químicos, ha originado una problemática ambiental y para la salud pública que actualmente enfrenta a detractores y defensores en una lucha judicial que dista mucho de tener un fin cercano. Se trata de defender energía o salud.

Palabras Claves— Fracking, gas natural no convencional, Medio Ambiente, Salud.



1. INTRODUCCIÓN

Es un hecho que las reservas mundiales de petróleo y gas convencional están en declive. Esto, unido a la inestabilidad política y social de determinados países con una gran producción en hidrocarburos, ha promovido la búsqueda e investigación de nuevos recursos energéticos y técnicas de explotación más avanzadas. Este ha sido el caso del gas esquisto y el desarrollo de la técnica de la fracturación hidráulica o “fracking”, su terminología en inglés. La extracción de este gas no convencional, denominado así por su origen, no confinado en bolsas geológicas que contienen al propio gas, como es el caso del gas natural convencional, ha ido creciendo en la última década. Así, en los Estados Unidos, pioneros y primeros productores de gas pizarra a nivel mundial, se han perforado más de 40.000 pozos a lo largo de 20 estados hasta 2013 [1]. En Europa el gas pizarra es relativamente nuevo y, aunque la Unión Europea continúa debatiendo sobre su regulación, en países como Polonia y Gran Bretaña, las extracciones han comenzado, siendo el primero el caso más llamativo, pues, de acuerdo a cifras del Ministerio del tesoro de Polonia, la dependencia energética del país con Rusia ha descendido en más de un 35% en los últimos 4 años. Esta, la dependencia del gas ruso, es lo que podría declinar la balanza a favor del fracking en cuanto al marco legislativo europeo.

No obstante, esta actividad no deja de estar en entre dicho, principalmente por el daño al medio ambiente y a la salud del ser humano, que poco a poco está saliendo a relucir en las zonas aledañas a estos pozos. Las grandes cantidades de agua necesaria en el método de extracción, los agentes químicos utilizados, el tratamiento de residuos y las filtraciones a reservas de agua subterráneas se presentan como los puntos más preocupantes. En este artículo repasaremos las consecuencias que el fracking está causando en el ser humano y su entorno.

2. EL FRACKING

La formación del gas esquisto viene condicionada por las grandes presiones a las que la materia orgánica, atrapada en la roca sedimentaria, ha estado sometida durante miles de años. Este proceso, es similar al que dio lugar a otros hidrocarburos que hoy en día utilizamos, y que denominamos combustibles fósiles (gas natural, petróleo, carbón). Los yacimientos de este gas, generalmente se localizan a más de 1 km de profundidad, aunque también se pueden encontrar a más de 4km de profundidad. El material rocoso, poco permeable, denominado esquistos bituminosos por su composición basada en rocas metamórficas arcillosas, encierra el gas en su interior, for-



Fig. 1 Proceso de extracción del gas natural no convencional [16].

mando un depósito horizontal de entre 50-100 metros de grosor. Por esto, la técnica fracking, es un proceso que consta de las siguientes fases (Fig.1):

a) Perforación vertical. Desde la superficie se inicia una perforación que llegará hasta el yacimiento de esquisto, atravesando en ocasiones acuíferos. Para evitar fugas hacia esta fracción del subsuelo, dicha zona perforada es recubierta con cemento para evitar cualquier filtración

hacia la zona saturada; b) Perforación horizontal. El yacimiento es atravesado desde varios metros hasta 2-3 km; c) Fractura hidráulica. El conducto horizontal resultante de la perforación, es fracturado gracias a un fluido que es inyectado a presión. Este consta de agua, arenas y aditivos químicos, entre los que se encuentran benceno, tolueno, formaldehído y cianuros, hasta llegar a 650 diferentes tipos de agentes químicos, es introducido a una fuerza de 5000 psi. El agua y los productos químicos tienen una función adicional, pues se utilizan para disolver la roca y potenciar la efectividad de la fractura, y la arena evita que las fracturas se cierren tras el bombeo; d) Extracción del gas y retorno de las aguas residuales. El gas, compuesto mayormente por metano, asciende por la línea perforada hacia la plataforma en la superficie. Mientras, se recupera entre un 30 y un 70% del agua inicialmente inyectada, que es llevada a tanques de recolección de las aguas. Estas podrán ser reutilizadas en sucesivos procesos [2].

2.1. Repercusiones para Medio Ambiente y Salud

Los defensores del gas de esquisto exponen que este es un recurso energético que puede dar solución al cambio climático, pues las emisiones de CO₂ derivadas de la combustión del carbón y del petróleo, son superiores a las emisiones de metano. Y esto es cierto, pero las filtraciones y escapes del gas que se producen en la obtención del gas no convencional a través del fracking, sitúan a este proceso como un emisor potencial de metano a la atmósfera. Y es que, aunque actualmente la proporción de metano que se escapa a la atmósfera por diversas fuentes, es únicamente de un 16% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero, el metano es entre 21 y 23 veces más potente que el dióxido de carbono en un marco temporal de 100 años, y su vida media es de solo 12 años, por lo que su impacto instantáneo, es mucho más extenso sobre el sistema climático.

Otra repercusión, aún en estudio, es la relación fracking-sismicidad. Y es que según un estudio del Centro Geológico Estadounidense, la actividad sísmica desde 2008 aumentó 7 veces, y esto, al menos parcialmente, se le atribuye a la producción de gas esquisto [2].

Pero las repercusiones más visibles y directas son las derivadas del agua y de los agentes químicos utilizados. Los perjuicios al medio ambiente son significativos, como se verá en puntos siguientes. Las repercusiones en la salud son potencialmente alarmantes, es más, poco a poco, los tribunales van dando la razón a aquellas personas que están viendo su salud afectada por las repercusiones de tener una plataforma de explotación de gas esquisto cerca de sus hogares. Este es el caso de una familia de Texas, EEUU, que tras empeorar su estado de salud, decidieron en 2011 denunciar a la compañía que explotaba un yacimiento de gas esquisto cercano a su hogar, y finalmente, en abril de 2014, un tribunal condenó a dicha compañía a indemnizar con 2,9 millones de dólares a la familia porque consideraba que sus dolencias estaban relacionadas con las operaciones de fracking [3].

2.2. Recursos Hídricos

Aunque la cantidad de agua necesaria en el proceso de

extracción del gas esquisto varía dependiendo de la dimensión del pozo, se estima que entorno a los 19 millones de litros de agua son necesarios para cada uno [4]. Las implicaciones ambientales que esto supone son dramáticas, ya que hablamos de un recurso que en determinadas zonas es muy escaso. Si hacemos un cálculo aplicado al número de pozos que hay en Estados Unidos, parece razonable que en alguno de ellos, el agua tenga que ser transportada de un punto donde el agua sea más accesible y abundante, hacia el lugar donde se ubica el pozo. Esto supone una sobreexplotación de acuíferos y aguas superficiales que puede suponer el desequilibrio ecológico en épocas más secas. Pero lo que realmente es determinante y preocupante, es el agua residual que retorna una vez a participado en la extracción del gas esquisto. Por un lado, en numerosas ocasiones, el recubrimiento de cemento situado en el conducto cuando atraviesa el acuífero, ha sufrido daños que ha favorecido filtraciones hacia el acuífero, suponiendo un peligro en potencia para los núcleos de población que hagan uso de sus aguas. Solo en los pozos existentes en el estado de Pensilvania (EEUU), entre 2008 y 2012, se registraron 161 incidencias por contaminación de aguas, causados por la presencia de metales pesados, metano o tolueno, entre otros [5]. Por otro lado, el agua residual que es devuelta a la superficie del pozo, tiene un tratamiento complicado. En primer lugar, no se puede destinar esta agua a un sistema convencional de depuración de aguas residuales, pues la elevada salinidad y los más de 650 agentes químicos, impiden el crecimiento microbiológico y, por tanto, la actividad degradativa de las bacterias. Lo más común es el uso de balsas al aire libre, en las que la sedimentación y la volatilización de los agentes químicos, son los principales procesos físicos que se suceden.

2.3. Volátiles

Múltiples estudios sobre la exposición de la población a hidrocarburos del petróleo, gracias a la proximidad a refinerías, vertidos y estaciones petrolíferas, han demostrado que existe un riesgo elevado de sufrir dolores de cabeza, irritación ocular, leucemia infantil aguda, mieloma múltiple [6,7]. Muchos de estos hidrocarburos también forman parte de los agentes químicos que se usan en el proceso de la fracturación hidráulica, como el benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX) [8]. En el caso del benceno, en numerosos estudios han detectado elevados niveles de este hidrocarburo en Colorado (EEUU), demostrando un incremento en el riesgo potencial de contraer cáncer, así como graves y crónicas dolencias no relacionadas con el cáncer [9,10]. Otros efectos del benceno para la salud incluyen la leucemia no linfocítica crónica, leucemia mieloide aguda, leucemia linfocítica aguda, anemia y otros desordenes sanguíneos y efectos inmunológicos [11]. Además, se ha demostrado que la exposición de embarazadas a altos niveles de benceno se asocia a un aumento de defectos en el tubo neural de los neonatos [12]. Los efectos en la salud por exposición al xileno incluyen irritaciones en los ojos, nariz y garganta, dificultad en la respiración, deterioro de la función pulmonar y del sistema nervioso [13]. Estos químicos han demostrado ser

muy volátiles, por lo que la exposición continua y cercana a estas plataformas de extracción del gas esquisto supone un peligro en potencia.

3. CONCLUSIONES

Las repercusiones para la salud humana y para el deterioro del medio ambiente, ponen en tela de juicio aquellas actividades llevadas a cabo por la industria del fracking. Sin embargo, los perjuicios para la salud que parecen causar el uso de los agentes químicos y su propagación a través del agua y el aire, más allá de recientes fallos judiciales en contra, no están repercutiendo negativamente en esta industria. Además, tiene el apoyo gubernamental de numerosos países, como el estadounidense, el cuál no solo no está en contra de este sistema de producción de energía, sino que lo está impulsando como un remedio contra el cambio climático [14,15]. En Europa, los recientes conflictos con Rusia, han fomentado las prospecciones en distintos países, y en otros como en Polonia, ya se produce la extracción del gas esquisto a gran escala.

REFERENCIAS

- [1] Christine Rivard, Denis Lavoie, René Lefebvre, Stephan Séjourné, Charles Lamontagne, Mathieu Duchesne. An overview of Canadian shale gas production and environmental concerns. *International Journal of Coal Geology* 126 (2014) 64–76.
- [2] Benjamin K. Sovacool. Cornucopia or curse? Reviewing the costs and benefits of shale gas hydraulic fracturing (fracking). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 37 (2014) 249–264.
- [3] http://sociedad.elpais.com/sociedad/2014/05/01/actualidad/1398975931_688161.html
- [4] M.L. Finkel, J. Hays. The implications of unconventional drilling for natural gas: a global public health concern. *public health* 127 (2013) 889–893.
- [5] Susan L. Brantley, Dave Yoxtheimer, Sina Arjmand, Paul Grieve, Radisav Vidic, Jon Pollak, Garth T. Llewellyn, Jorge Abad, Cesar Simon. Water resource impacts during unconventional shale gas development: The Pennsylvania experience. *International Journal of Coal Geology* 126 (2014) 140–156.
- [6] Kirkeleit J, Riise T, Bråtveit M, Moen B. Increased risk of acute myelogenous leukemia and multiple myeloma in a historical cohort of upstream petroleum workers exposed to crude oil. *Cancer Causes Control* 2008;19(1):13–23.
- [7] White N, teWaterNaude J, van der Walt A, Ravenscroft G, Roberts W, Ehrlich R. Meteorologically estimated exposure but not distance predicts asthma symptoms in school children in the environs of a petrochemical refinery: a cross-sectional study. *Environ Health* 2009;8(1):45.
- [8] TERC. VOC Emissions from Oil and Condensate Storage Tanks. Texas Environmental Research Consortium; 2009. p. 1–34. Disponible online: <http://files.harc.edu/Projects/AirQuality/Projects/H051C/H051FinalReport.pdf>. The Woodlands, TX.
- [9] CDPHE. Garfield County Air Toxics Inhalation: Screening Level Human Health Risk Assessment: Inhalation of Volatile organic Compounds Measured in Rural, Urban, and Oil & Gas Areas in Ambient Air Study (June 2005–May 2007). Denver, CO: Environmental Epidemiology Division, Colorado Department of Public Health and Environment; 2007. Disponible en:

http://www.garfieldcountyaq.net/default_new.aspx.

- [10] CDPHE. Garfield County Air Toxics Inhalation: Screening Level Human Health Risk Assessment: Inhalation of Volatile Organic Compounds Measured In 2008 Air Quality Monitoring Study. Denver, CO: Environmental Epidemiology Division, Colorado Department of Public Health and Environment; 2010. Disponible en: http://www.garfieldcountyaq.net/default_new.aspx.
- [11] ATSDR. Toxicological Profile for Benzene. Atlanta, GA: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Department of Health and Human Services; 2007a.
- [12] Lupo P, Symanski E, Waller D, Chan W, Langlosi P, Canfield M, et al. Maternal Exposure to Ambient Levels of Benzene and Neural Tube Defects among Offspring, Texas 1999–2004. *Environ Health Perspect* 2011;119(3):397–402.
- [13] ATSDR. Toxicological Profile for Xylenes. Atlanta, GA: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Department of Health and Human Services; 2007b.
- [14] <http://www.washingtonpost.com/blogs/wonkblog/wp/2014/01/29/obama-says-fracking-offers-a-bridge-to-a-clean-energy-future-its-not-that-simple/>
- [15] <http://www.expansion.com/2014/03/26/economia/politica/1395846246.html>
- [16] <http://one.gaslandthemovie.com/whats-fracking>



José Luis González Pimentel recibió el título de Graduado en Ciencias Ambientales por la Universidad Pablo de Olavide en Junio de 2013. Actualmente cursa el Máster en Biotecnología Ambiental, Industrial y Alimentaria de la misma universidad.

New advances in bacterial electricity

Yolanda Elizabeth González Flores

Abstract— In a world where energy sources are limited and where contamination is a main issue, the possibility to obtain electric energy using bacteria in a renewable and clean way is regarded as a promising prospective. However, the amount of energy obtainable using these bacteria is still very low. This leads to the necessity to improve the process in order to make it a competitive alternative. In this article, we review the latest advances that are being made in order to improve the electricity yield of these systems.

Key words— Bacteria, Electricity, Energy, Fuel, MFC.

1. INTRODUCTION

In the current world it is well-known the imminent need for alternative renewable energy sources to replace fossil fuels, due both to contamination and to resources limitation. In the recent years, the use of bacteria to produce electricity has emerged as an interesting option, the so-called Microbial Fuel Cells (MFC). The basic operation and main applications of MFC have already been explained in a previous number of this journal [1].

However, nowadays the amount of energy obtained by these MFCs is still very low and they are not very competitive with other energy sources. This has led to a great number of research articles in this field, some of them looking for different strategies to improve the yield of these MFCs in order to obtain enough energy. They focus on different aspects of MFC that could help them reach this goal: the size and material of the electrodes, the strains of microorganisms or even the substrates used by them.

Here in this article we are going to revise some examples of the latest improvements in MFCs operation.

2. MICROORGANISMS IMPROVEMENTS

2.1. Microorganisms used in MFCs

The election of the microorganism used for a MFC is crucial, as different microorganisms have different electron-transfer capabilities. This electron-transfer can be carried out in three different ways: indirect -mediated by electron shuttles-, direct contact of outer surface c-type cytochromes and long range contact via nanowires [2]. Bacteria that transfer the electrons by the last two mechanisms are called exoelectrogenic bacteria, belong to the genres *Geobacter* and *Shewanella* mainly and are the most used in MFCs, as they are able to perform this transference in a very efficient way [3].

Geobacter sulfurreducens is the most used species of this genre, and it performs the electron-transfer by nanowires, type IV pili which have metal like conductivity. It is thought that this conductivity is due to the electron delocalization of specific aromatic amino acids in the carboxyl terminus of PilA, the protein that forms these pili. *G. sul-*

furreducens pili are the first biological protein filaments that have been found to show this property, which make them more interesting for MFCs [4].

2.2. *G. sulfurreducens* improvement

One way to improve the yield of MFCs is to increase the electron-transfer capability of the bacteria present in the anode. As said, *G. sulfurreducens* is one of the best candidates for MFCs and, therefore, for developing new strains with an improved electron-transfer efficiency.

The first approach was to look for spontaneous mutants with improved efficiency. Using a wild type strain, strain DL-1, and growing it in a graphite anode at -400 mV for 5 months, Yi *et al.* were able to isolate a new strain, strain KN400, that generated electricity in a much more effective way (Figure 1), requiring thinner biofilms to produce equivalent current to the wild type strain [5].

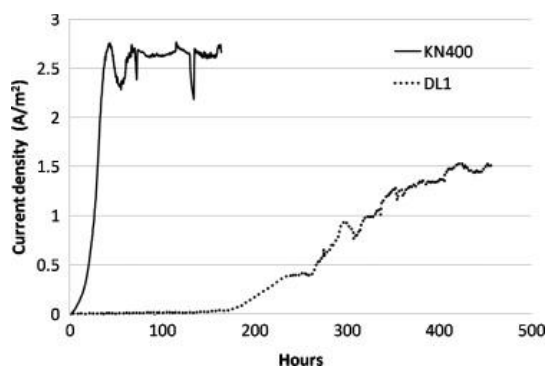


Fig. 1. Current produced by KN400 and DL1 strains in a system with the anodes poised at -400 mV (Yi *et al.*, [5]).

The reason for this improvement was the great increase of these electrically conductive nanowires, as well as lower internal resistance and mass transfer limitation. Moreover, they observed that this strain produced flagella, in contraposition to the wild type strain, and that it showed greater propensity to form biofilms on glass and graphite [5]. All these new properties made KN400 strain even a better candidate for its use in MFCs.

A genetic engineering approach to also improve the biofilms conductivity was to alter a regulatory switch for pili production, by deleting all genes encoding proteins with a PilZ domain -which interacts with this regulatory

switch complex- from *G. sulfurreducens* genome, increasing therefore the production of these pili [6].

3. ELECTRODES IMPROVEMENTS

3.1. Nanostructured grafene/TiO₂ anodes

One important factor in the performance of the MFCs is the material the anode is made of, as it determines the cells adhesion to its surface as well as the electron-transfer that they can carry out. That is why some lines of research are focusing on finding new materials that can improve the anode properties.

One of the latest approaches was the construction of a nanostructured graphene/TiO₂ hybrid anode, due to the separate properties of each of these materials. On the one hand, TiO₂ is a very abundant, low-cost, non-toxic and chemical stable semiconductor; however, its conductivity is not very high, limiting its application. On the other hand, graphene shows a very high electrical conductivity, high specific surface area and excellent mechanical flexibility. These features make the combination of these two materials a promising approach [7].

For the construction of this nanostructured hybrids they used graphene oxide (GO) and tetrabutyl titanate (Ti(OBu)₄) as starting materials and made them undergo a one-step microwave-assisted (MVST) solvothermal process, at 180 °C for 30 min (Figure 2). The obtained hybrids, with different proportions of graphene and TiO₂ were tested as anode materials for MFCs using *Shewanella oneidensis* MR-1, which transfers electrons using c-type outer membrane cytochromes and mediators (riboflavin molecules) that it excretes (Figure 2) [7].

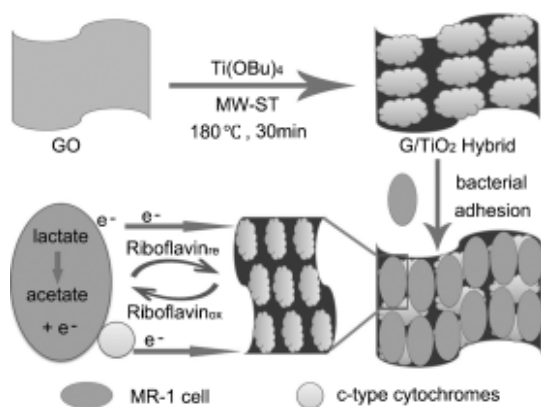


Fig. 2. Synthesis of nanostructured Graphene/TiO₂ hybrids by solvothermal process and operation testing (Zhao *et al.*, [7]).

The results showed that the hybrid with a graphene content of 20% weight was the one that improved the most the MFC performance [7].

3.2. Activated carbon cathodes optimization

It has been observed that a limiting factor in the performance of MFC is the cathode material. The most commonly used cathodes are those based on platinum (Pt), as it accelerates the reduction of oxygen. However, Pt shows some disadvantages, such as its high cost and its instability in the presence of contaminants. This creates the ne-

cessity of alternative materials for cathodes. One of these alternative materials is activated carbon, as it shows several advantages such as low cost, high surface area and high catalytic activity at neutral pH [8].

Activated carbon can be applied on the surface of the cathode by two different methods: pressure and rolling. In the pressure method, the two last steps consist on an application of pressure and high temperature. To date, there was not much attention paid to the effect that these pressure and temperature conditions had on the active carbon final structure and performance of the cathode. However, Santoro *et al.* [8] tested different combinations of temperature and pressure and came to the conclusion that these conditions affected the structure and performance of the cathode. Moreover, they identified the optimal values for these variables, being these a pressure of 1400 psi and a temperature of 1400 psi. With these values, they obtained an activated carbon cathode with a large amount of carbon oxides on the surface which increased its hydrophilicity, an increased number of large pores (2-8 μm) and mesoscale pores (200-800 nm) improving oxygen diffusion and smaller charge transfer resistance. These features made this cathode the one that achieved the highest current and power of all the trials [8].

4. CONCLUSIONS

As said, MFC pose a promising alternative to fossil fuels in combination to other energy sources. However, in order to reach this goal, a deep research must be carried out to improve the different aspects of MFC operation, to try and increase the maximum electric energy obtainable.

Nowadays there are lots of research projects focused on improving MFCs using different approaches. When talking about strains optimization, the most remarkable efforts are made on increasing the number of conductive pili on the surface of *G. sulfurreducens*, the most promising bacteria. Another important factor of study is the material of the electrodes, both the anode and the cathode, as they partially determine the electron-transfer capability. Research groups are focusing on new materials or hybrids that at the same time improve the efficiency of the process and lower the price.

It must be said that there are other lines of research that try to use waste from different industries as substrates for the microorganisms in the anode in order to lower the cost of the process and, at the same time, to solve environmental problems [9]. However, here we have focused on the improvements that increase the power yield of MFCs.

Despite the great amount of new improvements that are being made in the field there is still much to be done in order to make MFCs a competitive energy source.

REFERENCES

- [1] G. Ortiz Álvarez, L. Moreno Guerrero and J. Jiménez López, "Bacterias eléctricas", *Moleqta*, no. 4, pp. 74-77, Dec 2011.
- [2] A.E. Franks and K.P. Nevin, "Microbial Fuel Cells, A Current Review", *Energies*, no. 3, pp. 899-919, Apr 2010, doi:10.3390/en3050899.

- [3] B.E. Logan, "Exoelectrogenic bacteria that power microbial fuel cells", *Nature Reviews Microbiology*, vol. 7, pp. 375-381, May 2009, doi:10.1038/nrmicro2113.
- [4] N.S. Malvankar and D.R. Lovley, "Microbial nanowires for bioenergy applications", *Current Opinion in Biotechnology*, no. 27, pp. 88-95, Jun 2014, doi:10.1016/j.copbio.2013.12.003.
- [5] H. Yi, K.P. Nevin, B.-C. Kim, A.E. Franks, A. Klimes, L.M. Tender and D.R. Lovley, "Selection of a variant of *Geobacter sulfurreducens* with enhanced capacity for current production in microbial fuel cells", *Biosensors and Bioelectronics*, no. 24, pp. 3498-3503, Aug 2009, doi:10.1016/j.bios.2009.05.004.
- [6] C. Leang, N.S. Malvankar, A.E. Franks, K.P. Nevin and D.R. Lovley, "Engineering *Geobacter sulfurreducens* to produce a highly cohesive conductive matrix with enhanced capacity for current production", *Energy & Environmental Science*, no. 6, pp. 1901-1908, Jun 2013, doi:10.1039/C3EE40441B.
- [7] C. Zhao, W.-J. Wang, D. Sun, X. Wang, J.-R. Zhang and J.-J. Zhu, "Nanostructured Graphene/TiO₂ Hybrids as High-Performance Anodes for Microbial Fuel Cells", *Chemistry - A European Journal*, no. 20, pp. 7091-7097, Jun 2014, doi:10.1002/chem.201400272.
- [8] C. Santoro, K. Artyushkova, S. Babanova, P. Atanassov, I. Ieropoulos, M. Grattieri, P. Cristiani, S. Trasatti, B. Li and A.J. Schuler, "Parameters characterization and optimization of activated carbon (AC) cathodes for microbial fuel cell application", *Bioresource Technology*, no. 163, pp. 54-63, Jul 2014, doi:10.1016/j.biortech.2014.03.091.
- [9] D. Pant, G. Van Bogaert, L. Diels, K. Vanbroekhoven, "A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production", *Bioresource Technology*, no. 101, pp. 1533-1543, Mar 2010, doi:10.1016/j.biortech.2009.10.017.



Yolanda Elizabeth González Flores is a Biotechnologist, currently studying an Environmental, Industrial and Food Biotechnology Master, in order to access to her Phd studies in the Microbiology field.

La cara peligrosa de la penicilina

Purificación Alcalá Bellido

Resumen— Las penicilinas, como otros antibióticos del grupo de los β -lactámicos, pueden hacer que un paciente desarrolle una reacción alérgica a ellas. Esta reacción puede variar desde una fiebre medicamentosa, un simple aumento de la temperatura corporal sin aumento del ritmo cardíaco, hasta un cuadro anafiláctico, que incluye espasmos laríngeos y/o bronquiales, y puede resultar mortal. Para evitar estos casos, existe un gran número de antibióticos que no presentan alergenicidad cruzada con las penicilinas ni sus derivados, de tal manera que el paciente dispone de medicamentos alternativos adecuados para él si es necesario.

Palabras Claves— Anafilaxia, antibióticos, exantema maculopapular, fiebre medicamentosa, penicilina.

1. INTRODUCCIÓN

La penicilina tuvo un descubrimiento fortuito, en 1928, de la mano de Alexander Fleming. Hasta 1939 no se llevó a cabo la primera purificación de este fármaco, que a partir de entonces pudo ver desarrollada su producción, y dio comienzo desde ese momento a la era de los antibióticos.

Las penicilinas son un grupo de antibióticos fabricados por hongos del género *Penicillium* que se incluyen dentro del grupo de los β -lactámicos. Estos antibióticos son capaces de impedir la formación de uniones entre los peptidoglicanos de la pared celular de las bacterias, uniendo el anillo β -lactámico al enzima responsable de ensamblar los peptidoglicanos, DD-transpeptidasa. Mientras las enzimas que degradan la pared celular continúan actuando, los peptidoglucanos no pueden ser incorporados por el enzima, con lo que se rompe el equilibrio entre síntesis y degradación de la pared, y la bacteria muere por fagocitosis o lisis. En el caso de que la bacteria se encuentre en división, la penicilina provoca que las paredes celulares no se formen completamente, y las células hijas mueren. [1]

Las penicilinas son útiles contra las bacterias Gram+ (que presentan una gruesa capa de peptidoglicanos) y algunas Gram- (que poseen dos membranas plasmáticas entre las que se sitúa una delgada capa de peptidoglicanos). [1]

2. REACCIONES ALÉRGICAS A LA PENICILINA

Sus más que claros beneficios para la humanidad, y su fortuito y célebre descubrimiento, hacen de la penicilina uno de los medicamentos más conocidos. Sin embargo, como casi cualquier fármaco, su administración supone también un riesgo para el paciente, que puede llegar a sufrir reacciones alérgicas al antibiótico.

En primer lugar, hay que aclarar qué es realmente una alergia a la penicilina. En muchas ocasiones, alguien que cree que tiene una alergia al medicamento en realidad lo que presenta es un efecto adverso a él, como puede ser una intolerancia digestiva, lo cual no tiene nada que ver con una alergia real.

Hay varios niveles de alergia medicamentosa. En el primer nivel, el menos grave, se encuentra la fiebre medicamentosa; es una reacción producida ante la exposición a un fármaco, que se caracteriza por un aumento de la temperatura en un intervalo desde los 37,8°C hasta los 40°C.

Además, los afectados suelen presentar también un déficit pulso-temperatura, es decir, su frecuencia cardíaca no aumenta de manera normal con la temperatura (bradicardia relativa). En menor medida los alérgicos a la penicilina con fiebre medicamentosa pueden presentar un aumento de la cantidad de leucocitos en sangre o una disminución de ellos (leucopenia). También es frecuente que aumente el número de eosinófilos, lo que puede llevar directamente al diagnóstico de hipersensibilidad medicamentosa. [3]

Otra reacción producida por la penicilina es la aparición de exantemas maculopapulares (figura 1). Los exantemas son erupciones de la piel que comienzan en el tronco y se extienden a las extremidades, es decir, son generalizados. A veces, en los casos más graves, pueden aparecer también ronchas y picores. [2], [3].



Fig. 1. Erupción maculopapular. [2]

La existencia de exantemas puede confundir la alergia con una infección, porque ambas los presentan. Estas lesiones desaparecen si se deja de tomar el fármaco que las causa. En raras ocasiones, pueden aparecer también pústulas en los exantemas maculopapulares. Cualquier droga utilizada como fármaco puede causar reacciones cutá-

neas, aunque algunos medicamentos son más propensos que otros. [2]

La reacción de hipersensibilidad más grave que se puede manifestar es una reacción anafiláctica. Ésta puede presentar laringoespasma, broncoespasma, hipotensión, náuseas y vómitos o pérdida de conciencia. En un caso de laringoespasma, la laringe del alérgico se cierra, por lo que no puede entrar aire en sus pulmones ni puede salir el CO₂ contenido en ellos, lo que resulta en el peor de los casos en la muerte del paciente [4]. El broncoespasma consiste en el estrechamiento de los bronquios, con lo que la respiración se ve dificultada [5], mientras que la hipotensión radica en una disminución de la presión sanguínea. Las reacciones anafilácticas son las más peligrosas para el paciente, pues pueden tener un desenlace fatal si son realmente graves.

3. ANTIBIÓTICOS SUSTITUTIVOS DE LA PENICILINA

El grupo de las penicilinas consta de la penicilina G (la molécula descubierta por Fleming), llamada también benzilpenicilina, y un gran número de penicilinas y derivados que el alérgico debe evitar, entre los que distinguimos:

- **Penicilinas naturales**: fenoximetilpenicilina, feneticilina.
- **Resistentes a la penicilinasa**: nafcilina, oxacilina, dicloxacilina.
- **Aminopenicilinas**: ampicilina y ampicilina-sulbactam, amoxicilina, bacampicilina.
- **Carboxi-ureido penicilinas**: carbenicilina, piperacilina y piperacilina-tazobactam.
- **Amidinopenicilinas**: mecilinam. [6], [7]

Estos medicamentos son capaces de generar una respuesta alérgica en un paciente. Por lo tanto, deben utilizarse otros antibióticos que sustituyan a la penicilina y no generen al paciente una reacción de hipersensibilidad.

En el caso de que el alérgico sólo haya desarrollado fiebre medicamentosa o exantema maculopapular, pueden emplearse otros antibióticos β-lactámicos, ya que la reactividad cruzada de éstos con las penicilinas es muy baja.

Sin embargo, si el enfermo ha presentado ronchas o anafilaxia, no deben utilizarse β-lactámicos para tratar las infecciones. Los antibióticos indicados son aquéllos que no presentan reactividad cruzada con las penicilinas, como son aminoglucósidos, tetraciclinas, macrólidos, cloranfenicol, daptomicina, monobactámicos o carbapenémicos. La elección de cada uno depende de la gravedad de la infección, la vía de administración y el tipo de patógeno. [3]

En los casos en los que sea completamente necesario utilizar antibióticos que general una reacción de hipersensibilidad (por ejemplo, por infecciones por organismos multi-resistentes o porque los antibióticos alternativos son demasiado caros), puede llevarse a cabo una desensibilización al antibiótico. La desensibilización consiste en intro-

ducir antibióticos en pacientes sensibilizados a ellos para inducir una tolerancia [6]. El proceso está normalizado y es necesario que un médico lo vigile en todo momento. Sin embargo, a veces no resulta práctico, ya que la mayor prioridad al utilizar un antibiótico es eliminar la infección, y esto puede conseguirse más rápido utilizando otros antibióticos en lugar de desensibilizando al paciente.

4. CONCLUSIONES

La alergia a la penicilina es una reacción que puede variar de gravedad, y como toda hipersensibilidad, puede llegar a ser peligrosa. Por esta razón, los enfermos con infecciones que no puedan ser tratados con penicilina por culpa de una alergia tienen una gran cantidad de antibióticos alternativos a su disposición, de manera que alguien alérgico no corre ningún peligro si sufre una infección.

REFERENCIAS

- [1] Web Wikipedia.org. http://en.wikipedia.org/wiki/Beta-lactam_antibiotic
- [2] Dres. A. Moreno, A. Jucglà y X. Bordas. "Erupciones medicamentosas". <http://www.e-dermatosis.com/pdf-zip/Derma049.pdf>
- [3] Burke A. Cunha, MD. "Selección de antibióticos en el paciente alérgico a la penicilina". <http://www.elsevier.es/sites/default/files/elsevier/pdf/509/9v090n0006a01008.pdf>. 2006.
- [4] Web SciELO Uruguay http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=s0255-81222000000200004&script=sci_arttext
- [5] Web Wikipedia.org <http://es.wikipedia.org/wiki/Broncoespasmo>
- [6] Bernard Yu-Hor Thong. "Update on the Management of Antibiotic Allergy". 2010.
- [7] Web fisterra. <http://www.fisterra.com/>



Purificación Alcalá Bellido.

Estudiante de 1º de Biotecnología en el curso 2012/2013

Morfina: ¿peor el remedio que la enfermedad?

Ana Sánchez Molina

Resumen—La morfina es una droga muy conocida, considerada como el mayor analgésico hasta la fecha y extendida por todo el mundo. Sin embargo, son muchos los que, por desconocimiento de sus efectos secundarios, sufren las consecuencias de dicho fármaco, e incluso su uso ha sido vedado en algunos países. Entonces, ¿qué es la morfina, un potente analgésico que reprime completamente el dolor o una peligrosa droga?

Palabras Claves—Morfina, opiáceo, adicción, analgésico.

1. INTRODUCCIÓN

La morfina fue el primer alcaloide que se consiguió aislar de una planta natural. Su nombre nos da una pista acerca de sus propiedades. Su descubridor, Friedrich Sertürner, decidió llamarla *morfina* en honor al dios griego del sueño, Morfeo, al darse cuenta de que esta droga provoca sueño. Pero eso no es más que un pequeño detalle en la inmensa complejidad del fármaco [1, 2].

La morfina es un analgésico opiáceo, una droga recreativa y el principal químico psicoactivo del ópio. La principal fuente de obtención de la morfina es la extracción química del ópio. En medicina clínica, la morfina se ve como el punto de referencia de los analgésicos usados para aliviar el dolor intenso. Como otros opiáceos, actúa directamente sobre el sistema nervioso central y, además, tiene un alto potencial de adicción [2, 3].

Presenta la apariencia de un polvo blancuzco, soluble en agua, inodoro y cristalino. La fórmula molecular del compuesto es $C_{17}H_{19}NO_3$, y la nomenclatura IUPAC que le corresponde es (5 α , 6 α)-didehidro-4,5-epoxi-17-metilmorfinan-3,6-diol. Su estructura se aprecia en la Figura 1 [1, 2].

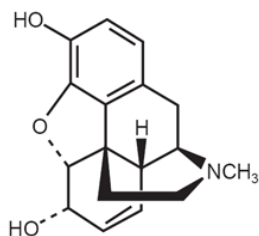


Fig. 1. Representación de la estructura de la morfina.

2. USOS DE LA MORFINA EN MEDICINA

El principal y más conocido uso de la morfina es en el tratamiento del dolor severo, tanto crónico como agudo. También se usa para paliar el dolor del parto y el causado por infartos de miocardio.

Se considera, además, que la morfina de “liberación in-

mediata” es beneficiosa a la hora de reducir el síntoma de dificultad respiratoria aguda debido tanto a cáncer como a otro tipo de causas. En cuanto a la disnea en reposo o en esfuerzo mínimo por cáncer avanzado o enfermedades cardiorrespiratorias en fase terminal, se emplean bajas dosis de morfina de “liberación retardada” para reducir esta disnea, con beneficios mantenidos en el tiempo.

La morfina se utiliza también en terapias de sustitución de opiáceos, para aquellos adictos que no toleran los efectos secundarios derivados del uso de la metadona o la buprenorfina, como es el caso de algunos adictos a la heroína o la cocaína [3, 4].

3. INCONVENIENTES

3.1. Contraindicaciones

La morfina presenta una amplia serie de contraindicaciones, algunas de las cuales son:

- Depresión respiratoria aguda.
- Fallo renal (por acumulación de los metabolitos morfina-3-glucurónido y morfina-6-glucurónido).
- Toxicidad química (potencialmente letal en sujetos con baja tolerancia)
- Presión intracraneal incrementada, incluyendo lesiones craneales (riesgo de empeoramiento de depresión respiratoria).
- Cólico biliar.
- Aunque se consideraba que la morfina estaba contraindicada para la pancreatitis aguda, no existen evidencias concluyentes de que lo sea [5].

3.2. Efectos secundarios

➤ Alto nivel de adicción

La morfina es una sustancia potencialmente adictiva. Puede causar dependencia psicológica y física, así como tolerancia.

➤ Causa estreñimiento

El compuesto en cuestión reduce la motilidad intestinal y provoca estreñimiento. Mediante la inhibición del vaciado gástrico y la reducción de la peristalsis propulsiva del intestino, la morfina reduce la tasa de tránsito intestinal [6].

➤ **Su periodo de abstinencia es duro**

Cesar la administración de morfina produce un síndrome de abstinencia de opiáceos prototípico. Los síntomas se suelen presentar poco antes del transcurso de una hora de la siguiente dosis, e incluyen ojos llorosos, insomnio, diarrea, secreción nasal, disforia y sudoración. Aparecen poco después dolor de cabeza severo, pérdida de apetito, irritabilidad, dolor abdominal intenso, náuseas, vómitos y temblores. Durante el período de abstinencia aguda se da un aumento de la presión arterial diastólica y sistólica, por lo general superando los niveles previos a los del inicio del tratamiento con morfina, y la frecuencia cardíaca aumenta, lo cual puede llevar a un ataque al corazón, coágulos en sangre o derrame cerebral.

Los síntomas más graves alcanzan su máximo entre las 48 y 96 horas después de la última dosis. La retirada psicológica de la morfina es un proceso largo y doloroso, y los adictos a menudo sufren graves depresiones, ansiedad, cambios de humor, insomnio, amnesia, baja autoestima, confusión y paranoia. Sin intervención, la mayoría de los síntomas físicos evidentes desaparecerán de siete a diez días después, incluyendo la dependencia psicológica. No obstante, la privación de la morfina se considera menos peligrosa que la del alcohol, los barbitúricos o las benzodiazepinas [7].

➤ **Puede provocar desequilibrio hormonal**

Existen estudios clínicos que concluyen que, al igual que otros opioides, la morfina puede causar hipogonadismo y desequilibrios hormonales en usuarios crónicos de ambos sexos. Este efecto secundario depende de la dosis y se presenta tanto en usos terapéuticos como recreativos. La morfina también puede llegar a interferir con la menstruación mediante la supresión de los niveles de hormona luteinizante. Todo esto puede causar el aumento de la probabilidad de osteoporosis y fractura ósea [8].

➤ **Se puede desarrollar tolerancia**

La tolerancia a la morfina es bastante rápida, y existen varias hipótesis sobre cómo se desarrolla, incluyendo la fosforilación del receptor opioide, el desacoplamiento funcional de los receptores de las proteínas G o la internalización del receptor μ -opioide y receptores de regulación de la vía cAMP (un mecanismo contrarregulador de efectos opioides).

➤ **Efectos de una sobredosis**

Una sobredosis puede causar la asfixia y la muerte por depresión respiratoria si la persona no recibe atención médica inmediatamente. La dosis letal mínima es de 200 miligramos pero, en caso de hipersensibilidad, solo 60 miligramos pueden ocasionar muerte súbita [9, 10].

3.3. Visión internacional

Internacionalmente, la morfina se clasifica entre las drogas de la Lista I de la *Convención Única sobre Estupefacientes*. Aunque la morfina es barata, a menudo la gente de

países pobres no puede acceder a ella. Los expertos atribuyen la escasa distribución de la droga al miedo injustificado al potencial de adicción y abuso que puede producir el fármaco. Aunque la morfina es a todas luces adictiva, los médicos occidentales creen que vale la pena emplear el medicamento y luego controlar al paciente al finalizar el tratamiento [11].

4. SUSTITUTOS DE LA MORFINA

A día de hoy existen algunas drogas con efectos similares a la morfina, de las cuales a continuación mencionaremos la más destacadas.

➤ **Dilaudid**

Dilaudid es el nombre de un fármaco opiáceo semi-sintético conocido comúnmente como hidromorfona. Es un analgésico de acción central derivado de la morfina, que se utiliza como una alternativa a esta para el alivio del dolor y el tratamiento de la irritación bronquial grave u otras infecciones respiratorias crónicas. Al igual que otros opiáceos sintéticos es una droga con un alto potencial de abuso y adicción. A pesar de que se considera que tiene un nivel de dependencia menor, en comparación con otras drogas opiáceas, se estima que es de 6 a 8 veces más fuerte que el de la morfina. El Dilaudid se prescribe para tratar dolor de moderado a grave, y normalmente se prescribe debido a los efectos secundarios menos graves y la velocidad a la que el fármaco empieza a actuar. Los efectos secundarios más comunes incluyen depresión respiratoria, aturdimiento, mareos, picazón, náuseas, vómitos y estreñimiento [12, 13].

➤ **Hidrocodona**

La hidrocodona, o dihidrocodeína, es un opiáceo semi-sintético que comúnmente se vende bajo el nombre comercial de Vicodin. Es un medicamento que se usa para tratar el dolor moderado o severo y es altamente adictivo. Puede ser peligroso tomarla repetidamente o en dosis elevadas, debido a la presencia de otras sustancias en la medicación, como el paracetamol, el ibuprofeno y la aspirina, que puede causar daños en el hígado cuando se toman en dosis altas. Además, puede interactuar con otras drogas, incluyendo el alcohol, cuando se combinan. Esto puede llevar a un aumento en el riesgo de sobredosis o complicaciones en la salud [12].

➤ **Oxicodona**

La oxicodona es otro opiáceo semi-sintético con propiedades similares a la codeína, que se vende bajo los nombres de Percocet, Percodan, Oxycontin, Roxicodone y OxyNorm. Es un poderoso analgésico, eficaz para aliviar el dolor, y se prescribe para tratar dolor moderado y grave pero, al igual que en los demás casos, es notoriamente adictivo. Ha aumentado su uso recreativo en los últimos años, ya que puede hacer que las personas se sientan relajadas, somnolientas y eufóricas, y disminuye la ansiedad y el dolor. La droga tiene un alto nivel de adicción psicológica y física, y la tolerancia a ella se desarrolla fácilmente. Además, posee un gran número de efectos secunda-

rios, como la contracción de la pupila, tiempo de reacción retardado, dificultad para pensar, confusión, náuseas, dolores de cabeza, nerviosismo, fatiga, estreñimiento y dolor abdominal. En algunos casos, las personas pueden experimentar convulsiones, pérdida de conocimiento y depresión respiratoria [12].

➤ Veneno de mamba negra

La mamba negra (mostrada en la Figura 2) es una serpiente conocida por su potente veneno, capaz de matar a un ser humano en aproximadamente veinte minutos. No obstante, entre los componentes del tóxico cóctel que generan sus colmillos se encuentran unas proteínas, llamadas mambalginas, que han demostrado ser capaces de bloquear el dolor en ratones con una eficacia similar a la de la morfina, presentando además menos efectos secundarios. Se comprobó que los ratones a los que se les inyectaban mambalginas soportaban tener las patas y la cola sumergidas en agua caliente durante aproximadamente el doble de tiempo que los animales no expuestos a las proteínas. Estas proteínas también redujeron la hipersensibilidad al dolor después de la inflamación de los tejidos, y



Fig. 2. Mamba Negra.

no frenaron el ritmo respiratorio de los ratones, un efecto secundario potencialmente peligroso de los opioides que puede limitar su uso. Tras más de cinco días de tratamiento, los ratones desarrollaron tolerancia a las mambalginas, al igual que ocurre al ser tratados con opiáceos, pero el efecto fue menos pronunciado con las proteínas de veneno de serpiente [14, 15].

5. CONCLUSIONES

El dilema existente entre el uso de la morfina en tratamientos y el prescindir de ella es un tema que viene de lejos y para el que, aún en la actualidad, no se ha alcanzado una solución concluyente.

Mientras que no existan sustitutos que ofrezcan los mismos resultados que el fármaco, y siempre sometido a un intenso control por parte del personal sanitario, el tratamiento con morfina podrá seguir considerándose una opción viable. Sin embargo, la búsqueda de un producto que cumpla su misma función y que se desprenda de sus nocivos efectos secundarios debe proseguir. A día de hoy este reemplazo aún no ha tenido lugar, pero con los constantes avances y los nuevos descubrimientos en el mundo de la medicina, es sólo cuestión de tiempo que ese sustituto "ideal" se convierta en un hecho.

REFERENCIAS

- [1] Marina Segura Benítez. "La morfina: sus propiedades no descubiertas", *MoleQla* 2013, n.º. 9, 122-124.
- [2] Web de Opiate Addiction & Treatment Resource. http://www.opiateaddictionresource.com/opiates/types_of_opioids/morphine
- [3] Web de The American Society of Health-System Pharmacists. www.drugs.com/monograph/morphine-sulfate.html
- [4] Web de Everyday Health. www.everydayhealth.com/drugs/morphine
- [5] Wu SD, Zhang ZH, Jin JZ, Kong J, Wang W, Zhang Q, Li DY, Wang MF. "Effects of narcotic analgesic drugs on human Oddi's sphincter motility". *World J. Gastroenterol* 2004, 10 (19): 2901-4.
- [6] Calignano A, Moncada S, Di Rosa M. "Endogenous nitric oxide modulates morphine-induced constipation". *Biochem. Biophys. Res. Commun* 1992; 181(2): 889-93. doi:10.1016/0006-291X(91)91274-G.
- [7] O'Neil MJ. *The Merck index: an encyclopedia of chemicals, drugs, and biological*. Whitehouse Station, N.J.: Merck.
- [8] Brennan MJ. "The effect of opioid therapy on endocrine function". *Am J Med.* 2013; 126(3 Suppl 1):S12-8. doi: 10.1016/j.amjmed.2012.12.001..
- [9] Bekkering GEI, Soares-Weiser K, Reid K, Kessels AG, Dahan A, Treede RD, Kleijnen J. "Can morphine still be considered to be the standard for treating chronic pain? A systematic review including pair-wise and network meta-analyses". *Curr Med Res Opin.* 2011; 27(7):1477-91. doi: 10.1185/03007995.2011.586332.
- [10] Web the Drugs. www.drugs.com/morphine.html
- [11] Austria: International Narcotics Control Board: *Yellow List* (50th ed.). "List of narcotic drugs under international control". 5 March 2011.
- [12] Web the Alcoholreab. www.alcoholrehab.com/alcohol-rehab/synthetic-morphine
- [13] Felden, L.; C. Walter; S. Harder; R.-D. Treede; H. Kayser; D. Drover; G. Geisslinger; J. Lötsch. "Comparative Clinical Effects of Hydromorphone and Morphine". *Br J Anaesth.* 2011; 107(3):319-28. doi: 10.1093/bja/aer200..
- [14] Web de la BBC. www.news.bbc.co.uk/2/hi/health/783921.stm
- [15] Web de Nature. www.nature.com/news/deadly-snake-venom-delivers-pain-relief-1.11526

Fig. 1 : www.pharmamedix.com

Fig. 2 : www.consultamario.com/veneno-serpiente-para-el-dolor



Ana Sánchez Molina, estudiante de primer año del Grado de Biotecnología en la Universidad Pablo de Olavide, curso 2013-2014.

Revisión bibliográfica sobre el tema de la contaminación por nitratos en acuíferos someros

María Dolores Ramos Robles, Marina Serrano García y Elena Villa Sanabria

Resumen— El objetivo del documento ha sido determinar cuáles son las causas de la contaminación por nitrato en los acuíferos someros de una zona concreta situada en la región de Huantai (China). Nos remitimos a un estudio realizado durante cinco años, comprobando que el problema es un uso poco eficiente del terreno causado por un uso en exceso de fertilizantes y por el riego con aguas sin depurar. Asimismo, hemos contrastado y ampliado la información respecto a los requerimientos de los cultivos y al contexto que rodea al acuífero con la intención de profundizar en los otros factores determinantes de la concentración de nitrato. Este tipo de contaminación no solo traerá consigo problemas asociados a la calidad de la agricultura, sino que a su vez está afectando a la calidad de un agua consumida por los ciudadanos. Por lo tanto, además perjudica a la salud y a la economía del país.

Palabras Claves— Contaminación, Nitrato, Acuífero, Flujo, Cultivo.

1. INTRODUCCIÓN

El nitrógeno es un fertilizante indispensable en la agricultura. No obstante, en exceso puede causar un considerable detrimento de la calidad del agua, máxime en los acuíferos debido a su menor velocidad, la cual analizaremos que deriva en un progresivo aumento en la concentración de sustancias [1, 2].

En China, con una gran población en conjunción con un número bajo de terreno arable per cápita, es una prioridad el garantizar la disponibilidad de comida para todos sus habitantes. Por consiguiente, se han aplicado prácticas agrarias como son el uso en abundancia de fertilizantes o el riego intensivo. En el norte del país la producción supone un 30% de la nacional. En esta zona, de recursos indispensables, la filtración de nitratos hacia el subsuelo ha llegado hasta los acuíferos superficiales, los cuales son la mayor fuente de agua potable utilizada para el consumo [1, 2].

Concretamente, el área elegida en el estudio se sitúa al norte del país. Se emplaza sobre la región de Huantai en la provincia de Shandong (Fig. 1.), zona de transición entre la llanura del Río Amarillo al norte y la montañosa llanura aluvial al sur. El nitrato encontrado en las distintas zonas del acuífero no procede de forma exclusiva de la agricultura. Asimismo, las aguas residuales, los desechos industriales y los ganaderos son responsables de su concentración. Los investigadores Chen et al analizaron en estas aguas de consumo todos los factores que determinan las concentraciones de nitrato. Para ello, empezamos analizando otros factores que también influyen, como son las características del acuífero, el contexto hidrológico o la topografía [1].



FIG.1. LOCALIZACIÓN DE LA REGIÓN DE HUANTAI EN LA PROVINCIA DE SHANDONG (CHINA)

2. CONTEXTO HIDROLÓGICO, CARACTERÍSTICAS DEL ACUÍFERO Y TOPOGRAFÍA

La geología está formada por rocas sedimentarias cuyo componente principal son las arcillas. Su edad abarca desde el periodo del Último Terciario hasta el Cuaternario [1].

Las aguas subterráneas de la zona están constituidas por un acuífero superior libre y dos confinados. En el acuífero sin confinar se han realizado los estudios de contaminación por nitrato. Presenta arena de tamaño grueso a fino y la profundidad de su capa freática se sitúa a menos de 50 m. Por su parte, el acuífero confinado superficial y el acuífero confinado profundo están formados por grava arenosa y arena de tamaño medio a fino. Existe una capa resistente al agua y estable, compuesta principalmente por arcilla, y que ostenta una profundidad de aproximadamente 50 m situándose entre la capa del acuífero libre y la del confinado [1].

Las arcillas son poco permeables, lo que promueve que el tiempo de contacto entre estos materiales y los que posteriormente lleva el acuífero, agua contaminada de nitratos,

sea mayor, propiciando un intercambio de sales o la acumulación de agua en su interior. En condiciones de mucha agua no permiten que esta fluya y producen estancamientos que pueden dar lugar a condiciones anoxigénicas [1].

La topografía resultante, consecuencia de ser la zona de transición entre dos llanuras, la del Río Amarillo y la de las montañas aluviales, provoca que la dispersión de nitratos no sea favorecida al hallarse sobre esta planicie. El flujo de aguas subterráneas es prácticamente horizontal, dando lugar a un lento tránsito del nitrógeno y de otros contaminantes. Esto, acoplado al hecho de que el flujo de entrada a través de la infiltración tiene una velocidad muy superior a la de salida, provoca un progresivo incremento en la concentración de nitratos [3].

El clima es monzónico, combina altas temperaturas y precipitaciones en verano, lo cual, en un principio reuniría los elementos climáticos básicos requeridos para el desarrollo una buena agricultura. Sin embargo, la evapotranspiración directa o a través de las plantas es el triple que la precipitación. Los agricultores deben subsanar esta diferencia entre precipitación y evapotranspiración tan negativa mediante el riego. Éste proviene tanto de extracción de pozos como de los ríos. Dado que éstos son ganadores, es finalmente el agua subterránea la que se utiliza en ambos casos. [1, 4].

Sabemos que a medida que pasan los años en Shandong (provincia en la que se incluye Huantai), cuyos recursos hídricos se componen principalmente por cinco ríos y un lago, se están quedando sin agua. Estas circunstancias hacen concluir que el nivel freático podría estar disminuyendo. Para ello, nos basamos en la verificación del mismo fenómeno en áreas cercanas bajo las mismas circunstancias. La principal causa es el riego por parte de los agricultores a partir del agua de los pozos, de aguas de los ríos como el Río Amarillo, muchas afectadas por vertidos y sin depurar, o con una mezcla de ambas prácticas [1, 4].

3. MÉTODO GEOESTADÍSTICO. PRIMERAS CONCLUSIONES EXTRAÍDAS

La Geoestadística estudia la variación en el espacio y/o el tiempo de los datos de la superficie terrestre. Mediante el Método Geoestadístico se realiza el análisis de la correlación espacial con el método del (semi)variograma, se interpola mediante el método de kriging y los resultados se interpretan en un mapa a través de una extensión de análisis geoestadístico [6]. Gracias a este método, en 2002 y 2007 respectivamente, se realizó un estudio de cuál era el nivel de contaminación en las distintas zonas del acuífero. Para cada zona, debido al método, era indispensable conocer su distancia a los distintos usos del terreno. Se extrajo que algunas prácticas granjeras, el riego con aguas residuales en la agricultura, los vertidos de industrias y el tipo de uso del suelo fueron la causa de las distintas concentraciones de nitratos recogidas [1, 5].

En 2002 y 2007 las concentraciones se encontraban dentro del rango 0,05-79,74 mg L⁻¹. Sin embargo, la media de concentración en 2007 era de 14,68 mg L⁻¹, más del doble

que en 2002. Se hizo una distinción de zonas según el nivel de concentración: La zona central de la región de Huantai tenía altos niveles de nitratos y nitrógeno en el acuífero debido a la agricultura de rápido crecimiento y a las aguas residuales. En contraste con el noroeste de la ciudad de Maqiao, cuyas concentraciones de nitratos y nitrógeno disminuyen debido a la existencia de árboles de rápido crecimiento con raíces profundas que asimilan el nitrato. También, en la ciudad de Zhoujia, al tener un río de carácter estacionalmente seco y por ello no aplicar riego con aguas residuales sin depurar, se producía una disminución en la concentración de nitrato [1, 5].

4. USOS DEL SUELO DESTINADOS A LA AGRICULTURA. EFECTOS EN LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS.

La combinación de un clima monzónico de altas temperaturas junto con una fertilidad del terreno elevada, gracias a tener arcillas como componente mayoritario, han sido vitales para el desarrollo de la agricultura en la provincia de Shandong. El elemento limitante, las precipitaciones, son como hemos mencionado suplidas mediante riego.

La práctica de cultivo dominante consiste en un sistema rotacional de doble cultivo, el cual combina trigo en invierno y maíz en verano. Desde 1996 hasta 2002 la práctica ha sido la de aplicar fertilizantes en abundancia para incrementar el ritmo de producción. Un dato ilustrativo del alto nivel productivo es el hecho de que Huantai ha sido la provincia con más rendimiento en la producción de grano durante 13 años consecutivos [1, 2, 7].

La tabla I muestra para el estudio realizado en Huantai, respecto a las distintas muestras tomadas, cuál ha sido el cambio en el tipo de riego y uso de suelo del 2002 al 2007. De este modo, podemos apreciar cómo hay más zonas que han pasado de un riego por pozo durante el 2002 a un riego con aguas sin depurar, todas ellas de cultivo rotacional de trigo-maíz. Asimismo, una parte de las zonas muestreadas han pasado de un uso de suelo de cultivo de trigo-maíz, a uno de verduras, trigo-verduras, algodón, huerto o árboles de rápido crecimiento [1].

La concentración de NO₃ en el agua subterránea superficial aumenta al cambiar de un cultivo rotacional de trigo y maíz a un cultivo de trigo-verduras, de verduras, o de algodón. El cambio a algodón, verduras y trigo-verduras por este orden registra de un mayor a un menor aumento en la concentración de NO₃. Sin embargo, los mayores incrementos han sido encontrados en plantaciones de trigo-verduras que fueron abandonados, lo cual provocó su difusión hacia el acuífero sin nada de absorción por parte de las plantas mustias. Por otra parte, bajo las mismas condiciones de regadío, el cambio de cultivo a una plantación de árboles de crecimiento rápido significó una disminución de la concentración de NO₃ en el acuífero superficial [1].

3

TABLA 1
DISTRIBUCIÓN DE LAS MUESTRAS SEGÚN USO DEL SUELO Y TIPO RIEGO EN EL 2002 Y 2007

2002	2007											
	RP						RASD		Alternancia RP-RASD			
	RMT	V	RTV	A	H	ARC	RTM	ARC	RTM	V	A	ARC
RP												
RMT	152	17	11	6	6	12	3	-	22	-	-	-
V	10	5	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
RTV	5	2	4	1	2	1	-	-	-	-	-	-
A	14	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
H	1	-	-	-	5	1	-	-	1	-	-	-
RASD												
RMT	1	-	-	-	-	-	14	-	1	-	-	-
Alternancia RP-RASD												
RMT	21	1	-	1	-	8	5	1	34	3	3	10
V	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
RTV	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
A	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-

La tabla indica para las parcelas muestreadas en el estudio de Chen et al el cambio que experimentan tanto en el uso del suelo como en el tipo de riego tomando como referencia el año 2002 y viendo su estado en el año 2007. Para ello, se aprecia el número de muestras que con undeterminado uso y riego en 2002 tienen un uso y riego, ya sea el mismo o diferente, en 2007. RP: riego por pozo, RASD: riego con aguas sin depurar, RMT: rotación maíz-trigo, V: verduras, RTV: rotación trigo-verduras, A: algodón, H: huerto, ARC: árboles de rápido crecimiento.

Las características de cada cultivo y, según estas, el tipo de prácticas agrícolas empleadas para cada uno de ellos, son las causas de las distintas concentraciones de nitrato en el acuífero. Para las verduras, cuyas raíces presentan una respuesta positiva ante el agua y los nutrientes, los agricultores favorecen su crecimiento añadiendo todo el fertilizante posible favorecido por una asiduidad en el riego con el objetivo de un incremento en la dispersión de este nutriente. Gran parte del fertilizante no será absorbido por sus raíces, al ser estas superficiales, por lo que será un residuo que llegará hasta el acuífero. Respecto al trigo, su red de raíces alcanza una mayor profundidad que la de las verduras. Una práctica que aumenta la eficiencia del uso de fertilizantes es combinar cultivos de trigo con el de verduras, obteniendo de este modo una absorción a mayor nivel de profundidad [1].

El maíz requiere nitratos sobre todo durante su crecimiento vegetativo. Tiene tres tipos de raíces; las seminales que no son permanentes; las permanentes, sistema radicular principal, que incluye las primarias y secundarias, y las profundas y adventicias que actúan de soporte y a la vez absorben agua y nutrientes [8].

Por su parte, en el cultivo de algodón no se requiere tanto nitrato. A pesar de ello, el acuífero registra los mayores niveles de nitrato por este cultivo. La causa es la interrupción en el crecimiento del algodón durante el comienzo de la época de lluvias, tras el mes de agosto. Las precipitaciones lixivian el nitrato hacia el subsuelo [1].

El último tipo de plantación son los árboles de rápido crecimiento, como los álamos. Sus raíces son muy profundas en comparación con los cultivos de algodón, verduras, maíz y trigo, y por ello absorben los nitratos en un rango de profundidad muy amplio, y pueden bajar la concentración de nitratos en el acuífero. Los árboles de rápido crecimiento no suelen ser abonados, por consiguiente no se contamina el suelo con nitratos y además, los árboles absorben los nitratos que ya se encuentran en



Fig.2.- Imagen cosecha del maíz en Huantai [9]

5. INFLUENCIA DE TIPO DE RIEGO EN EL ACUÍFERO

Los acuíferos superficiales son la principal fuente de agua para la población china. Sin embargo, como hemos mencionado, la cantidad de cultivos de la zona junto con el tipo de riego, aumentan la contaminación del agua de los acuíferos produciendo daños a la población que la consume. La máxima concentración de nitratos permitida en un litro de agua es de 10 mg. Por encima de esta cantidad, el agua deja de ser potable [1].

Por una parte, la máxima cantidad de nitratos encontrados en el 2002 para los distintos tipos de cultivo fue de 8.33+-5.63mg/L en cultivos del algodón, y a continuación en detrimento para los de verduras y el sistema rotacional de trigo y verduras [1].

Por otro lado, los resultados entre el 2002-2007 muestran para las rotaciones de trigo-maíz diferencias en las concentraciones de nitrato importantes del riego con pozos y aguas sin depurar al riego de manera exclusiva, ya sea con pozos o con aguas sin depurar. Así la concentración para las aguas sin depurar son 22,0 mg L⁻¹, y para una mezcla de los dos tipos de riego de 7,74 mg L⁻¹ [1].

Estos datos nos indican que las concentraciones de nitrato en el agua sin depurar deben considerarse, y asimismo,

realizarse labores de depuración. Lo cierto, es que durante los últimos años se ha detectado un aumento de componentes de riesgo para la salud humana en las aguas residuales. Los valores de nitrato registrados para las aguas residuales se sitúan dentro del rango de "no potable", por lo consiguiente, no son aguas aptas para el consumo [1, 2].

Otra cuestión a destacar, es el hecho de que para un mismo tipo de cultivo y riego, si se mide la concentración de nitratos en el acuífero esta no suele recoger siempre el mismo valor. Ocurre porque además influyen otros factores como son el tipo de fertilizante, la textura del suelo u otras prácticas granjeras que puedan añadir nitrato. [1, 2]. Como ya mencionamos, el cambio de un cultivo de trigo-maíz a uno de árboles de rápido crecimiento produce una disminución en la concentración de nitratos en acuíferos. Para esta transformación en el tipo de cultivo, el descenso es mucho mayor si el riego que se aplica sobre la zona proviene de un pozo que de aguas sin depurar. Apreciamos cómo el tipo de riego tiene un peso considerable, sea cual sea el tipo de cultivo sobre el cual se aplique. Por su parte, este cambio de cultivos junto con el cambio de riego de pozo a riego con agua sin depurar produjo un aumento de la concentración de nitratos de 14,74 mg L⁻¹.

Para finalizar, cabe destacar que el cambio de riego de aguas sin depurar a aguas de pozo no produce una disminución instantánea en la concentración de nitratos en el acuífero. La causa es el ya comentado flujo horizontal y lento de las aguas subterráneas en esta zona, sumado a la circunstancia de la entrada de nitratos en la zona por los fertilizantes y a la interconexión superficial y subterránea con las zonas circundantes, que también añadirán nitratos al acuífero [1, 3].

6. CONCLUSIONES

Los resultados extraídos a partir del análisis espacial y del estudio comparativo de las muestras tomadas durante el periodo 2002-2007 ante una media de concentración de nitratos de 8,08 mg L⁻¹ en 2002 y de 14,68 mg L⁻¹ en 2007, muestran en el acuífero un aumento en su concentración. La zona pasa de tener una media de aguas potables a un promedio de aguas no potables. La causa tiene doble origen; Por una parte, el cambio de cultivos de trigo-maíz a plantaciones como son el algodón o verduras, debido al aumento en los fertilizantes empleados y según la capacidad de absorber nitratos dependiente de la propia fisiología de cada cultivo. Y por otro, el aumento en los niveles de nitrato durante el paso de un sistema de riego de aguas de pozo a uno de aguas residuales.

Además, se identificó al sistema de riego como el elemento con mayor peso en la contaminación de los acuíferos, como así queda evidenciado al contener las aguas sin depurar niveles de nitrato por encima de los permitidos para su consumo.

Como conclusión, podemos decir que la industria agraria de Huantai tiene mucho que mejorar:

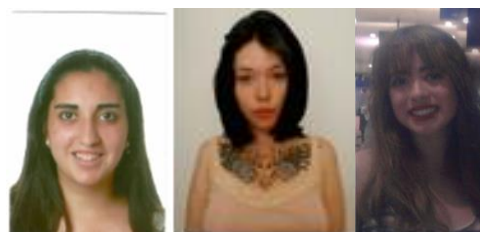
Por un lado, el aprovechamiento de nitratos de las plantas podría ser mucho más eficiente combinando diferentes tipos de plantas que se complementen, por ejemplo, plan-

tando árboles de rápido crecimiento y verduras. Son plantas con raíces profundas, que absorben los nitratos que se hayan lixiviado hacia las profundidades y plantas con raíces más superficiales.

Por otro lado, el mal uso de los recursos hídricos por parte de los agricultores están llevando no solo a la contaminación o déficit de las aguas subterráneas, sino que además afecta mediante una pérdida de su calidad, afectando a la salud de las personas y dando lugar a un mayor gasto económico en fertilizantes para mantener la máxima producción, convirtiéndose este ciclo en una retroalimentación positiva e insostenible de cara a producciones futuras.

REFERENCIAS

- [1] S. Chen, W. Wua, K. Hua and W. Li, "The effects of land use change and irrigation water resource on nitrate contamination in shallow groundwater at county scale," *Ecological Complexity*, vol.7, no. 2, pp. 131-138, June 2010, doi: 10.1016/j.ecocom.2010.03.003.
- [2] X. Li, C. Hu, J.A. Delgado, Y. Zhang and Z. Ouyang, "Increased nitrogen use efficiencies as a key mitigation alternative to reduce nitrate leaching in north china plain," *Agricultural water management*, vol 89, no 1-2, pp. 137-147, February 2007, doi: 10.1016/j.agwat.2006.12.012.
- [3] G.D. Liu, W.L. Wu and J. Zhang, "Regional differentiation of non-point source pollution of agriculture-derived nitrate nitrogen in groundwater in northern China," *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 107, no. 2-3, pp. 211-220, May 2005, doi: 10.1016/j.agee.2004.11.010.
- [4] Y. Shen, H. Lei, D. Yang and S. Kanae, "Effects of agricultural activities on nitrate contamination of groundwater in a Yellow River irrigated region," IAHS-AISH Publication, vol. 348, pp. 73-80, July 2011.
- [5] G. Bohling, "Introduction to geostatistics and variogram analysis," unpublished.
- [6] E.H. Isaaks and R.M. Srivastava, "An Introduction to Applied Geostatistics," Oxford University Press, 1989.
- [7] W. Liu, W. Wu, X. Wang, M. Wang and Y. Bao, "A sustainability assessment of a high-yield agroecosystem in Huantai County, China," *International journal of sustainable development and world ecology*, vol. 14, no. 6, pp. 565-573, December 2007, doi: 10.1080/13504500709469755.
- [8] A.B. Pavón, "Instalación de riego por goteo en una parcela de maíz", Escuela universitaria de ingeniería técnica agrícola de Ciudad Real, Univ. de Castilla la Mancha. 2003.
- [9] Web: Soil and Water Blog (Profesor Phil Haygarth). <http://landwaterblog.blogspot.com>



Maria Dolores Ramos Robles, Marina Serrano García y Elena Villa Sanabria cursan cuarto curso del Grado de Ciencias Ambientales, Universidad Pablo de Olavide.

Ambientes extremófilos de interés en Astrobiología en la Península Ibérica

Lorenzo Santos Virosta

Resumen—En la Península Ibérica contamos con dos ambientes extremófilos de características muy diferentes: Río Tinto y la laguna de Tírez. Ambos son empleados como modelos en la Astrobiología para el estudio Marte y Europa respectivamente.

Palabras Claves— Río Tinto, Tírez, Astrobiología, Extremófilos, Marte, Europa.



1. INTRODUCCIÓN

El nacimiento de la Astrobiología como ciencia puede situarse en 1998, año de creación del NASA Astrobiology Institute (NAI) por parte de la NASA debido a la necesidad de profundizar en la investigación sobre cómo se originó la vida (emergencia, condiciones de desarrollo, adaptabilidad, etcétera), así como la presencia de la misma y su influencia en todo el Universo. En España contamos con diversos centros repartidos por todo el país pertenecientes o asociados al Centro de Astrobiología (CAB). Este centro fue creado como centro mixto entre el CSIC y el INTA y sus actividades como centro de investigación se iniciaron a finales de 1999.

Debido a la gran complejidad de las cuestiones que se plantea, para la aproximación y resolución de las mismas requiere de la integración de diferentes áreas de conocimiento. Por lo tanto, es transdisciplinar y en ella se relacionan ciencias como la astronomía, la astrofísica, la biología, la química, la geología, la informática y la antropología.

2. EL INTERÉS DE LA ASTROBIOLOGÍA POR LOS AMBIENTES EXTREMOS

El estudio de los ecosistemas terrestres ha llevado al descubrimiento de la vida en ambientes que hasta hace relativamente poco se consideraban inhabitables [1, 2] tales como aquéllos que poseen altas o bajas temperatura, pH extremos, altas concentraciones de sales, y altas presiones [2, 3]. Estos ambientes se denominan “ambientes extremos” en comparación con los más habitables para los humanos, a los que se les considera como “normales”. Además, a los microorganismos que son residentes endémicos de estos hábitats se les denomina microorganismos extremófilos.

Entre las diferentes líneas de investigación que se incluyen en el campo de la Astrobiología, podríamos destacar sobre otras la del estudio de este tipo de ambientes debido a la relevancia adquirida por éstos. La vida en los extremos ha adquirido importancia por varias razones: 1) en la actualidad se considera que los ambientes extremos que existen pueden reflejar las condiciones tempranas de la Tierra y que han persistido durante la mayor parte de

la historia de la vida del planeta [2, 4]; 2) estos ambientes extremos pueden albergar organismos productores de moléculas de gran importancia desde el punto de vista biotecnológico y económico [2, 4, 5]; 3) los lugares que poseen ciertas características físico-químicas extremas se establecen como “análogos terrestres” de otros componentes del Universo no terrestres en los que se busca vida tales como Marte o Europa [2, 6]. Además, contribuyen a la identificación de los límites para la supervivencia y crecimiento de microorganismos, así como al conocimiento de los mecanismos moleculares que permiten a estos seres su adaptación a dichas condiciones [1, 2].

Como consecuencia de lo anterior, cuando en el CAB se realizan investigaciones de este tipo se enfocan a tres objetivos diferentes: i) intentar determinar las características y parámetros físico-químicos de distintos ambientes extremos, ii) analizar su diversidad biológica, y iii) estudiar los límites de la vida, con el fin de determinar su posible existencia, su caracterización y estableciendo las estrategias que facilitan su desarrollo.

Los organismos que habitan en estos nichos no sólo nos aportan información fundamental sobre la habitabilidad de nuestro planeta y la posibilidad de encontrarla en otros lugares fuera de él, sino que también permiten conocer cuáles son límites de la vida, la co-evolución entre la vida y el planeta Tierra, el establecimiento y evolución de los sistemas de transducción de energía, y el origen de los ciclos de los elementos en la naturaleza.

Es por esto que repartidos por todo el mundo existen diversos ecosistemas extremófilos que son objeto de estudio. La mayoría de estos lugares se encuentran bastante separados entre sí pero, no obstante, la Península Ibérica cuenta con el privilegio de poseer dos de ellos: Río Tinto y Tírez.

3. RÍO TINTO COMO ANÁLOGO DE MARTE

Este río es conocido desde la época de los fenicios, quienes lo nombraban como ‘Ur-yero, o ‘Río de Fuego’ debido a la tonalidad rojiza y la acidez de sus aguas. Nace en el núcleo de la Faja Pírrica Ibérica que constituye uno de los depósitos más grandes de sulfuros de hierro y cobre en el mundo [2, 4, 7-12]. Debido a la tradición minera que se remonta a más de 5.000 años y a sus características físico-

químicas, durante una época se consideró que las condiciones que presentaba el río eran consecuencia de la contaminación derivada de dicha actividad en la zona [2, 9, 12]. Sin embargo, análisis posteriores a bioformaciones laminadas de hierros en antiguas terrazas del río han mostrado poseer una antigüedad de unos dos millones de años y, por tanto, su origen previo al inicio de la actividad minera [2, 8]. Así pues, la actividad minera ejerció una influencia secundaria y de carácter temporal en las condiciones físico-químicas actuales del Río Tinto y es la actividad metabólica de los microorganismos quimiolitotrofos que crecen en sus aguas la que otorga a día de hoy sus propiedades [12]. Entre dichos microorganismos dominan bacterias oxidadoras del hierro y azufre [2, 4, 9, 12]. En el ambiente anaerobio, el hierro férrico (Fe^{3+}) es empleado como oxidante para descomponer la pirita produciendo como resultado sulfato, hierro ferroso y protones tal y como puede observarse en la Figura 1 [2, 4, 10, 12, 13] provocando así la acidificación y coloración de las aguas. Por lo tanto, y dado que la mayoría de los quimiolitotrofos existentes son autotróficos, además de promover estas condiciones extremas constituyen el nivel de productores primarios de este hábitat [2, 4, 9, 12, 14, 15].

Adicionalmente a estos procesos en diferentes profundidades existen también otros tipos de metabolismos. Se han identificado géneros bacterianos como Methanococcales y Methanosarcinas en profundidades del subsuelo que van desde 80 m de profundidad hasta 114 m, así como en profundidades aún mayores (a partir de 153 m de profundidad). Estos géneros llevan a cabo reacciones de síntesis de metano el cual es posteriormente consumido bien de forma aerobia por bacterias metanotrofas del género *Methylomonas* o de forma anaerobia por otros géne-

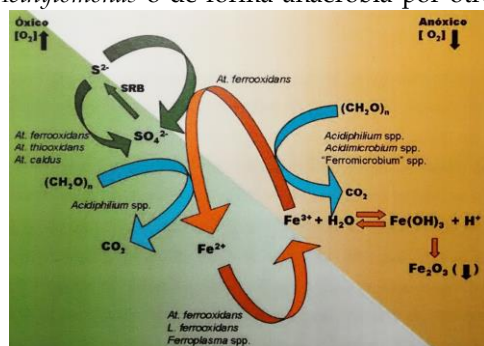


Fig. 1. Geomicrobiología del ecosistema de la cuenca del Río Tinto asociada con los ciclos de hierro y azufre. En azul se indican las reacciones metabólicas reacionadas con el ciclo del hierro, y en verde las asociadas con el ciclo del azufre, operando en condiciones aeróbicas (verde claro) o anaeróbicas (anaranjado). SRB: bacterias sulfato-reductoras. Figura adaptada de [13].

ros mediante oxidación anaerobia del metano utilizando también parte del sulfato generado por la degradación de la pirita [12].

Los depósitos de sulfato hallados en Marte [15], unidos a la predominancia de minerales de hierro en dicho planeta constituyen dos de las numerosas similitudes físico-químicas entre Marte y Río Tinto [2]. En la actual misión a Marte que está llevando a cabo el rover *Curiosity* (con la participación junto con otros países de España) se están realizando, entre otras actividades, perforaciones en el

subsuelo donde existe la posibilidad de encontrar agua líquida cuyas características son similares a las de Río Tinto. Dichas características unidas a la presencia de fósiles con más de dos millones de años de antigüedad y la existencia de organismos quimiolitotrofos acidófilos convierten a Río Tinto un ambiente análogo al del "Planeta Rojo" ideal para su estudio [16].

4. TÍREZ COMO ANÁLOGO DE EUROPA

Los ambientes hipersalinos, aunque variados, pueden clasificarse en dos grupos principales: por un lado se encuentran los thalassohalinos, cuya composición es similar a la composición marina, y por otro lado los athalassohalinos cuya composición difiere de la marina. Son los primeros, los thalassohalinos los mejor caracterizados. Al igual que Tírez existe una gran diversidad de sistemas de athalassohalinos por estudiar y aquéllos en los que se han realizado estudios sólo se han enfocado en la comprensión de actividades tales como la reducción de sulfato en dichos ambientes hipersalinos. La alta concentración en sulfatos hacen de Tírez una laguna interesante para el estudio del efecto de la concentración de sulfato en la diversidad microbiana del hábitat, especialmente en los sedimentos poco explorados hasta ahora [17].

Debido a su ambiente hipersalino con Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- y con alto contenido de sales de sulfato así como la existencia en sus aguas de procariotas halófilos y sus comunidades subsuperficiales de micrororganismos anaerobios, la laguna de Tírez ha sido propuesta como un análogo terrestre del océano del satélite de Júpiter, Europa. Existen evidencias indirectas que apoyan la teoría sobre la presencia de un océano salino bajo el hielo de Europa y en cuya composición predominan minerales hidratados, si bien se desconoce si se tratan de sales de sulfato o del pH del mismo. Para la relación con dicho satélite con la laguna de Tírez y la teorización de la composición del océano de Europa, los investigadores han empleado datos obtenidos mediante el espectrómetro de infrarrojo cercano de la sonda Galileo en el análisis de la superficie [16-18].

La metanogénesis constituye uno de los principales metabolismos que estuvieron presentes en la época sin oxígeno de la Tierra primitiva y se sospecha que en los entornos anaerobios del océano de Europa podrían darse estos procesos también. Es por esto que es de vital importancia el estudio y conocimiento de cómo se llevan a cabo estos procesos en su análogo terrestre [16-18].

Existen dos factores fundamentales que limitan la distribución ecológica de la metanogénesis dentro de la laguna de Tírez: la concentración de sulfatos y el potencial redox. En cuanto a la distribución de sulfatos dentro de la laguna no existe ningún impedimento para que se produzca este proceso. En cambio, el potencial de oxidoreducción en la laguna sí podría ser limitante ya que posee valores en torno a 150 mV y 170 mV en las estaciones húmedas y secas, respectivamente. Estos potenciales no son suficientemente negativos dado que los valores habituales para la metanogénesis se encuentran en torno a los -330 mV. Pese a ello, la metanogénesis se produce. Esto es debido a que dentro de la laguna existen microambientes

generados por los propios microorganismos en los que se alcanzan los valores necesarios para el proceso [17, 18].

Otra peculiaridad de Tírez es que la metanogénesis no siempre se lleva a cabo de una única forma dentro de la laguna. En este aspecto, durante todo el año se produce una metanogénesis metilo-trófica en la que se emplean sustratos metilados como metilamina o di-metilamina para producir metano por bacterias de los géneros *Methanohalobium* y *Methanolobus*. Sin embargo, en invierno de modo adicional microorganismos del género *Methanoculleus* pueden utilizar dióxido de carbono e hidrógeno para llevar a cabo una metanogénesis hidrogenotrofa [17, 18].

5. CONCLUSIONES

Existen diversos ambientes extremófilos utilizables como modelos en astrobiología. Aunque la mayoría de ellos se encuentran repartidos por todo el mundo y distantes entre sí, en España contamos con el privilegio de contar con dos de ellos, siendo además muy diferentes entre sí. Estos ambientes muestran cómo los microorganismos pueden no sólo colonizar prácticamente cualquier medio, sino también modificarlo por sí mismos llegando a hacerlo habitable para un determinado grupo. Por un lado, Río Tinto es un claro ejemplo de ambiente extremófilo de bajo pH y alta concentración de hierro y sulfatos que colorean sus aguas. Por otro, la laguna de Tírez es un ambiente hipersalino en el cual no sólo habitan microorganismos halófilos sino que también modifican las condiciones ambientales haciendo este entorno propicio para que se puedan llevar a cabo metabolismos que de otra forma no podrían.

REFERENCIAS

- [1] A. Garcia-Moyano, E. Gonzalez-Toril, A. Aguilera and R. Amils, "Prokaryotic community composition and ecology of floating macroscopic filaments from an extreme acidic environment, Rio Tinto (SW, Spain)," *Syst.Appl.Microbiol.*, vol. 30, no. 8, DEC 2007, pp. 601-614
- [2] E. Lanagrán Valero, "Análisis de la biodiversidad Microbiana en el subsuelo del Río Tinto mediante clonaje y secuenciación de genes de rRNA,"
- [3] E.V. Pikuta, R.B. Hoover and J. Tang, "Microbial extremophiles at the limits of life," *Crit.Rev.Microbiol.*, vol. 33, no. 3, 2007, pp. 183-209.
- [4] A. Aguilera, E. Zettler, F. Gomez, L. Amaral-Zettler, N. Rodriguez and R. Amils, "Distribution and seasonal variability in the benthic eukaryotic community of Rio Tinto (SW, Spain), an acidic, high metal extreme environment," *Syst.Appl.Microbiol.*, vol. 30, no. 7, NOV 2007, pp. 531-546.
- [5] C. Schiraldi and M. De Rosa, "The production of biocatalysts and biomolecules from extremophiles," *Trends Biotechnol.*, vol. 20, no. 12, DEC 2002, pp. 515-521.
- [6] R. Cavicchioli, "Extremophiles and the search for extraterrestrial life," *Astrobiology*, vol. 2, no. 3, FAL 2002, pp. 281-292.
- [7] D.C. Fernandez-Remolar, N. Rodriguez, F. Gomez and R. Amils, "Geological record of an acidic environment driven by iron hydrochemistry: The Tinto River system," *Journal of Geophysical Research-Planets*, vol. 108, no. E7, JUL 30 2003, pp. 5080.
- [8] D.C. Fernandez-Remolar, R.V. Morris, J.E. Gruener, R. Amils and A.H. Knoll, "The Rio Tinto basin, Spain: Mineralogy, sedimentary geobiology, and implications for interpretation of outcrop rocks at Meridiani Planum, Mars," *Earth Planet.Sci.Lett.*, vol. 240, no. 1, NOV 30 2005, pp. 149-167.
- [9] E. Gonzalez-Toril, E. Llobet-Brossa, E.O. Casamayor, R. Amann and R. Amils, "Microbial ecology of an extreme acidic environment, the Tinto river (vol 69, pg 4853, 2003)," *Appl.Environ.Microbiol.*, vol. 69, no. 11, NOV 2003, pp. 6959-6959.
- [10] A. Aguilera, V. Souza-Egipsy, P.S. Martin-Uriz and R. Amils, "Extracellular matrix assembly in extreme acidic eukaryotic biofilms and their possible implications in heavy metal adsorption," *Aquatic Toxicology*, vol. 88, no. 4, JUL 30 2008, pp. 257-266.
- [11] R. Bonaccorsi and C.R. Stoker, "Science Results from a Mars Drilling Simulation (Rio Tinto, Spain) and Ground Truth for Remote Science Observations," *Astrobiology*, vol. 8, no. 5, OCT 2008, pp. 967-985.
- [12] D. Gomez-Ortiz, D.C. Fernandez-Remolar, A. Granda, C. Quesada, T. Granda, O. Prieto-Ballesteros, A. Molina and R. Amils, "Identification of the subsurface sulfide bodies responsible for acidity in Rio Tinto source water, Spain," *Earth Planet.Sci.Lett.*, vol. 391, APR 1 2014, pp. 36-41.
- [13] R. Amils, D. Fernandez-Remolar, F. Gómez, E. Gonzalez-Toril, N. Rodríguez, C. Briones, O. Prieto-Ballesteros, J.L. Sanz, E. Díaz, T.O. Stevens and C.R. Stoker, "Subsurface Geomicrobiology of the Ibetian Pyritic Belt," vol. 13, no. *Microbiology Extreme Solils*. Springer-Verlag London Limited, pp. 205.
- [14] R. Gonzalez-Toril, F. Gomez, M. Malki and R. Amils, "The isolation and study of acidophilic microorganisms," *Extremophiles*, vol. 35, 2006, pp. 471-+.
- [15] D.C. Fernandez-Remolar, F. Gomez, O. Prieto-Ballesteros, R.T. Schelble, N. Rodriguez and R. Amils, "Some ecological mechanisms to generate habitability in planetary subsurface areas by chemolithotrophic communities: The Rio Tinto subsurface ecosystem as a model system," *Astrobiology*, vol. 8, no. 1, FEB 2008, pp. 157-173.
- [16] L.J. Preston and L.R. Dartnell, "Planetary habitability: lessons learned from terrestrial analogues," *International Journal of Astrobiology*, vol. 13, no. 1, JAN 2014, pp. 81-98.
- [17] L. Montoya, C. Vizioli, N. Rodríguez, M.J. Rastoll, R. Amils and I. and Marin, "Microbial community composition of Tírez lagoon (Spain), a highly sulfated athalassohaline environment," *Aquatic Biosystems*.

- [18] L. Montoya, I. Lozada-Chávez, R. Amils and Rodriguez, Nuria and Marín, Irma, "The Sulfate-Rich and Extreme Saline Sediment of the Ephemeral Tirez Lagoon: A Biotope for Acetoclastic Sulfate-Reducing Bacteria and Hydrogenotrophic Methanogenic Archaea," International Journal of Microbiology.



Lorenzo Santos Virosta recibió el título de Licenciado en Biología por la Universidad de Sevilla en 2012. Actualmente es alumno de la Universidad Pablo de Olavide, donde cursa el Máster en Biotecnología Ambiental Industrial y Alimentaria. Compagina estos estudios con otro Máster en Informática en la especialidad de Diseño Industrial.

La presencia de nanopartículas metálicas en vidrieras históricas

Andrea Gil Torrano

Resumen—Las nanopartículas han estado presentes en nuestro entorno desde tiempos inmemoriales, su hallazgo en antiguos vitrales es un claro ejemplo de ello. En este trabajo se comenta brevemente la presencia de algunas nanopartículas metálicas, concretamente de oro y plata, en este tipo de materiales, así como con qué fenómeno se relacionan las distintas coloraciones que se observan. El pequeño tamaño de estas partículas (en la escala nanométrica), las dota de propiedades muy distintas de las presentadas por los materiales macroscópicos, y es debido a la resonancia del plasmón de superficie, que en vez de mostrar el esperado color dorado propio del oro aparezca, por ejemplo, con tonalidades rojizas, y del mismo modo las nanopartículas de plata exhiban colores amarillos. No obstante, la coloración que luzcan finalmente va a estar estrechamente relacionada con el tamaño y forma de la nanopartícula metálica presente en el medio.

Palabras Claves— Nanopartículas metálicas, Oro, Plata, Vitral, Vidriera, Resonancia del Plasmón de Superficie, RPS.

1. INTRODUCCIÓN

Los vitrales ya estaban presentes en los templos medievales, llegando a su máximo apogeo con la arquitectura gótica. Con ello, las nanopartículas ya formaban parte de numerosas vidrieras antiguas produciendo distintas coloraciones en los vidrios, de entre las que destacan aquellas con tonalidades amarillas y rojas (Fig.1). Hay que tener en cuenta que los fabricantes de vidrios medievales no sabían que estaban haciendo uso de la nanotecnología, no obstante, las nanopartículas llegaron a estos tipos de materiales debido a que los artesanos emplearon sales de oro y/o plata en la elaboración de los vidrios. Por ello, destaca su virtuosidad a la hora de realizar los vitrales, ya que de algún modo eran conscientes de que al variar pequeñas cantidades de oro y plata en el vidrio, podían prever colores rojos y amarillos en las vidrieras. Hoy en día, se sabe que tan sólo se necesitan pequeñas cantidades de nanopartículas, colocadas de forma precisa, para producir un cambio en las propiedades físi-

cas de un material.

La respuesta óptica de las nanopartículas presentes en el material se determina a través de la resonancia del plasmón de superficie y de la dispersión de las nanopartículas metálicas. En general, se percibe el mismo color tanto si la luz es por reflexión como por transmisión, excepto en algunos casos que se observan efectos dicróicos (por ejemplo, en la copa de Licurgo del siglo IV).

Uno de los aspectos más interesantes de las nanopartículas metálicas es que sus propiedades ópticas dependen en gran medida de su tamaño y forma. Un material macroscópico (o *bulk*) de oro se ve dorado con la luz reflejada y, sin embargo, algunas películas finas de oro se ven azules con luz transmitida. Este color azul característico puede ir variando, por ejemplo, si el tamaño de la partícula se va reduciendo hasta aproximadamente 3 nm, donde el material muestra distintas tonalidades púrpuras y rojas, virando finalmente a naranja.

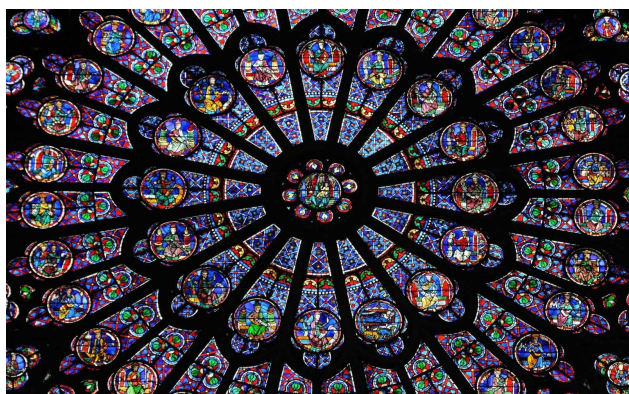


Fig. 1. Vitral Roseta Norte de la Catedral de Notre-Dame (www.pompanon.fr)

2. PROPIEDADES ÓPTICAS

2.1. Resonancia del Plasmón de Superficie (RPS)

En un metal, los electrones de enlace están deslocalizados en todo el cristal. De esta manera, se forman bandas a causa del solapamiento de orbitales moleculares deslocalizados debido a que tienen energías muy similares. Las bandas se conocen como bandas de valencia (llenas) y bandas de conducción (vacías). En los elementos metálicos, las bandas de valencia y las de conducción se encuentran muy próximas entre sí, por lo que resulta fácil que se promocionen electrones desde la banda de valencia a la de conducción, y en la banda de conducción el electrón puede moverse libremente a través de todo el metal, ya que ésta se encuentra vacía.

El plasmón de superficie es un fenómeno que consiste en una oscilación colectiva de los electrones de conducción al ser iluminados con luz a una determinada longitud de onda, concentrándose el campo eléctrico de la luz en el entorno de la nanopartícula, de esta manera se mejora el campo electromagnético local. Cuando la frecuencia de los fotones de la luz incidente coincide con la frecuencia natural de oscilación de los electrones de superficie contra la fuerza de recuperación de núcleos positivos, esta oscilación es resonante, presentando fuertes bandas de absorción en la zona del espectro visible (Fig.2).

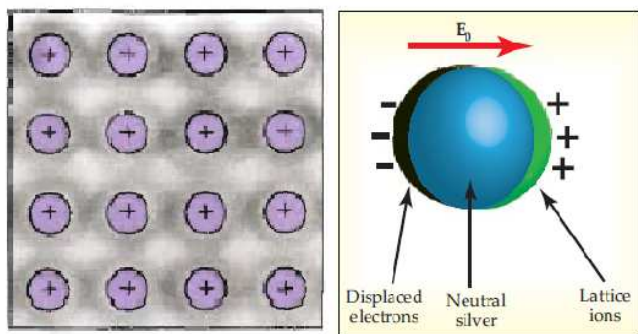


Fig. 2. a) Sección transversal de la estructura cristalina de un metal, donde se representan la carga positiva dentro de un círculo que representa el núcleo y los electrones internos del átomo. El área gris que rodea a cada ion simboliza la nube de electrones deslocalizados. (CHANG y COLLEGE, 2002) b) Representación de la Resonancia de Plasmón de Superficie en una nanopartícula de plata. Cuando un haz de luz externo incide sobre la nanopartícula, su campo eléctrico desplaza periódicamente los electrones de la esfera con respecto a la red. (STOCKMAN, 2011).

Los metales nobles, como la plata y el oro, cumplen con la condición de resonancia del plasmón de superficie para frecuencias de luz visible, lo que les confiere esos particulares colores llamativos y brillantes, y de ahí su extendido uso en vidrieras. No obstante, la frecuencia y la intensidad de las bandas del plasmón de superficie son características de cada metal, es decir, dependen de la composición de la nanopartícula, pero también son altamente sensibles al tamaño y forma de la nanopartícula. De este modo, los plasmones de superficie otorgan a las nanopartículas algunas propiedades ópticas que no se observan en los materiales macroscópicos.

2.2. El Color de las Nanopartículas

La tinción del vidrio por medio de la plata se desarrolló en los primeros tiempos medievales. Esta decoración consiste, generalmente, en una capa (comprendida entre 10 y 300 μm de espesor aproximadamente) de nanopartículas de plata de diferentes tamaños (generalmente de 1 a 30 nm) dispersas en el vidrio. Esta técnica fue descubierta por primera vez en Egipto en el siglo VIII d. C., donde habitualmente se utilizó para la producción de vidrio tintado y, más adelante, en cerámica con reflejo metálico. El método llegó posteriormente a occidente y no fue hasta finales del siglo XIII o principios del siglo XIV, cuando se empezó a aplicar en vidrieras.

La tinción con plata se obtenía aplicando sobre la superficie del vidrio un compuesto de plata disperso en un medio arcilloso, que posteriormente se sometía a cocción.

El método se basa, de este modo, en el intercambio iónico de los iones de plata con los iones alcalinos presentes en el vidrio (Na^+ o K^+), la difusión en el vidrio, y la consecuente reducción del metal y crecimiento de las nanopartículas de plata. La reducción del ion plata a su correspondiente metal, se produce gracias a la presencia de oxígenos libres, es decir, que no están formando enlaces, de los silicatos presentes en el vidrio, o a otros iones que, o bien forman parte del vidrio, o bien se habían añadido durante el proceso. Por ello, tanto el tamaño como el volumen de las nanopartículas metálicas de plata y el espesor de la capa de plata, dependen también de la composición del vidrio.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el tamaño y la forma de la nanopartícula afectan notablemente a los colores que presentan en las vidrieras. En la Tabla 1, se incluyen algunas de las coloraciones que ofrecen los vidrios que contienen nanopartículas de oro o de plata, atendiendo a diferentes tamaños y formas. Si los artesanos medievales hubieran sido capaces de jugar con el tamaño y forma de las nanopartículas, hubieran sido capaces de utilizar ambos metales para producir otros colores.

Las nanopartículas de plata esféricas absorben en la zona del azul del espectro electromagnético y son prácticamente transparentes en el resto de longitudes de onda del rango visible, de aquí que se observe el típico color amarillo de las dispersiones coloidales de plata.

Conforme se va aumentando su tamaño, tienden a desplazamientos hacia el rojo de la resonancia del plasmón superficial, lo que produce esa variación en el color de los coloides.

TABLA 1
COLORACIÓN QUE PRESENTAN LOS VIDRIOS SEGÚN COMPOSICIÓN, TAMAÑO Y FORMA DE LAS NANOPARTÍCULAS

Composición nanopartícula	Color	Tamaño (nm)	Forma
Plata	Rojo	100	Triangular
	Amarillo*	100	Esférica
	Azul claro*	90	Esférica
	Azul	40	Esférica
Oro	Amarillo-Naranja	100	Esférica
	Verde	50	Esférica
	Rojo*	25	Esférica

El símbolo "*" indica las principales formas en las que se han hallado las nanopartículas de oro y plata en vidrieras históricas.

Por otro lado, las nanopartículas de oro esféricas absorben generalmente en la zona del amarillo, causando el color rojo observado en las vidrieras. Pero como ya se ha dicho, al experimentar diferentes combinaciones de formas y tamaños se puede obtener diversos resultados. Un ejemplo se observa en la Figura 3, en la que aparecen varias nanopartículas de oro, en torno a 30 nm, que presentan diferentes formas (triangular, esférica y en forma de vara), resultando en varios colores según en la zona del espectro visible en la que absorben.

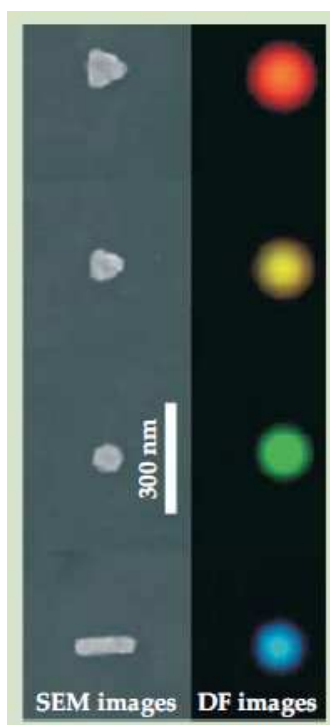


Fig. 3. Nanopartículas de oro. a) En la parte de la izquierda se pueden observar diferentes formas de las nanopartículas, dos formas triangulares, una esférica y una en forma de vara, analizadas con SEM. b) En la imagen de la derecha, se aprecian los colores que presentan en función de su forma. Imagen tomada con microscopio óptico de campo oscuro. (STOCKMAN, 2011).

3. CONCLUSIONES

Las diferentes propiedades que presentan los materiales nanométricos frente a los materiales macroscópicos, han ido adquiriendo una gran importancia a lo largo del desarrollo de los primeros. No obstante, se ha de advertir que las nanopartículas se encuentran presentes ya desde tiempos remotos, como es el caso de la presencia de nanopartículas de oro y plata en las vidrieras.

En el caso de los vitrales, la diferente coloración que ostentan se debe principalmente al efecto de resonancia del plasmón de superficie, es decir, a la oscilación colectiva de los electrones de conducción en el metal. El hecho de que las nanopartículas halladas en vidrieras sean principalmente metales nobles, como el oro y la plata, se debe a que éstos presentan una fuerte absorción en la zona del visible, lo que los hace particularmente interesantes por los colores que puedan presentar.

Dependiendo de en qué zona del visible absorba la nanopartícula de oro o de plata, se observará un color u otro, y esto está estrechamente relacionado con el tamaño y forma que presente.

Por último, el estudio de la composición de las vidrieras así como comprender bajo qué efectos se observan unas coloraciones u otras es de particular importancia, sobre todo a la hora de realizar proyectos de restauración-

conservación en estas obras, en concreto en el caso de que sea necesario realizar réplicas de piezas de vidrio que han de ser reemplazadas, donde se va a buscar elaborar materiales compatibles y similares, eso sí, dejando claramente reflejado que se trata de agregados posteriores.

BIBLIOGRAFÍA

CARO, C., CASTILLO, P.M., KLIPPSTEIN, R., POZO, D. and ZADERENKO, A.P. (2010): "Silver nanoparticles: sensing and imaging applications", en POZO, D. (ed.) *Silver Nanoparticles*, InTech: 201-223.

CHANG, R. y COLLEGE, W. (2002): *Química*, McGraw-Hill, México.

GARCÍA VIDAL, F.J. y MARTÍN MORENO, L. (2008): "Plasmones superficiales", *Investigación y Ciencia*, 385: 66-76.

GÓMEZ VILLALBA, L.S. (2012): "Nanopartículas para la conservación del patrimonio" en Fort González, R. y Pérez-Monserrat, E.M. (ed.) *La conservación de los geomateriales utilizados en el patrimonio*, Programa Geomateriales, Madrid: 171-180.

HORIKOSHI, S. and SERPONE, N. (2013): "Introduction to Nanoparticles", en Horikoshi, S. and Serpone, N. (ed.) *Microwaves in Nanoparticle Synthesis: Fundamentals and Applications*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, Germany: 1-24.

MOLINA, G., MURCIA, S., MOLERA, J., ROLDAN, C., CRESPO, D. and PRADELL, T. (2013): "Color and dichroism of silver-stained glasses", *Journal Nanoparticle Research, Springer*: 1-13.

STOCKMAN, M.I. (2011): "Nanoplasmonics: The physics behind the applications", *Physics Today*, 64: 39-44.



Andrea Gil Torrano recibió el título de Química por la Universidad de Zaragoza en 2013. Actualmente es estudiante en el Máster de Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico en la Universidad Pablo de Olavide, Sevilla.

Pequeñas micromuestras que dan gran información sobre el Patrimonio Histórico

M^a Gertrudis Jaén Sánchez

Resumen— La toma y el análisis de micromuestras de objetos del Patrimonio Histórico es una práctica habitual en su estudio y diagnóstico. Proporciona un tipo y calidad de información que es difícil de obtener de otro modo. Sin embargo, para que las micromuestras sean representativas del objeto, deben estar apoyadas con un trabajo de análisis previo con otras técnicas sin toma de muestra.

Palabras Claves— Micromuestra, técnicas de análisis.



1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la mayor parte de las técnicas de análisis que se emplean en el estudio de los bienes culturales, han sido desarrolladas previamente en otras áreas de investigación científica, la industria, la medicina y la ingeniería, y se han ido adaptando a las necesidades específicas derivadas de la propia naturaleza única de las obras de arte y bienes de interés cultural.

Lamentablemente no existe ninguna técnica de análisis que proporcione toda la información que se necesita a la hora de intervenir o estudiar en profundidad una obra de arte, por lo que habitualmente se emplean un gran número de técnicas que proporcionan información complementaria entre sí.

Los avances que se están realizando en técnicas de análisis y diagnóstico aplicados a bienes culturales, se están orientando mayoritariamente al diseño y puesta a punto de técnicas de análisis portátiles sin toma de muestras, de manera que los estudios se realicen “in situ”, evitando desplazamientos de la obra, y de modo que no sufra ningún daño a la hora de realizar los estudios previos a la restauración [1].

Sin embargo, hay determinada información que, hoy por hoy, no es posible obtener si no se toman pequeñas micromuestras. Uno de los ejemplos más claros y fáciles de entender es el estudio de pintura. El análisis estratigráfico es actualmente el único modo de estudiar la técnica de ejecución de la obra y conocer si ha sufrido alguna intervención anterior. De igual modo, en el estudio de los metales arqueológicos, la toma de muestra de un objeto que presente una capa de corrosión es el único modo de estudiar el tipo de degradación y el núcleo del metal.

La duda que surge es: ¿una micromuestra puede proporcionar información representativa de una obra?. Pensemos en un cuadro de un metro cuadrado de superficie del que se han extraído diez micromuestras de 1 mm². Eso supone que las muestras son 0,001% de su superficie. Si además añadimos el hecho de que las obras de arte no son objetos de estructura homogénea la

cuestión es bastante compleja. Siguiendo con el ejemplo de un cuadro, los espesores de las capas pictóricas pueden ser distintos dependiendo de las zonas, así como el número de capas. Se hace difícil entender que unas pequeñas micromuestras puedan ser de utilidad. Si esto lo extendemos a los extremos como pueden ser las pinturas murales y los grandes monumentos, la confianza en que el análisis de micromuestras pueda proporcionar información representativa puede ser muy escasa.

2. ANÁLISIS DE MICROMUESTRAS

Para que el análisis de micromuestras tenga sentido y validez se tienen en cuenta dos aspectos fundamentales. En primer lugar, que la toma de muestras sea representativa, y que la información que se obtenga sea lo más amplia posible.

2.1. Toma de micromuestras

La toma de micromuestras es un proceso que requiere un trabajo previo que permita tener la certeza de que las micromuestras que se tomen vayan a proporcionar la información requerida, ya sea para una intervención, un estudio histórico, etc., y que sean representativas de toda la obra. Para ello se realizan una serie de estudios que se inician con el análisis con técnicas no destructivas sin toma de muestra, comenzando por los estudios globales y continuando con los puntuales. Dentro del primer grupo se encuentran todas aquellas técnicas basadas en la obtención de una imagen con distintas longitudes de onda, desde las más sencillas como la fotografía visible (con luz reflejada o transmitida, con iluminación rasante, etc.), fotografía mediante fluorescencia ultravioleta; o más complejas como la reflectografía infrarroja, el análisis multispectral, la radiografía y la tomografía computerizada.

Los resultados de los análisis globales sirven de punto de partida para el análisis puntual no destructivo y sin toma de muestras mediante distintas técnicas espectroscópicas como la fluorescencia de rayos X, el Raman y el FTIR. Una vez llegado a este punto, y si todavía hay cuestiones sin respuesta, se continúa a las

técnicas microdestructivas con toma de micromuestras (Fig. 1). Este paso tiene como base todos los resultados de los análisis anteriores, por lo que es un proceso optimizado, que minimiza su número y con ello el daño que sufre el objeto [2,3].

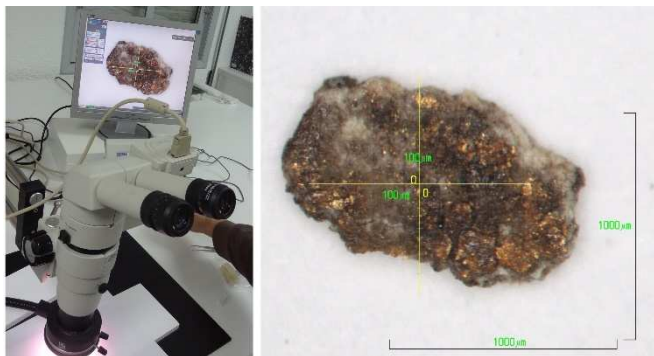


Fig. 1. Micromuestra obtenida de una pintura sobre tabla y examen mediante microscopía estereoscópica.

2.2. Análisis de micromuestras

Las técnicas y metodologías que se emplean en el análisis de micromuestras permiten extraer el máximo de información. El método de análisis permite utilizar una misma micromuestra con diferentes técnicas analíticas. Sin embargo, el principal problema que surge es que cuanto menor es la muestra a analizar y más complejos son los materiales, mayor es el coste del equipamiento necesario para su análisis.

Un ejemplo es el estudio estratigráfico que se realiza en pintura. Las micromuestras son preparadas en sección transversal, que se observan y analizan mediante microscopía óptica (Fig. 2). A continuación, esas mismas preparaciones se analizan mediante microscopía electrónica de barrido con un espectrómetro de dispersión de rayos X (SEM-EDX). Sobre esa preparación también se pueden realizar test de tinción selectiva e incluso análisis FTIR-ATR. Esas muestras pueden ser almacenadas para posteriores análisis.

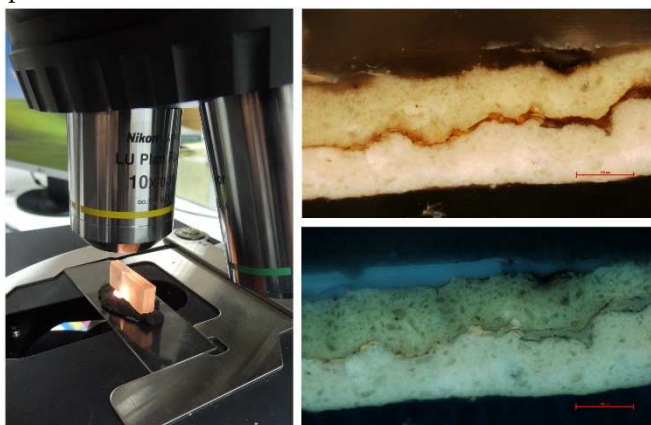


Fig. 2. Estratigrafía de una pintura sobre tabla y análisis mediante microscopía óptica.

De igual modo, en el caso del análisis de hilos metálicos entorchados presentes en los textiles históricos,

su estudio mediante microscopía óptica y SEM-EDX nos aporta información sobre las fibras, la caracterización morfológica del alma de los hilos o la composición química elemental cualitativa y semicuantitativa de las laminillas, con el objetivo de conocer los metales empleados en la fabricación de las laminillas, las capas de recubrimiento y la identificación de los productos de corrosión o de deposición (Fig. 3).

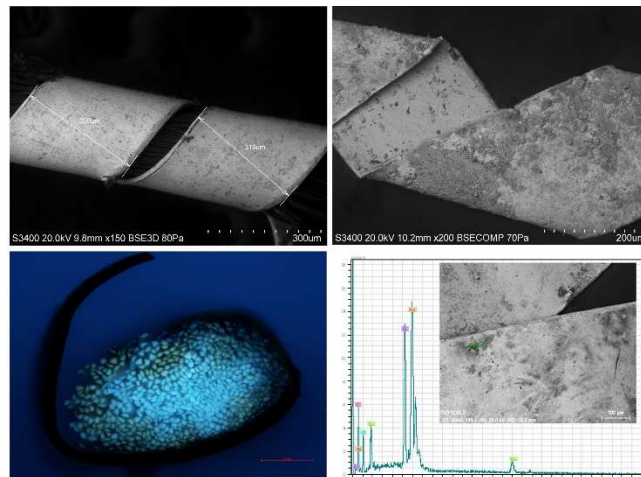


Fig. 3. Estudio de hilos metálicos entorchados presentes en textiles históricos mediante microscopía óptica y SEM-EDX.

Sin embargo, en ocasiones es necesario el uso de técnicas que destruyen completamente la muestra, como son la técnicas cromatográficas, que proporcionan un tipo de información que no es posible obtener de otro modo, como por ejemplo la identificación del aglutinante en pintura o la identificación de los tintes en los tejidos históricos.

3. CONCLUSIÓN

El análisis de micromuestras actualmente es una parte fundamental del estudio y diagnóstico del patrimonio histórico. Aportan información que no es posible obtener de otro modo. Sin embargo, para que el análisis de micromuestras tenga sentido y validez tiene que estar apoyado por toda una serie de estudios previos que aseguren que la toma de muestras sea representativa. Por otro lado, las técnicas y metodologías que se emplean en el análisis de las micromuestras se encuentran muy optimizadas, de modo que la información que se obtiene es lo más extensa posible.

REFERENCIAS

- [1] DEL EGIDO, M., JUANES, D. & BUESO, M. 2013. Consideraciones en torno a los estudios científicos aplicados a la conservación del patrimonio histórico. In: SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA. SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PUBLICACIONES, I. Y. D. (ed.) *La Ciencia y el Arte IV. Las ciencias experimentales y conservación del patrimonio*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- [2] GARCÍA, M. A., GÓMEZ, M., JUANES, D. & VEGA, C. The Sky of Salamanca. An Example of Experimental. Methodology

Applied to a Singular Work of Art. In: RUVALCABA SIL, J. L., REYES TRUJEQUE, J., ARENA ALATORRE, J. & VELÁZQUEZ CASTRO, A., eds. 2nd Latin-American Symposium on Physical and Chemical Methods in Archaeology, Art and Cultural Heritage Conservation, 2010 Cancún, Mexico. Universidad Nacional Autónoma de México,

- [3] PÉREZ GARCIA, C., & JAÉN SÁNCHEZ, M.G. 2011. El estudio multidisciplinar y recuperación de la colección de textiles de los siglos XV y XVI de the Hispanic Society of America. In: CONSORCIO DE MUSEOS DE LA COMUNIDAD VALENCIANA. (ed.) *L'Art dels Velluters. Sedería de los siglos XV-XVI*.



Licenciada en Bellas Artes en la especialidad de Conservación y Restauración de Bienes Culturales y Diploma de Estudios Avanzados por la Universidad Politécnica de Valencia. Es miembro del equipo de trabajo del Instituto Valenciano de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, (IVC+R, CulturArts Generalitat). Actualmente cursa el Máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico en la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla.

IR y su aplicación en el estudio de objetos artísticos

María Rodríguez Benítez

Resumen—La utilización del IR en el estudio de los objetos del Patrimonio Histórico Artístico es de gran ayuda tanto para conocer los materiales de los que se compone el objeto, mediante la toma de muestra de este, así como para penetrar y traspasar las capas pictóricas, con el fin de llegar así a la génesis de la obra: el dibujo preparatorio.

Palabras Claves— Patrimonio, Radiación infrarroja, Espectrofotometría, Fotografía, Reflectografía.

1. INTRODUCCIÓN

Los rayos infrarrojos fueron descubiertos en 1800 por el astrónomo alemán William Herschell, y su utilización ha sido muy variada: visión nocturna, electrodomésticos, mediciones de temperatura, etc.

En el ámbito científico relacionado con el Patrimonio Histórico, el IR ha sido de gran ayuda para el estudio y examen de los objetos artísticos. En este documento queremos resaltar brevemente las tres aplicaciones más habituales del IR y sus beneficios para la investigación. Es sabido que, como el resto de técnicas instrumentales, esta es complementaria, necesitando la ejecución de otras técnicas para obtener la mayor información posible de un objeto artístico.

2. LA RADIACIÓN INFRARROJA

2.1. Concepto

La radiación infrarroja o IR es una radiación electromagnética cuya longitud de onda (λ) es mayor que la de la luz visible. La radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo siempre y cuando su temperatura sea mayor que 0 Kelvin y, a mayor temperatura, mayor será la radiación energética emitida.

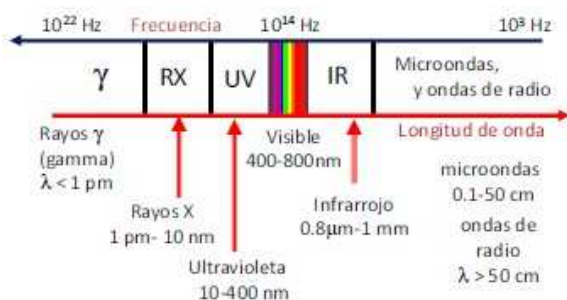


Fig. 1. Espectro electromagnético.

Como se observa en la Figura 1, la emisión de IR corresponde a 0.8 μ m - 1mm, entre la luz visible y las microondas. Estas radiaciones actúan mediante la excitación vibracional de los electrones. La excitación vibracional es específica de determinadas moléculas, por tanto nos va a permitir diferenciarlas.

3. EL IR EN EL PATRIMONIO HISTÓRICO ARTÍSTICO

Es habitual la utilización de los rayos infrarrojos en el estudio de los objetos artísticos. Se emplean en diversas técnicas instrumentales, dependiendo del objetivo de la investigación y de las características de la obra. En este artículo, nos vamos a centrar en la pintura como objeto de estudio y algunas de las aportaciones más beneficiosas para el examen científico de las obras pictóricas.

3.1. Espectrofotometría infrarroja.

Con la espectrofotometría IR se obtienen análisis cualitativos y semicuantitativos de prácticamente casi todas las sustancias en todos los estados de agregación: barnices, adhesivos, aglutinantes y pigmentos, entre otros [1]. También puede utilizarse para la identificación de compuestos inorgánicos (carbonatos, sulfatos, silicatos, etc.) [2].

Las moléculas están formadas por enlaces covalentes; estos tienen la propiedad de absorber radiaciones características en el campo del IR, dando lugar a una excitación vibracional de dichos enlaces o a rotaciones moleculares. Cada enlace tiene su frecuencia característica de vibración, aplicándose también a simple, doble o triples enlaces ().

Las muestras sólidas que se necesitan para la realización de esta técnica se pueden preparar prensando una pastilla a la que se añade del orden de un 90% de bromuro de potasio (KBr), que no se absorbe en el IR [3].

Una vez realizado el análisis espectral, se obtiene un espectro en el cual aparecen una serie de bandas de absorción con diferentes longitudes de onda, que serán características de las vibraciones de cada uno de los grupos funcionales presentes en la muestra.

En la Figura 2 aparece un espectro de absorción de IR de una pintura mural en el que, además del carbonato

cálcico del mortero (a), pueden identificarse: el aglutinante de la pintura a base de yema de huevo (b), el pigmento verde Tierra Verde (c) y una sal contaminante constituida por yeso (d) [4].

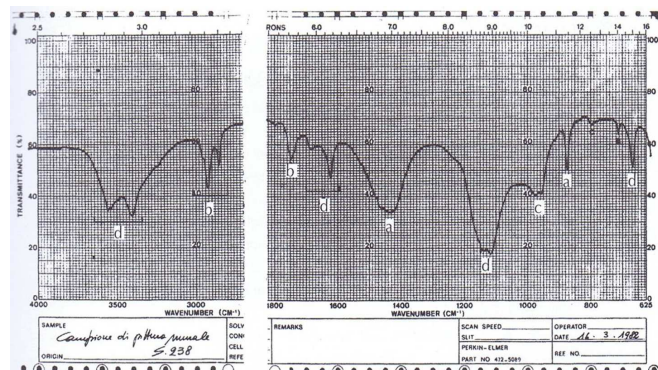


Fig. 2. Espectro de absorción IR. [4]

3.2. Fotografía.

El intervalo de radiaciones de nuestra visión es muy limitado, por lo que con la ayuda de una serie de técnicas radiantes, podemos estudiar los objetos artísticos en un intervalo fuera de la visibilidad del ojo humano. La sensibilidad espectral del IR en fotografía se encuentra entre 750-900 nm.

Gracias a la utilización de determinadas sustancias colorantes, es posible conseguir emulsiones fotográficas capaces de registrar radiaciones de IR.

Se realiza directamente sobre la pintura, sin necesidad de toma de muestra, mediante el uso de una lámpara incandescente. Con ella pueden identificarse los diversos materiales empleados (repintes, falsificaciones, etc.) o de "arrepentimientos" y dibujos preliminares. La resolución espectral posee una gran limitación, y es que con la fotografía no es posible traspasar determinados pigmentos. La información es completa en las áreas rojizas, pero presenta dificultades en las verdes, pardas y azules.

- **Blanco y Negro:** se utiliza sobre todo en las fases previas a la restauración de una obra pictórica, ofreciendo datos informativos complementarios a los que ofrece el UV reflejado o la fluorescencia de UV. Además, la luz amarilla es más útil para la observación que la luz blanca; con ella se disminuyen los efectos de difusión de la luz por pequeñas partículas, aunque dependerá de ciertos factores, como el tamaño de las partículas. Así, los barnices envejecidos, veladuras, o incluso capas pictóricas semiopacas u opacas pueden presentar transparencia a los IR, mostrando en la emulsión fotográfica una imagen más o menos nítida que no se alcanzaría a ver con luz visible [5]
- **Color:** permite desplazar la sensibilidad cromática del ojo humano hacia radiaciones de una mayor longitud de onda. Así, los objetos se muestran con una colorimetría o una perspectiva

cromática distinta a la habitual. Algunos pigmentos empleados pueden dar lugar a diferentes coloraciones, por lo que informa de posibles repintes con pigmentos del mismo color, pero de distinta naturaleza (Figura 3) [6]. Con ayuda de la microfotografía, se pueden identificar los diferentes pigmentos de la película pictórica.

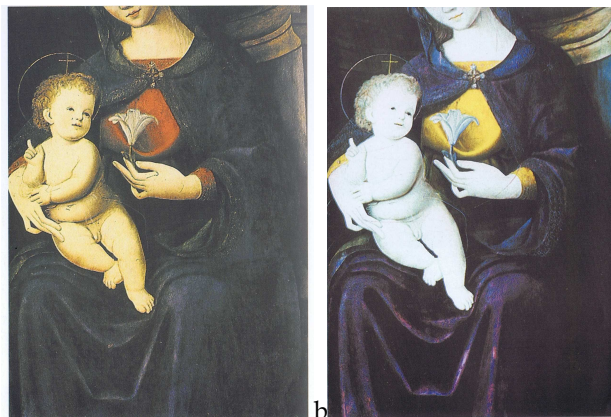


Fig. 3. Ejemplo de Fotografía infrarroja en color (maestro de Marra-di): a) fotografía tomada con luz normal; b) fotografía tomada con película para infrarrojo en color. Se observan claramente los retoques (en rosa) sobre el manto de la madonna, que han sido utilizados con un pigmento diferente al original (en azul). [6]

3.3. Reflectografía infrarroja.

La reflectografía podría definirse como la técnica que permite mediante un convertidor de imagen la detección de la radiación infrarroja, proveniente de un substrato pictórico, transformándola en visible [7].

Al igual que la fotografía, se realiza iluminando el objeto con una lámpara incandescente. La longitud de onda es captada por el videocón, un dispositivo que recoge las radiaciones IR reflejadas con la ayuda de filtros específicos y las proyecta en un monitor para su visualización. Las imágenes obtenidas son confeccionadas posteriormente a modo de mosaico, además de ser grabadas por el dispositivo a tiempo real. La imagen total que se obtiene en la pantalla es fotografiada con una cámara frente a ella, dando lugar a la reflectografía.

La longitud de onda en la que trabaja la reflectografía dependerá del convertidor de imagen que se utilice, variando entre 1,1µm y 2,2µm.

La reflectografía se realiza en varias fases. Como la fotografía, no necesita toma de muestra. Sin embargo, al contrario que esta, sí que necesita de una preparación: la obra es captada mediante detalles secuenciales, como las teselas de un mosaico, para ser unida posteriormente como una sola imagen. Las siguientes fases son las de captación, reproducción/visualización y finalmente análisis del documento obtenido.

Si en la fotografía teníamos problemas con la captación de determinados pigmentos, como los verdes y azules, con esta técnica conseguimos salvaguardar esta carencia, además de poseer una mayor definición.

Es posible detectar firmas e inscripciones ocultas, siempre y cuando no sean tintas férricas, indetectables en

el IR; se pueden reconocer algunos pigmentos, como el azul cobalto que se muestra incoloro al IR al contrario que el resto de los azules. Entre otras aplicaciones de gran interés histórico-artístico y documental, la reflectografía se ha utilizado sobre todo para el estudio del dibujo preparatorio que se encuentra bajo las capas pictóricas, especialmente en las obras de artistas de los siglos XV y XVI realizadas por superposición de capas. Gracias a él, es posible conocer el origen de las composiciones y desvelar la forma de trabajo de los artistas, unas veces abocetado sólo con las líneas principales y otras con una gran elaboración del dibujo; incluso es posible encontrar inscripciones que hacen referencia a los colores visibles de la capa pictórica.



Fig.4. Reflectografía IR de un detalle de un cuadro de Vasari, *San Giovanni e San Girolamo*. Se observa perfectamente el dibujo preparatorio: (arriba) fotografía con luz normal; (abajo) reflectografía IR. (Fotografía realizada por M. Seracini, de la E. Di. Tech. De Florencia) [8].

Dependiendo del material con el que se haya elaborado el dibujo preliminar, se manifestará con mayor o menor claridad en la reflectografía. Como hemos indicado, si se trata de un material férrico, no será detectado por la reflectografía; sin embargo, si los dibujos han sido realizados mediante negro de hueso, carbón vegetal o tinta china, la reflectografía los mostrará con claridad. Además del dibujo preliminar, al igual que la fotografía, la reflectografía permite mostrar repintes, indicando ciertos arrepentimientos en las obras que fueron ocultados posteriormente por la capa pictórica final (Figura 5).

- **Museo Nacional del Prado: “El Trazo Oculto”.** Desde el año 2002, el Gabinete de Documentación Técnica del Museo del Prado ha llevado a cabo un proyecto de investigación mediante reflectografía IR para el estudio del dibujo subyacente de algunas pinturas de la colección pertenecientes a los siglos XV y XVI. Fruto de este proyecto, se presenta en 2006 una

exposición abierta al público en la que se muestran los resultados de la reflectografía junto con las obras originales, así como una primera fase introductoria de explicación sobre esta técnica y los beneficios que tiene para el estudio de los artistas y sus obras [9].

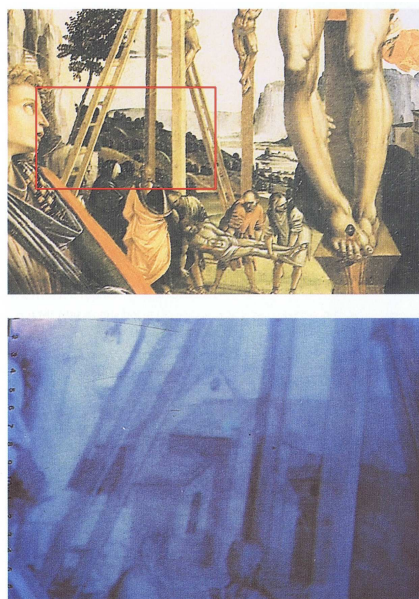


Fig.5. Reflectografía IR (abajo). *Crucifixión*, de Luca Signorelli. La reflectografía ha permitido revelar una pintura subyacente entre el rostro y la primera cruz de la izquierda, que no era perceptible en la fotografía realizada con luz normal (arriba). (Fotografía realizada por M. Seracini, de la E. Di. Tech. De Florencia) [10].

REFERENCIAS

- [1] MATTEINI, M., MOLES, A., (2001): *Ciencia y restauración*, Neirea, Guipúzcoa.
- [2] GÓMEZ, M^a LUISA (2004): *La Restauración: Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*, Cátedra, Madrid. P. 250.
- [3] *Ibidem*.
- [4] MATTEINI, M., MOLES, A., Op. cit., p. 109.
- [5] *Ibidem*, p. 181.
- [6] *Ibidem*, p. 185.
- [7] GABALDÓN A., ANTELO, T., VEGA C., BUESO M., (2011): “Un espacio para lo invisible” en *La Ciencia y el Arte I: Ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico*. Madrid: Ministerio de Cultura. P. 33.
- [8] MATTEINI, M., MOLES, A., Op. cit., p. 302.
- [9] Web Oficial del Museo Nacional del Prado: <https://www.museodelprado.es/exposiciones/info/en-el-museo/el-trazo-oculto/la-exposicion/>
- [10] MATTEINI, M., MOLES, A., Op. cit., p. 303.



María Rodríguez Benítez. Licenciada en H^a del Arte por la Universidad de Málaga en el año 2013. Actualmente, estudiante de Máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico en la UPO.