



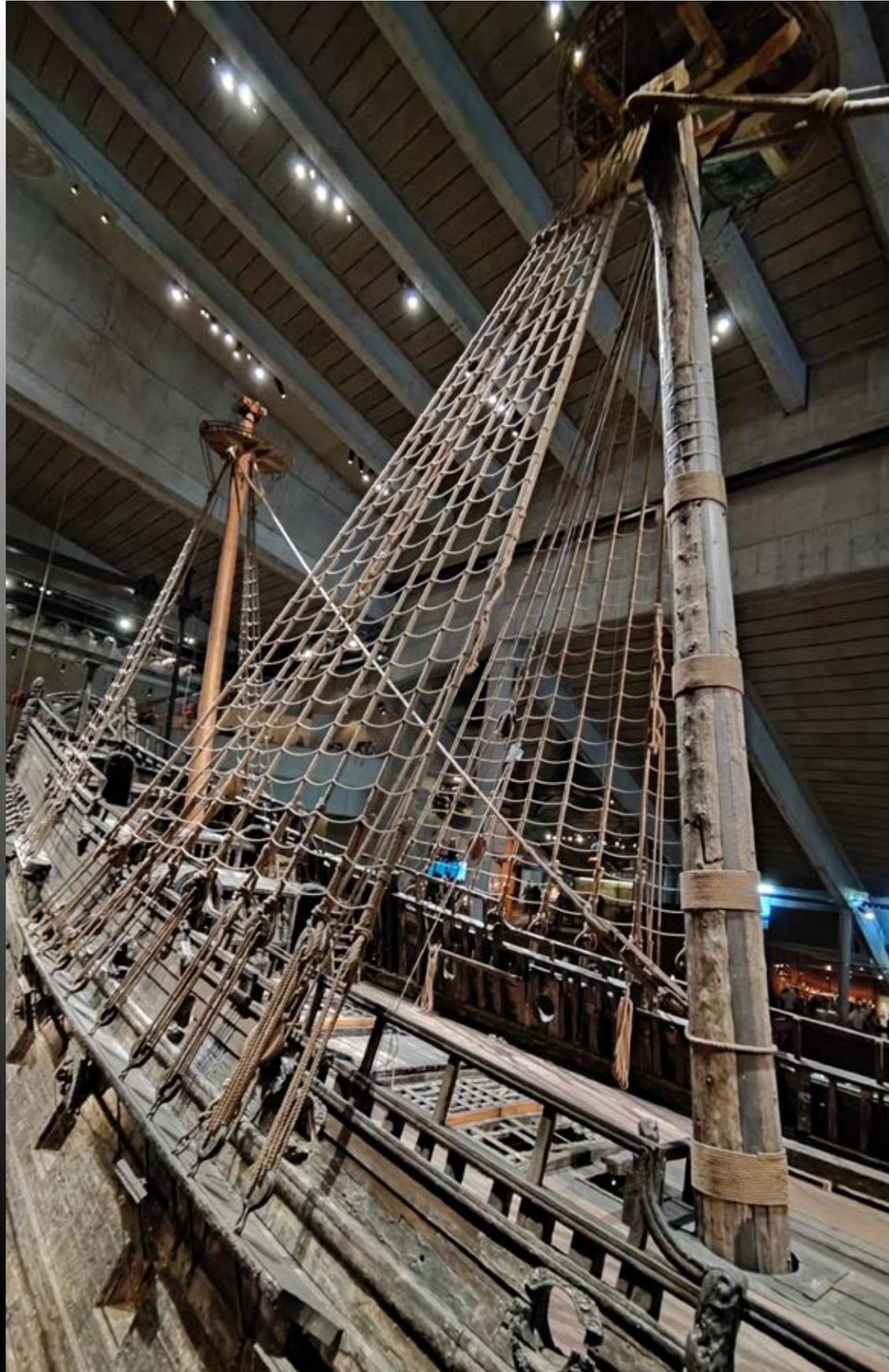
con CIENCIAS.digital

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

<https://divulgacionciencias.unizar.es/revista-conCIENCIAS/numero/30>

Nº 30 MAYO 2023

Una singladura con
30 escalas ya



Nº 30 / MAYO 2023

REDACCIÓN

Dirección:
Ana Isabel Elduque Palomo

Subdirección:
Ángel Francés Román

Diseño gráfico y maquetación:
Víctor Sola Martínez (www.vicsola.com)

Comisión de publicación:
Blanca Bauluz Lázaro
María Luisa Sarsa Sarsa
María Antonia Zapata Abad

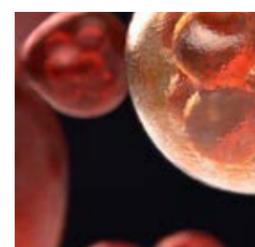
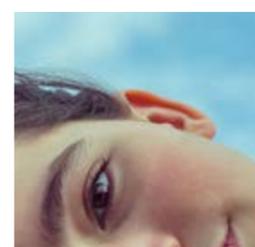
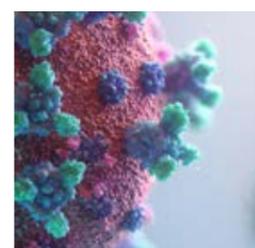
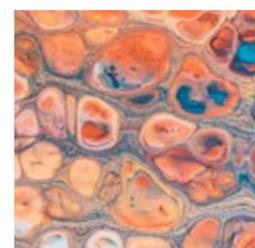
EDITA

Facultad de Ciencias,
Universidad de Zaragoza.
Plaza San Francisco, s/n
50009 Zaragoza
web.ciencias@unizar.es

IMPRIME: Servicio de Publicaciones. Universidad de Zaragoza
DEPÓSITO LEGAL: Z-1942-08
ISSN: 1888-7848 (Ed. impresa)
ISSN: 1989-0559 (Ed. digital)

Imágenes: fuentes citadas en pie de foto.
Fotografía de la portada: **Museo Vasa (Estocolmo)**, por Ana I. Elduque

La revista no comparte necesariamente las opiniones de los artículos firmados y entrevistas.



EDITORIAL	2
¿EXISTE CONEXIÓN ENTRE EL CONSUMO DE MARIHUANA Y LOS TRASTORNOS PSIQUIÁTRICOS?	4
Eva Doménech García	
IMPORTANCIA DE LA HIGIENE BUCODENTAL DURANTE LA INFANCIA	14
Yadhira Noriega Rodríguez	
AVANCES EN MICROTECNOLOGÍAS Y EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL PODRÍAN HACER LA NEUROTECNOLOGÍA DISRUPTIVA	28
José María de Teresa	
CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE LAS CÉLULAS	42
Isabel Mauriz Turrado, Claudio Yepes del Álamo y José Manuel Martínez Pérez	
1628. LA AVENTURA DEL VASA	56
Ana Elduque y Juanjo Ortega	
LAS GRÁFICAS DETRÁS DE LA PANDEMIA	68
Ignacio de Blas	
40 AÑOS VIENDO ÁTOMOS	78
Fernando Bartolomé	
NOTICIAS Y ACTIVIDADES	94



conCIENCIAS: una singladura con 30 escalas ya.

¡Todos a bordo! Comenzamos una nueva etapa en este viaje a través del conocimiento que es nuestra revista conCIENCIAS. Y, como siempre, esperamos despertar tu interés y cumplir las expectativas.

Comenzamos con un tema que, aunque poco habitual en nuestras páginas, no por ello deja de ser altamente preocupante. Los trastornos psiquiátricos, especialmente en la infancia, son tremendamente complejos, pero no por ello hay que dejar de estudiar sus posibles causas. La psiquiatra Eva Doménech, con muchos años de experiencia en el tema, nos cuenta los efectos del cannabis en consumidores de edad adolescente y juvenil y sus efectos psiquiátricos. Dura realidad a la que no debemos dejar de lado.

Seguimos con un tema también relacionado con la salud en la infancia, en este caso con la higiene bucodental. Su autora, Yadhira Noriega, confirma que no es un tema novedoso ya que, desde la antigüedad, existen textos que nos relatan las afecciones dentales en la in-

fancia y los tratamientos a seguir. En este caso, lo que se precisa es enseñar a los más pequeños unas buenas prácticas de higiene. Parece elemental, pero no se lleva a la práctica tanto como sería necesario.

Damos un salto en la temática y, seguramente, en el tiempo también. La neurotecnología precisa de avances en microtecnologías que permitan acceder a zonas del encéfalo, ahora inalcanzables, que hagan posibles avances cercanos a la ciencia ficción, según nuestros estándares actuales. José M^a de Teresa, un enamorado de este futuro que cada día es más presente, nos lo cuenta sin obviar la dimensión ética de estas tecnologías.

¿Cuánto hemos sufrido por la pandemia que, parece, hemos superado? Y, sobre todo, ¿cuánto hemos aprendido? ¿Hemos vivido un *déjà vu*? ¿Ha existido en algún momento de la Historia de la humanidad una pandemia relevante causada por una bacteria? Respuestas a estas preguntas las encontraremos en el artículo sobre Conceptos básicos sobre las células que Isabel Mauriz, Claudio Yepes y José Manuel Martínez nos narran en estas páginas.

Y otro salto en el tiempo, pero esta vez hacia el pasado. En 1628 el llamado a ser buque insignia de la armada sueca y una de las naves de guerra más temibles de su tiempo hace su única y efímera singladura. Pero su viaje no acabó en el fondo del océano devorado por los efectos del mar y de los microorganismos. El Vasa surgió de nuevo a la vida más de tres siglos después. Pero para conocer su historia es preciso conocer los antecedentes de este coloso del mar y, que como veremos en un próximo número, ha servido como escuela para poner en práctica el conocimiento químico que permite su preservación. Junto con Juanjo Ortega, os contamos la historia del barco, hasta su hundimiento y de todos los tratamientos químicos que han permitido que podamos admirarlo hoy en día, aunque esto será en una segunda entrega. Por el momento, os describimos cómo debió ser su grandeza que ha hecho que merezcan la pena los esfuerzos de muchos conservadores.

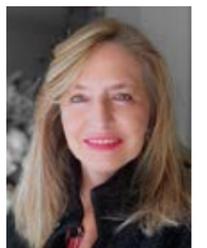
El conocimiento científico se dice que debe ser comprensible. Que los saberes ocultos solo ocultaban magia y superstición. Por ello, las herramientas destinadas a mejorar el entendimiento de los factores y de los

efectos de los fenómenos naturales son básicas para el progreso científico y del desarrollo humano. Nacho de Blas, convencido de ello, nos muestra cómo la representación gráfica de los distintos indicadores epidemiológicos permite entender de una forma simple y efectiva la evolución temporal y la distribución geográfica de la pandemia. Y, esto, ha sido lo que muchos investigadores y estudiosos como él han hecho durante la pandemia. No por vencida, así creemos y deseamos que sea, nos podemos olvidar de este terrible episodio que ha vivido el mundo.

Y acabamos con los más pequeños, pero de los que todos estamos hechos. Fernando Bartolomé nos cuenta en su artículo que hace ya más de 40 años que el microscopio de barrido por efecto túnel (STM) permitió visualizar átomos por primera vez. Y que, desde entonces, la definición y el alcance de estas técnicas son cada vez mayores. Pensamos que no estamos demasiado lejos de poder manipular los materiales átomo a átomo de forma casi habitual, sin la enorme complejidad técnica que hoy todavía conlleva. ¿Qué pensarían Demócrito, Dalton y tantos otros para los que un átomo todavía era algo que mezclaba lo material y lo metafísico?

Y, en este número 30, hasta aquí llegamos. Mucho conocimiento en todo lo escrito en consonancia con la enorme curiosidad y avidez de saber de los lectores. Hasta un próximo número.

Ana Isabel Elduque Palomo
Directora de conCIENCIAS





¿Existe conexión entre el consumo de marihuana y los trastornos psiquiátricos?

“Existe un aumento exponencial de consultas en Psiquiatría Infantojuvenil de jóvenes consumidores de cannabis que presentan trastornos mentales por su causa.”

Eva Doménech García



En el cerebro el THC se adhiere a los receptores de cannabinoides que se encuentran en las células nerviosas, afectando su manera de relacionarse entre ellas, estimula las neuronas del sistema de recompensa del cerebro y liberan un neurotransmisor, la dopamina, en mayores cantidades. La oleada de dopamina es la causante de las propiedades adictivas del cannabis.

El consumo excesivo de cannabis en la adolescencia se asocia con mayor riesgo de dependencia en la vida adulta. Respecto a la diferencia por sexo, las mujeres tardan menos tiempo en presentar problemas de dependencia.

CONSUMO DE CANNABIS Y TRASTORNOS PSIQUIÁTRICOS

La marihuana puede causar: síndrome amotivacional, psicosis, trastornos anímicos como la depresión, trastornos de ansiedad, ataques de pánico, disfunciones sexuales, tiene propiedades cancerígenas, problemas respiratorios, trastornos del sueño, deterioro de la capacidad de aprendizaje (afectación de la memoria, atención), abulia, apatía, cambios de personalidad.

Varios estudios asocian el consumo de marihuana con mayor riesgo de trastornos psiquiátricos como trastornos del ánimo, ansiedad, psicosis, esquizofrenia.

Existen hipótesis sobre el consumo de cannabis y la "puerta de entrada" al consumo de otras drogas.

FACTORES PRECIPITANTES DE PATOLOGÍA PSIQUIÁTRICA EN CONSUMIDORES

Se ha comprobado que la edad de inicio del consumo, la vulnerabilidad genética de la persona, la cantidad de droga que se usa, así como el tiempo transcurrido de consumo son factores precipitantes para desarrollar patología psiquiátrica.

Respecto a la vulnerabilidad genética:

Las personas que consumen marihuana y tienen una variante específica del gen AKT1 (que codifica una enzima que afecta las señales de dopamina en el núcleo estriado del cerebro) tienen mayor riesgo de sufrir psicosis. El estriado es la parte del cerebro que se activa y se inunda del neurotransmisor dopamina en presencia de ciertos estímulos.

Otros estudios demuestran que existe mayor riesgo de psicosis en adultos que consumieron desde la adolescencia y tenían una variante del gen catecolometiltransferasa (COMT), enzima que diluye neurotransmisores como la dopamina y norepinefrina.

La respuesta cae por su propio peso a través de la información que quiero compartir en este artículo.

Quisiera hacer una breve introducción sobre el cannabis, su mecanismo de acción y neurobiología de la adicción. La marihuana se extrae de la planta Cannabis sativa. Se trata de una sustancia-droga psicodisléptica, es decir psicoactiva, que produce una modificación de la actividad mental y una destrucción del tejido cerebral. Su principio activo es el THC (d-9-tetrahidrocannabinol).

Su consumo genera, primero, un aumento de actividad mental para, en poco tiempo, pasar a un estado de relajación y sedación, aumento del apetito y descoordinación motora.

Sistema de recompensa cerebral y sus conexiones:

Cuando se consume cannabis, su ingrediente activo THC viaja por el cerebro y resto del cuerpo.

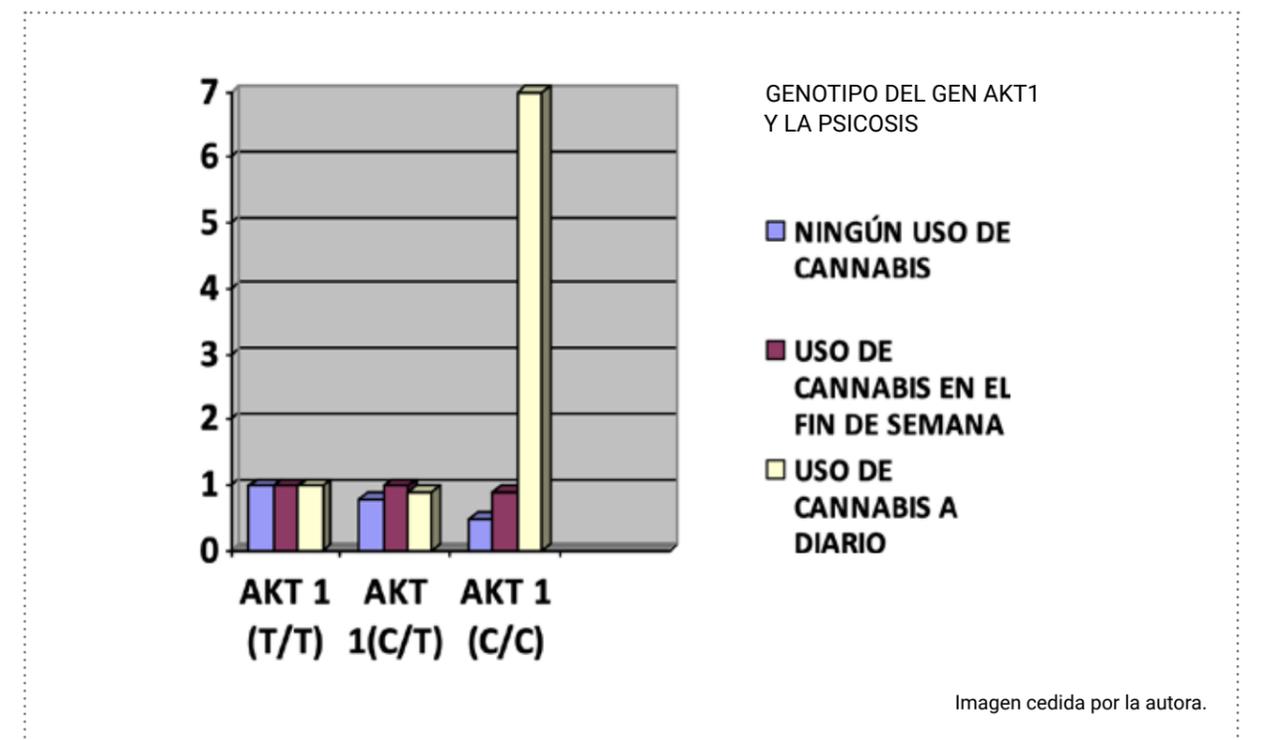


Imagen cedida por la autora.

Sobre la edad de inicio del consumo tenemos que tener en cuenta lo siguiente:

Los jóvenes no cuentan con un sistema nervioso completamente maduro por lo que es más vulnerable al efecto de las drogas. Según la psiquiatra Ana González Pinto, Catedrática de UPV, “el cannabis destroza el cerebro”.

El consumo en menores de 18 años con un sistema nervioso en desarrollo tiene graves consecuencias en la salud mental. El consumo en edad temprana conlleva a la afectación de la inteligencia, la memoria, pérdida de energía vital, pérdida de materia gris cerebral.

“El cannabis favorece que aparezca aquello que está latente, es uno de los mayores psicotizantes”, “si en tu familia hay antecedentes de esquizofrenia mejor no fumarse un porro”. Así de claro aconseja la psiquiatra Enriqueta Ochoa, Jefa de Psiquiatría del Hospital Ramón y Cajal de Madrid y responsable de la Unidad de Adicciones.

La madurez plena del cerebro no se adquiere hasta aproximadamente los 24 años y la fase más delicada culmina a los 18 años, hacia los 14 años las neuronas no han completado su arborización, no han crecido sus terminales lo que les permite conectarse entre sí.

Cualquier agresión en este periodo es crítica.

La facilidad de obtención y la tolerancia social son factores que contribuyen al consumo en edades tempranas.

Estamos viendo una mayor potencia de THC, las plantas de cannabis se manipulan para obtener mayor porcentaje de THC aumentando el riesgo de la psicosis.

Actualmente hay un aumento exponencial de las consultas en Psiquiatría Infantojuvenil por estas causas, jóvenes afectados por problemas de salud mental como psicosis y esquizofrenia.

CANNABIS Y TRASTORNOS PSIQUIÁTRICOS

Según las guías clínicas de consenso de Socidrogalcohol (noviembre 2022).

Cannabis y Psicosis:

El consumo de esta droga en personas vulnerables da lugar a Esquizofrenia, Psicosis y Trastorno bipolar. Los consumidores crónicos de cannabis tienen mayor riesgo de desarrollar tanto esquizofrenia como otros trastornos psicóticos. Son patologías graves que se cronicizan y el consumo empeora el pronóstico del enfermo. La asociación entre consumo de cannabis y primer episodio psicótico está bien documentado, el THC induce síntomas psicóticos positivos (delirios, alucinaciones) y negativos (aplanamiento afectivo, alogia...).

Cannabis y Trastornos afectivos:

El uso de dicha droga es un factor de riesgo para padecer depresión, conductas autolesivas y suicidas. El consumo durante el embarazo aumenta el riesgo a padecer trastornos afectivos en la descendencia. Existen estudios que indican el riesgo de padecer un trastorno bipolar.

Cannabis y Trastorno de ansiedad:

Es un factor de riesgo para padecer crisis de pánico, ansiedad generalizada, y su uso continuado empeora el pronóstico del trastorno.

Cannabis y trastornos de personalidad:

No existen estudios concluyentes pero lo que sí puedo señalar de mi práctica clínica es que los jóvenes consumidores presentan alteraciones de carácter y rasgos de personalidad dependiente, comportamientos impulsivos, tienen afectadas las tareas ejecutivas, la atención, reflexión y concentración.

“El consumo en menores de 18 años con un sistema nervioso en desarrollo tiene graves consecuencias en la salud mental.”



“El cannabis tiene un demoledor efecto psicotizante en jóvenes con factores de riesgo.”



“Instalar un encuadre psicoterapéutico multidisciplinar en estos jóvenes permite recuperar su vida fuera del consumo.”

banyanmentalhealth.com

CANNABIS Y AFECTACIÓN EN LA SALUD FÍSICA

El consumo regular de cannabis se relaciona directamente con enfermedades físicas como:

Accidentes cerebrovasculares, deterioro cognitivo (memoria, concentración), infarto agudo de miocardio, cardiomiopatías, arritmias, miocarditis, muerte súbita, hipertensión arterial, neumonía, bronquitis, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, gastritis, hiperémesis, alteraciones de la glucemia. También está relacionado con el cáncer de pulmón y de testículo.

Existe afectación perinatal como retraso del crecimiento del feto, bajo peso, baja talla del recién nacido, alteraciones cognitivas, afectivas, abortos.

TRATAMIENTOS DEL PACIENTE CONSUMIDOR DE CANNABIS

Según estudios clínicos y mi experiencia clínica, el abordaje terapéutico de dichos pacientes es pluridisciplinar y existen múltiples intervenciones terapéuticas, psicoterapias individuales, de grupo, de orientación cognitivo-conductual, psicodinámicas, grupos de apoyo, terapias familiares.

Respecto a tratamientos farmacológicos, no existe un medicamento específico y los resultados son poco eficaces para el trastorno por consumo de cannabis THC, pero pueden mejorar los síntomas de comorbilidad psiquiátrica.

Los fármacos utilizados son:

- Antidepresivos como bupropión, atomoxetina, fluoxetina, escitalopram, venlafaxina, vilazodona.
- Antipsicótico como la quetiapina.
- Ansiolítico como la buspirona.
- Anticonvulsivo como la gabapentina y el topiramato.

SÍNTOMAS PSÍQUICOS EN TRASTORNOS PROVOCADOS POR CONSUMO DE THC

“Todo estaba conectado... mi mente no paraba... yo era un rapero famoso, que ganaba mucho dinero, pero el mundo estaba contra mí”.

“Al fumar salgo de mi realidad, mi mente va por libre, no puedo concentrarme, siento sabores raros; no hay continuidad en mi vida al despertarme cada día vuelvo a nacer, no me siento aquí, me crea dudas existenciales, veo el nº 27 en todos lados es un mensaje...”.

“Estaba aterrorizado por una sensación de irrealidad, con sensaciones de despersonalización, mi mente en bucle trasportándome a situaciones terroríficas fuera de la realidad”.

“Todos en mi contra, los vecinos provocaban vibraciones en mi cama, en mi habitación para molestarme, esto ha deformado mi cabeza y mi frente se ha agrandado, no puedo salir a la calle y me tapo con una gorra”.

“Soy famoso, tengo poderes para redimir a la gente, para parar la guerra de Ucrania, pero los compañeros de facultad han hecho estrategia contra mí para que no triunfe”.

“Paso de todo, nada me motiva, el tiempo se alarga, mi mente se ralentiza, divago con conceptos existenciales que me alejan de la realidad, siento intensamente, empiezo cursos que no acabo y espero el siguiente porro para relajarme, no quiero dejarlo, quiero regular el consumo”.

“Estoy aterrorizado por el pánico en cuanto anochece, mi mente se conecta con el universo y caigo en el vacío, siento mi cuerpo que se despedaza, necesito que mi madre duerma a mi lado y me asegure que no me voy a tirar por el balcón”.

“Destrozó su habitación, no paraba de hablar con frases inconexas, desinhibido con aires de superioridad y grandeza”.

“Mi cabeza me decía que me tirara por la ventana, la tristeza y la angustia me invadía día y noche, me sentía sin salida”.

“La angustia me persigue, me diagnosticaron cáncer de testículo relacionado con consumo de marihuana, estoy paralizado por el miedo a morir”.

Todos estos síntomas de despersonalización, desrealización, trastornos perceptivos alucinatorios, ideas delirantes paranoides, ideas referenciales, fuga de ideas, anhedonia, apatía, astenia, pensamientos depresivos, son un breve ejemplo de desorganización psíquica, de ruptura biográfica y pérdida de contacto con la realidad que sufren algunos consumidores de esta droga.

Estos son algunos de los relatos angustiosos de chicos y chicas, consumidores habituales de marihuana, que acuden a consulta voluntariamente o traídos por sus padres o incluso después de un ingreso psiquiátrico. Presentan síntomas de trastornos psíquicos que, en la mejor de las ocasiones, serán puntuales, episódicos y, en los peores casos, se cronificarán en una psicosis.

Algunos minimizan el hecho de consumir droga, creen que controlan el consumo, que no les afecta pero arrastran un recorrido de fracaso escolar, un aislamiento social, un empobrecimiento relacional, un distanciamiento familiar, con un deterioro físico, bajo peso y una falta de energía vital. A menudo, el inicio del consumo se produce en su grupo de amigos o compañeros del instituto, a veces por curiosidad, o por sentirse integrado en el grupo y otras como refugio de malestares, inseguridades y preocupaciones.

La experiencia terrorífica de la locura frenará en algunos el consumo, en otros los traumatizará para toda su corta vida y un porcentaje se darán una nueva oportunidad de vida al margen de la marihuana.

A lo largo de los años he atendido en mi consulta a jóvenes que pasaban por la vida sin seguir sus estudios, sin trabajar, sin hacer nada, levantándose al mediodía, pasando la tarde con juegos al ordenador online. Algunos paranoides otros depresivos, la mayoría con ansiedad e inhibiciones, todos ellos retirados del mundo normalizado del estudio, parados, viviendo en casa de los padres como si fueran adolescentes; teniendo se-

cuestrados a sus padres, casi todos habían encontrado en la solución adictiva de los porros su consuelo y su condena. "Con ellos mataban su ansiedad, paliaban su depresión, huían del conflicto y dejaban sus vidas a la deriva a través de los humos del hachís en un bucle infinito de permanente adolescencia" según Pablo J. Juan Maestre (Psicólogo Psicoanalista).

Los hay que sienten una ruptura de identidad, ya no saben quiénes son, cuáles son sus deseos y metas en su vida y están instalados en una pasividad mortífera que los consume. Parte de ellos se verán involucrados en actos fuera de la ley.

Y qué decir de las familias, padres desesperados por sacarlos de esa dinámica, sometidos a la tiranía de la dependencia. En ocasiones nos encontramos con familias de origen desestructuradas con relaciones patológicas.

La misión del psiquiatra y psicólogo es la de proporcionar un encuadre terapéutico de escucha y elaboración de conflictos intrapsíquicos que permitan al joven tomar conciencia de su realidad, reconocer sus emociones y las causas que lo llevaron al consumo de esta droga.



Así mismo, orientar y asesorar a la familia para modificar dinámicas relacionales patológicas.

El tratamiento farmacológico es eficaz para contener y anular la escalada de síntomas psiquiátricos, lo que permite recuperar su integridad mental y, por ende, hacerse cargo de su vida.

El compromiso desde las familias, los centros educativos, la universidad y los sistemas sanitarios ha de ser conjunto.

Tenemos que promocionar todos los recursos de prevención para garantizar la información necesaria, desde edades tempranas, que dote a nuestros jóvenes de libertad de elección basada en el saber sobre la toxicidad de la marihuana y el resto de drogas a los que pueden estar expuestos en nuestra sociedad occidental.

Quisiera que mi artículo sirviera como reflexión sobre un tema candente en nuestra sociedad. Trabajemos por el futuro de estos jóvenes, impulsemos su instinto vital hacia la salud física y psíquica desde sus primeros pasos.

“La misión del psiquiatra y psicólogo es la de proporcionar un encuadre terapéutico de escucha y elaboración de conflictos intrapsíquicos que permitan al joven tomar conciencia de su realidad.”

Eva Doménech García
Médico psiquiatra y psicoterapeuta
Práctica privada



Importancia de la higiene bucodental durante la infancia

“No es un tema novedoso, ya que desde la antigüedad existen textos que nos relatan las afecciones dentales en la infancia y los tratamientos a seguir.”

Yadhira Noriega Rodríguez



La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la salud oral como la específica “de los dientes, encías y del sistema estomatognático que nos permite sonreír, hablar y masticar. Principal indicador de salud, bienestar y calidad de vida”. Se considera importante que cada individuo posea los mejores indicadores de salud, de ahí que sea necesario instruir en los menores desde una edad temprana los conocimientos, hábitos y comportamientos que los conducirán a un resultado idóneo. De esta manera, la población infantil podrá desarrollar actitudes favorables de forma autónoma y responsable que redundarán en una buena salud oral y evitarán todas aquellas prácticas que la puedan poner en peligro.

¿Es necesario educar a los menores o simplemente con que adecuen los hábitos enseñados ya es suficiente? La OMS concluye que “la educación para la salud es una actividad educativa diseñada para ampliar el conocimiento de la población en relación con la salud y para desarrollar los valores y habilidades personales que promuevan salud”; de esta conclusión se puede inferir que la educación sanitaria es algo importante que se debe cultivar en todos los grupos etarios. Pero en la edad infantil tiene un mayor éxito, ya que es el mecanismo esencial que construirá los hábitos necesarios para que los más pequeños reproduzcan el resto de sus vidas y que les ayudará a conservar un estado de salud óptimo durante más tiempo. Cuanto

antes promulguemos esta acción en los menores, un mayor nivel de salud tendrá la población en el futuro.

ODONTOPEDIATRÍA, ¿UNA NECESIDAD CONSTANTE O MODERNA?

La odontopediatría se define como la rama del conocimiento que estudia la boca del niño y sus enfermedades, con el objetivo de satisfacer sus necesidades odontológicas.

No es un tema novedoso, ya que desde la antigüedad existen textos que nos relatan las afecciones dentales en la infancia y los tratamientos a seguir. La primera referencia escrita es *Sobre la dentición*, obra de Hipócrates (460-377 a. C.). En ella, en forma de sentencias populares, se muestran abundantes datos sobre las creencias populares de la erupción de los dientes, sintomatologías y terapias. Aunque no es hasta 1557 cuando aparece la obra con mayor trascendencia (*Coloquio breve y compendioso sobre la materia de la dentadura y maravillosa obra de la boca. Con remedios y avisos necesarios. Y a la orden de curar y enderezar los dientes*), cuyo autor, Francisco Martínez (1520-1585), era dentista de Felipe II. Estas publicaciones (y las posteriores) nos muestran la evolución histórica de la odontopediatría.

La investigación ha permitido el crecimiento del conocimiento de los profesionales a la vez que el de la población. Podemos concluir que la odontopediatría ha sido y será una necesidad constante en el tiempo.

Análisis de los conocimientos de la población sobre salud oral

Una vez analizado el concepto clave de la odontopediatría junto con su importancia y repercusiones, resulta interesante contemplar, mediante un estudio de análisis de datos, cuáles son las carencias sobre la salud oral en la población adulta e infantil. Para ello, se procederá a desglosar los aspectos más importantes como son: los objetivos para alcanzar, los instrumentos empleados, el análisis de los datos obtenidos y las conclusiones que se pueden extrapolar en cada uno de los aspectos pertenecientes al estudio.

Análisis del estudio realizado

El presente estudio aspira a obtener y analizar datos relativos en materia de higiene oral. Estos datos son resultantes de la encuesta que ha sido llevada a cabo en una muestra representativa de la población.

ENCUESTA RESUMIDA. ÚNICAMENTE SE REFLEJAN LAS PREGUNTAS A NIVEL GENERAL, SIN LAS OPCIONES PLANTEADAS

1. Dentro de su ámbito profesional, ¿ha tenido que enseñar a un menor hábitos de higiene oral (lavarse los dientes, utilizar enjuague bucal, manejo de la seda dental, etc.)?
2. Dentro de su ámbito personal, ¿ha tenido que enseñar a un menor hábitos de higiene oral (lavarse los dientes, utilizar enjuague bucal, manejo de la seda dental, etc.)?
3. Dentro de sus relaciones familiares, ¿cree que los menores en cuestión han tenido en algún momento una charla de higiene oral por parte de un agente externo?
4. Independientemente de que tenga hijos o no, ¿considera que los niños deberían de tener una mejor educación oral?
5. Si su hij@ tuviera que acudir al dentista por una emergencia (rotura o caída de algún diente, u otras circunstancias), ¿con cuál de las siguientes frases se identificaría?
6. Si su hij@ tuviera que acudir a la consulta dental para realizar un tratamiento, ¿con qué frase se identificaría?
7. En su opinión, ¿qué nivel del 1 al 10 considera que sus hijos o menores en la familia poseen en higiene oral? *Respuesta libre*
8. En su opinión, ¿qué nivel del 1 al 10 considera que tiene usted en salud oral? *Respuesta libre*
9. ¿Dónde ha aprendido los hábitos de higiene que posee?
10. ¿Ha recibido instrucción y guías de parte de la sanidad pública para el mantenimiento de su propia salud oral?
11. ¿Ha sido tratado por el especialista de la rama odontológica en el centro de salud?
12. Ir al dentista, le resulta...
13. ¿Cada cuánto acude al dentista?
14. La técnica para cepillarse los dientes se la enseñó:
15. ¿Sangra mientras se cepilla los dientes?
16. Al comprar un cepillo de dientes, ¿en qué se fija?
17. Al comprar una pasta de dientes, ¿en qué se fija?
18. ¿Le gustaría mejorar algo de su salud oral?
19. ¿Le han realizado o está realizando alguno de estos tratamientos?
20. Del 1 al 10, ¿qué valor o importancia le da a su salud oral? *Respuesta libre*
21. ¿Qué edad tiene? *Respuesta libre*

Se planteó un muestreo en forma de bola de nieve a través de la conocida plataforma Google Forms. Se trató una muestra con un total de 58 participantes (n = 58). Los participantes estaban dentro del rango de edad entre los 16 y los 71 años.

El análisis procedente de las preguntas delata una serie de aspectos interesantes. En este trabajo se destacarán lo más relevantes. Por ejemplo, únicamente un 12'3 % de los encuestados ha tenido que enseñar a un menor hábitos de higiene oral por exigencia de su profesión, mientras que un 15'8% no se ha visto en esta circunstancia. Un 64'9% de los participantes reconocía que había sido una de sus competencias dentro de las relaciones familiares, a diferencia de un 8'8% que admitía que se había dado independientemente de dichas relaciones. En contrapartida, un asombroso 26'3% afirmaba que nunca se había dado la circunstancia. Para poder determinar la importancia que las instituciones dan a la salud oral de nuestros menores, se procedió a realizar una pregunta más esclarecedora: "Dentro de sus relaciones familiares, ¿cree que los menores en cuestión han tenido en algún momento una charla de higiene oral por parte de un agente externo?". A pesar de que un 43'9% argumenta que le consta que se hayan efectuado, un 49'1% no lo tiene claro.

Asimismo, en la encuesta se plantearon situaciones hipotéticas con el fin de descubrir la forma de actuar de la muestra eje de estudio. Un esclarecedor 53'4% afirmaba que intentaba transmitir tranquilidad al menor por-

que sabía que estaría en las mejores manos, mientras que un 1'7% reconocía que le invade el nerviosismo por no conocer la cualificación que poseen los profesionales. A la vez, un 27'6% confesaba que intentaría relajar al menor, aunque en su interior sigan manifestando el nerviosismo y la preocupación.

Por otra parte, un 54'4% de la muestra se siente más cómodo en su clínica de siempre, mientras un 24'6% asegura buscar una clínica especializada. Por el contrario, un 5'3% intentaría conseguir asistencia previa en su centro de salud correspondiente.

En cuanto a las preguntas de hábitos y características personales, un 68'4% admitía que había aprendido dichas técnicas porque en algún momento alguien le había indicado cómo hacerlo correctamente, mientras que un 21'1% las aprendió por deducción propia.

Ante la pregunta sobre si la sanidad pública ha sido responsable de instruir y guiar a la población para el mantenimiento de su propia salud oral, es llamativo cómo el 86% de los encuestados niega la instrucción por parte de la sanidad pública y reconoce que únicamente la ha recibido por medios privados. Estos resultados muestran los escasos servicios bucodentales públicos por lo que, para ampliar la información obtenida dentro de estos aspectos, nos interesaba conocer si había sido la muestra elegida tratada por el especialista de la rama odontológica en el centro de salud; la mayor parte (36'8%) nunca ha sido tratada por el especialista por falta de necesidad.

En relación con la visita al dentista, ¿qué efectos produce?, ¿hay miedos que suponen evitar a especialistas privados o públicos? Un 61'4% reconoce que solo va cuando es necesario realizar revisiones periódicas, un 28'1% cuando se le presenta una urgencia y un 8'8% acude cada poco porque se le está realizando un tratamiento continuado.

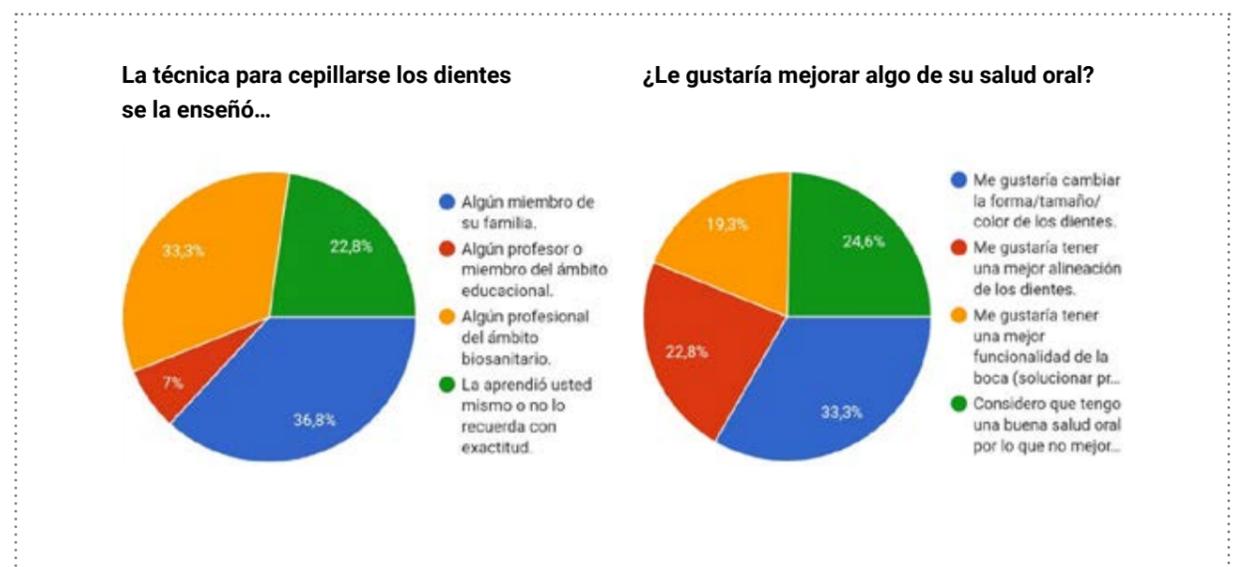
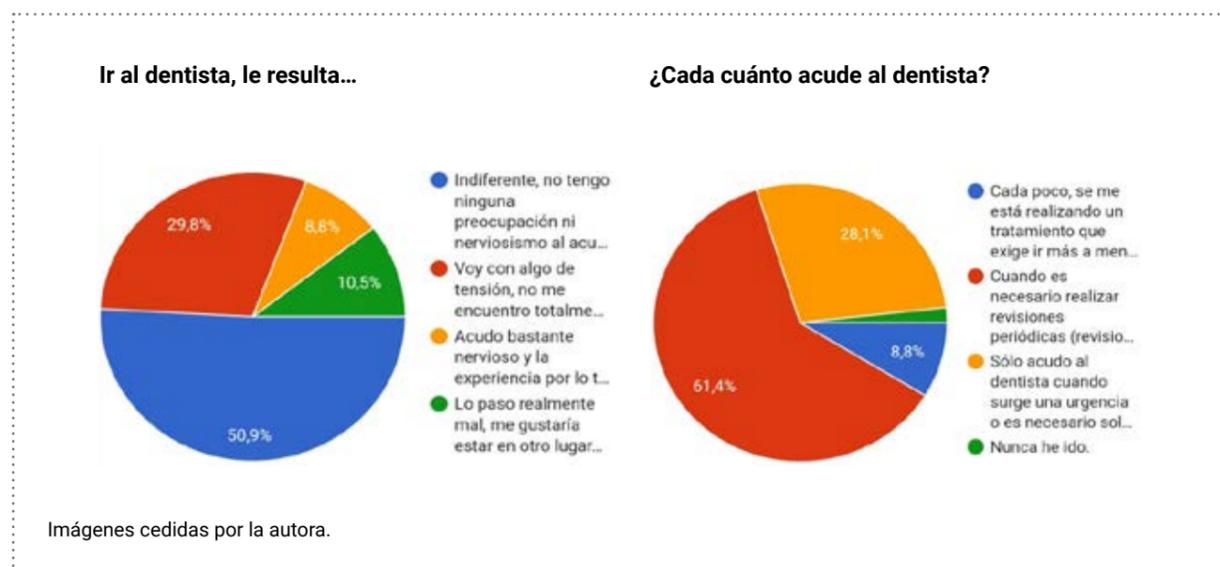
Los principales tratamientos que se atienden suelen ser obturaciones (24'6%), ortodoncias (8'8%), y endodoncias y/o colocación de implantes (7%).

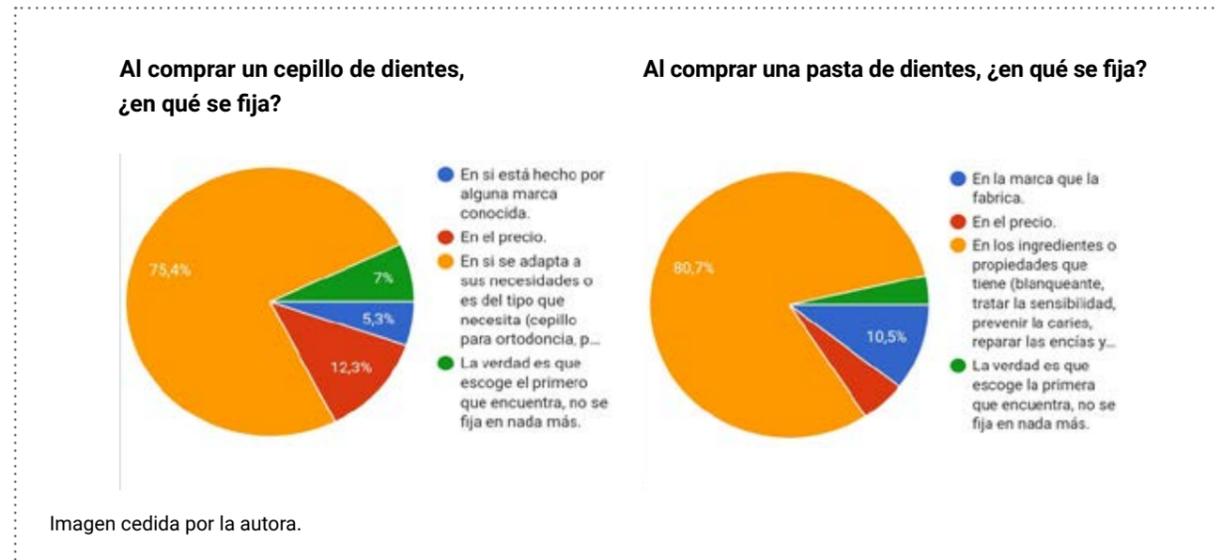
Un estremecedor 93% muestral refiere que le han sangrado en ocasiones las encías (80'7%) o de manera habitual (12'3%). De los individuos que al cepillarse sangran, un 10'5% comenta que es un asunto que les preocupa, a diferencia de un 1'8% que considera que sangrar durante el cepillado es indicativo de una limpieza a fondo.

La técnica de cepillado fue adquirida en un 36'8% de los encuestados en el seno familiar, en un 33'3% por parte de algún profesional del ámbito sanitario, en un 7% por profesionales del ámbito educativo, mientras que el 22'8% restante la aprendió por sí mismo. Por otro lado, a un 33'3% de los encuestados les gustaría cambiar la forma/color/tamaño de sus dientes, a un 22'8% tener una mejor alineación dental, a otro 19'3% solucionar la funcionalidad oral y a un 24'6% no le interesaría mejorar nada de su cavidad oral.

En cuanto al cepillo dental, un 75% afirma que se fija en el mismo según la adaptación a sus necesidades (cepillo de ortodoncia, para prótesis, etc.), mientras que un 12'3% admite que lo primero que mira es el precio, y un 5'3% en si estaba hecho por alguna marca de renombre. Por otro lado, el dentífrico obtuvo unos resultados muy parecidos: un 80'7% volvía a escoger aquel que presentara ingredientes y propiedades que se adaptan al propio individuo (pastas para reducir la sensibilidad dentaria, para calmar o reparar las encías, etc.), un 10'5% se fija en el fabricante, un 5'3% sigue preocupado por el valor económico y un 3'5% no le da importancia alguna.

“Un estremecedor 93% muestral refiere que le han sangrado en ocasiones las encías (80'7%) o de manera habitual (12'3%). De los individuos que al cepillarse sangran, un 10'5% comenta que es un asunto que les preocupa.”





En conclusión, esta población presenta carencias en la información necesaria para el cuidado y el mantenimiento de su propia salud oral. Las personas que no demuestran conocimientos respecto a hábitos saludables pueden haber sido ajenas a estos dentro de su entorno. Un incremento en la inversión para educar a la población podría ser beneficioso para que los individuos adecuen sus conductas hacia la normalidad, lo que redundaría en ventajas tanto personales como colectivas.

MÉTODOS DE PREVENCIÓN Y ACTUACIÓN EN DIVERSOS ÁMBITOS

La enfermedad bucodental está muy relacionada con los cambios en los estilos de vida que incluyen dietas ricas en azúcares refinados, el creciente consumo de alcohol o tabaco, y la fuerte vinculación con los determinantes socioambientales.

Las patologías orales, a su vez, destacan como uno de los mayores problemas de salud pública, lo que es debido a su alta prevalencia e incidencia global; como ocurre con prácticamente todas las enfermedades, la incidencia más elevada la encontramos en las poblaciones más desfavorecidas y socialmente marginadas.

Es importante tener en cuenta que el impacto que supone la pérdida de salud va a radicar en dolor, incapacidad o disfunción en la calidad de vida. De ahí nace la necesidad de educar y actuar desde los distintos campos en la población infantil, con el objetivo principal de reducir los índices que afectan a la población.

Actuaciones en el ámbito familiar

La RAE define familia como “Grupo de personas emparentadas entre sí que viven juntas”; sin embargo, ¿la familia se limita únicamente a vivir de este modo? Son muchos los autores y científicos por actualizar esta definición. El Papa Juan Pablo II puso en alza la Familia como “base de la sociedad y lugar donde las personas aprenden por vez primera los valores que les guían durante toda su vida”. De esta manera, se entiende que la familia es un lugar donde abunda la transferencia de valores, hábitos y conductas que los menores adoptarán y mantendrán a lo largo de su vida adulta.

Como expone Ruiz García et al. (2012) en *Familia y Educación*, ser padre o madre no se basa únicamente en dar vida al nuevo ser, sino que implica alimentarlo,

cuidar de su higiene y enseñarle hábitos para que pueda desenvolverse sin dificultad en la sociedad en la que va a formar parte. Aunque parezca muy idílico y factible de conseguir, en la mayoría de los casos se presentan dificultades debido a que la información educacional familiar y sanitaria es muy limitada. Esto complica la adquisición de conocimientos de los menores por medio de la imitación.

¿Cómo es posible que, viviendo en la era de la información y de la tecnología, los progenitores transmitan a sus descendientes tan escasa educación sanitaria? La respuesta es muy simple: muchos de los padres o adultos no pueden instruir a los menores por la escasez y carencia de conocimientos. Centrándonos en materia de higiene oral, estas carencias paternas se han verificado mediante el análisis previo del estudio procedente del saber de la población. Este análisis arroja información muy provechosa, ya que confirma que la gran parte de los adultos de nuestra sociedad no han sido instruidos adecuadamente ni por parte de instituciones públicas ni a nivel educativo y/o familiar. La falta de información ha propiciado que dichos individuos no hayan alcanzado los conocimientos y habilidades necesarias para adquirir/mantener una buena salud oral propia y, por tanto, no transmitan hábitos saludables, o en el caso de que los transmitan, lo hagan de una manera errónea o inexacta.

Es por esto por lo que es esencial modificar e inculcar a la población adulta los conocimientos básicos que les permitan conservar y mantener una óptima salud oral. De este modo, indirectamente se promocionará una ma-

yor capacitación para que dichos individuos eduquen correctamente a los menores de su círculo familiar, lo que se traducirá en que toda la sociedad tendrá un mejor concepto de su salud.

Teniendo en cuenta que el proceso de modificación no es una tarea fácil y requiere de la colaboración de toda la sociedad (instituciones públicas, asociaciones, centros educativos, centros sanitarios, etc.), hay dos pautas que son imprescindibles para que la familia eduque a sus menores: una rutina correcta de higiene oral y una adecuada alimentación que favorezca el cuidado de la salud oral.

PAUTAS PARA LA HIGIENE BUCODENTAL EN EL SISTEMA FAMILIAR

¿Limpiar los dientes se limita únicamente al cepillo de dientes? Son muchos los individuos desinformados que creen que la higiene bucodental se basa solo en el cepillado dental. Debemos superar esas barreras e implementar las rutinas de nuestros menores en el uso del hilo dental, raspadores linguales e irrigadores que complementen una rutina saludable.

El cepillo dental es una herramienta muy importante porque, como expone Nápoles et al. (2015), “aplicar una técnica adecuada y saber utilizar el cepillo dental nos facilitará el proceso de higiene de los dientes, a fin de evitar las enfermedades más frecuentes y lograr la conservación de los dientes funcionales por más tiempo en la cavidad bucal”.



Una adecuada rutina oral debería comenzar con el uso del irrigador o del hilo dental; de este modo se asegurará la retirada de posibles restos alimentarios retenidos entre las piezas dentarias. Acto seguido es el turno del cepillado y concluirá con el uso de los raspadores linguales que eliminarán las bacterias que se encuentren adosadas al dorso de la lengua, reduciendo también la halitosis.

Para asegurar el éxito en los menores a largo plazo, es necesario algo más, que se les haga partícipes de su propia salud oral. ¿Cómo se puede conseguir esto? Mediante la aplicación de técnicas de refuerzo positivo con las que se pretenderá incrementar la repetitividad de un comportamiento adecuado a través de recompensas que no sean contrarias a la higiene bucodental.

Para ilustrar este aspecto, las familias se pueden proponer convertir los hábitos orales de sus hijos en un juego. Mediante tablas de recompensa pueden marcarse los objetivos como pueden ser: lavarse los dientes durante dos minutos, usar hilo dental, usar raspadores linguales, etc. Cada vez que los menores cumplan con uno de los objetivos se les puede recompensar con algo que los tutores consideren conveniente. De este modo, los menores se implicarán en cumplir los hábitos saludables propuestos hasta que los adopten de manera autónoma.

ALIMENTACIÓN ADECUADA COMO BASE DE UNA BUENA SALUD ORAL

Como narra Stifano *et al.* (2008), "la nutrición y la dieta influyen en la integridad de la cavidad oral y contribuyen a la progresión de las enfermedades orales". En otras palabras, los alimentos que ingerimos van a tener un efecto positivo o negativo en la integridad de nuestra salud oral, pudiendo ser los causantes de graves infecciones a nivel oral.

Teniendo esta consideración presente, es oportuno preguntarse cuáles son los hábitos dietéticos relacionados con las enfermedades de la cavidad bucodental. Muchos autores y científicos concuerdan que son tres los principales determinantes que provocan la patología de mayor incidencia global, la caries dental. Tales determinantes son:

- **Carbohidratos fermentables:** Los alimentos compuestos por carbohidratos tienden a iniciar el proceso de desmineralización característico de la caries.
- **Características de los alimentos:** Las características físicas de los alimentos que ingerimos poseen un papel importante, debido a la capacidad que puedan poseer de adherirse a la superficie dentaria. Cuánto más tiempo permanezcan los alimentos en las piezas dentarias, más probabilidades de producirse ácido y desmineralizarse la pared dental.
- **Frecuencia de consumo:** El famoso "picoteo" entre horas de alimentos y bebidas ácidas favorecerán la presencia de las bacterias causantes de la caries.

Para reducir las probabilidades de que los menores sufran patologías bucodentales, es esencial que las familias adopten en su vida diaria guías sobre una alimentación saludable y básicos consejos dietéticos como pueden ser:



- Reducir, dentro de lo posible, la ingesta de alimentos azucarados, o bien sustituir estos por otros que sean bajos en azúcar y carbohidratos.
- En caso de que los menores consuman azúcar, administrarlo durante las comidas principales.
- Conocer las carencias nutricionales que los menores tengan en su dieta e intentar corregirlas incrementando la ingesta de alimentos altos en vitaminas.
- Establecer una dieta variada y equilibrada.

Actuaciones en el ámbito escolar

Antes de nada, es esencial acotar el significado de "colegio" ya que este denota una implicación más trascendente que el conjunto de palabras que recoge y establece como definición la RAE. Eugenio María de Hostos especifica que "la escuela ha de edificar en el espíritu del escolar, sobre cimientos de verdad y sobre bases de bien, la columna de toda sociedad, el individuo". Hostos pone en alza el verdadero valor del centro educativo. Más allá de un conjunto de edificios, es una esfera de aprendizaje que conformará a los futuros integrantes de nuestra sociedad y, con ello, los valores que regirán el mundo.

“Es oportuno preguntarse cuáles son los hábitos dietéticos relacionados con las enfermedades de la cavidad bucodental.”

Las escuelas proporcionan un entorno propicio para la promoción de la salud bucodental, debido a su fácil acceso a los menores que constituyen nuestras poblaciones y que se encuentran en una etapa importante en la que se desarrollan las conductas y las actitudes relacionadas con la salud oral.

Los menores primero adquieren los conocimientos, luego las actitudes y finalmente los comportamientos que van a constituir un hábito. Por ello, actuar sobre la población escolar es una responsabilidad que los centros





“Los profesionales privados sanitarios, igual que los agentes de la sanidad pública, deben educar de manera constante a los menores para obtener la tan ansiada salud oral adecuada.”

educativos no deben descuidar porque de ello dependerá que los menores tengan un mejor acceso e información sobre higiene oral óptima.

El proceso de enseñanza-aprendizaje ha de desarrollarse en un ambiente que invite al alumnado a investigar, a aprender, a construir su conocimiento de modo que su papel no se limite a reproducir, sino que ha de tomar decisiones, participando de forma activa y responsabilizándose de su aprendizaje.

A través de una metodología cooperativa se permitirá que el alumnado aprenda entre ellos, interactuando y organizando de forma grupal la realización del trabajo de una forma eficaz. De este modo se desarrollarán, a su vez, habilidades intrapersonales y sociales, potenciando también las capacidades motoras.

Actuaciones dentro de los sistemas sanitarios

La necesidad es elevada y está poco cubierta por el sistema sanitario público, lo que provoca que la salud bucodental sea un lujo que está fuera del alcance de muchas personas.

Gracias a los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (INE), se ha podido verificar que el 26'4% de la población española en 2020 se encontraba dentro del umbral de la pobreza. Situación que provocó que más de un millón de personas residentes en España no pudiesen acudir al dentista por no poder permitírselo económicamente, además de impedirles hacer frente a otras necesidades básicas.

¿Qué ocurre con los centros odontológicos privados? ¿Están exentos de aplicar medidas de actuación con los menores que acuden a la consulta? Sin duda, no. Aunque se usen los enfoques motivacionales adecuados, los resultados suelen ser cortoplacistas, por lo que los profesionales deben de apelar a las conductas y actitudes de los menores para que se traduzca en buenas experiencias. Numerosos estudios han demostrado de forma bastante concluyente que, a menos que se efectúe un refuerzo continuo de manera periódica, incluso el mejor de los programas de educación para la salud fracasaría en su propósito de modificar actitudes hacia un cuidado bucal adecuado. Los profesionales privados sanitarios, igual que los agentes de la sanidad pública, deben educar de manera constante a los menores para obtener la tan ansiada salud oral adecuada.

CONTROL DE LA CONDUCTA INFANTIL EN LA CONSULTA ODONTOLÓGICA

Uno de los aspectos más importantes que debe de tener en cuenta el personal de la clínica es el control de la conducta. Este es un aspecto esencial que muchas veces puede pasar desapercibido, pero que va a marcar un antes y un después en el éxito de cualquier tratamiento.

¿Cómo se puede dirigir la actitud del niño para que ésta sea la adecuada? Antes de nada, es esencial que los profesionales de la consulta odontológica busquen cuáles son los factores que influyen en el comportamiento del menor, ya que, conociendo la génesis de dichos factores negativos, se podrá actuar sobre ellos con una mayor eficacia. A continuación, se procede a desglosarlos para poder conseguir una mejor comprensión de la actuación de dichos factores:

- **Edad:** En términos generales, podemos afirmar que los niños más pequeños van a presentar más ansiedad ante cualquier tratamiento médico.
- **Miedos adquiridos:** Los padres tienen un gran papel en la transmisión de los miedos a sus hijos. La llamada ansiedad paterna influye negativamente en la colaboración que el menor muestre durante el tratamiento. Mediante frases inconscientes pueden transmitir a los niños que acudir a la consulta odontológica es un castigo o un lugar en el que el dolor es inevitable.
- **Experiencias previas:** Las experiencias previas dentales negativas siempre suponen una dificultad adicional para conseguir la colaboración de los pequeños. Desde el momento en el que el niño entra en la consulta, es necesario no solamente establecer una conexión de empatía con él, sino que también se deben emplear las técnicas de control de conducta adecuadas.

Aunque con el paso del tiempo muchas técnicas van a cambiar, hay consejos fundamentales como:



- Acercamiento positivo: Desarrollar habilidades tanto a nivel verbal como paraverbal, establecer contacto visual y sonreír. La conversación debe ser natural y agradable, interesándonos sobre sus gustos y actividades.
- Establecer una buena comunicación con el niño: Este paso permite ganarse la confianza de este y de sus padres, así como su aceptación del tratamiento dental.
- Proporcionar un ambiente relajado y cómodo: Transmitir una actitud cálida hacia el niño.
- Organización de la consulta: Cada componente del equipo debe conocer lo que se espera de él y sus funciones. Esto permite incrementar la eficiencia y mejorar las relaciones con el paciente.

La comunicación con el paciente infantil es el primer objetivo para dirigir su conducta. Una vez que se esta-

blezca el contacto con el niño, se puede continuar con la explicación ordenada de los procedimientos. Durante la conversación, el mensaje debe ser claro y adecuado a la edad del paciente para que sea fácilmente comprendido.

Un gran pilar dentro de las técnicas de control de conducta es la Técnica de la Triple E (Explicar-Enseñar-Ejecutar). La idea de esta técnica es conseguir familiarizar al niño mediante una aproximación al ambiente e instrumentos de la consulta dental. ¿Cómo se debe llevar a cabo? Primero, se deberá comunicar y explicar al niño lo que se le va a hacer con el fin de reducir la ansiedad y el miedo. Una vez explicado, se procederá a mostrarle cómo se llevará a cabo la técnica y se terminará efectuando dicha técnica tal cual se le ha comentado.

COLOFÓN

La odontopediatría y la promoción de la salud oral en los menores son fundamentales y hay que actualizarlas constantemente.

La educación para la salud debe considerarse como una forma de enseñanza que conduzca a los individuos a promover cambios saludables en su actitud sanitaria y adquirir una conducta oral adecuada.

Para conseguir unos mayores niveles de salud en la población es necesario educar a nivel familiar, escolar y desde las instituciones sanitarias.

Finalmente, me gustaría citar la célebre frase de Nelson Mandela (1918-2013), "La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo".

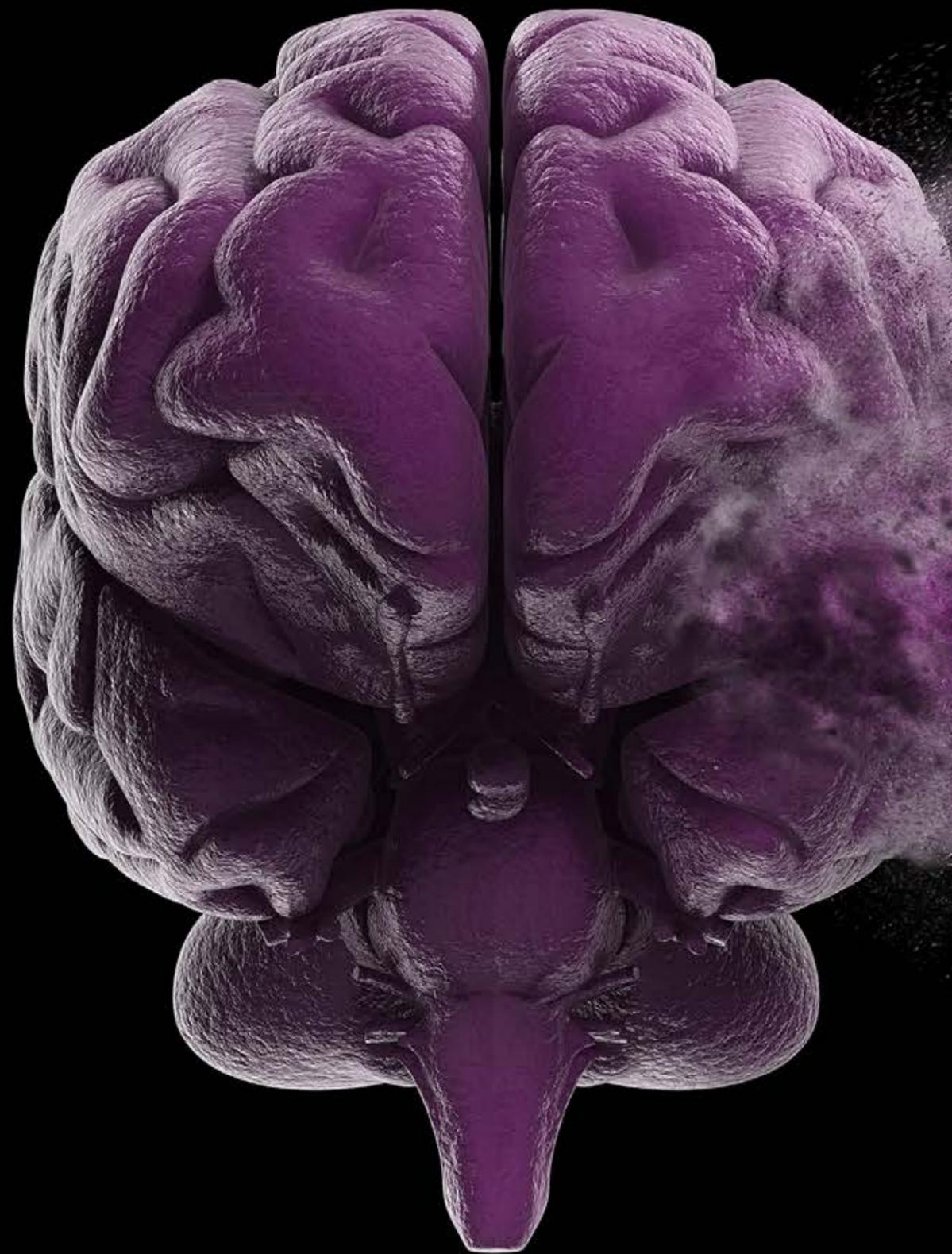
Yadhira Noriega Rodríguez
Clínica Dentaland (Gijón, Asturias)

BIBLIOGRAFÍA

- Boj JR., Catalá M., García-Ballesta C., Mendoza A., Planells P. "Odontopediatría, la evolución del niño al adulto joven". Madrid: Editorial Ripano; 2011, 865.
- Nápoles González IDJ., Fernández Collazo ME., Jiménez Beato P. "Evolución histórica del cepillado dental". Rev Cubana Estomatol. 2015; 52 (2): 208.
- Ruiz García I., Sánchez Álvarez P., de Jorge Martínez ME. "Familia y Educación. Guía práctica para Escuelas de Padres y Madres eficaces". Murcia: Consejería de Educación, Formación y Empleo; 2012. 90.
- Stifano M., Chimenos Küstner E., López López J., Lozano de Luaces V. "Nutrición y prevención de las enfermedades de la mucosa oral". Odontol Prev. 2008;1 (2): 65.



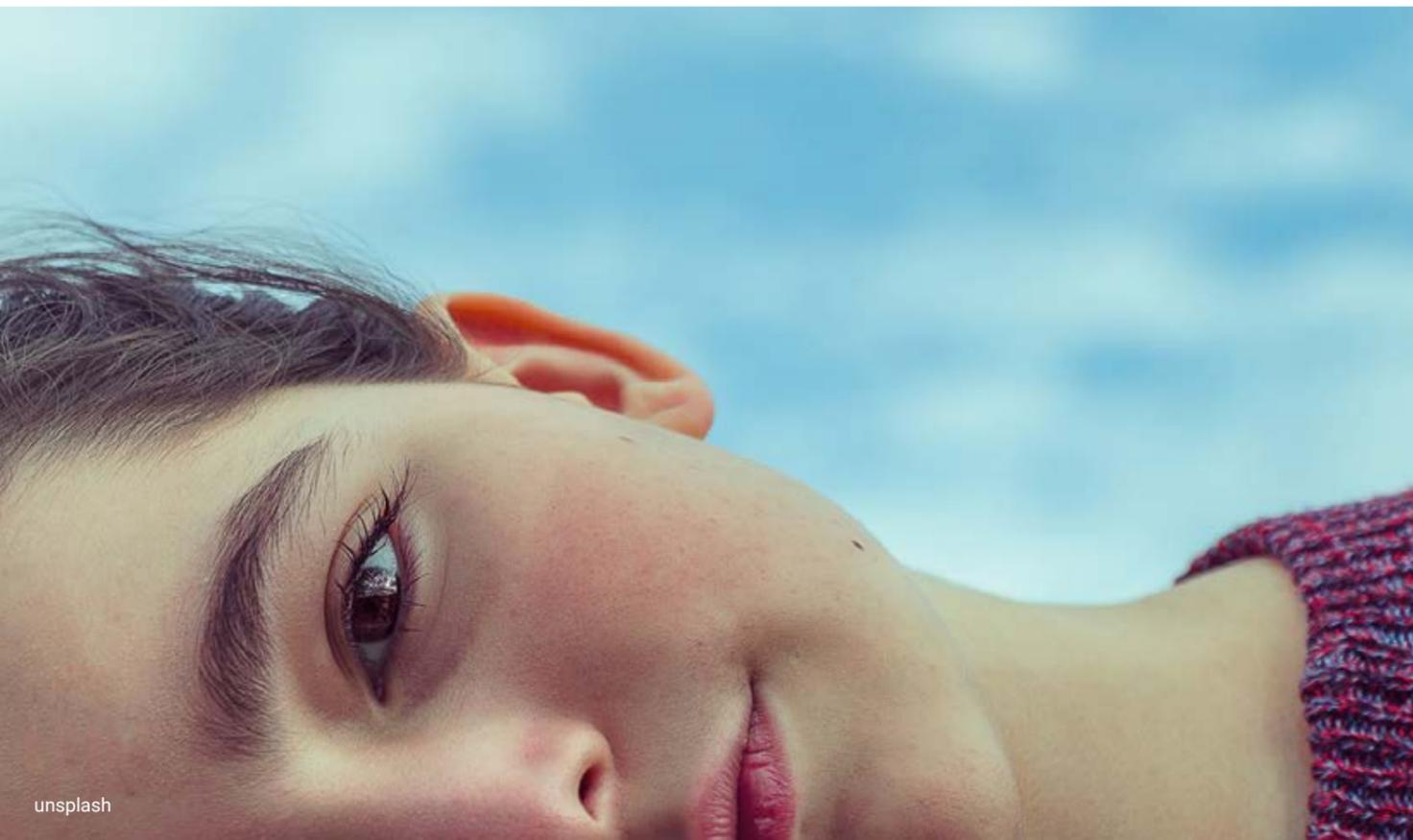
“Para conseguir unos mayores niveles de salud en la población es necesario educar a nivel familiar, escolar y desde las instituciones sanitaria.”



Avances en microtecnologías y en inteligencia artificial podrían hacer la neurotecnología disruptiva

“Todas las barreras éticas pueden ir rebajándose, adentrándonos en un nuevo mundo que quizá dentro de unas pocas generaciones no se parezca en nada al actual.”

José María de Teresa



En una charla dentro del ciclo de charlas divulgativas “Encuentros con la Ciencia” del 24 de noviembre de 2022, abordaba la cuestión de si la neurotecnología es o puede llegar a ser una tecnología disruptiva (por tecnología disruptiva entendemos aquella que produce un gran impacto en la sociedad y/o en la economía, pudiendo cambiar drásticamente la manera en la que el ser humano desarrolla sus actividades). Trasladaré el hilo conductor de dicha charla a este artículo, y lo enriqueceré con datos muy relevantes proporcionados por la empresa Neuralink en un vídeo que emitió el 30 de noviembre de 2022 y en un artículo publicado previamente en 2019.¹ En dicho vídeo, esta empresa liderada por Elon Musk, mostró los avances que había realizado en los últimos dos años en el campo de los implantes cerebrales. Es realmente sorprendente que el mismo día, el 30 de noviembre de 2022, otra empresa liderada por Elon Musk hiciese pública, y accesible de modo gratuito, una herramienta de inteligencia artificial que se ha hecho viral: ChatGPT-3 (<https://chat.openai.com/chat>). Se trata de un chat avanzado en procesamiento del lenguaje natural que

es capaz de mantener conversaciones cuasi-humanas y generar contenidos nuevos. Pero la inteligencia artificial va mucho más allá y comienza a impregnar muchos otros campos, como por ejemplo su uso para descodificar las señales cerebrales. Todo hace indicar que nos encontramos en el caldo de cultivo idóneo para que se desarrollen avances muy significativos en neurotecnología, llegando a convertirse en una tecnología disruptiva como en su momento lo fueron la máquina de vapor y la electricidad. Y quién sabe si las generaciones venideras considerarán la fecha del 30 de noviembre de 2022 como una fecha de culto, clave para el desarrollo de la neurotecnología y de la inteligencia artificial.

No cabe duda de que, desde que a finales del siglo XIX dos grandes científicos, Santiago Ramón y Cajal y Joseph John Thomson, iniciaran respectivamente los campos de la neurociencia y la electrónica, se han realizado avances muy significativos en el conocimiento del cerebro y en el desarrollo de los dispositivos electrónicos. La confluencia de ambos campos de trabajo ha conducido al nacimiento de la neurotecnología, entre cuyos objetivos se encuentran el desarrollo de dispositivos que puedan leer e interpretar las señales eléctricas que crean las neuronas en nuestro cerebro, así como estimular eléctricamente las neuronas allí donde sea necesario (cerebro, médula espinal, etc.).² La base de esta tecnología reside en el hecho de que la comunicación entre las neuronas se produce intercambiando señales eléctricas y químicas. El objeto de la mayor parte de la investigación actual en el campo de la neurotecnología se centra, por un lado, en conseguir detectar y descodificar esas señales eléctricas y, por otro, en activar las neuronas mediante estimulación eléctrica. ¿Cómo es esto posible?

En la figura de la página siguiente se muestran algunos dispositivos que se han desarrollado para detectar externamente las minúsculas señales eléctricas que se producen cuando se activan las neuronas. Entre ellos podemos observar diademas y bandas como las que ha desarrollado la empresa zaragozana Bitbrain (<https://www.bitbrain.com/es>), cascos como los que ha desarrollado la empresa Kernel (<https://www.kernel.com/>), y pulseras como las que ha desarrollado la empresa CTRL-labs (adquirida en 2019 por Facebook). Dado que estas señales eléctricas son muy débiles y su detección ocurre a distancias relativamente grandes, en muchas situaciones y aplicaciones no es posible obtener información relevante. En ese caso, es necesario acercarse más al lugar en el que estas señales se producen. ¿Podemos hacer esto?

“La inteligencia artificial comienza a impregnar campos como por ejemplo su uso para descodificar las señales cerebrales.”

REFERENCIAS

1. E. Musk et al., “An integrated brain-machine interface platform with thousands of channels”, *J. Med. Internet Res.* 21, e16194 (2019) y vídeo del 30 de noviembre de 2022 disponible en el enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=YreDYmXTYi4>
2. A. Vázquez-Guardado et al., “Recent advances in neurotechnologies with broad potential for neuroscience research”, *Nature Neuroscience* 23, 1522 (2020).



Imágenes cedidas por el autor.

▲
Ejemplos de interfaces cerebro-máquina (diadema y banda de la empresa Bitbrain y casco de la empresa Kernel) y de captación de las señales eléctricas neuromotoras (pulsera de la empresa CTRL-labs).

En la figura de la derecha se muestran las opciones más habituales para detectar las señales eléctricas que se producen en el cerebro, que de mayor a menor grado de invasión corresponden a:

1. EEG o electroencefalografía, colocando electrodos en el cuero cabelludo.
2. ECoG o electrocorticografía, colocando electrodos sobre la superficie del cerebro.
3. Microelectrodos intracorticales, que penetran ligeramente en la corteza cerebral.
4. Electrodo profundos, que penetran hasta el interior del cerebro.

Los electrodos profundos pueden también utilizarse para aplicar voltajes eléctricos controlados, técnica que se denomina estimulación cerebral profunda y que se utiliza para tratar enfermedades graves como Parkinson, epilepsia, distonía, depresión, Alzheimer, etc.³ En todos estos casos mencionados, los electrodos se conectan externamente mediante cables a equipos electrónicos, por lo que su uso está normalmente restringido a un entorno clínico.

La estimulación neuronal es muy útil no solo en el cerebro sino también en otros órganos, de los que aquí re-

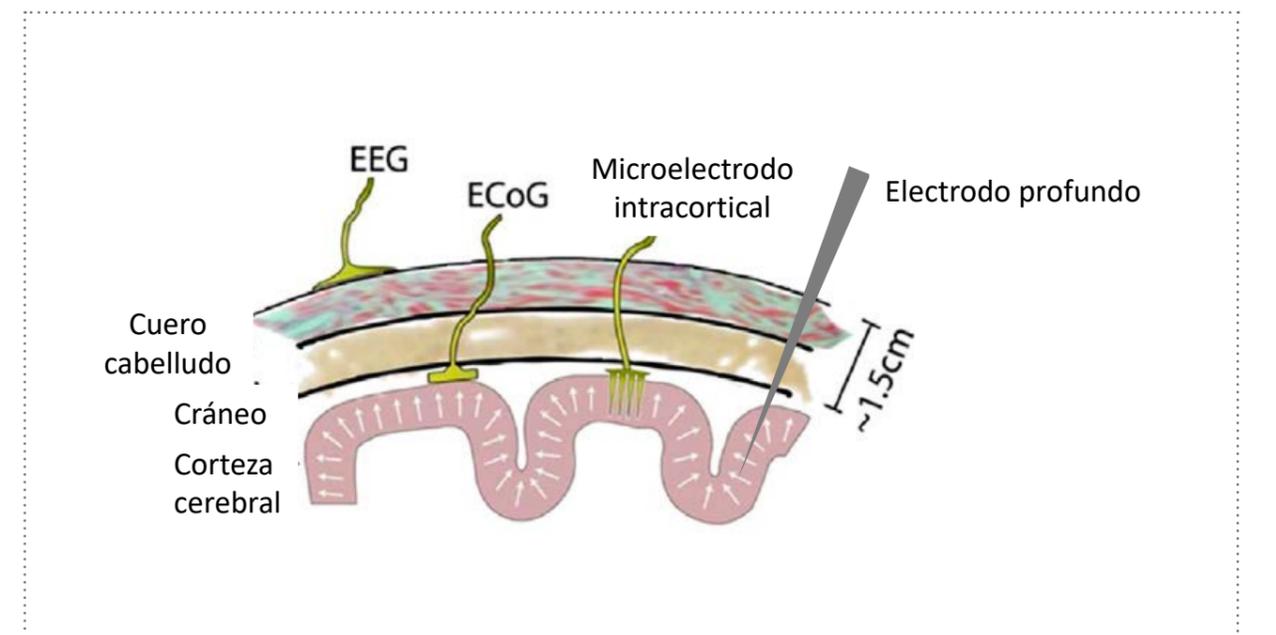
“El implante coclear se introduce en el interior de la cóclea y consiste en un pequeño tubo de material plástico que contiene electrodos.”

cogeré dos ejemplos. El primer ejemplo que consideraremos es el de la estimulación del nervio acústico, que recoge señales en la cóclea, situada en el oído interno, y las lleva hasta las zonas del cerebro (colliculus y cortex auditivo), que las interpreta como sonidos. Esta estimulación se consigue gracias a un dispositivo llamado implante coclear, que se introduce en el interior de la cóclea y consiste en un pequeño tubo de material plástico que contiene electrodos. Estos electrodos crean corrientes eléctricas que estimulan el nervio acústico y sustituyen a la estimulación natural producida por el movimiento de los cilios de la pared de la cóclea. El implante coclear es por tanto una prótesis que se utiliza en casos graves de sordera en los que el circuito del sonido desde el oído externo al interno tiene una deficiencia grave. Hasta la fecha, se han realizado en el mundo más de 700.000 operaciones para implantar estas prótesis que permiten oír con cierta fidelidad a personas que han perdido esa capacidad totalmente o en su práctica totalidad.⁴

El segundo ejemplo que consideraremos es el de la estimulación neuronal en la zona de la médula espinal que regula el movimiento de las extremidades. Es de especial interés para pacientes que han sufrido un accidente grave y tienen dañado el circuito neuronal que desde el cerebro envía las órdenes a las neuronas motoras, como por ejemplo las personas tetraplégicas. Uno de los avances recientes más importantes en este campo fue publicado en 2022 por un grupo internacional de

3. J. K. Krauss et al., “Technology of deep brain stimulation: current status and future directions”, *Nature Reviews Neurology* 17, 75 (2021).
4. G. Clark, “The multi-channel cochlear implant: Past, present and future perspectives”, *Cochlear Implants Int.* 10, 2 (2009).

Detección de señales eléctricas del cerebro mediante diferentes métodos que se describen en detalle en el texto.



investigadores liderado por un grupo del centro EPFL en Lausana (Suiza).⁵ En este trabajo se describe cómo una estimulación eléctrica específica para cada paciente, realizada de modo inalámbrico desde un ordenador a los electrodos insertados en la médula espinal, permitió a tres pacientes inmovilizados levantarse, andar y nadar en un solo día. Aunque todavía estamos lejos de que esta tecnología pueda implementarse médicamente de modo masivo, estos resultados representan una prueba de concepto prometedora de las importantes aplicaciones que la neurotecnología puede tener en el ámbito médico.

Aunque todos estos avances médicos realizados gracias a la neurotecnología son importantes, no serían suficientes para considerarla una tecnología disruptiva, ya que solo serían de aplicación para una pequeña parte de la población que necesita recuperar ciertas capacidades funcionales. Lo que sí que podría hacer a la neurotecnología disruptiva sería el desarrollo de implantes cerebrales que permitiesen, más allá de ser utilizados para aplicaciones médicas, el aumento de las capaci-

dades cognitivas del ser humano (*ser aumentado*) y la comunicación de pensamientos y órdenes de modo inalámbrico (lo que comúnmente ha sido denominado *telepatía*). ¿Es esto posible? ¿Es esto éticamente aceptable? El resto del artículo abordará estas dos cuestiones.

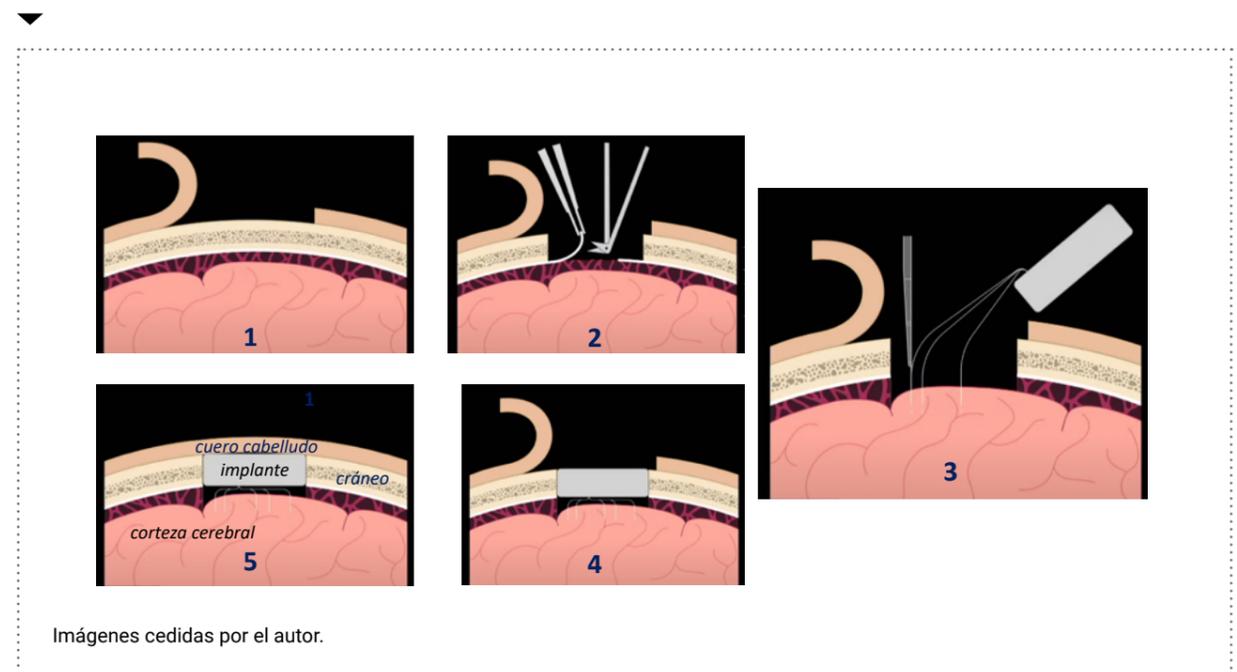
En primer lugar, abordaremos aspectos técnicos sobre los implantes cerebrales que reciben y transmiten información de modo inalámbrico. Aunque hay varias empresas y grupos de investigación trabajando en este tema, si consideramos la información que se ha hecho pública, la empresa Neuralink es la más avanzada en el conjunto de desarrollos tecnológicos que son necesarios para hacer dispositivos utilizables de modo amplio por la población. En concreto, desarrollos relacionados con:

- El robot que hace la implantación del microchip y de los microelectrodos.
- El diseño y fabricación del microchip que captura las señales eléctricas detectadas por los microelectrodos.
- El análisis e interpretación de dichas señales en experimentos realizados con seres vivos.

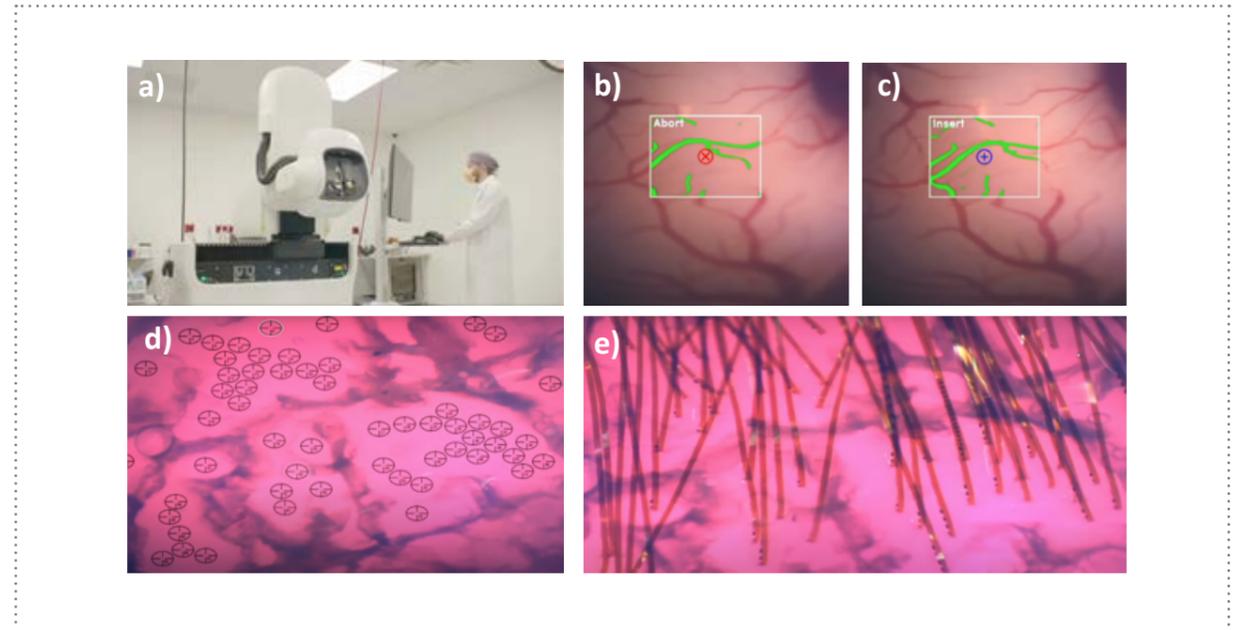
A continuación, iremos desgranando estos avances.

Tal y como se muestra en la figura, Neuralink ha elaborado un método para realizar la implantación del microchip y los microelectrodos que consiste en:

Esquema de los diferentes pasos seguidos por el robot creado por la empresa Neuralink para realizar implantes cerebrales en seres vivos.



Imágenes cedidas por el autor.



a) Robot creado por Neuralink para realizar implantes cerebrales.

b) y c) imágenes que toma el robot antes de realizar la inserción de cada microelectrodo con el objetivo de que este no caiga sobre un capilar.

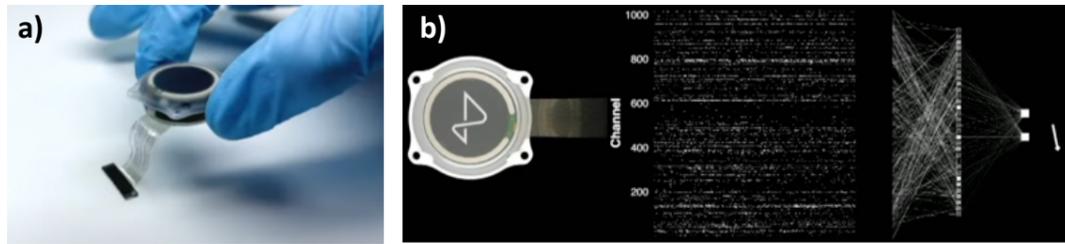
d) posiciones previstas para implantar electrodos; e) aspecto del cerebro una vez se han realizado las inserciones de los electrodos.

- Levantar el cuero cabelludo.
- Hacer una perforación en el hueso del cráneo y realizar un corte en las membranas que protegen el cerebro (meninges).
- Implantar los microelectrodos sobre la corteza cerebral.
- Posicionar el microchip en el agujero perforado del cráneo.
- Recolocar el cuero cabelludo.

Este proceso podría realizarlo un neurocirujano, pero Neuralink ha diseñado un robot que puede realizarlo de modo automático y con gran precisión. El desarrollo de este robot ha necesitado de una inversión de al menos 150 millones de dólares, pero ha alcanzado una sofisticación muy notable.¹

Como se puede observar en la figura, el robot realiza la inserción de los microelectrodos con gran exactitud en zonas de la corteza cerebral donde no hay capilares, lo que es importante de cara a minimizar los daños fisiológicos causados por la inserción de los microelectrodos (por ejemplo, el sangrado). Esta tarea no es nada sencilla ya que, en contra de lo que pudiéramos pensar, el cerebro está en continuo movimiento y, aunque estos movimientos son microscópicos, son suficientes para que la inserción se produzca fuera de la zona objetivo. Pero Neuralink ha conseguido implementar un sofisticado método de visualización de los capilares

5. A. Rowald et al., "Activity-dependent spinal cord neuromodulation rapidly restores trunk and leg motor functions after complete paralysis", Nature Medicine 28, 260 (2022).



Imágenes cedidas por el autor.

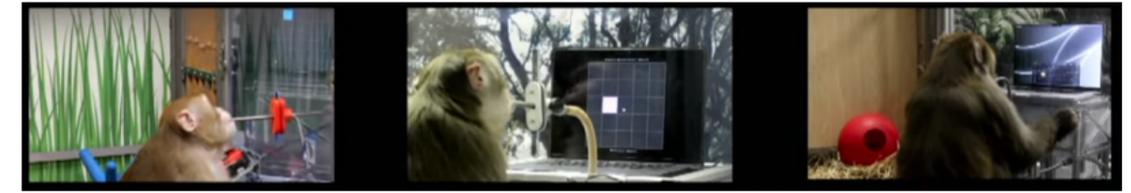
a) Imagen del implante cerebral utilizado por Neuralink en sus experimentos con monos y cerdos.

b) Señales eléctricas detectadas por los electrodos y el tratamiento de dichas señales para interpretarlas correctamente.

en tiempo real mediante interferometría láser, lo que permite realizar la inserción en una zona libre de capilares. Esta elevada precisión hace posible que pueda programarse la inserción múltiple de electrodos en una zona de la corteza cerebral, y realizarla de modo efectivo, como puede observarse en dicha figura. Estamos sin duda ante una obra notable de microingeniería, e invito al lector a visualizar el video completo que describe el mecanismo de inserción, donde se puede comprobar, por ejemplo, la cantidad de diseños probados de las agujas que utiliza el robot hasta obtener una aguja eficiente en la inserción del microelectrodo.¹

Una fotografía de la versión actual del microchip que utiliza Neuralink puede verse en la figura. Su tamaño es equivalente al de una pequeña moneda, unos 2,5 cm, y posee 1024 canales de transmisión de información de modo inalámbrico. El software del microchip puede actualizarse también inalámbricamente, por lo que pueden incorporarse nuevas versiones de software que vayan apareciendo y sean compatibles con el hardware. También se han realizado avances significativos en la batería integrada en el implante, habiéndose doblado su tiempo de vida y recargándose de modo inalámbrico. En el vídeo se muestra cómo se atrae a un mono a las cercanías del cargador y, mientras este juega, la batería del microchip se va recargando. Con este implante cerebral, han realizado diversos experimentos con varios monos, tal y como se muestra en la figura. Las tareas que los monos han sido capaces de realizar con su pensamiento, tras un periodo de entrenamiento, han sido, entre otras: hacer click con un ratón a la derecha y a la izquierda, hacer click con un ratón y arrastrarlo, teclear mediante un cursor que se desplaza sobre un teclado virtual, teclear arrastrando el cursor, escribir números y hacer gestos con la mano. Estas tareas son más com-

“Todos estos avances han impactado a la comunidad científica, que ve cada vez más próxima la posibilidad de un uso comercial de los implantes cerebrales y estimuladores neuronales desarrollados por el equipo de Musk.”



click a derecha e izquierda

click y arrastrar el ratón

teclear con un cursor



teclear arrastrando el cursor

escribir números

hacer gestos con una mano

Fotografías de varios monos con implantes cerebrales utilizados por Neuralink en sus experimentos, donde se les ve realizar las acciones que se mencionan utilizando exclusivamente sus pensamientos.

plejas que las presentadas en el vídeo anterior del año 2019 en el que se ve a un mono practicando el sencillo juego del Pong con su pensamiento. Los nuevos desarrollos en inteligencia artificial están sin duda ayudando a una correcta descodificación de las señales eléctricas producidas en el cerebro.

Además, Neuralink está desarrollando otro implante que en este caso sirve para realizar estimulación neuronal y que posee 4096 canales de información. Una de las aplicaciones futuras de este tipo de implante se esquematiza en la figura de la página siguiente. El proceso completo consistiría en pensar en la realización de una acción motora, como por ejemplo mover una pierna, que se detectaría mediante el implante cerebral y se transmitiría inalámbricamente al implante de estimulación neuronal

en la zona de las neuronas motoras situada en las proximidades de la médula espinal. La estimulación de dichas neuronas daría lugar a la contracción muscular y al consiguiente movimiento de la pierna. Las aplicaciones de este doble implante, para detección de las señales cerebrales y para la estimulación de las neuronas motoras, son evidentes en el ámbito médico para resolver situaciones de falta de movilidad debido a accidentes u otro tipo de deficiencias en el circuito neuronal que activa el movimiento muscular. Los experimentos en cerdos que se muestran en la figura corresponden a la estimulación del movimiento de flexión de una pata trasera, que se ha conseguido enviando desde un ordenador una señal al implante de estimulación situado junto a la médula espinal, lo que provoca la contracción muscular observada.

Todos estos avances realizados por Neuralink han impactado a la comunidad científica, que ve cada vez más próxima la posibilidad de un uso comercial y amplio de los implantes cerebrales y estimuladores neuronales desarrollados por el equipo de Musk. Y las imágenes que ha mostrado de su centro de fabricación en Austin (Texas, Estados Unidos), que comienzan a parecerse a una factoría industrial de microchips, han reforzado la idea de que la neurotecnología comercial es viable, tanto más cuanto en el mismo evento del 30 de noviembre de 2022 anunciaron que ya habían solicitado permiso para realizar experimentos con seres humanos a la FDA,

que es el organismo que en Estados Unidos da este tipo de autorizaciones y que podría otorgárselo en seis meses (más o menos para cuando este artículo vea la luz en mayo de 2023). ¿Realmente estamos tan cerca de que este tipo de neurotecnología tenga un uso amplio e impacte en nuestras vidas?

Un uso amplio de implantes cerebrales en seres humanos conlleva riesgos que no son comparables a los que se corren en experimentación animal. Aunque algún mono de Neuralink ha llevado el mismo implante cerebral durante dos años, se sabe que muchos de los monos ya han muerto, sin que las causas se hayan investigado en profundidad o al menos se hayan hecho públicas. Semejante balance de bajas no sería asumible si se tratara de seres humanos, por lo que, en mi opi-

a) Esquema en el que se describen las diferentes partes involucradas en un futurista dispositivo doble en el que un implante cerebral detecta una señal neuromotora que se transmite inalámbricamente a un implante de estimulación en la zona de la médula espinal que produce una contracción muscular.

b) Experimento realizado por Neuralink en un cerdo con un implante de estimulación que produce la flexión de su pata trasera derecha.



istock

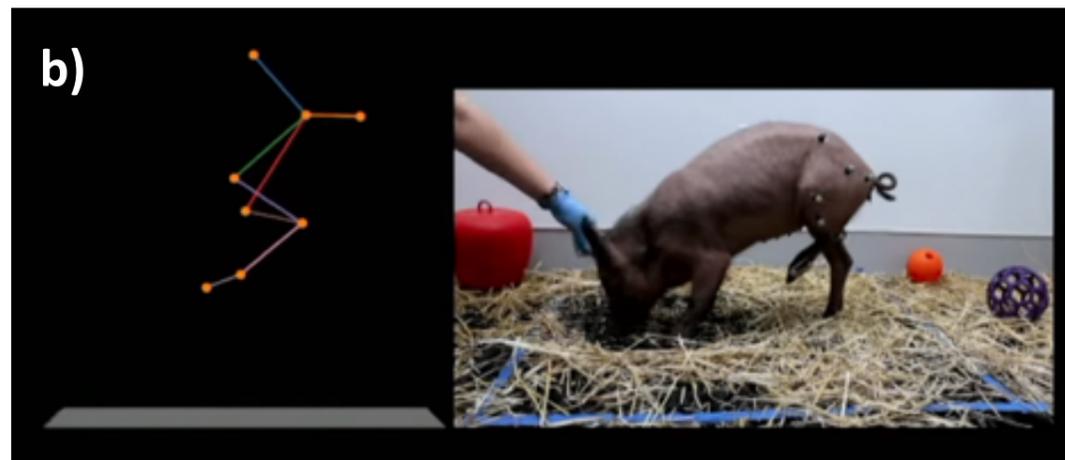
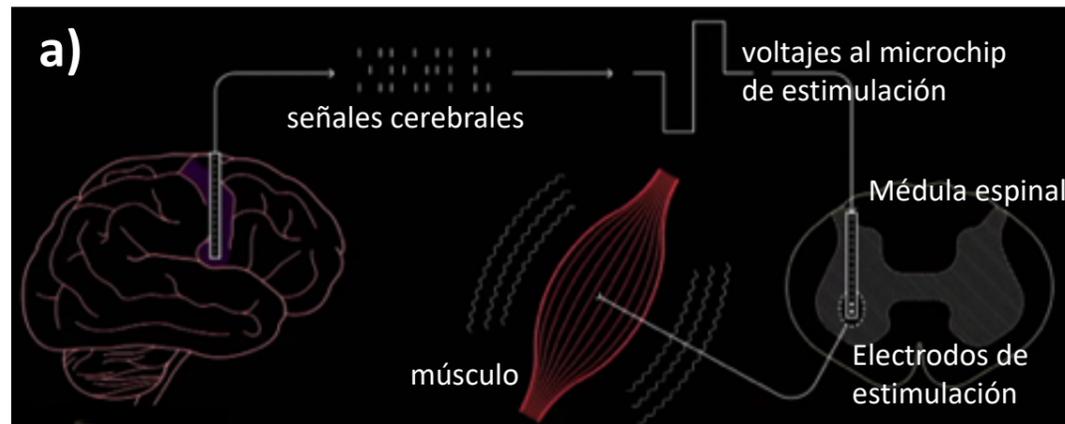


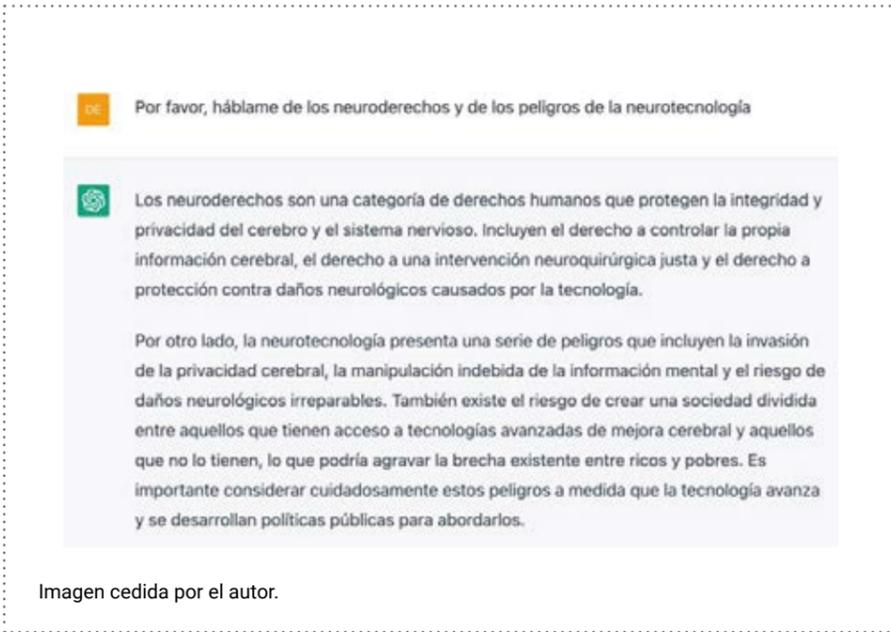
Imagen cedida por el autor.

ción, la tecnología debería perfeccionarse mucho antes de que se permita una investigación a gran escala en seres humanos más allá de algunos casos sin solución médica mediante métodos convencionales. Los retos más importantes a los que esta tecnología se enfrenta son los siguientes:

- Perfeccionar el método de inserción de los electrodos y del resto del implante para que sea totalmente fiable a la vez que suficientemente rápido.
- Garantizar que se minimiza el daño del tejido cerebral próximo al de inserción de los electrodos.
- Mejorar el grado de fiabilidad de las señales eléctricas detectadas y su correcta descodificación e interpretación.
- Asegurar una durabilidad del implante y de la amplitud de las señales eléctricas cerebrales detectadas.

Sin duda, no podemos obviar el enorme reto ético y legislativo al que nos enfrentamos para integrar la neurotecnología en nuestras vidas, si esta llega a convertirse en una tecnología disruptiva. Una tecnología disruptiva siempre va a llevar acarreados cambios y retos sociales de enorme calado. Para tranquilidad del lector, todavía no hemos llegado a ese punto. En este estadio incipiente, todavía estamos preguntándonos sobre los retos éticos y sociales que nos podría plantear en un

“Un uso amplio de implantes cerebrales en seres humanos conlleva riesgos que no son comparables a los que se corren en experimentación animal.”



◀ **Diálogo con el chat de inteligencia artificial ChatGPT-3 en el que este da una respuesta correcta acerca de los neuroderechos y los peligros de la neurotecnología.**

futuro la neurotecnología. Hay investigadores del cerebro, como por ejemplo el profesor español Rafael Yuste que trabaja en la Universidad de Columbia en Estados Unidos, que ya han identificado una serie de neuroderechos. ¿Qué son los neuroderechos? En este punto podemos enlazar con la herramienta de inteligencia artificial que comentaba al principio, ChatGPT-3, y preguntarle directamente. Su respuesta está plasmada en la figura, y, aunque sucinta, es esencialmente correcta. Como existen artículos académicos que han desarrollado en profundidad esta temática, invitamos al lector a consultar alguna de estas referencias bibliográficas.⁶ El lector también puede escuchar en formato *podcast* algún debate sobre los desafíos éticos y sociales que presenta la neurotecnología o incluso leer una novela de (*neuro*)ciencia ficción que ha publicado el propio autor, donde se introduce el concepto de *paraíso neuronal* para referirse a un país con legislación laxa en cuanto al desarrollo de la neurotecnología.⁷ Aunque este tema daría por sí solo para otro artículo, recalcaremos aquí que nuestro pensamiento es lo más íntimo que tenemos y uno de los elementos clave que define al ser humano, por lo que debemos hacer lo posible para protegernos de su exposición incontrolada y de su explotación con fines espurios o únicamente económicos.

Para concluir este artículo, daré mi punto de vista sobre la cuestión de si la neurotecnología es o puede llegar a ser una tecnología disruptiva. Por un lado, percibo que

hay consenso sobre la utilización de implantes cerebrales para abordar problemas médicos que no pueden solucionarse con métodos convencionales. En cuanto al uso de interfaces cerebro-máquina externas (diademas, cascos, bandas), no percibo barreras infranqueables para su comercialización masiva en los próximos años, más allá de las precauciones habituales en el mundo digital relacionadas con aspectos de privacidad. Sería por supuesto necesario adaptar la legislación actual, incluyendo los riesgos adicionales de esta nueva tecnología, pero, dado que las señales cerebrales así obtenidas son débiles, no existe en este momento una amenaza que impida su desarrollo y comercialización. Sin embargo, estos dos tipos de aplicaciones de la neurotecnología, por su alcance limitado, no son todavía suficientes para que podamos considerar la neurotecnología disruptiva.

Para que la neurotecnología llegase a ser disruptiva, sería preciso un grado elevado de utilización de los implantes cerebrales, con motivaciones más allá de fines médicos. Si estos implantes se realizasen con el objeto de mejorar las capacidades cognitivas del ser humano o en aplicaciones relacionadas con ocio, entonces podría darse un uso masivo, llegando a ser una tecnología disruptiva que modificase nuestra relación con el entorno y con otros seres humanos. Pero para que esto ocurra, existen hoy en día barreras de carácter técnico y ético que lo impiden. En relación con las barreras técnicas, el implante cerebral es todavía una operación quirúrgica

delicada y existen riesgos médicos tanto en el momento de la implantación del microchip como *a posteriori*. Además, todavía hay que demostrar la durabilidad y eficacia de los implantes a medio y largo plazo. En relación con las barreras éticas, no parece que en la mayor parte de los países consideren éticamente aceptable la utilización de implantes cerebrales invasivos para obtener seres aumentados o realizar actividades de ocio. Sin embargo, todas estas barreras pueden ir rebajándose o desapareciendo, adentrándonos en un nuevo mundo que quizá dentro de unas pocas generaciones no se parezca en nada al actual. ¿O es que cuando Goya pintó su *Disparate número trece* (hombres volando gracias a unas rudimentarias alas) alguien podía pensar que en tan solo ocho generaciones el ser humano sería capaz no solo de volar, sino de hacerlo de varias maneras?

6. M. Ienca, "On neurorights", *Frontiers in Human Neuroscience* 15, 701258 (2021)
7. Podcast sobre implantes cerebrales en la web de RNE del 23 de enero de 2023 (<https://www.rtve.es/play/audios/futuro-abierto/>) y novela "2037. Paraíso neuronal" (Mira editores, 2021), de José María de Teresa.

José María de Teresa
Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón
(INMA, CSIC-Universidad de Zaragoza)





Conceptos básicos sobre las células

“¿Ha existido en algún momento de la Historia de la humanidad una pandemia relevante causada por una bacteria? ¿Cómo se realizaría su propagación?”

Isabel Mauriz Turrado,
Claudio Yepes del Álamo
y José Manuel Martínez Pérez



Un discípulo de Darwin llamado Ernst Haeckel fue el primero que propuso separar dos tipos de células según la presencia o no de núcleo. Posteriormente, en el siglo XX, Edouard Chatton propuso el término *procariótico* para referirse a las bacterias y *eucariótico* para el resto (Mauriz Turrado y cols., 2021).

El origen de las células pudo ser la transformación de moléculas inorgánicas en orgánicas bajo unas condiciones ambientales determinadas; tras ello, las biomoléculas se asociaron siendo capaces de mantenerse frente al medio y autorreplicarse. Así debieron formarse unas primeras protocélulas a las que Carl Woese llamó *eobiontes* o *progenotas*. Las células eucariotas surgieron de las procariotas al evolucionar ciertos sistemas membranosos (aparato de Golgi, retículo endoplasmático) o según la "teoría endosimbiótica" de Lynn Margulis (1970) que sugiere la internalización de estructuras (mitocondrias), originalmente procariotas, dentro de la eucariota (Margulis, 1970).

PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE EUCARIOTES

Hay tres tipos de células eucarióticas: animales, vegetales y fúngicas. Las dos primeras son las más representativas y poseen más similitudes que diferencias. Las estructuras en que las células vegetales difieren de las animales son:

- Vacuolas: de gran tamaño. Regulan la presión osmótica y sirven de almacén. También aparecen en animales pero son más pequeñas.
- Plastos o Plastidios: orgánulos con doble membrana y un genoma propio. Ej.: cloroplastos (fotosíntesis).
- Pared celular: rodea a la membrana plasmática y está formada por fibras de celulosa englobadas en una matriz de polisacáridos y proteínas.
- Forma y tamaño: generalmente es poliédrica y alcanza los 100 µm en vegetales en contraposición con la diversidad de formas y los 10-30 µm de las animales.
- Por su parte, las células animales poseen centriolos (orgánulos relacionados con la formación del citoesqueleto) que no aparecen en las vegetales.

FORMAS ACELULARES

A finales del siglo XIX se sospechaba de la existencia de seres vivos más pequeños que las células conocidas, en concreto con Dimitri Ivanowsky que lo descri-

“El origen de las células pudo ser la transformación de moléculas inorgánicas en orgánicas bajo unas condiciones ambientales determinadas.”

bió con la enfermedad del mosaico del tabaco. Se le denominó "virus", que significa "veneno" en latín (Madigan y cols., 2009).

Virus

Son entidades que se localizan en el umbral que separa lo vivo de lo inerte. Se caracterizan por: a) no ser celulares; b) no moverse por sí solos; c) no tener metabolismo; y, d) reproducirse solo dentro de las células que parasitan.

Rasgos	Célula PROCARIOTA	Célula EUCARIOTA
ADN	Con poliamidas asociadas Poco o nada repetitivo	Con proteínas asociadas Bastante repetitivo
Tamaño	0,05 - 10 µm	10 - 100 µm
Cromosomas	Único y circular	Múltiples y lineales
Nucléolos, cloroplastos y citoesqueleto	Ausentes	Presentes
Ribosomas	70S	80S
Enzimas respiratorias	Asociadas a membrana plasmática	En las mitocondrias
Órganos vibrátiles	Flagelos extracelulares (flagelina)	Undulipodios (tubulina)
Pared celular	Con peptidoglicano	Celulósica (vegetales) Quitinosa (hongos)
División celular	Fisión binaria o bipartición	Varias formas asociadas con mitosis

División I Gracillicutes: bacterias Gram negativas.

Clase I *Scotobacteria*: no fotosintéticas (bacterias de importancia clínica).
 Clase II *Anoxyphotobacteria*: fotosintéticas, no productoras de oxígeno (bacterias púrpuras y verdes de importancia ambiental).
 Clase III *Oxyphotobacteria*: fotosintéticas, productoras de oxígeno (cianobacterias).

División II Firmicutes: bacterias Gram positivas.

Clase I *Firmibacteria*: bacilos o cocos Gram positivos (cocos y bacilos regulares).
 Clase II *Thallobacteria*: bacterias Gram positivas con ramificaciones (actinomicetes).

División III Tenericutes

Clase I *Mollicutes*: células que carecen de pared (mycoplasmas).

División IV Mendosicutes

Clase I *Archaeobacteria*: presentan compuestos atípicos en la composición de la pared celular y membranas.

Imagen cedida por los autores.

◀ **Denominación y definición de las cuatro Divisiones del Reino Monera según el Manual Bergey de Bacteriología Sistemática (Brenner y cols., 2005).**

El Reino Monera

Clásicamente se dividía en dos subreinos: bacterias verdaderas y cianobacterias. La clasificación de los tres Dominios fue propuesta más adelante por Woese (1990), siendo *Bacteria* (*Eubacteria*), *Archaea* (*Archaeobacteria*) y *Eukaria* (*Eukaryota*: *Protista*, *Fungi*, *Plantae* y *Animalia*) (Madigan y cols., 2009).

Los avances en la tecnología y el conocimiento de la biología de estos organismos han supuesto que cambie su taxonomía. Según los últimos estudios ratificados por Cavalier-Smith (2020), el Clado *Archaeobacteria/Eukaryota* se denomina *Neomura* frente a las Eubacterias, diferenciándose ambos por sus tipos de pared.

El biólogo Gould, en el siglo XX, afirmaba que estamos ante un mundo esencialmente bacteriano. No solo porque durante la primera mitad de la Historia únicamente había bacterias, sino porque sus extraordinarias características han permitido que se extiendan por todas partes. De hecho, aunque la mayoría se reproducen de manera asexual por fisión binaria (hay otros mecanismos asexuales, sexuales y parasexuales), también presentan metabolismos muy variados que les permiten colonizar todos los hábitats terrestres. Además, si bien provocan algunas enfermedades, su rol ecológico como descomponedores es fundamental.

El sistema actual clasifica las bacterias según si son fotosintéticas o no, motiles o no, unicelulares o multicelulares, y si forman esporas o presentan fisión binaria.

Con estos criterios y la similitud en la secuencia de nucleótidos que componen los ribosomas (ARNr), los organismos que anteriormente conocíamos como Reino *Monera* ahora quedan divididos en cuatro grupos (Brenner y cols., 2005; Madigan y cols., 2009):

- *Gracillicutes* o bacterias Gram (-). Tienen una pared de mureína y doble membrana plasmática.
- *Firmicutes* o bacterias Gram (+). Llamadas endobacterias, poseen una pared celular muy gruesa y forma de bacilo o de coco.
- *Mollicutes*, *Tenericutes* o Micoplasmas. Bacterias mayormente parásitas, son muy simples y carecen de pared celular.
- *Mendosicutes*, Arqueas o Arqueobacterias. Difícil clasificarlas. Presentan rutas metabólicas más semejantes a los eucariotas que a procariontes.

El Mimivirus (identificado en 2003 por unos investigadores de Marsella) posee ADN y sintetiza 50 tipos de proteínas, lo que justificaría su inclusión dentro de los seres vivos.

Están constituidos por un genoma vírico (ADN o ARN), una cápsida y una posible envoltura membranosa (los "virus desnudos" no).

Para perpetuarse siguen dos tipos de ciclos (lítico y lisogénico) con unas fases comunes: a) Fijación, b) Penetración, c) Eclipse, d) Ensamblaje y e) Liberación (Curtis y cols., 2008; Madigan y cols., 2009).

Otras formas acelulares

- **Viroides:** Están constituidos por una molécula circular de ARN de una sola hebra. En 1986 se descubrió que el agente de la Hepatitis Delta humana posee un genoma de ARN tipo viroide.
- **Virinos:** Fragmentos muy pequeños de ácido nucleico con afinidad por proteínas específicas del sistema nervioso.
- **Priones** (Stanley Prusiner en 1981): Son responsables de las encefalopatías espongiformes transmisibles. Son pequeñas partículas proteicas infectantes, constituidas por una isoforma anómala de una

proteína denominada PrP. Supuso el Nobel de Medicina para su descubridor, Prusiner, en 1997.

- **ARNs satélites:** Son pequeñas moléculas de tamaño similar al de los viroides de plantas. Se replican solo en presencia del virus colaborador específico. Dentro de este grupo están los "virusoides", que se supone son virus de los propios virus.

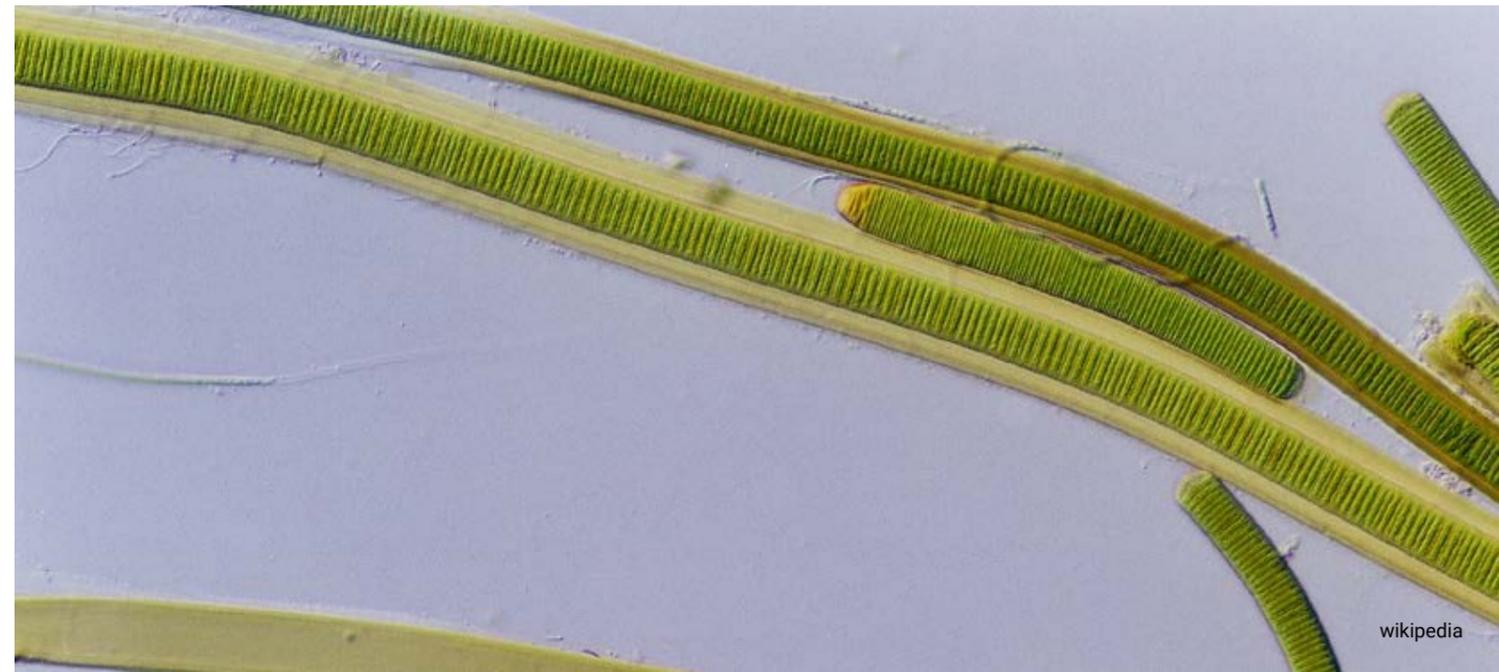
LA ESTRUCTURA BACTERIANA

La clasificación de los seres vivos que se utiliza actualmente la propuso Whittaker (1969) y fue modificada en 1985 por Margulis y Schwartz. Según ella, existían cinco Reinos: *Monera*, *Protoctista*, *Fungi*, *Plantae* y *Animalia* (Margulis y Schwartz, 1985; Madigan y cols., 2009).

Las bacterias son microorganismos que constituyen el Reino *Monera*. Son los seres vivos más abundantes de la Tierra y están presentes en todos los hábitats. Su existencia fue decisiva para crear las condiciones iniciales de la existencia de vida en el planeta (Alberts y cols., 2004).

Por su simplicidad estructural (procariontes), rápido crecimiento y accesibilidad, se han utilizado en las investigaciones biológicas. Pueden ser de tipo productor (foto y quimiosintéticos), consumidor (saprofitos o simbioses) o transformador.

“Las cianobacterias fueron las que evolutivamente desarrollaron la fotosíntesis oxigénica en nuestro planeta.”



Las Cyanophytas

Son consideradas un *Phylum* de las Eubacterias. También han sido llamadas vulgarmente algas verde-azuladas. En la actualidad son denominadas, en general, cianobacterias (Curtis y cols., 2008; Peleato Sánchez, 2011).

Las cianobacterias fueron las que evolutivamente desarrollaron la fotosíntesis oxigénica en nuestro planeta. Además, sus ancestros cooperaron con otras células primitivas permitiendo una endosimbiosis que desembocó en la existencia de formas de vida autótrofa como las de plantas superiores. Actúan como productores

primarios manteniendo los ciclos del oxígeno, del nitrógeno y del carbono. Fijan el nitrógeno atmosférico por medio de estructuras especializadas (heterocistes). Son abundantes en aguas saladas y dulces, incluso en ambientes extremos (de temperatura o desecación) (Peleato Sánchez, 2011).

Se hace obligado hablar de los estromatolitos, estructuras organosedimentarias litificadas laminadas, formadas por la actividad de cianobacterias. Su importancia radica en que son los principales productores de oxígeno en la Tierra, la evidencia fósil de los organismos más antiguos del planeta que mantienen su línea evolutiva.

Desde el punto de vista morfológico, su pared celular está formada al menos por dos capas: a) la más próxima al citoplasma o protoplasto está estratificada y puede estar constituida por celulosa y ácido murámico y b) sobre esta última hay una capa mucilaginosa pectínica de espesor variable. Asimismo, poseen membranas internas ("laminillas fotosintéticas") que contienen enzimas de la fotosíntesis y pigmentos, presentan únicamente clorofila *a*, y otros (ficoeritrinas que otorgan color rojizo y ficobilinas que generan la coloración

Estromatolitos en el lago Thetis (Australia).



Imagen cedida por los autores.



unsplash

azulada) que se localizan en los ficobilisomas (Madigan y cols., 2009; Peleato Sánchez, 2011). Algunas tienen unas vacuolas gaseosas que les ayudan a flotar. Aunque carecen de flagelos, algunas cianobacterias filamentosas realizan movimientos oscilatorios. Su reproducción es asexual por bipartición, por fragmentación de filamentos a partir de células especializadas (disyuntores, necridios o heterocistes) y por acinetos en algunas especies.

Entre los principales grupos morfológicos están las unicelulares como *Gloeocapsa* (fisión binaria) y *Pleurocapsa* (fisión múltiple), y las filamentosas como *Anabaena* (con heterocistos), *Spirulina* (sin heterocistos) y *Stigonema* (ramificada) (Peleato Sánchez, 2011).

Las Archeobacterias

En los años ochenta, Woese dio a conocer las Archeobacterias como las bacterias más primitivas, extremófilas, con pared bacteriana sin peptidoglicanos y cuyos lípidos de membrana presentaban hidrocarburos unidos por enlace éter (Madigan y cols., 2009). Pueden ser:

Halófilas:

- Viven en ambientes de elevada salinidad (> 12 %).
- Confieren un color rojizo al medio (Mar Muerto).
- La mayoría son aerobios obligados, pero otras pueden realizar procesos fermentativos o de respiración anaeróbica.

Termoacidófilas:

- Habitan en aguas calientes geotérmicas (Temperatura > 80°C, ricos en azufre y pH <2) o en lugares ligeramente alcalinos. La cepa 116 de *Methanopyrus kandleri* crece a 122°C, la más alta registrada en la que puede vivir un organismo (Kurr y cols., 1991; Takai y cols., 2008).
- La mayoría son anaerobios estrictos, aunque algunas presentan un metabolismo aerobio.

Metanógenas:

- Viven en ambientes anaerobios estrictos y producen metano.

Categoría	Fuente de carbono	Fuente de energía	Dador de electrones
Fotoautótrofos	CO ₂	Luz	Sustancias inorgánicas reducidas
Fotoheterótrofos	Sustancias orgánicas	Luz	Sustancias orgánicas
Quimiautótrofos	CO ₂	Reacciones de óxido-reducción	Sustancias inorgánicas reducidas
Quimiheterótrofos	Sustancias orgánicas	Reacciones de óxido-reducción	Sustancias orgánicas

“El material genético nunca está aislado del citoplasma por una membrana nuclear. La membrana plasmática presenta intrusiones citoplasmáticas con enzimas respiratorias asociadas.”

- Habitan en ambientes ricos en materia orgánica en descomposición.

Actualmente, *Archaea* se caracteriza por comprender tres *Phyla*:

- Euryarchaeota*, que comprende a las Archeobacterias metanógenas, las halófilas y organismos relacionados.
- Crenarchaeota* que agrupa termófilos oxidadores de azufre.
- Korarchaeota*, el último que se ha descubierto, en ambientes hidrotermales.

CLASIFICACIÓN METABÓLICA:

Las bacterias forman un grupo heterogéneo en cuanto a la nutrición, como se muestra en la tabla adjunta.

ESTRUCTURA BACTERIANA:

De tamaños entre 1-10 µm x 0,2-1 µm, normalmente unicelulares, pero pueden presentar formas filamentosas, micelares y coloidales (Madigan y cols., 2009).

La existencia de pared rígida es común pero no universal. En 1884, Christian Gram estableció la división:

- Gram (+): Presenta una capa basal de peptidoglicano (mureína) con polisacáridos, ácidos teicoicos y proteínas asociados.
- Gram (-): A la capa de mureína se asocia otra con fosfolípidos, polisacáridos y proteínas.

El material genético nunca está aislado del citoplasma por una membrana nuclear. La membrana plasmática

presenta intrusiones citoplasmáticas (mesosomas) con enzimas respiratorias asociadas. La membrana posee opanoides (con función similar a los esteroides). Los pigmentos fotosintéticos están localizados en la membrana o en varios tipos de sistemas intracitoplasmáticos. Pueden existir flagelos (de longitud mayor a la bacteria y de disposición y número variables), fimbrias (para fijarse al sustrato, son cortas y numerosas) y *pili* (intercambio de material genético, son más largos y menos numerosos que las fimbrias) (Cooper, 2002; Madigan y cols., 2009).

En el citoplasma existen ribosomas 70S, inclusiones (lípidos, glucógeno), cromatóforos (pigmento fotosintético) y el ADN bacteriano (molécula de doble hélice circular con proteínas no histónicas). Está el nucleóide y pueden existir pequeñas moléculas de ADN circular con autorreplicación (plásmidos).

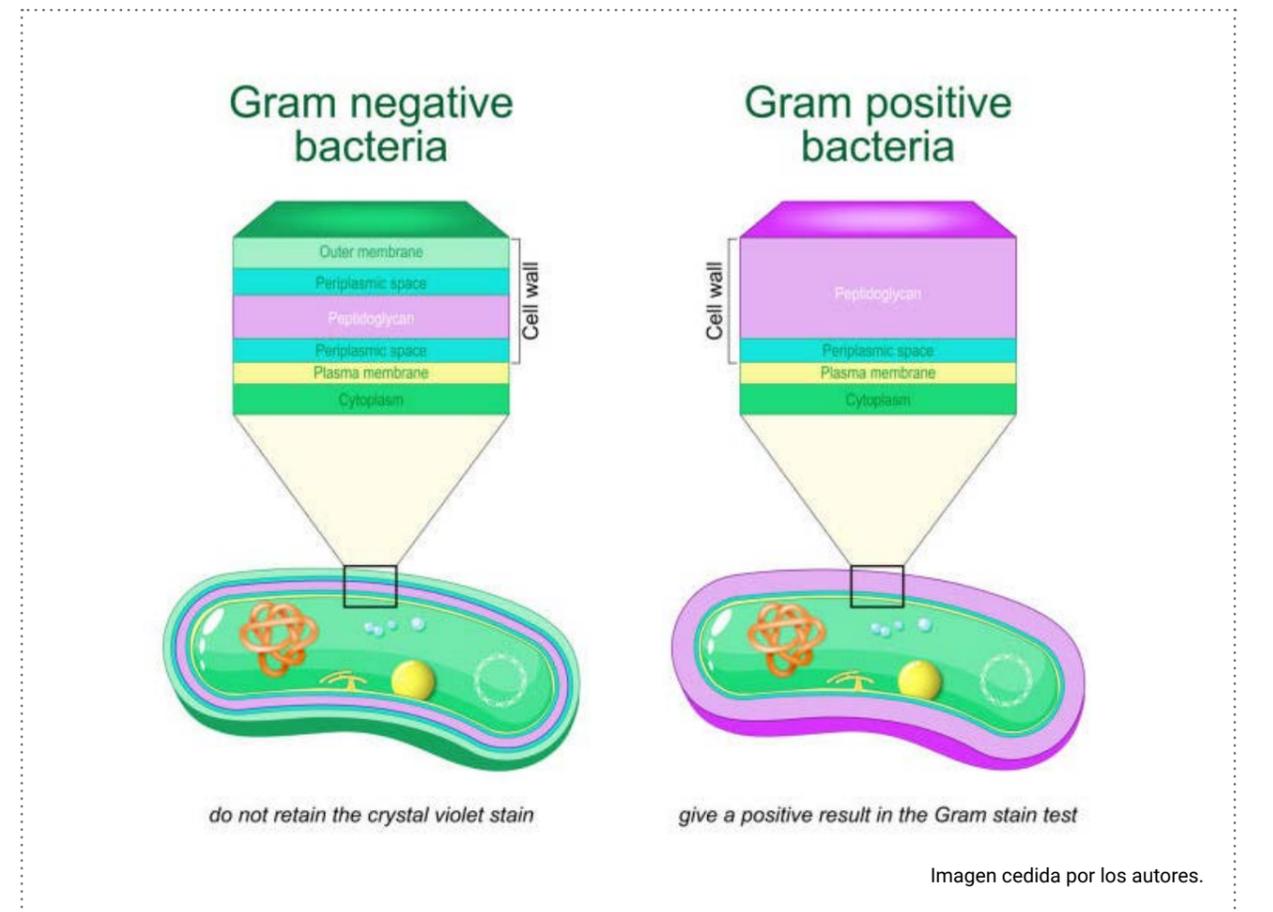
En cuanto a las bacterias fotosintéticas anaerobias, estas tienen bacterioclorofila; las anaerobias, clorofila (De Robertis y De Robertis, 1996).

Finalmente, en *Archaea* es diferente, principalmente, en cuanto a su estructura de la membrana celular (sin peptidoglicano y con glucoproteínas), a sus ribosomas (son más parecidos a eucariotas) y a los flagelos (análogos a *Eubacteria*, pero no homólogos).

FORMA Y AGRUPACIÓN:

- Cocos: Aspecto redondeado. Pueden aparecer aislados, en parejas (diplococos), en cadenas arrosariadas (estreptococos), en racimos (estafilococos) o masas cúbicas (sarcinas).
- Bacilos: Forma de bastoncillo, en parejas (diplobacilos) o cadenas (estreptobacilos).
- Espirilos: Forma helicoidal.
- Espiroquetas: Forma de tirabuzón.

Estructura de las bacterias Gram (-) y Gram (+).





pixabay

REPRODUCCIÓN BACTERIANA:

a) Sexual y parasexual:

- **Conjugación:** Bacteria donadora F+ (por tener un plásmido "F") transmite a través de los pili este plásmido F o también un fragmento de su ADN a otra bacteria receptora F-.
- **Transformación:** Intercambio genético producido cuando una bacteria capta fragmentos de ADN -de otra- que están en el medio. Puede darse en ocasiones la transformación de cepas no virulentas en virulentas.
- **Transducción:** La transferencia de material genético de una bacteria a otra se realiza a través de un virus bacteriófago que -por azar- lleva un trozo de ADN bacteriano y se comporta como un vector intermediario. El virus, al infectar a otra bacteria, le puede transmitir parte del genoma de la bacteria anteriormente infectada.

b) Asexual:

- **Fisión binaria:** Una célula "madre" duplica su material genético y celular que se reparte equitativamente dando lugar a dos células "hijas" genéticamente idénticas a la original.
- **Fisión múltiple:** La célula madre crece y desarrolla una cápsula antes de dividirse, por fisiones binarias sucesivas, antes de que las diversas células resultantes se dispersen.
- **Gemación:** Reproducción mediante la fisión desigual de la célula madre. Ocurre a veces también en cianobacterias y en *Firmicutes*.
- **Esporulación:** Reproducción por elementos de resistencia, tanto mediante endosporas (*Firmicutes*), como exosporas (actinobacterias) y acinetos (cianobacterias). La esporulación puede verse favorecida por circunstancias medioambientales adversas, como la falta de nutrientes o de luz.

IMPORTANCIA DE LAS BACTERIAS

Índole sanitaria

¿Ha existido en algún momento de la Historia de la humanidad una pandemia relevante causada por una bacteria? ¿Cómo se realizaría su propagación? Son preguntas que pueden venirnos a la mente, máxime en la situación actual, tan inestable.

A propósito de dichas preguntas, podríamos explicar la importancia de *Bacillus anthracis*, agente productor del ántrax o carbunco, uno de los agentes más utilizados en la guerra biológica. En condiciones ambientales adversas, algunas bacterias como esta producen endosporas (estructuras que se forman en el interior de las bacterias y que consisten en una gruesa capa protectora que encierra el material genético y unas cuantas enzimas). Las endosporas son muy resistentes al calor, sequedad, radiaciones, etc., y son muy longevas. Las endosporas

de *Bacillus anthracis* se pueden guardar durante tiempo indefinido y, llegado el momento, podrían soportar las duras condiciones del lanzamiento de un proyectil y permanecer viables en la atmósfera hasta ser inhaladas por una futura víctima.

En los organismos pluricelulares viven gran cantidad de bacterias, unas en simbiosis (ej.: flora intestinal) frente a otras oportunistas y/o que ocasionan patologías en casos de inmunodeficiencia (ej.: *Escherichia coli*). Asimismo, no hay que olvidar las bacterias que producen toxinas, en especial en el caso de las cianobacterias que pueden originar proliferaciones masivas ("blooms") liberando cianotoxinas al medio y provocando eutrofización.

La transmisión a humanos de las bacterias puede ser a través de alimentos, gotitas (saliva), contacto directo, vectores animales o heridas. Concretamente, las bacterias patógenas más frecuentes en el ser humano son las que aparecen en la tabla adjunta.

Por último, recientemente se ha descrito productos metabólicos del género *Nostoc* (cianobacterias) que tienen importancia sanitaria contra el Alzheimer y el Parkinson según investigadores suizos (Becher y cols., 2005).

“En los organismos pluricelulares viven gran cantidad de bacterias, unas en simbiosis frente a otras oportunistas.”

Perspectiva industrial

Las bacterias utilizadas en la industria son organismos seleccionados para producir productos específicos, directamente o por transformaciones bioquímicas. Estas bacterias deben poder crecer en cultivo puro rápidamente, producir una sustancia de interés y ser susceptibles de manipulación genética.

En la industria alimentaria son interesantes para la obtención de etanol, vinagre, lácteos, suplementos y aditivos, algunas variedades de cerveza.

Bacteria	Patología que produce
<i>Staphylococcus aureus</i>	Produce exotoxinas (síndrome de la piel escaldada, gastroenteritis, etc.)
<i>Neisseria gonorrhoeae</i>	Gonorrea
<i>Escherichia coli</i>	Diarrea, infecciones en las vías urinarias y meningitis
<i>Haemophilus influenzae</i>	Infecciones en vías respiratorias y oído; meningitis
<i>Treponema pallidum</i>	Sífilis

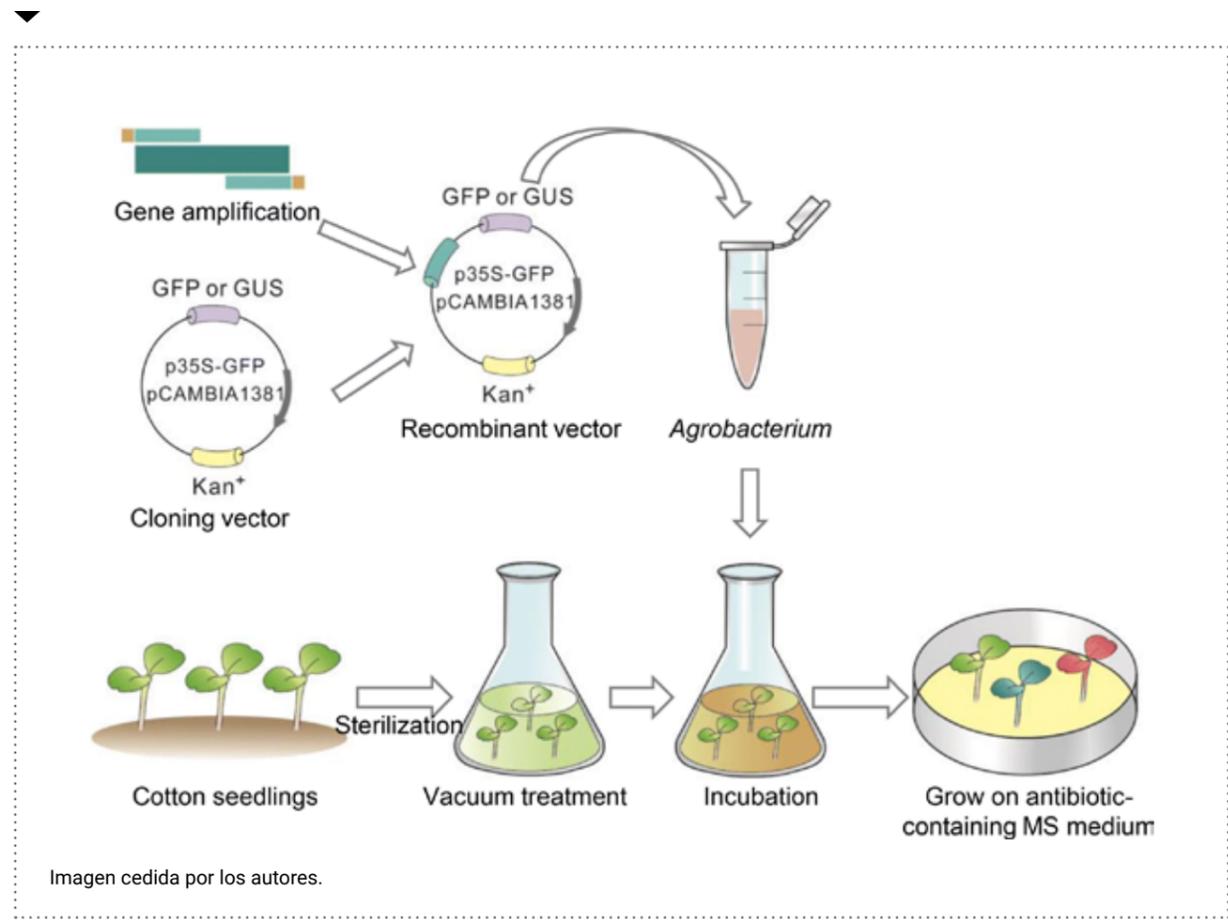
En concreto, las cianobacterias son fuente de principios activos (proteínas, vitaminas B, aceites esenciales insaturados y β-caroteno).

Por el contrario, también pueden causar perjuicios al descomponer alimentos almacenados. Se lucha mediante técnicas como salazón, deshidratación, ahumado, ebullición, pasteurización, refrigeración, congelación, etc.

Algunos ejemplos de bacterias son los siguientes:

- Acetobacterias, que son oxiibióticas y capaces de realizar la oxidación del etanol a ácido acético. Se aplican en la fabricación del vinagre y de la cerveza.

Transgénesis mediante *Agrobacterium tumefaciens* para la planta del "algodón de tierras altas" (*Gossypium hirsutum*) (Li y cols., 2018).



- Bacterias ácido-lácticas, que producen grandes cantidades de ácido láctico a partir de la fermentación de los azúcares. Se emplean como medida para conservar alimentos y elaborar productos lácteos, además de para conseguir aromas y sabores concretos. En algunas ocasiones pueden llevar a un deterioro en los alimentos debido a la producción de metabolitos que causan cambios no deseables en apariencia, textura y olor.
- Las bacterias metilótrofas, que se emplean como suplemento en los piensos animales y frente al estrés abiótico y biótico de las plantas.

Asimismo, en la industria farmacéutica, los principales productos obtenidos por la acción de bacterias son los antibióticos, vacunas, enzimas, hormonas, etc. Y también existen productos químicos de interés que las bacterias son capaces de sintetizar, como la acetona, dihidroxiacetona, butanol, dextrano, alcohol etílico, etc. Las cianobacterias sirven para obtener biocombustibles, a la vez que pueden actuar como sumideros de

CO₂ para paliar el calentamiento global. Se pueden emplear bacterias para la descontaminación y depuración (ej.: *Desulfovibrio* se puede emplear como descontaminante ante vertidos de petróleo). Finalmente, también se pueden emplear en la fabricación de biopolímeros.

Desde el punto de vista de la investigación básica

Debido a su simplicidad estructural, y fácil y rápido cultivo, son idóneas en este sentido (en especial *E. coli*).

Han tenido importancia en experimentos con el ADN (localización de genes, replicación, transcripción y traducción...). La llegada de la tecnología del ADN recombinante abrió posibilidades nuevas a la producción de sustancias útiles por los microorganismos. También para la mejora en las fermentaciones industriales.

En Ingeniería Genética, y dentro de la industria farmacéutica (como ya se ha comentado), también se emplean bacterias para generar antibióticos, hormonas, vacunas, etc. Igualmente, en procesos de transgénesis, donde se utilizan bacterias modificadas capaces de transferir cualquier secuencia, siempre y cuando dicha secuencia se localice en una región determinada del genoma bacteriano (ej.: *Agrobacterium tumefaciens*).

Isabel Mauriz Turrado
Universidad de Oviedo

Claudio Yepes del Álamo
Laboratios Menarini

José Manuel Martínez Pérez
I.E.S. "La Quintana" (Asturias)
Universidad de León

BIBLIOGRAFÍA

- Alberts, B. y cols. (2004): "Biología molecular de la célula". Ed. Omega, Barcelona.
- Becher, P.G.; Beuchat, J., Gademann, K. y Jüttner, F. (2005): "Nostocarboline: Isolation and synthesis of a new cholinesterase inhibitor from *Nostoc* 78-12A", en *J. Nat. Prod.* 68, 1793.
- Brenner, D.J.; Krieg, N.R. y Staley, J.T. (2005): "Bergey's Manual of Systematic Bacteriology". Ed. Springer-Verlag, Nueva York.
- Cooper, G.M. (2002): "La célula". Ed. Marbán, Madrid.
- Curtis, H. y cols. (2008): "Biología". Editorial Médica Panamericana, Madrid.
- De Robertis, E.D.P. y De Robertis, E.M.F. (1996): "Biología celular y molecular". Ed. El Ateneo, Buenos Aires.
- Kurr, M. y cols. (1991): "*Methanopyrus kandleri*, gen. and sp. nov. represents a novel group of hyperthermophilic methanogens, growing at 110°C", en *Arch. Microbiol.* 156, 239.
- Li, H.; Li, K.; Guo, Y.; Guo, J.; Miao, K.; Botella, J.R.; y cols. (2018): "A transient transformation system for gene characterization in upland cotton (*Gossypium hirsutum*)", en *Plant Methods* 14, 50.
- Madigan, M.T. y cols. (2009): *Brock. Biología de los Microorganismos*". Ed. Pearson, Madrid.
- Margulis, L. (1970): "Origin of eukaryotic cells: evidence and research implications". Yale University Press.
- Margulis, L. y Schwartz, K. (1985): "Cinco Reinos. Guía de los Phyla de la vida". Ed. Labor, Barcelona.
- Mauriz Turrado, I. y cols. (2021): "Consideraciones históricas sobre los virus y las bacterias", en *XXVI Congreso Nacional y XVII Iberoamericano de Historia de la Veterinaria*, pp. 147.
- Peleato Sánchez, M.L. (2011): "Las cianobacterias: Cooperación versus competencia". Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza.
- Takai, K. y cols. (2008): "Cell proliferation at 122°C and isotopically heavy CH₄ production by a hyperthermophilic methanogen under high-pressure cultivation", en *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105, 10949.

1628. La aventura del Vasa

“El barco estaba
condenado y pensó que el
hundimiento no tardaría
demasiado en ocurrir.”

Ana Elduque y Juanjo Ortega



Maqueta.
Museo Vasa (Estocolmo).

Fotografía por Ana Elduque y Juanjo Ortega.

Este artículo es la primera entrega de una serie en la que se cuenta la historia y la aventura del barco insignia de la armada sueca del siglo XVII. Esta primera parte es la correspondiente a la historia de su construcción y botadura de su única y efímera singladura.

LOS MOMENTOS FINALES

Se sintió mal. Había estado suficiente tiempo en el barco para saberlo. Todos los barcos se inclinan cuando el viento infla las velas, pero en este caso algo iba mal. No había vida en este movimiento. El barco debería haberse enderezado, pero giraba desordenadamente. Parecía sin gobierno. No respondía a las órdenes del timón e iba a la deriva. No había viento suficiente para mover el barco ni flujo de agua sobre la pala del timón para gobernarlo en las confinadas aguas de Strömmen pero, si el viento aumentaba lo suficiente, el barco podría inclinarse hasta que las troneras estuvieran por debajo del nivel del agua. ¿Podrían dirigirlo para hacerlo encallar antes de que zozobrará?

Un mes antes, treinta hombres se movían adelante y atrás en la cubierta del barco para hacerlo girar. El jefe del astillero que supervisaba la construcción sabía que el barco no era seguro y había organizado una demostración de su falta de estabilidad para el vicealmirante, pero el superior de este, el almirante, paró el ensayo, temeroso de que el barco pudiera zozobrar en el muelle. Desde ese día, un manto de silencio cubrió los preparativos de la botadura. Esto, junto a la presión por la finalización de la obra, llevó las cosas al límite.

Él estaba en las cubiertas inferiores, justo después de las salvas de saludo que se habían disparado, trincando los aparejos y fijando los cañones. Pudo ver, a través de las troneras, que todavía estaban cerca de los acantilados, pero que se acercaban al paso de Tegelvinken. Si hubiera viento se embocaría inmediatamente por allí. No había olas en el mar. Sin pensarlo dos veces, se agarró al cáncamo del cañón más cercano.

Cuando comenzó a soplar la primera ráfaga, las velas se inflaron instantáneamente, y el barco se inclinó de inmediato, de la misma forma que antes, pero ahora con más viento, lo que le impedía enderezarse. La cubierta se empinó más, lo que apenas le permitía mantenerse en pie. Escuchó una orden para retirar los cañones y asegurar las troneras, pero eso precisaba mucho tiempo. Se mantuvo sujeto al cáncamo del cañón y comenzó a pensar cómo salir de la cubierta de armas inferior. No podía hacerlo a través de las troneras, ocupadas por los cañones, así que la mejor opción era usar la escalera del palo mayor hasta la cubierta de armas superior y, desde allí, a la cubierta principal y ponerse a salvo.

“Si hubiera viento se embocaría inmediatamente por allí. No había olas en el mar. Sin pensarlo dos veces, se agarró al cáncamo del cañón más cercano.”

Vio el agua entrar por las troneras de los cañones centrales del costado del puerto, y supo que tenía que moverse. Conforme el agua anegaba la cubierta, el peso inclinaba más el barco haciendo que entrara más rápidamente. El barco estaba condenado y pensó que el hundimiento no tardaría demasiado en ocurrir.

Respiró profundamente y se dirigió a las escaleras, pero no había dónde agarrarse en la cubierta inclinada. El barco dio un bandazo y él se resbaló hasta tropezar con la esquina de una escotilla. Ahora, su propio peso era su enemigo y continuó rodando hacia el costado del puerto sin que nada pudiera detenerlo. Sus pies se engancharon con el cable del ancla que estaba preparada para un ataque que nunca tuvo lugar. Se golpeó contra la recámara de un cañón que había quedado encarando el techo de la cubierta de armas. Fue lo último que percibió. Sus pies quedaron bajo el cañón y sus piernas atrapadas entre la cureña y el cable del ancla. El agua le cubrió y, probablemente, nunca supo que se ahogó hundiéndose en la oscuridad con el nuevo barco del rey.

INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

En la década de los años veinte del siglo XVI, los suecos, dirigidos por el noble Gustav Eriksson, se rebelaron contra el dominio danés, imperante desde el establecimiento de la Unión de Kalmar en 1397. En 1523, Gustav Eriksson se erigió como Gustav I, rey de Suecia, y más conocido como Gustav Vasa. Desde el inicio de su reinado intentó apoyarse en la aristocracia para sustentar su gobierno y crear un estado fuerte e independiente, fuera del control de sus vecinos del este y del sur, Dinamarca y Polonia. Esto llevó al reino a un estado de guerra casi permanente, especialmente cuando adoptaron una

posición ofensiva intentando aumentar sus territorios en la península escandinava y en las costas bálticas.

Pero Suecia era un país poco poblado, menos estructurado internamente y con una carencia de vías de transporte que limitaba mucho sus acciones. Ello les llevó al convencimiento de que solo con una fuerza naval importante podrían alcanzar sus objetivos. Pero esta flota de guerra no podría ser usada de la forma convencional, en la que estaba supeditada casi en exclusiva al transporte de tropas terrestres hasta donde se libraban las batallas.

Los lazos de parentesco de las dos monarquías, Polonia y Suecia, provocaron que los reyes gobernantes reclamaran, e incluso ejercieran, los gobiernos de los reinos. Así, Segismundo III de Polonia fue nombrado rey de Polonia en 1587 y de Suecia en 1592. Esta dualidad fue mal recibida por los nobles suecos, a lo que se añadió la adopción de la fe católica por Segismundo frente a la luterana Suecia. Una nueva revuelta dirigida por el tío de Segismundo, Karl, depuso al polaco y se

nombró regente hasta 1604, cuando Karl adoptó el título de rey como Karl IX. Pero su reinado fue breve, murió en 1611. Su hijo, Gustavo Adolfo II, heredó el trono a la edad de 17 años.

El joven rey se mostró igual de agresivo que sus antecesores y mantuvo las guerras heredadas contra Dinamarca, Rusia y Polonia. Frente a los primeros tuvo que aceptar la derrota y pagar un costoso rescate por mantener la fortaleza de Älvsborg, mientras que con Rusia alcanzó una paz muy beneficiosa que mantuvo a los rusos fuera del Báltico durante más de un siglo.

En 1618 estalló la Guerra de los Treinta Años y un nuevo actor entra en escena. El Imperio de los Habsburgo ve en el Báltico una plataforma importante para aumentar su influencia y extender la fe católica en los territorios de mayoría protestante. Y la católica Polonia era su aliada natural. Gustavo Adolfo ve aumentada su sensación de amenaza y decide atacar en 1621 a su primo Segismundo desde el noroeste, conquistando Riga y



Astillero.
Museo Vasa (Estocolmo).

Fotografía por Ana Elduque y Juanjo Ortega.



Mapa.
Museo Vasa (Estocolmo).

Fotografía por Ana Elduque y Juanjo Ortega.

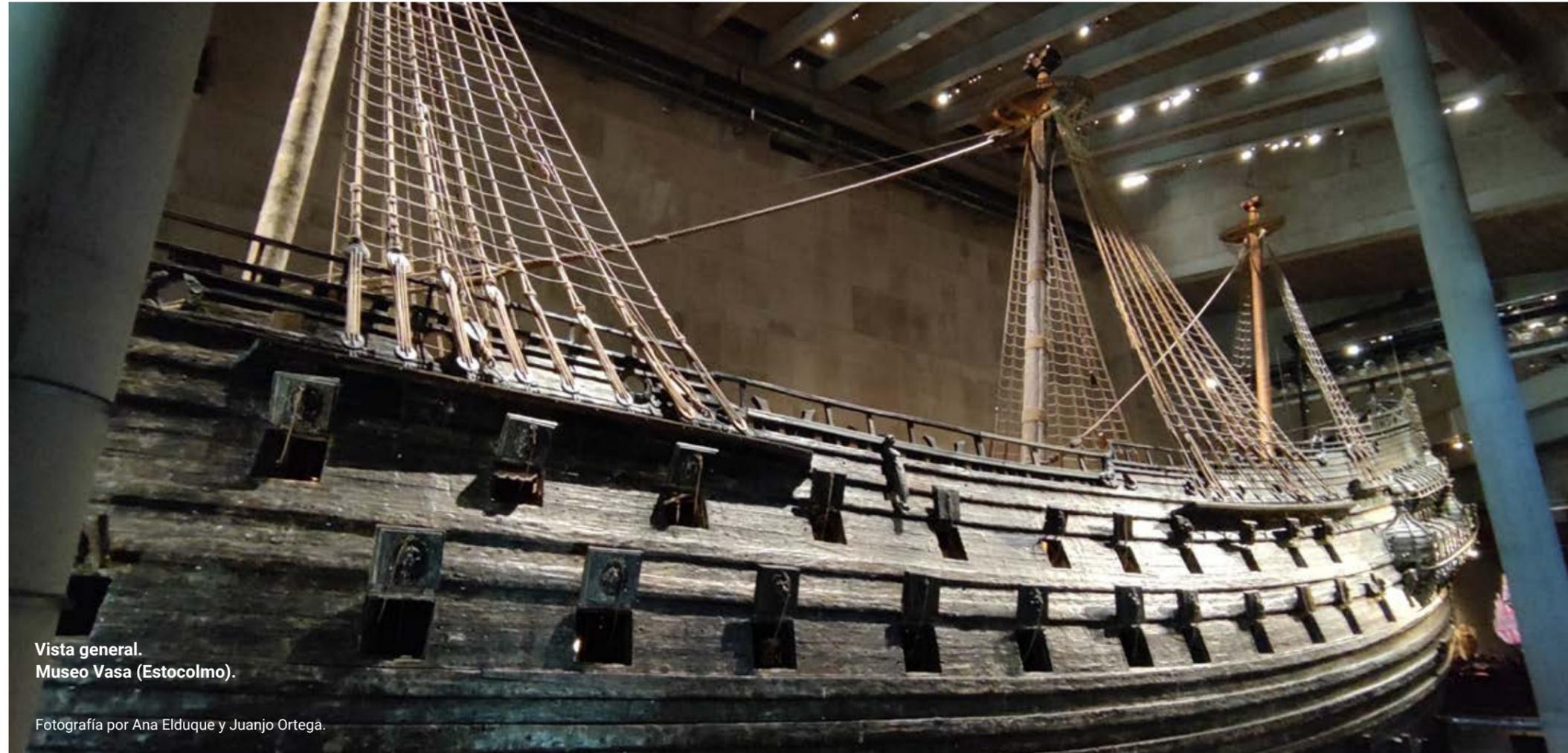
gran parte del territorio de Livonia, la actual Letonia. Esto aportó a la corona sueca importantes ingresos por derechos comerciales, Riga era el segundo puerto del Báltico tras Gdansk, y puso de relieve la importancia de la marina como arma de guerra en el Báltico.

LA PLANIFICACIÓN

Desde el inicio de la década de los veinte, Suecia había comenzado a comprar barcos para su marina en Lübeck, lo cual se demostró muy útil en la conquista de plazas costeras y en el levantamiento del sitio naval de Estocolmo por parte de los daneses. La marina había desarrollado una nueva forma de ataque, en el que el cañoneo de las naves adversarias era la principal técnica, sustituyendo al abordaje de los barcos contrarios. En la guerra sueco-danesa de 1563-1570 esto permitió que, a pesar de la victoria nominal de los daneses, las naves suecas surcaran libremente el Báltico.

Pero Suecia no era un país con grandes ingresos fiscales. El tráfico mercante entre el mar del Norte y el Báltico estaba dominado por barcos holandeses, y eran los daneses los que cobraban los peajes correspondientes al paso por el estrecho de Øresund. Debían ingeniar algo distinto para poder crear una marina de guerra eficaz.

“En 1618 estalló la Guerra de los Treinta Años y un nuevo actor entra en escena. El Imperio de los Habsburgo ve en el Báltico una plataforma importante para aumentar su influencia.”



Vista general.
Museo Vasa (Estocolmo).

Fotografía por Ana Elduque y Juanjo Ortega.

Tanto Dinamarca como Polonia se percataron de los proyectos suecos. El rey de Dinamarca, Christian IV, quería mantener una flota similar o superior a la sueca y comenzó un programa de construcción de nuevos barcos. Por su parte, Polonia disponía, a finales de los años veinte, de doce naves, aunque solo ocho estuvieran operativas y apenas se alejaban de puerto. Pero lo realmente distintivo de la política de Gustavo Adolfo era su decisión de que sus naves estuvieran dotadas de una potencia de fuego muy superior a la de sus enemigos. En su imaginario, veía las naves suecas más allá del Báltico, enfrentándose a los barcos españoles y holandeses, mucho más pequeños y peor dotados en capacidad de ataque.

Con las reformas administrativas llevadas a cabo por el rey y uno de sus nobles más destacado, Axel Oxenstierna, la forma de construcción de barcos cambió radicalmente. Ahora, en vez de usar muchos astilleros

dispersos por el país, todo se concentraba en dos centros, el astillero de Estocolmo y otro privado en Väster-vik, en la costa sur del Báltico, usándose ocasionalmente el astillero de Göteborg. La gestión y la administración de la construcción se trasladó a manos privadas, por medio de contratos llamados arriendos, en los que se les transfería el uso de los astilleros públicos para programas multianuales de construcción de un número concreto de barcos. Muchas de estas empresas eran extranjeras, lo que permitía reclutar la mano de obra y los capitales necesarios que Suecia no podía suministrar. Además de lo anterior, también fue encomendada la recaudación de impuestos a terceros, los cuales entregaban una cantidad acordada a la Corona, quedando para su beneficio la capacidad de recaudar más de lo pagado previamente. Esto permitía conocer el nivel de ingresos exactos y regular los gastos para evitar las situaciones de bancarrota.

“El Rey ordenó que los barcos fueran armados con 72 cañones de 24 libras cada uno, lo que requería que se construyeran dos cubiertas de armas.”

LA CONSTRUCCIÓN

Los constructores holandeses de los barcos era la empresa de los hermanos Hybertsson, Henrik y Arendt, junto con la participación valiosa de la esposa del primero Margareta Nilsson, especialmente tras la muerte de Henrik. Fueron contratados para la construcción de cuatro nuevos barcos de guerra en 1625. Bajo este nuevo contrato, el control de los astilleros estaba en manos de los Hybertsson, así como el acceso a las fundiciones de hierro, junto a la exención de impuestos por la importación de hierro y carbón vegetal. La construcción del barco y de las cureñas de los cañones quedaba, pues, en sus manos. El Tesoro se comprometía a pagos mensuales de las cantidades estipuladas. Bajo la férrea dirección administrativa y financiera de Margareta y una búsqueda de materias primas incansable por parte de Arendt, en enero de 1626 comenzó el programa de construcción de los cuatro barcos. Los más pequeños seguían los diseños anteriores, pero se planearon dos mucho más grandes, de más de 40 m de proa a popa (se hicieron dos diseños) y 10 de manga. Poco después, el Rey ordenó que los barcos fueran armados con 72 cañones de 24 libras cada uno, lo que requería que se construyeran dos cubiertas de armas, ya que no era posible emplazar todos los cañones en una única. A su finalización, estos barcos no serían los de mayor tamaño de su época, pero sí los de mayor potencia de fuego.

Los barcos con dos cubiertas de armas presentaban una estabilidad menor que los que solo contaban con una. Cuando el barco se inclinaba por efecto de las olas, las troneras inferiores del lado de sotavento podrían quedar bajo la línea del agua. En caso de que no estuvieran selladas, el agua podría entrar y desequilibrar completamente el barco.

A finales de las negociaciones del contrato, cuando gran cantidad de materiales ya había sido adquirida, la armada sueca perdió diez de sus treinta barcos en una tormenta frente a Domesnäs, en Lituania. El Rey quiso recuperar estas pérdidas rápidamente y ordenó cambiar los planes del programa, construyendo primero los barcos grandes, a lo que se opusieron los constructores holandeses ya que suponía un importante desaprovechamiento de los materiales comprados. Tras tensas negociaciones se modificó el diseño de la construcción no comenzada. No existen pruebas concluyentes de las interferencias reales, aunque sí muchos rumores que le culpabilizan del desastre. El número de cañones que precisaba para dos cubiertas

está recogido en una orden del verano de 1626 ya comenzada la construcción, lo que solo podría hacerse realidad si el diseño original contemplaba esta característica desde su inicio. El pecio rescatado existente en el Museo Vasa de Estocolmo es, más o menos, de las dimensiones indicadas en estos diseños, aunque un poco más ancho. Este hecho pone en duda los cambios de última hora que se consideran causa única del desastre y se achacan a la interferencia del Rey.

En la construcción, además de materias primas del norte de Europa, se contrató a muchos trabajadores extranjeros, pero se empleó una técnica de construcción novedosa que habían implementado los holandeses. Frente a la secuencia normal, que era construir la quilla, la proa y la popa, a modo de esqueleto, y añadir las cuadernas para luego pasar a la construcción de los forros exterior e interior, los holandeses construían la quilla primero y después el fondo, que sujetaban con bloques de madera. Cuando se terminaba, los bloques se sustituían por las cuadernas y se construían los forros. Este método permitía ahorro en madera y en tiempo de cálculo, aunque no se podía determinar con exactitud la forma final del casco. En caso de una buena organización, el método holandés era más eficiente, ya que se podía fletar un barco de tamaño medio en un solo año. El Vasa requirió más tiempo debido a los trabajos de refuerzo que exigían las dos cubiertas de armas. En enero de 1628 el barco fue inspeccionado por el Rey y en primavera fue arrastrado y acostado junto al muelle de Palacio, donde fue armado y suministrado con las provisiones pertinentes para su botadura en verano.

El nombre del barco fue adoptado durante 1626. La primera opción fue Nya Wassan (Nuevo Vasa). Vasa en sueco se emplea para denominar al fasces romano y a una gavilla de cereal y fue adoptado como símbolo heráldico de la familia real, por lo que se usó como denominación de la dinastía fundada por Gustavo I. El barco, como símbolo del poder de la Suecia de Gustavo Adolfo, llevaría el nombre de la dinastía por el mundo.

EL ARMAMENTO

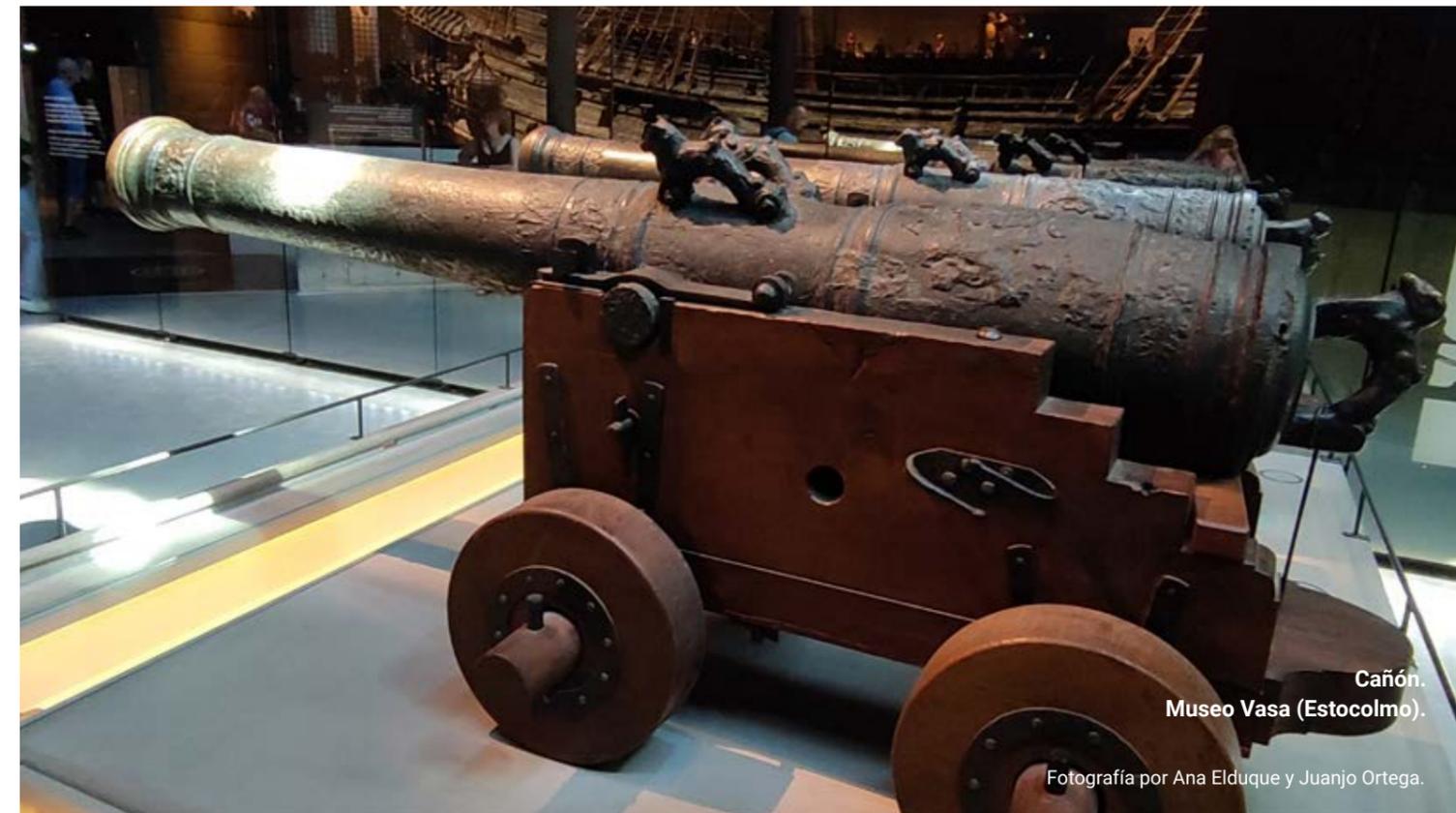
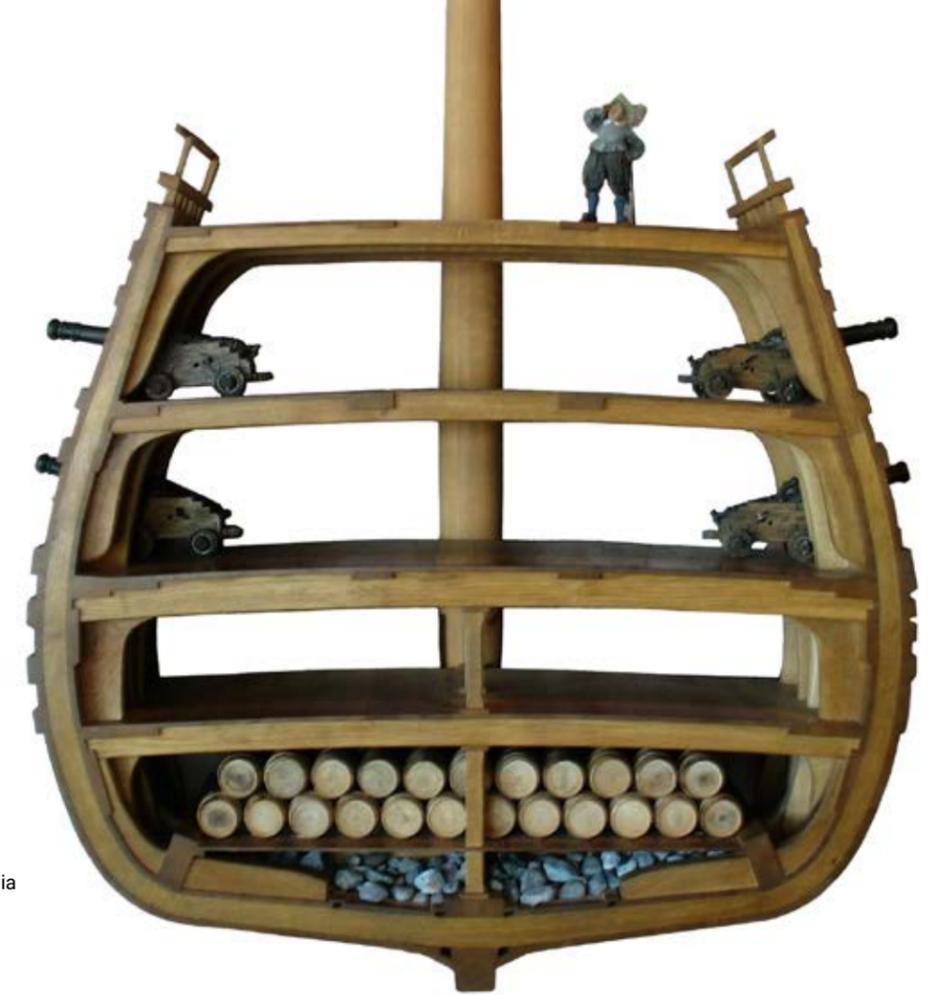
El Vasa, siguiendo las ideas novedosas del Rey, buen conocedor de las técnicas artilleras de la época, requería de importantes innovaciones para dotar al barco de la potencia de fuego deseada. Los cañones navales se habían desarrollado mucho durante el siglo XVI, sustituyendo las culebrinas, de mayor alcance pero menor potencia, por los típicos cañones de balas de 24 libras (10 Kg), muy pesados. Las técnicas de colado del bronce y la terminación de los tubos de los cañones tenían una consecuencia desfavorable. Muchos de estos cañones eran únicos y requerían su propia munición. Gustavo Adolfo, conocedor de estas limitaciones, quería que sus nuevos barcos estuvieran armados con un nuevo tipo de cañón estándar, que permitiera el uso común de la munición y que, siendo más ligero, facilitara aumentar el número de cañones en cada navío. Tras muchas deliberaciones y estudios, se adaptó el diseño de cañones de sitio de 24 libras, haciéndolos más cortos, con una pared más delgada usando una munición común, tanto en el mar como en tierra. El nuevo cañón tenía un calibre $17\frac{1}{2}$ (la longitud era 17,5 veces del diámetro) y un espesor máximo de la culata de $\frac{3}{4}$ del diámetro del ánima. La munición principal estaba formada por bolas macizas de hierro fundido de 24 libras (10 kg) y el propelente eran paquetes de pólvora de, como máximo, un tercio del peso de la bala (3,3 Kg). Con este armamento en un barco de dos cubiertas de armas, la potencia de fuego lograda era el cuádruple de la que podían alcanzar un barco de una cubierta armado con cañones de 12 libras, típicos en la armada polaca y casi el doble que la mayoría de los barcos de su época. Aunque no se logró fabricar todos los cañones necesarios para las 72 troneras del barco, los registros del momento del armado indican que el Vasa disponía de 64 cañones, 46 de este nuevo tipo y el resto convencionales.

El conjunto del armamento alcanzó un peso de más de 62 toneladas, a las que hay que añadir otras 20 adicionales correspondientes a las cureñas. La munición encontrada en el barco alcanzaba un número suficiente

“El Vasa requería de importantes innovaciones para dotar al barco de la potencia de fuego deseada.”

Sección transversal de una maqueta del Vasa.

wikipedia



Cañón. Museo Vasa (Estocolmo).

Fotografía por Ana Elduque y Juanjo Ortega.



Interior. Museo Vasa (Estocolmo).

Fotografía por Ana Elduque y Juanjo Ortega.

“Este sueño en el fondo de la bahía de Estocolmo solo duró 333 años, emergiendo de nuevo el 24 de abril de 1961.”

para hacer 250 disparos, 5 por cada cañón, lo que implicaba más de 2,5 toneladas adicionales en bolas de hierro y casi una más en pólvora, a las que hay que añadir el conjunto de otros proyectiles que también se usaban, como cadenas, semiesferas unidas por cadenas, bolas con tijeras, especialmente usadas antes del abordaje final. Finalmente, como elemento de estabilización, el barco cargaba, bajo la bodega, con 120 toneladas de balasto, formado fundamentalmente por rocas y piedras.

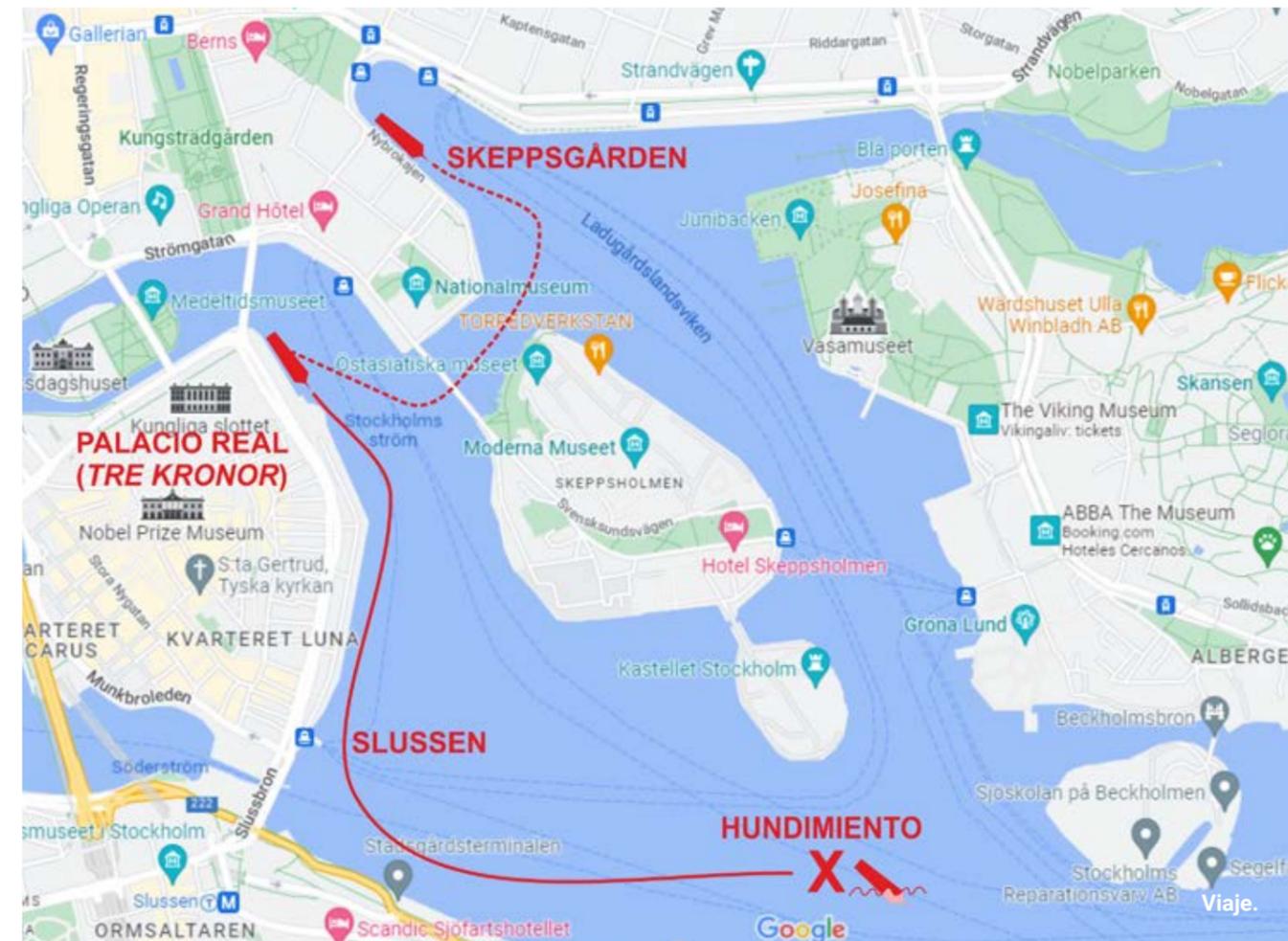
En el rol del Vasa de 1628 figuran 133 marineros, incluyendo tres oficiales comisionados, dos tenientes y el capitán. En caso de guerra, el Vasa podía incorporar una compañía de hasta 150 soldados. La tripulación, excepto los oficiales, no disponían de espacios propios, compartiendo los existentes entre las cubiertas como lugar de descanso y manutención.

Pero todo esto sirvió para poco. El 10 de agosto de 1628, con el armamento al completo y la marinería a bordo, el Vasa zarpó para hacer la única singladura de su efímera vida. A apenas 1.300 metros del muelle bajo el palacio real, tras haber izado velas en Slussen y haberse desprendido de las amarras de arrastre que lo llevaron hasta allí, al recibir las primeras ráfagas de viento el barco escoró y, en apenas unos minutos, el agua comenzó a entrar a borbotones por las troneras que hizo imposible su flotabilidad, hundiéndose frente a la isla de Beckholmen.

Pero, como casi todo en la historia del Vasa, este sueño en el fondo de la bahía de Estocolmo solo duró 333 años, emergiendo de nuevo el 24 de abril de 1961, donde empezó una nueva singladura, esta vez con la química como protagonista. Pero esta es otra historia para un nuevo capítulo.

Ana Elduque
Facultad de Ciencias

Juanjo Ortega
Colegio de Químicos de Aragón y Navarra



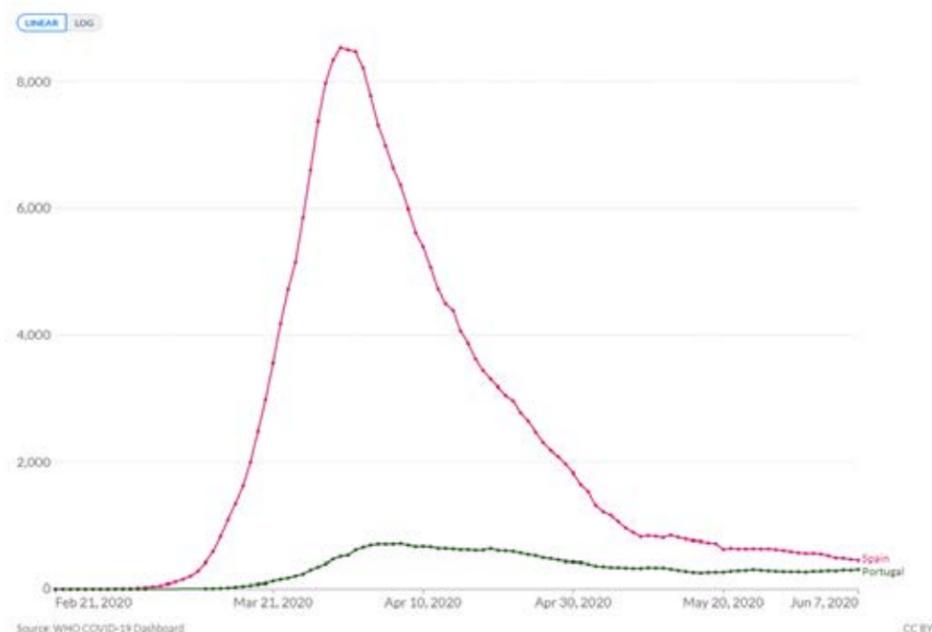
A woman with her hair in a bun, wearing a black face mask and a patterned blazer, is looking at her smartphone. She is standing on a train, with the interior seats and windows visible in the background. The scene is brightly lit, suggesting daytime.

Las gráficas detrás de la pandemia

“La representación gráfica de los distintos indicadores epidemiológicos permite entender de una forma simple y efectiva la evolución temporal y la distribución geográfica de la pandemia.”

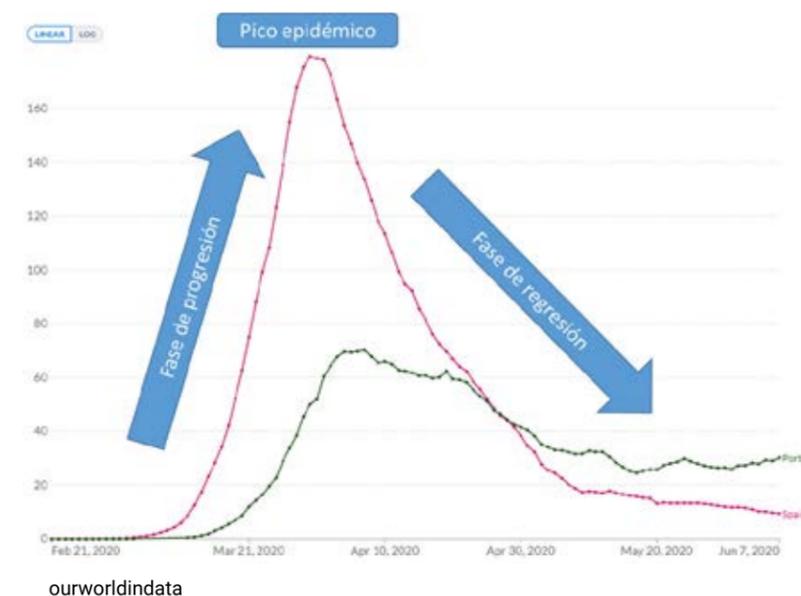
Ignacio de Blas

Figura 1: incidencias diarias absolutas de Covid-19 en España y Portugal



ourworldindata

Figura 2: incidencias diarias de Covid-19 en España y Portugal por cada millón de personas



ourworldindata

En números anteriores hablamos de las palabras y los números que permitían describir una epidemia. Esta vez nos enfocaremos en la representación gráfica de esos números para comprender mejor la evolución epidemiológica de una enfermedad en la población.

A lo largo de este artículo usaremos datos y gráficas sobre Covid-19 procedentes de dos fuentes principales. Por una parte Our World in Data (<https://ourworldindata.org/coronavirus>) y por otra DataCovid del Gobierno de Aragón (<https://datacovid.salud.aragon.es/covid/>).

Empezaremos por la gráfica más sencilla que es la que muestra los casos que aparecen cada día en unos determinados territorios (figura 1). Podemos ver que a principios de marzo de 2020 empezaron a aparecer los primeros casos en España, mientras que en Portugal comenzaron un poco más tarde. Claramente el número de casos de la primera onda epidémica fue menor en Portugal que en España, pero como ya comentamos

en el primer artículo de esta serie para poder hacer una comparación adecuada había que utilizar frecuencias relativas. Por lo tanto, tendremos que ajustar los casos totales según la población de cada país (figura 2).

En esta nueva gráfica vemos que España tuvo una incidencia diaria relativa mayor que Portugal. En ambos casos se ven claramente las tres partes de una onda epidémica. En primer lugar, se observa que los casos crecen rápidamente y se corresponde con la fase de progresión de la epidemia. Poco a poco la curva cambia de tendencia y se llega al pico epidémico y luego comienzan a disminuir el número de nuevos casos diarios de forma más lenta, que es lo que se conoce como fase de regresión.

A diferencia de lo que mucha gente piensa, las ondas epidémicas no siguen el patrón de la función de densidad de la curva normal de Gauss, sino el de la primera derivada de la función de Gompertz, que es asimétrica y se ajusta mucho mejor a esa fase de progresión rápida

“A principios de marzo de 2020 empezaron a aparecer los primeros casos en España, mientras que en Portugal comenzaron un poco más tarde.”

seguida de una fase de regresión más lenta (figura 3). Como se puede ver las epidemias siguen patrones matemáticos lo que permite predecir su evolución.

Si prolongamos el periodo de estudio de la pandemia vemos que tras esa onda epidémica primaria vinieron otras ondas epidémicas secundarias separadas por fa-

ses donde la incidencia era más baja y que se denominan periodos interepidémicos (figura 4). Teóricamente estas ondas secundarias suelen ser de menor altura y mayor anchura que la onda epidémica primaria, aunque eso no parece que ocurra si observamos la evolución de los 3 primeros años de la pandemia en España (figura 5). Sin embargo, hay que considerar varios factores

Figura 3: comparación de la función de densidad de la curva normal con la primera derivada de la función de Gompertz

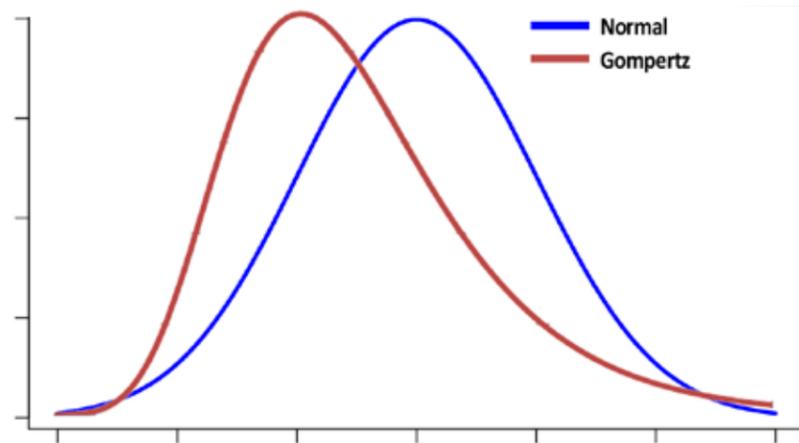
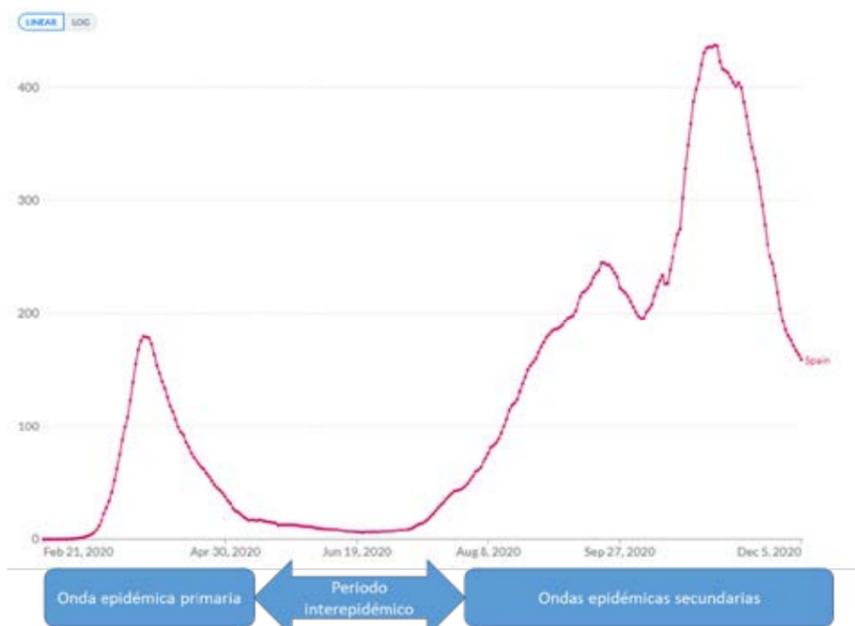
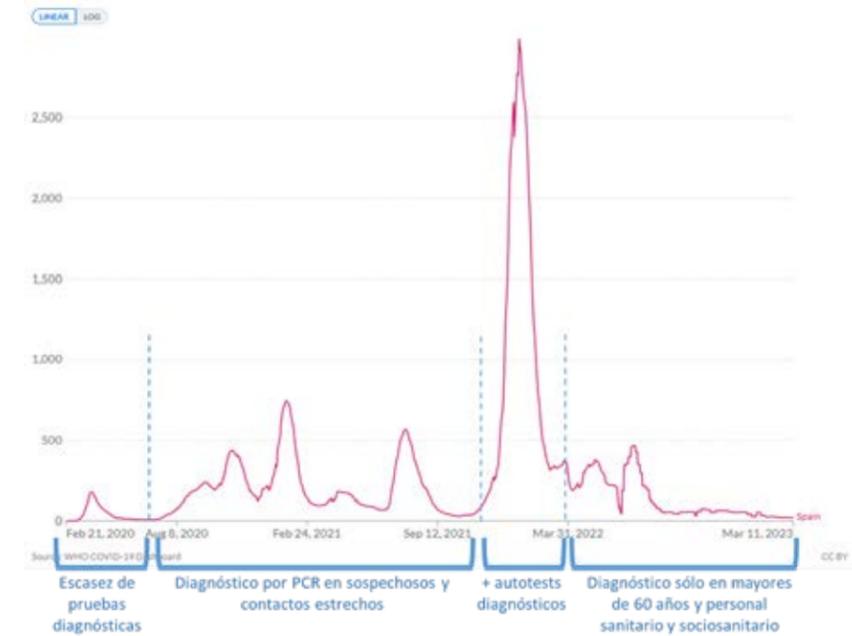


Figura 4: ondas epidémicas de Covid-19 en España en 2020



ourworldindata

Figura 5: evolución de la incidencia diaria de Covid-19 en España y su relación con el método de diagnóstico utilizado



ourworldindata

“El factor más importante que explica esos cambios tan notables es la metodología utilizada para diagnosticar y notificar los casos infectados.”

que pueden explicar esta anomalía. En primer lugar, la aparición de diferentes variantes con distinta repercusión clínica y/o mayor transmisibilidad (la cepa original de Wuhan ha ido mutando y ha dado lugar a diferentes variantes, siendo Alfa, Beta, Delta y Ómicron las más relevantes en España). También puede deberse a pérdidas de inmunidad en la población (en general, los coronavirus inducen una inmunidad entre 9 y 18 meses), pero también habría que tener en cuenta que algunas de esas variantes se caracterizaban por una mayor capacidad para evadir nuestra respuesta inmune.

Pero sin duda el factor más importante que explica esos cambios tan notables es la metodología utilizada para diagnosticar y notificar los casos infectados. La onda epidémica primaria es una de las que alcanza menor altura, y eso fue debido a que en esos primeros meses no se disponía de suficiente capacidad de diagnóstico laboratorial y tan solo se podían confirmar los casos más graves. En los meses posteriores se dispuso de pruebas diagnósticas muy sensibles (prueba en cadena de



la polimerasa, PCR) en cantidad suficiente para detectar el SARS-CoV-2 tanto en las personas enfermas como en sus contactos estrechos, por lo que el número de infectados detectados aumentó notablemente. La gran onda epidémica de las navidades de 2021-2022 fue el resultado del impacto de las variantes Delta y Ómicron, unido a la inclusión como casos de las personas que resultaban positivas a los autotests diagnósticos rápidos que comenzaron a comercializarse en farmacias y a usarse masivamente a finales de diciembre de 2021. Por último, a finales de marzo de 2022 las curvas epidémicas disminuyen enormemente como consecuencia de que la notificación de casos se limita a personas mayores de 60 años y personal sanitario y sociosanitario.

Para explicar la importancia de este cambio vamos a usar un nuevo tipo de gráficas en el que vemos los casos absolutos distribuidos por sexo y edad (figura 6), que vamos a utilizar para comparar el perfil demográfico de los casos totales en Aragón en dos periodos equivalentes: noviembre de 2021 a febrero de 2022 y noviembre de 2022 a febrero de 2023. En el primer periodo vemos

que los casos se distribuyen formando una pirámide en su parte superior apoyada en una amplia base, lo que se corresponde con la pirámide poblacional de Aragón. Además, los casos se distribuyen de forma simétrica, lo que indica que no existe un riesgo mayor de sufrir la infección asociado con el sexo. Sin embargo, en la segunda gráfica vemos que la pirámide se invierte y la mayoría de los casos tienen 60 años o más. Recordemos que a finales de marzo de 2022 se cambió el sistema de notificación y se concentró el diagnóstico en personas mayores de 60 años. También observamos que la simetría se pierde y hay más casos en el grupo de mujeres, especialmente entre los 30 y los 69 años, lo que se corresponde con las personas en edad laboral, y hay que recordar que el otro grupo donde se enfocó el diagnóstico fue en los profesionales del sector sanitario y sociosanitario, que está formado mayoritariamente por mujeres.

Volvamos a la representación gráfica de la evolución temporal de las incidencias. En la parte superior izquierda de la figura 7 vemos la evolución diaria de las incidencias de España y Francia. A simple vista da la impresión

de que en Francia se han producido más casos que en España, ya que la cantidad total de casos se corresponde con el área que hay bajo cada curva, pero resulta complicado determinar si la diferencia es grande o pequeña. La alternativa es utilizar curvas epidémicas de incidencia acumulada (parte inferior izquierda de la figura 7) donde se van sumando los casos totales que se han producido desde el principio de la pandemia, y en las que las que se observa un ascenso en forma de escalones donde cada subida vertical corresponde con la fase de progresión de una onda epidémica. En la gráfica es fácil determinar que los casos totales (ajustando por millón de habitantes) son el doble en Francia que en España.

Hasta finales de marzo de 2022 la evolución fue muy similar en ambos países, pero a partir de esa fecha los casos aumentaron notablemente en Francia, mientras que en España la curva fue convirtiéndose en una línea horizontal (lo que indica que apenas hay nuevos casos, como se puede comprobar en la gráfica situada en la parte superior izquierda). Una vez más es necesario conocer el contexto epidemiológico de la enfermedad en

“Hasta finales de marzo de 2022 la evolución fue muy similar en España y Francia.”

Figura 6: distribución por sexo y edad de los casos de Covid-19 notificados en Aragón en dos periodos diferentes

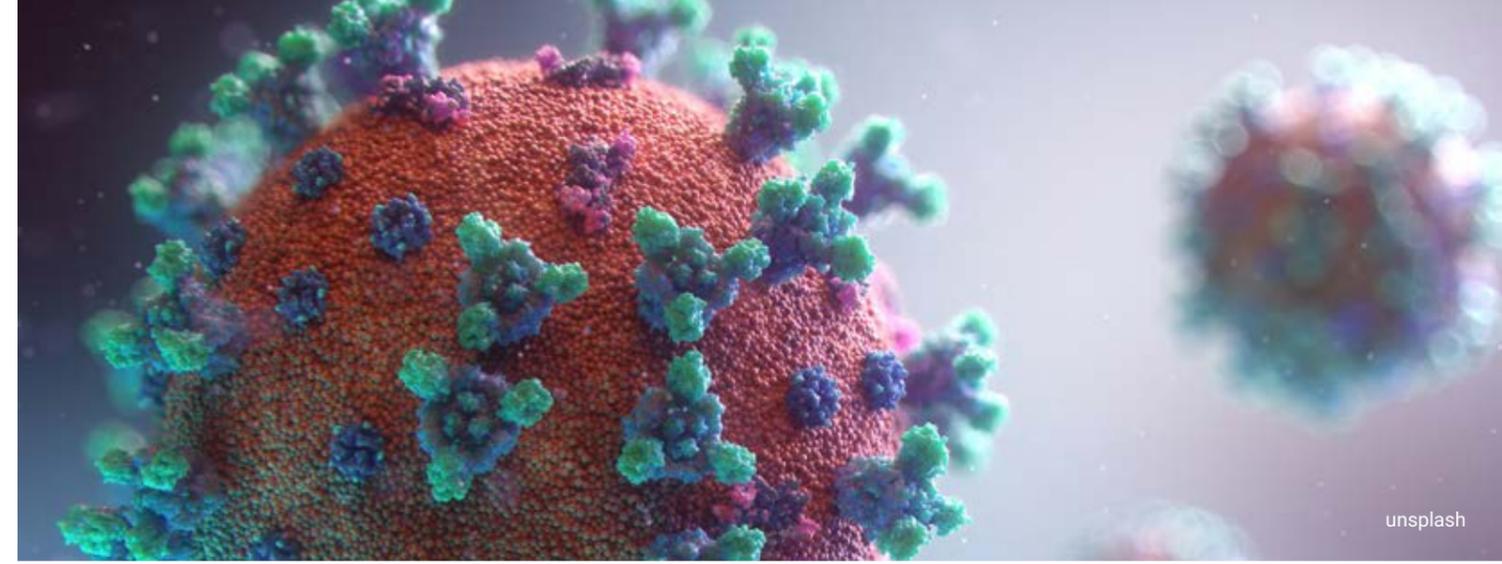


ourworldindata

cada país porque, como hemos comentado, en España se centró la notificación en unos estratos poblacionales muy específicos (lo que conlleva una subestimación de la incidencia global), mientras que en Francia dichos criterios de notificación no cambiaron y se mantuvo el diagnóstico en toda la población.

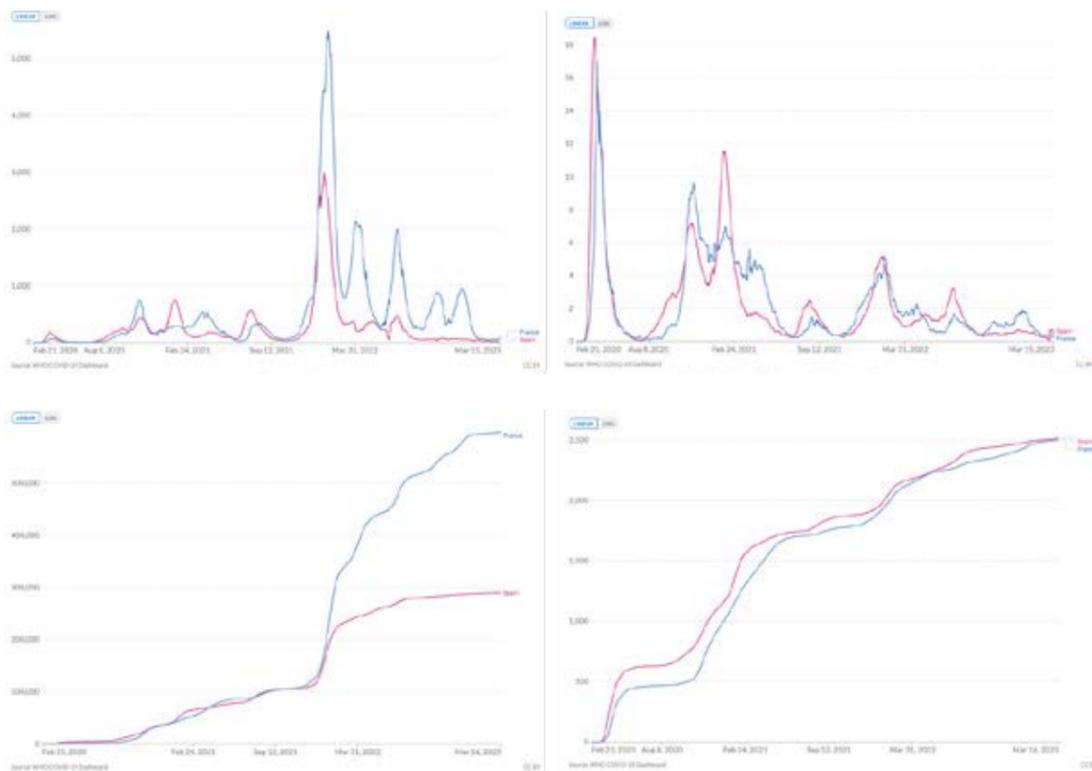
Pero además de ver la evolución de los nuevos casos (es decir, las incidencias) es importante también conocer la evolución de otros indicadores epidemiológicos como puede ser la mortalidad. Como en el caso de las incidencias, se puede visualizar la evolución diaria de los fallecidos o la evolución acumulada del total de fallecidos (ajustando o no según la población total).

“La mortalidad de la onda epidémica primaria fue muy superior a todas las posteriores en ambos países, y las mortalidades en las navidades de 2021-2022 no son tan elevadas.”



unsplash

Figura 7: incidencias diarias y acumuladas (a la izquierda) y mortalidades diarias y acumuladas (a la derecha) de España y Francia desde febrero de 2020



ourworldindata

En la parte superior derecha de la figura 7 vemos que la mortalidad de la onda epidémica primaria fue muy superior a todas las posteriores en ambos países, y las mortalidades en las navidades de 2021-2022 no son tan elevadas como nos harían pensar las incidencias registradas en ese mismo periodo. Parecería que ambas gráficas son contradictorias, pero hay que recordar que los sistemas de notificación y la capacidad diagnóstica han ido variando (figura 5), de manera que las curvas de mortalidad nos darían una visión más real del impacto de la pandemia.

En la parte inferior derecha de la figura 7 vemos que las mortalidades de Francia y España tras 3 años de pandemia son muy similares, aunque al principio fueron superiores en España.

Dejamos para el final una representación gráfica muy importante. Se trata de la representación espacial de los casos a través de mapas. En la figura 8 tenemos un buen ejemplo de cómo se pueden representar las incidencias acumuladas de las distintas comarcas de Aragón y ver cuáles han sido las más afectadas y las menos afectadas.

Como vemos, la representación gráfica de los distintos indicadores epidemiológicos permite entender de una forma simple y efectiva la evolución temporal y la distribución geográfica de la pandemia.

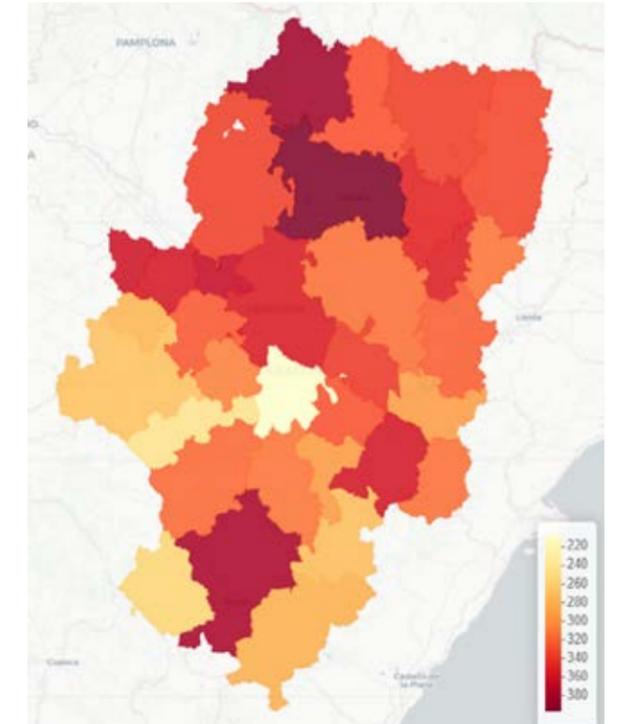


Figura 8: casos de Covid-19 confirmados por cada 1.000 habitantes en las distintas comarcas de Aragón entre el 15 de febrero de 2020 hasta el 16 de marzo de 2023.

Ignacio de Blas
Dpto. de Patología Animal
Facultad de Veterinaria
Universidad de Zaragoza



40 años viendo átomos

“La primera técnica que permitió la visualización de átomos y moléculas hace ya más de 40 años fue el microscopio de barrido por efecto túnel (STM).”

Fernando Bartolomé

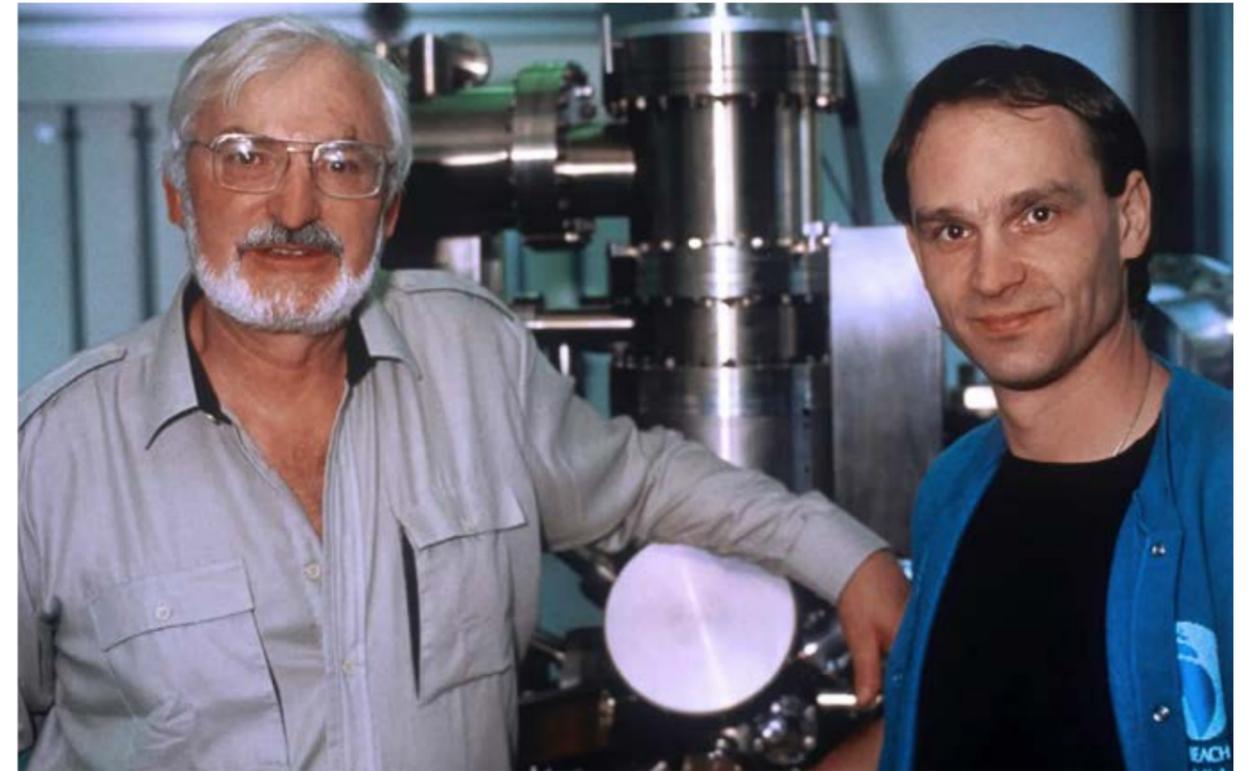


▲
Pioneros de la mecánica estadística: la teoría cinético-molecular del calor, desarrollada en el S. XIX por Maxwell y Boltzmann, permitió a Einstein calcular simultáneamente el tamaño de las moléculas y el número de Avogadro en su tesis doctoral.

La historia del atomismo se suele remontar a Demócrito de Abdera (c. 460 a. C. - c. 370 a. C.) y a su maestro Leucipo de Mileto, cuando desafiaron la suposición "natural" de que la materia siempre puede descomponerse en partes aún más pequeñas.

En esta teoría filosófica, por lo demás completamente acientífica en su concepción, los átomos serían eternos, indivisibles, homogéneos, indestructibles e invisibles. Este atomismo primitivo se describe en "De Rerum Natura" (*Sobre la naturaleza de las cosas*) de Lucrecio, que muestra algunos hitos de increíble intuición científica.

De manera natural, surge el concepto de vacío, como el espacio en el que se mueven los átomos. El movimiento de los átomos en el vacío se supone constante y aleatorio, siendo las interacciones entre los átomos las que dan lugar a todos los fenómenos observables en el universo. Todo está formado por átomos, tanto los seres vivos como los objetos inanimados: Átomos y vacío.



▲
Heinrich Rohrer (izquierda) y Gerd Binnig (derecha), ganadores del premio Nobel en Física de 1986 posando con su microscopio, desarrollado en IBM Zurich.

Lucrecio también "intuye" la química, convencido de que todo en el universo está compuesto por un número finito de diferentes tipos de átomos, cada uno con sus propiedades únicas. Sus ideas influyeron en los pioneros de la química, como Dalton, Lavoisier, Proust o Avogadro. Los estudios del comportamiento químico de los gases permitieron proponer que los átomos de los distintos elementos tenían pesos diferentes y que las reacciones químicas implicaban su reordenación. Estas ideas, que triunfaron entre los químicos por su utilidad práctica, tardaron en ser ampliamente aceptadas, dada la falta de pruebas experimentales acerca de la existencia de átomos y moléculas.

Unas décadas después, el desarrollo de la teoría cinético-molecular del calor (después englobada en la Mecánica Estadística) gracias al trabajo de James C. Maxwell y Ludwig Boltzmann entre otros, permitió a Albert Einstein demostrar que el movimiento Browniano solo se podía entender desde una descripción molecular de los fluidos. El premio Nobel de Física de 1926 fue otorgado a

"De manera natural, surge el concepto de vacío, como el espacio en el que se mueven los átomos."

Jean Perrin por su trabajo en la estructura discontinua de la materia, comprobando las predicciones de Einstein.

No fue hasta finales del siglo XIX y principios del XX, con el descubrimiento de los rayos catódicos y de la radiactividad, y el desarrollo de nuevas técnicas experimentales como la cristalografía de rayos X, cuando se generalizó la evidencia de la existencia de entidades muy pequeñas, por lo que átomos y moléculas fueron aceptadas, aún con acérrimos enemigos defensores “del continuo”.

La observación directa de átomos individuales se contempló durante décadas como algo inalcanzable: la comparación de la longitud de onda de la luz visible ($0.4-0.7 \cdot 10^{-6}$ m) con el tamaño de moléculas ($\sim 10^{-9}$ m) y átomos ($\sim 10^{-10}$ m) que se desprendía de datos físico-químicos y los cálculos mecano-estadísticos (por

ejemplo en la tesis doctoral de Einstein¹ o en los trabajos zaragozanos de Rocasolano²) muestra la imposibilidad. La difracción de rayos X en cristales corroboró que la longitud de onda del espectro visible era unas mil veces mayor que los átomos y su “visión” directa no sería nunca posible. Es interesante leerlo directamente de Bruno Solano, decano de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza de diciembre de 1887 a febrero de 1899, en la Lección Inaugural de la Universidad de Zaragoza del curso 1887-1888 (nótese que los cálculos de Einstein son de 1905 y las medidas de Rocasolano de 1920, 20 y 35 años después, respectivamente). Dice don Bruno acerca de la comparación entre el tamaño atómico y la longitud de onda del visible:

“No puede darse conclusión más triste que la que se desprende de las razones expuestas. Estamos condenados

“La observación directa de átomos individuales se contempló durante décadas como algo inalcanzable.”

por ley inexorable a no ver jamás, no sólo los átomos y sus agrupaciones moleculares, sino mundos de seres archimicroscópicos que quizás pululan por todas partes.”

Solano estaba en lo cierto si nos restringíamos a ver átomos, moléculas y virus con nuestros ojos, esperando que la luz visible dispersada por ellos formase una imagen en nuestra retina. Pero esa restricción, cierta en el visible, se rompe en el S. XX en varias direcciones.

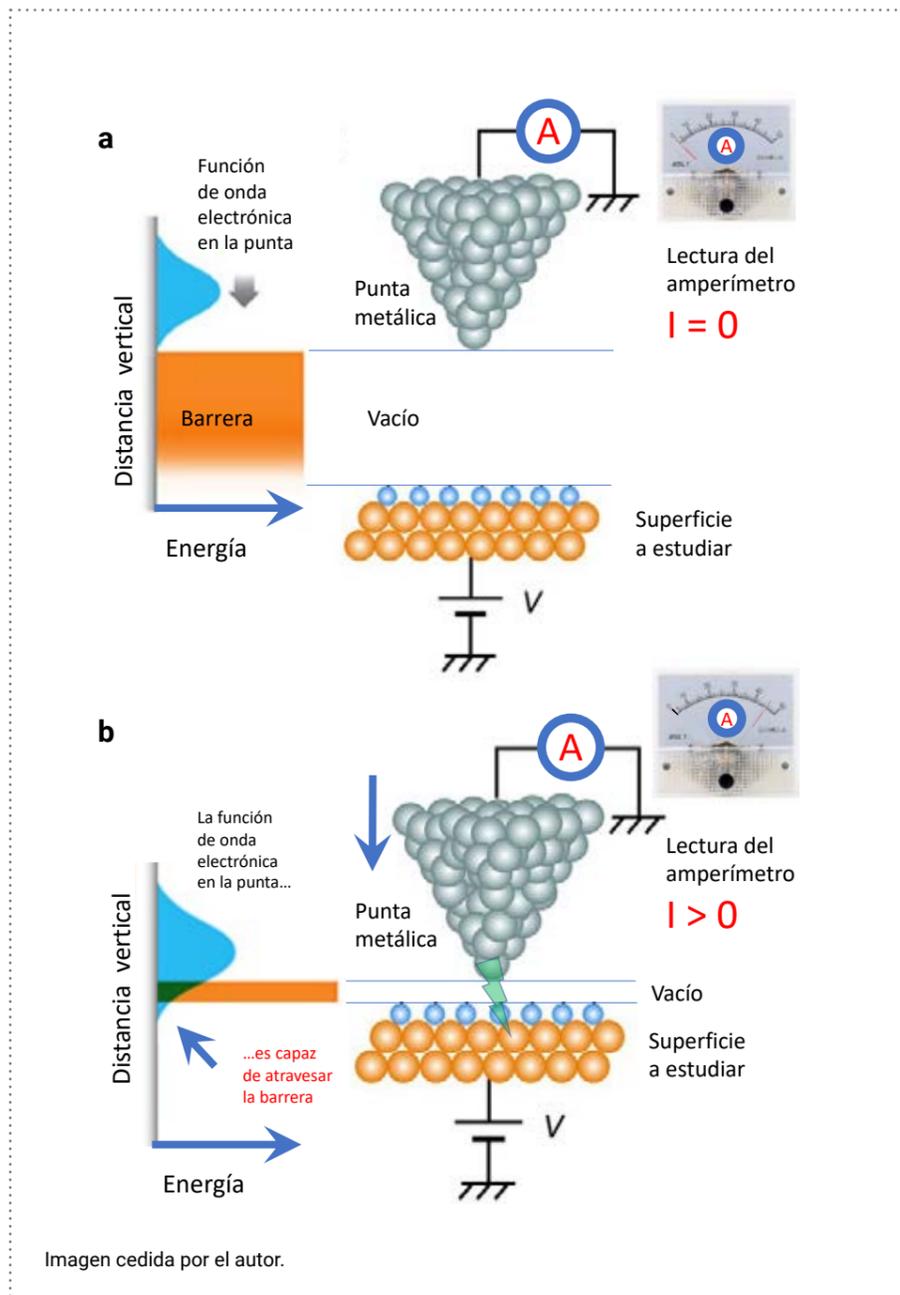
Por una parte, aprendimos a utilizar un rango mucho más amplio del espectro electromagnético. Por otra, se desarrollaron detectores que extendieron nuestros sentidos ampliamente. Y en un modo más fundamental, la física cuántica abrió nuevas posibilidades, como la dualidad onda-partícula, que hizo posible trabajar con ondas cuyas longitudes de onda eran mucho más pequeñas (viendo “con electrones”, por ejemplo). Los microscopios electrónicos no presentaban la barrera cualitativa e infranqueable que entristecía a Bruno Solano, pero durante muchas décadas siguió habiendo problemas cuantitativos en intensidad y resolución de la señal.

Si bien estas barreras se han salvado en el S. XXI y hoy en día algunos microscopios electrónicos pueden ver átomos individuales, la primera técnica que permitió la visualización de átomos y moléculas hace ya más de 40 años fue el microscopio de barrido por efecto túnel (STM por las siglas de la técnica en inglés, Scanning Tunneling Microscopy).

.....
REFERENCIAS

1. A. Einstein “Una nueva determinación de las dimensiones moleculares”. Tesis para la obtención del grado de doctor de la Universidad de Zurich, 1905. Versión revisada publicada en *Annalen der Physik* 19, 289-305, (1906).
2. A. de Gregorio Rocasolano “*Éléments de chimie physique colloïdale*”, Paris 1920, serie Scientia, Gauthier-Villars eds.





Esquema del principio del efecto túnel en un sistema de STM punta-muestra:

a) La distancia punta-muestra es demasiado grande como para que se establezca una corriente de túnel.

b) Al reducirse la distancia punta-muestra, la probabilidad para el electrón de atravesar el vacío pasa a ser finita y la corriente de túnel crece exponencialmente, en un factor 10 por Å, aproximadamente.

fuimos afortunados en tener experiencia en superconductividad, un tema que irradia belleza y elegancia. En cuanto al STM, teníamos algo de experiencia en efecto túnel y en medidas de alta precisión de distancias en torno al angstrom, pero ninguna en microscopía o ciencia de superficies. Probablemente, esto nos dio el valor y la ligereza necesarios para iniciar algo que en principio no debería haber funcionado, como tantas veces nos dijeron”.

El efecto túnel es una de las características inherentes de la física cuántica: una partícula puede penetrar a través de una barrera de potencial, a pesar de no tener energía suficiente para superarla. Clásicamente, la partícula simplemente se reflejaría.

En cambio, debido a la naturaleza de la función de onda, la probabilidad de que la partícula se encuentre al otro lado de la barrera puede no ser nula, permitiéndose el “salto” a través de la barrera de potencial. La probabilidad de encontrar en un punto a la partícula es proporcional al cuadrado de la amplitud de la función de onda en ese punto. En el espacio ocupado por la barrera de potencial (que en un microscopio es el vacío entre punta y superficie a estudiar) dicha amplitud decrece exponencialmente, y por eso, el efecto túnel sólo es posible cuando la extensión espacial de la barrera es pequeña. Una barrera demasiado ancha reduce tanto la amplitud de onda de la partícula que su cuadrado más allá es un número despreciable. Acercando la punta a la superficie (ver figura), la extensión de la barrera no llega a anular la función de onda y los electrones pueden ser detectados “tuneleando” de la punta a la superficie (o viceversa) induciendo una corriente detectable con un amperímetro.

El decaimiento de la amplitud es exponencial, por lo que el paso de no detectar a detectar una corriente de túnel es extremadamente sensible a la distancia punta-superficie: la corriente de túnel en el vacío desciende un factor 10 por cada angstrom (10^{-10} m) de distancia.

Para generar una imagen con resolución atómica, la punta del STM va barriendo la superficie de la muestra en una serie de filas muy próximas entre sí. El control de la posición se realiza con un juego de piezoeléctricos de alta precisión (10^{-12} m).

A medida que la punta explora la superficie, se mueve hacia arriba y hacia abajo en respuesta a los cambios en la altura de la muestra, midiendo la corriente de túnel.

“El efecto túnel es importante en muchos campos de la física, como la fusión nuclear y la desintegración alfa. Ha alcanzado actualmente cotas tecnológicas en el mercado como las memorias magnéticas de efecto túnel.”

El efecto túnel es importante en muchos campos de la física, como la fusión nuclear y la desintegración alfa. Ha alcanzado actualmente cotas tecnológicas en el mercado como las memorias magnéticas de efecto túnel, el propio STM, los diodos túnel y otras aún en desarrollo, como las antenas ópticas activas.

El desarrollo del STM es una historia fascinante. Gerd Binnig y Heinrich Rohrer lo propusieron por primera vez en 1981 mientras trabajaban en el Laboratorio de Inves-

tigación de IBM en Zúrich. Binnig y Rohrer recibieron el Premio Nobel de Física en 1986 por su invención, compartiéndolo con Ernst Ruska por el diseño del microscopio electrónico.

El desarrollo tecnológico del STM es en sí mismo sorprendente porque la precisión mecánica del aparato, basada en una combinación de tres cristales piezoeléctricos (x, y, z) con precisión de unos picómetros (10^{-12} m). En palabras de los descubridores: “Quizás

Para seguir con precisión el perfil de la superficie, el STM mantiene una distancia constante (y por tanto constante corriente de túnel) entre la punta y la superficie, para lo que se utiliza un bucle de realimentación que ajusta la posición de la punta a medida que se barre la superficie. Cuando la punta se acerca a la superficie, la corriente de túnel aumenta, lo que activa el bucle de retroalimentación para alejar la punta de la superficie. Del mismo modo, si la punta se aleja de la superficie, la corriente de túnel disminuye, activando el bucle

de retroalimentación para acercar la punta. De este modo, el STM va dibujando el perfil de la superficie y genera una imagen topográfica con resolución atómica.

El desarrollo del STM supuso un gran avance en el campo de la nanotecnología, ya que permitió explorar y manipular las estructuras atómicas y moleculares con una precisión sin precedentes.

SUPERFICIES

Uno de los primeros éxitos del STM fue resolver la disputa sobre cómo se “reorganiza” el silicio cristalino en su cara (111). De hecho fue el equipo de IBM en Zurich liderado por G. Binnig y H. Rohrer quienes publicaron la reconstrucción de esta superficie.³ La reconstrucción 7x7 de la superficie Si(111) era uno de los problemas más intrigantes de la ciencia de superficies.

Las superficies son grandes “defectos” cristalinos, en las que los átomos tienen mucha menos coordinación de la que idealmente tienen en un sólido, debido a que, evidentemente, a un lado ya no hay más sólido. La complejidad

En el modo de corriente constante, la punta se desplaza por la superficie manteniendo una corriente túnel constante y preestablecida mediante el ajuste continuo de la posición vertical de la punta por la tensión de realimentación V. En el caso de una superficie electrónicamente homogénea, corriente constante significa esencialmente distancia punta-muestra constante.

Constant Current Mode

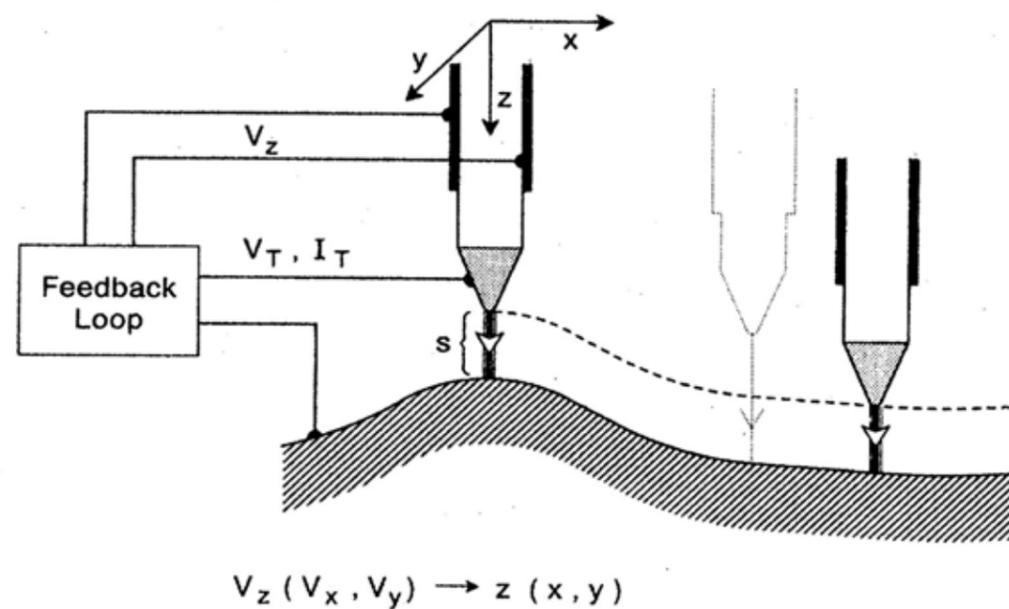


Imagen cedida por el autor.

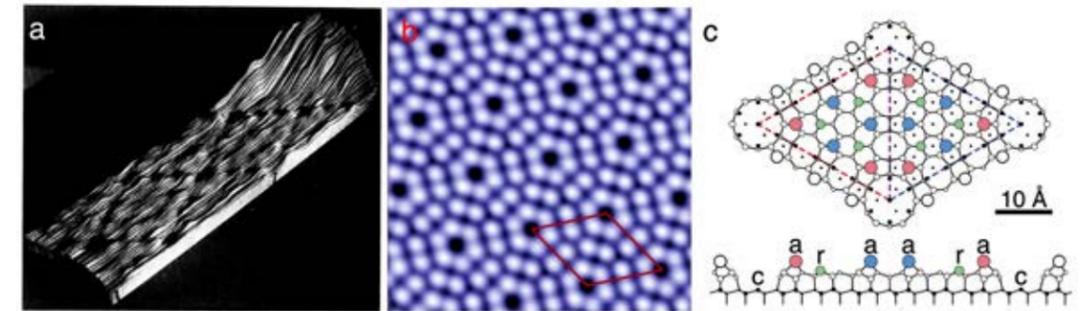


Imagen cedida por el autor.

a) Imagen original de la superficie Si(111) reconstruida 7x7, obtenida de la publicación de Binnig, Rohrer y otros.³

b) Imagen STM “moderna” de la misma reconstrucción 7x7 de Si(111) obtenida en The London Centre for Nanotechnology. Se ha marcado con un rombo rojo la zona correspondiente al esquema de la derecha.

c) Esquema de la reconstrucción 7x7 de Si(111): en la imagen central solo los átomos “a” son visibles. En otras condiciones de corriente de túnel, se pueden llegar a visualizar los átomos colocados en posiciones “r”. Las posiciones c, que son visibles como poros oscuros en b), son claramente reconocibles en la imagen histórica a), formada por recortes del papel de un registrador de puntas de rotulador pegados entre sí.

de la gran celda unidad superficial, con 49 átomos (ver figura de arriba), era un obstáculo importante para llegar a un modelo claro: Los modelos que se ajustaban a un tipo de experimentos estaban en conflicto con otros. El número de modelos propuestos era cada vez mayor y parecían confundir más que aclarar la cuestión. La microscopía de efecto túnel solucionó el problema de un plumazo. Como recuerda Gerard Binnig en su Lección de recepción del Nobel “Emprendimos el segundo intento con la 7x7 en otoño de 1982, teniendo en cuenta el consejo de Franz Himpel de no hacer “sputtering” a la superficie. Funcionó inmediatamente y pudimos observar la 7X7 en las superficies planas. Quedamos absolutamente encantados con la belleza del patrón. Yo no podía dejar de mirar las imágenes. Era como entrar en un mundo nuevo. Me pareció que había llegado al punto culminante (e insuperable) de mi carrera científica y, por tanto, en cierto modo, a su fin. Heini (Rohrer) se dio cuenta de mi estado de ánimo y me llevó unos días a St. Antonien, un encantador pueblo en lo alto de las montañas suizas, donde escribimos el artículo sobre el 7x7”, que es la referencia³.

MANIPULACIÓN ATÓMICA

La microscopía STM permite la manipulación de átomos individuales utilizando la punta para “coger”, “mover” y “soltar átomos” en la posición deseada, acercando la punta del microscopio a la superficie y mover átomos individuales mediante la aplicación de voltajes muy precisos.

De este modo, se pueden generar estructuras cerradas (llamadas corrales cuánticos) que permiten estudiar las ondas estacionarias electrónicas de las superficies,

3. G. Binnig, H. Rohrer, Ch. Gerber, and E. Weibel, Phys. Rev. Lett. 50, 120, (1983).

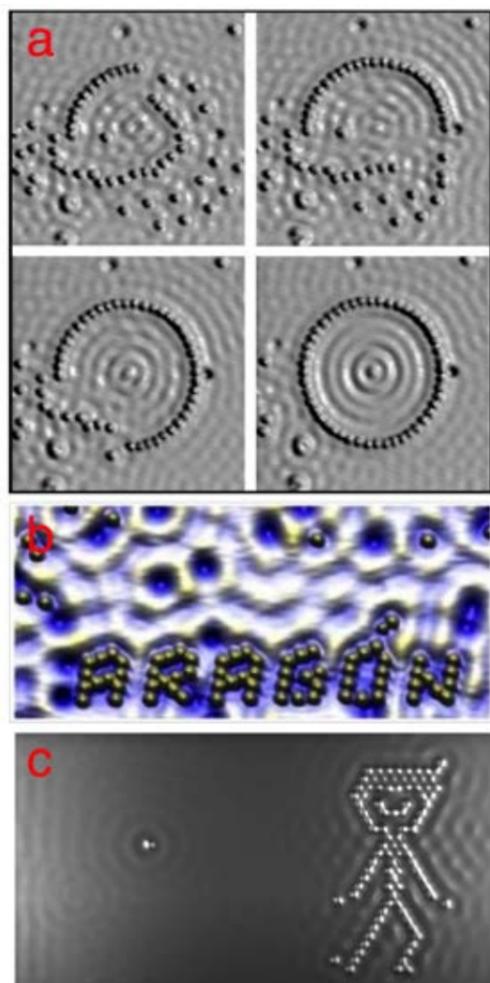


Imagen cedida por el autor.



a) 4 etapas en la formación de un corral cuántico aproximadamente circular, formado por 48 átomos de hierro en una superficie de Cu(111) (Confinement of Electrons to Quantum Corrals on a Metal Surface M. F. Crommie, C. P. Lutz, D. M. Eigler, Science (1993) 262, 218.

b) "Aragón" atómico, escrito por Davir Serrate, del INMA.

c) fotograma de "A Boy And His Atom: The World's Smallest Movie", de IBM, que se puede ver en YouTube.

“Se puede escribir con átomos, como muestra David Serrate, científico del INMA escribiendo ARAGÓN átomo a átomo, o hacer dibujos e incluso rodar una película.”

generando bellísimas imágenes que muestran directamente la naturaleza ondulatoria de la densidad electrónica superficial.

Además, la figura muestra también que se puede "escribir" con átomos, como muestra David Serrate, científico del INMA escribiendo "ARAGÓN" átomo a átomo, o hacer dibujos e incluso "rodar" una película (no hay más que buscar en Google "The atom and the boy").

MOLÉCULAS Y QUÍMICA EN SUPERFICIES

El auto-ensamblaje molecular en superficies ha recibido mucha atención recientemente: las moléculas evaporadas en superficies se auto-organizan espontánea-

mente formando patrones sobre las superficies, guiadas por las interacciones entre las moléculas y con la superficie. La microscopía STM permite la observación de estas fases auto-ensambladas, con altísima resolución. La química-en-superficie permite crear conductores moleculares y otras estructuras en la nanoescala, con aplicaciones prometedoras en electrónica, almacenamiento de energía y catálisis, en un futuro. Otro campo de gran interés es la formación de enlaces covalentes entre moléculas en superficie. Los enlaces covalentes son muy estables y resultan esenciales en muchas reacciones químicas, pero son difíciles de formar. La microscopía STM permite estudiar dichas reacciones, así como los mecanismos de formación de covalencia.

Para conseguir la máxima resolución, se puede funcionalizar las puntas de STM con una única molécula de CO fijada en la punta, con la que se consigue una resolución sin comparación. No solo la forma de las estructuras carbonosas es visible sino que se pueden evidenciar muy pequeñas diferencias de orientación con importantes implicaciones físico-químicas (ver figura de la página 91).

4. E. Bartolomé y colaboradores, J. Phys. Chem. C 124, 13993 (2020).

Izquierda: esquema e imagen STM de moléculas de Fe-phthalocyanina (FePc) sobre la superficie de plata (110) formando una fase 2D auto-organizada. La imagen STM muestra las moléculas reales.

Derecha: FePc sobre Ag(110) con una pequeña dosis de oxígeno gas (los átomos de plata de la superficie no son visibles en la imagen de STM). Los átomos de hierro en el centro de las moléculas FePc son visibles como puntos muy brillantes en las moléculas no oxidadas (como "b"). En las moléculas oxidadas, como "a" y "c", el átomo de hierro está deprimido hacia la superficie de plata y no resulta visible en la imagen STM. Las moléculas "a" y "c" difieren en la orientación molecular con respecto a la superficie.⁴

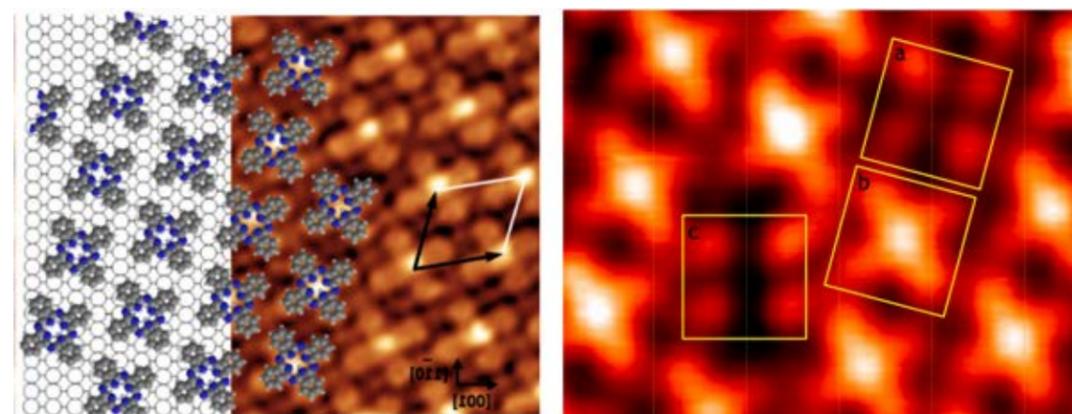


Imagen cedida por el autor.

ESPECTROSCOPIA

Además de la obtención de topografías con resolución atómica, la STM permite realizar espectroscopía de estados electrónicos (tanto ocupados como vacíos). La técnica se llama espectroscopía de efecto túnel de barrido (STS)

Consiste en medir el flujo de electrones entre la punta del STM y la superficie del material estudiado mientras se varía el voltaje aplicado a la punta (tensión de polarización).

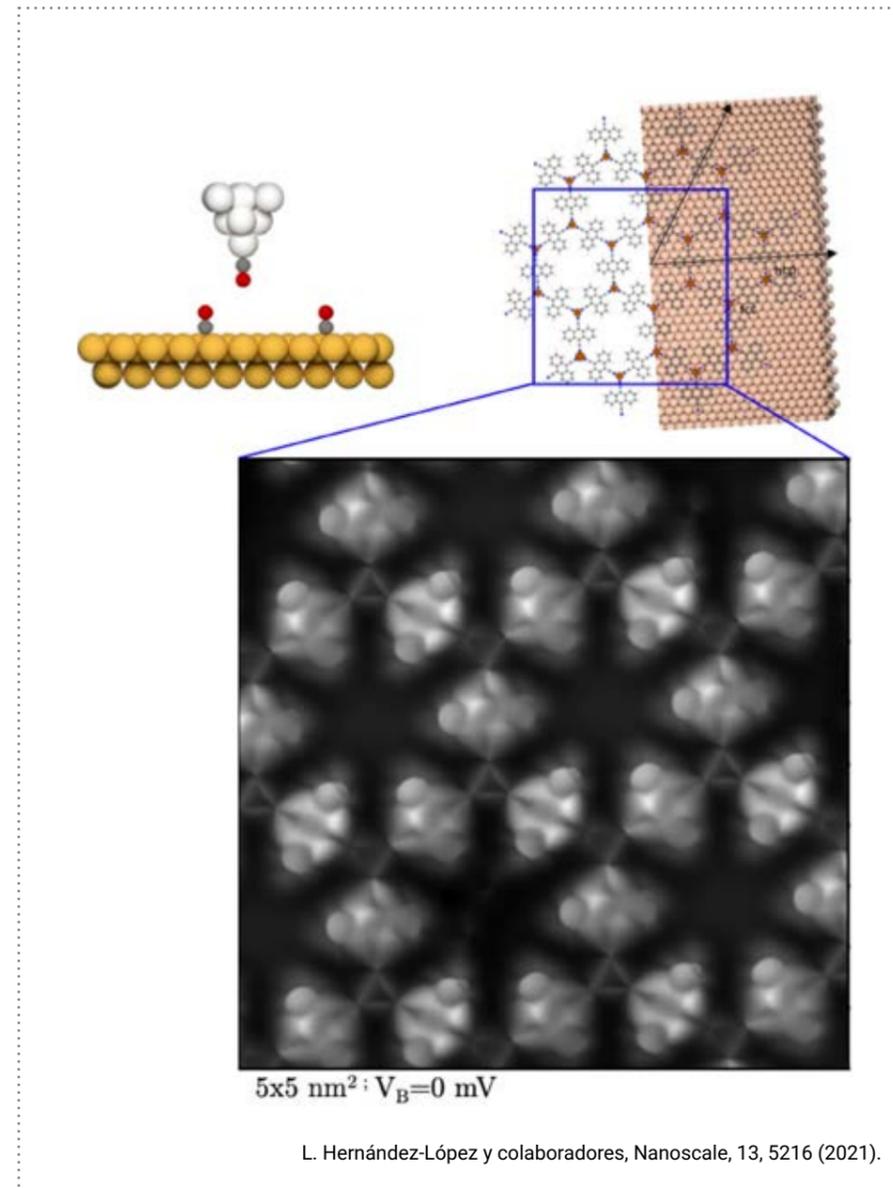
Analizando las curvas de corriente-voltaje, la STS proporciona información sobre los estados electrónicos del material, como sus niveles de energía, densidad de estados y propiedades electrónicas locales. Algunas aplicaciones son el estudio de los estados superficiales en semiconductores y metales; las propiedades electrónicas de moléculas individuales en una superficie, que proporciona información sobre el comportamiento de dispositivos electrónicos moleculares; y la química en superficie, mostrando la estructura electrónica de la superficie y la molécula durante el proceso de reacción química.

MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA

La microscopía de barrido de efecto túnel inspiró el desarrollo de otras técnicas de microscopía de sonda de barrido, como el microscopio de fuerza atómica

(AFM), que utiliza un esquema similar pero basado en las fuerzas entre la punta y la muestra en lugar de la corriente de efecto túnel. La técnica de AFM se ha convertido en una herramienta muy versátil en ciencia de materiales, aunque ofrece menor resolución espacial que la STM, es menos exigente en cuanto a la limpieza, estabilidad, vacío y ambiente en el que tiene que estar la muestra, siendo por ello útil no solo en ciencia de materiales, sino en biología, magnetismo, y muchas otras áreas de investigación.

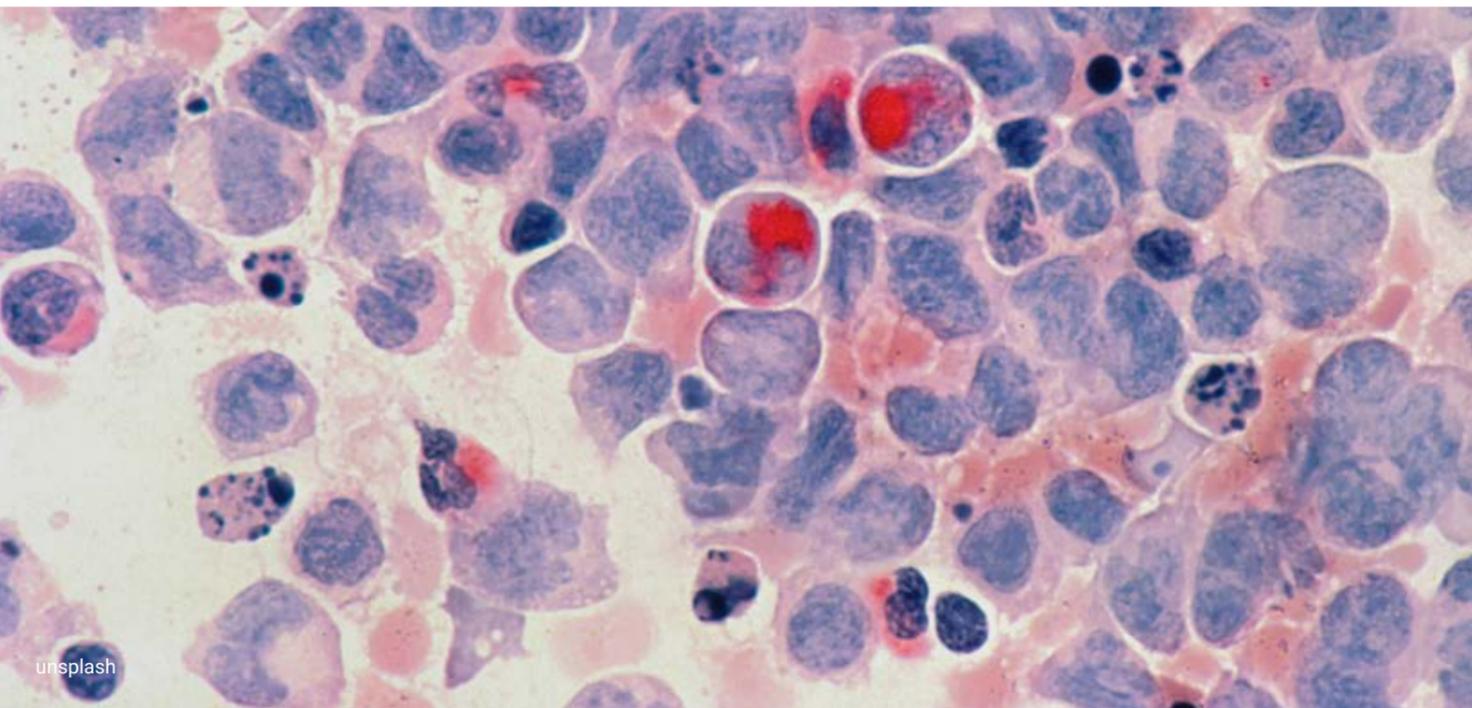
“La STM ha revolucionado nuestra comprensión de la estructura atómica y molecular de los materiales y ha contribuido al desarrollo de nuevas tecnologías.”



Izquierda: funcionalización de una punta metálica con una molécula de CO que “afina” la punta al tamaño de un átomo de oxígeno.

Derecha, arriba: esquema de un patrón auto-ensamblado de 9,10 di-cyano-antraceno coordinado con Cu sobre Cu(111).

Derecha, abajo: imagen STM con punta funcionalizada. Los orbitales moleculares y, en particular, algunos de los ciclos bencénicos son especialmente claros. Bruno Solano habría disfrutado con esta imagen.



CONCLUSIÓN

La microscopía de barrido por efecto túnel (STM) hizo realidad en los años 80 del siglo XX la posibilidad de “observar” átomos y moléculas individuales mediante la visualización de la corriente de túnel.

La STM ha tenido unos magníficos primeros 40 años. Con esa edad, es una técnica madura pero aún plena de vigor para seguir generando más ciencia y tecnología en áreas con gran proyección. Además, la STM ha sido una técnica generadora de otras nuevas, como AFM, non-contact AFM, STM resuelto en espín, STS, entre otras,

cada una de ellas generadora de grandes contribuciones científicas. La STM ha revolucionado nuestra comprensión de la estructura atómica y molecular de los materiales y ha contribuido al desarrollo de nuevas tecnologías. Confiamos en que siga haciéndolo mucho tiempo.

Fernando Bartolomé
Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón
CSIC - Universidad de Zaragoza

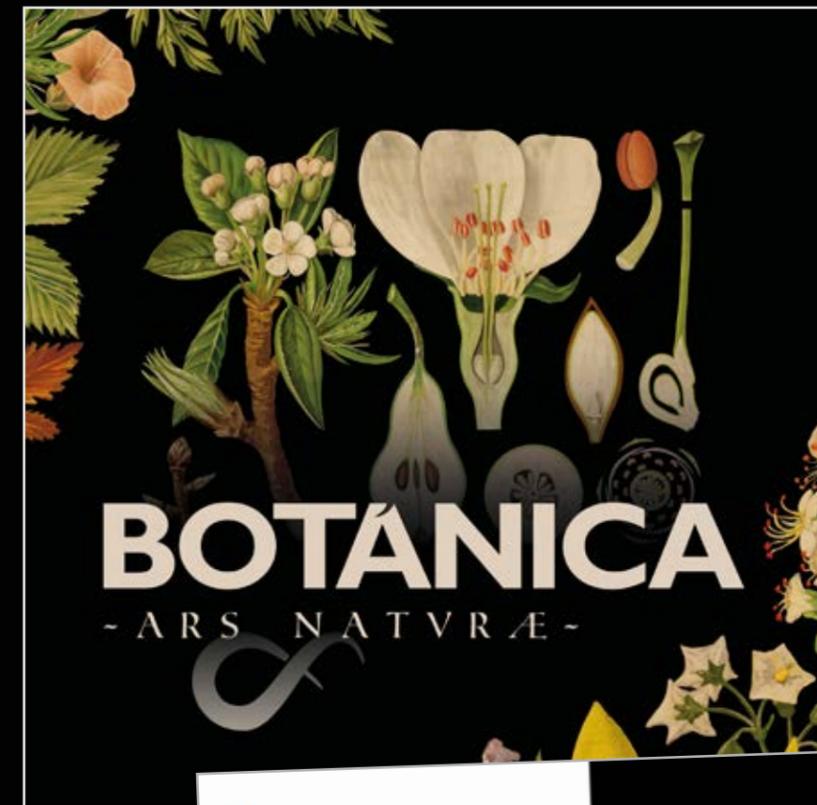
.....

PUBLICACIONES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

.....



Deposito permanente de instrumentos históricos
laboratorio de la Facultad de Ciencias,
Universidad de Zaragoza.



Descárgalas gratis

INSTRUMENTA
https://ciencias.unizar.es/sites/ciencias/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion_social/instrumenta.pdf

LOS ÁRBOLES DEL CAMPUS
https://ciencias.unizar.es/sites/ciencias/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion_social/los_arboles_del_campus.pdf

BOTÁNICA ARS NATVRÆ
https://ciencias.unizar.es/sites/ciencias/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion_social/botanica_ars_naturae.pdf

XXV CONCURSO DE FOTOGRAFÍA “SAN ALBERTO MAGNO” Y III CONCURSO DE FOTOGRAFÍA “MOVILIDAD INTERNACIONAL: CAMBIANDO VIDAS, ABRIENDO MENTES”

Dentro del marco de la festividad del patrón de la Facultad de Ciencias se convocó, en octubre de 2022, el XXV Concurso de Fotografía “San Alberto Magno”, con el patrocinio de la Cátedra Ibercaja de Innovación Bancaria de la Universidad de Zaragoza. Este concurso versa sobre imágenes relacionadas con la actividad científica, así como con la visión artística de la Ciencia, y está abierto a todos los miembros de la comunidad universitaria. En esta edición se presentaron un total de 8 obras. La comisión evaluadora de esta edición del concurso estuvo compuesta por Luis Morellón (Decano

de la Facultad de Ciencias), Guillermo Laplana (Gabinete de Imagen y Comunicación de Universidad de Zaragoza), Mar Alcántara (Encargada de Conserjería de la Facultad de Ciencias) y Álvaro García (Estudiante de Doctorado). Las obras premiadas en esta edición fueron:

- Primer premio: “Espiral” de Luis Rández.
- Segundo premio: “Ionización sináptica” de Ángel Sanz.

Además, se convocó también el III Concurso de fotografía “Movilidad internacional: cambiando vidas, abriendo mentes” que pretende que las personas que han participado en acciones de movilidad muestren lo que les ha supuesto esta experiencia a través de imágenes. En esta edición se presentaron un total de 17 obras. La comisión evaluadora estuvo compuesta por Luis Morellón (Decano de la Facultad de Ciencias), Juan Antonio Vallés (Vicedecano de Internacionalización y Programas de Movilidad) y Jesús Cervero (Relaciones Internacionales de la Facultad de Ciencias). Las obras premiadas en esta edición fueron:

- Primer premio: “¿Y si, aun estando en la otra orilla, nos pusiésemos en sus zapatos?” de Inés Lanau.
- Segundo premio: “Encallado descansa en el rompiente de las olas” de Ignacio Paricio.
- Tercer premio: “The key to survival is to stay together” de Paola Monguilod.

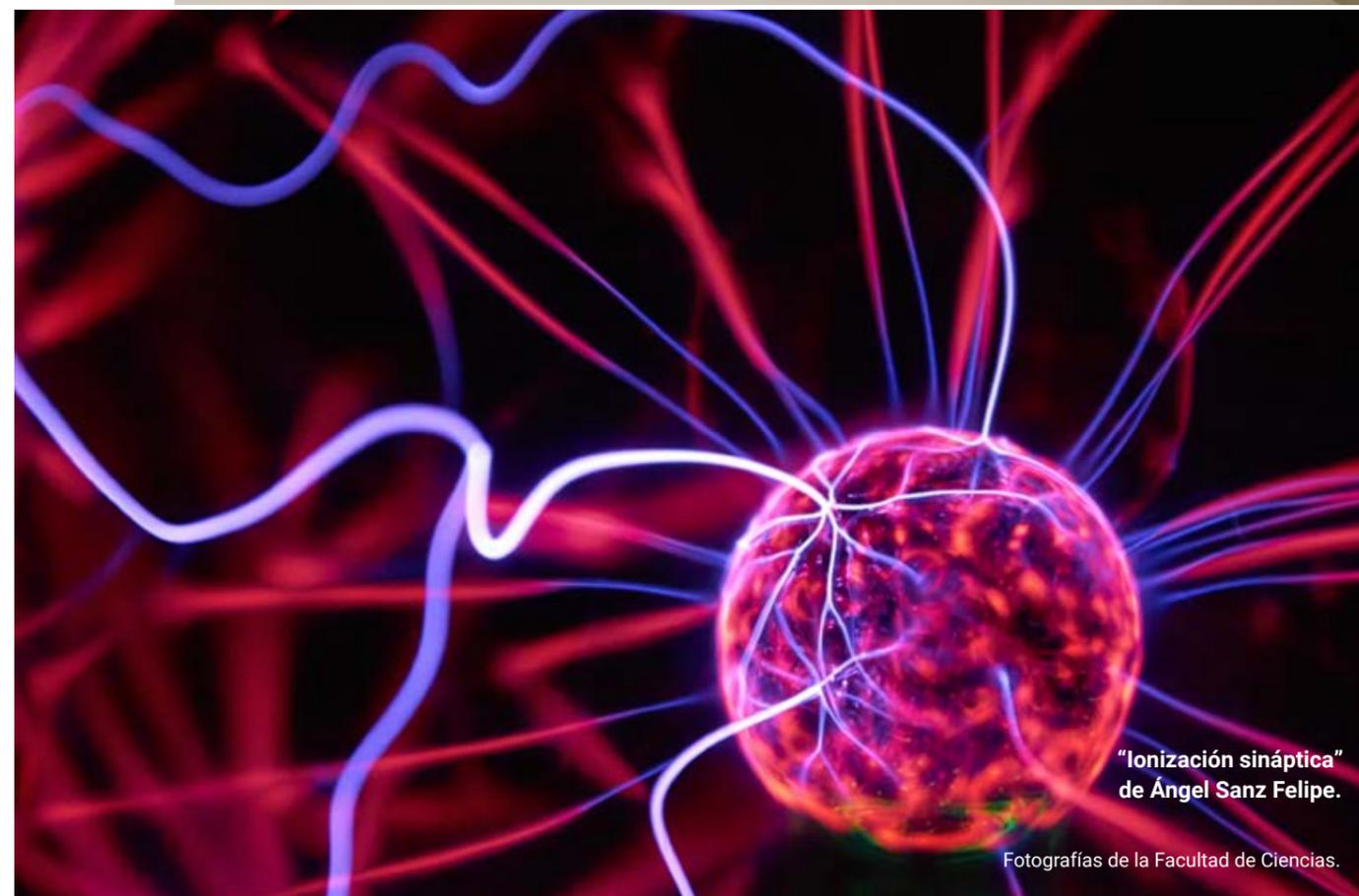
Todas las fotografías han estado expuestas en el hall del edificio D (Químicas) de la Facultad y pueden verse en el vídeo “Mundo y Ciencia a través de tus ojos”, disponible en el canal de YouTube de la Facultad.¹ Las obras premiadas en esta edición pueden verse también en la página web de la Facultad.²

Susana Cebrián
Vicedecana de Proyección Social y Comunicación
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

1. <https://www.youtube.com/watch?v=tCYMnYmabYs>
2. <https://ciencias.unizar.es/concurso-de-fotografia-san-alberto-magno>
3. <https://ciencias.unizar.es/intymov-acciones-de-internacionalizacion>



“Espiral”
de Luis Rández García.



“Ionización sináptica”
de Ángel Sanz Felipe.

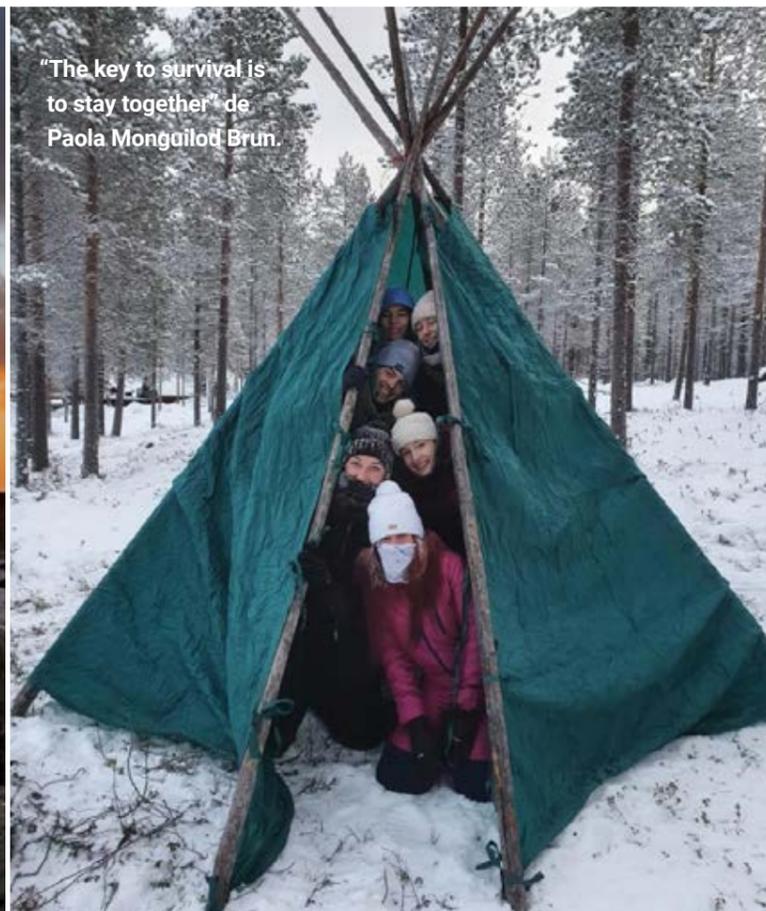
Fotografías de la Facultad de Ciencias.



“¿Y si, aun estando en la otra orilla,
nos pusiésemos en sus zapatos?”
de Inés Lanau Puzo.



“Encallado descansa en el rompiente de las olas” de Ignacio Paricio Brugada.



“The key to survival is to stay together” de Paola Monguilod Brun.

Fotografías de la Facultad de Ciencias.

VIII CONCURSO DE RELATOS CORTOS “FACULTAD DE CIENCIAS”

Con motivo de la festividad del patrón de la Facultad de Ciencias se convocó, en octubre de 2022, el VIII Concurso de Relatos Cortos “Facultad de Ciencias”, con el patrocinio de la Cátedra IQE de la Universidad de Zaragoza. En este concurso pueden participar todos los miembros de la comunidad universitaria que presenten relatos científicos o relacionados con la Ciencia. En esta edición se presentaron un total de 25 obras que se han expuesto en el hall del edificio D (Químicas) de la Facultad de Ciencias.

La comisión evaluadora de esta edición del concurso estuvo formada por: José María de Teresa (Escritor e Investigador del Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón), Aránzazu Luzón (Vicedecana de la Facultad de Ciencias), Roberto Soriano (Director Biblioteca de la Facultad de Ciencias) y Andrés Gordo (Estudiante del Grado de Biotecnología).

Los relatos premiados en esta edición fueron:

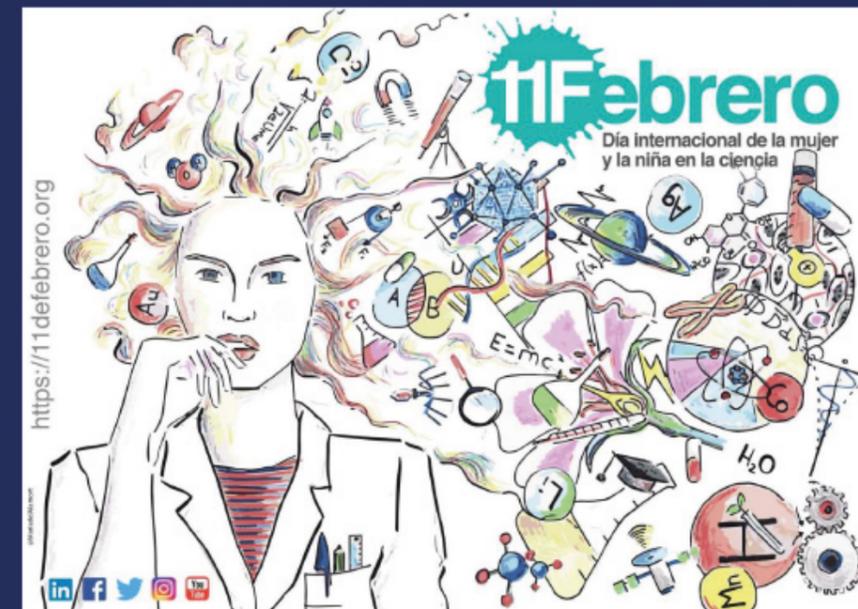
- Primer Premio: “El brillo en los ojos de la experiencia” de Carmen Aloka Ruiz.
- Segundo Premio: “Lo desconocido” de David Benedicto Baselga.

Estos relatos pueden encontrarse en la página web de la Facultad:

<https://ciencias.unizar.es/concurso-de-relatos-cortos>

Susana Cebrián
Vicedecana de Proyección Social y Comunicación
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

CELEBRACIÓN DEL DÍA DE LA MUJER Y LA NIÑA EN LA CIENCIA



AGENDA FACULTAD DE CIENCIAS 2023

Miércoles, 8 de febrero Mesa redonda con científicas del INMA

Participan: M^a Ángeles Laguna, Sara Fuerza, M^a Cristina Momblona y las ganadoras de FEnanoMENOS
Lugar: Ámbito Cultural El Corte Inglés (Paseo de la Independencia 11, Zaragoza). Hora: 10:30-11:30 h

Jueves, 9 de febrero Charla Conócelas de ASEICA (Asociación española de investigación sobre el cáncer) “¿Cómo llegar a la investigación en cáncer?” por Pilar Espiau

Lugar: Sala de Grados, edificio A. Hora: 12 h

Jueves, 9 de febrero Charla del ciclo Encuentros con la Ciencia “Para ser Marie Curie solo hace falta ...” por Ana Elduque

Lugar: Ámbito Cultural El Corte Inglés (Paseo de la Independencia 11, Zaragoza). Hora: 19 h

Viernes, 10 de febrero Taller “Hola, somos científicas”

Organizan: M^a Eugenia Dies y Elisabet Pires
Visitante: CEIP José María Mir
Lugar: Hall de los edificios A y D. Hora: 10 a 13 horas

Sábado, 11 de febrero Especial 11F de HI Score Science: mujer, ciencia y videojuegos

Organiza: INMA, ISQCH, otros
Lugar: Etopia. Hora: 11 a 13 horas

Martes, 14 de febrero Desayuno con científicas

Organiza: ISQCH
Lugar: Sala de Grados, edificio A y online. Hora: 12 h

Jueves, 23 de febrero De copas con la ciencia: especial mujer y ciencia

Organiza: INMA, ISQCH
Lugar: El Sótano Mágico (C/ San Pablo 43, Zaragoza). Hora: 20 h

X EDICIÓN DEL PREMIO JOSÉ MARÍA SAVIRÓN DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

El Premio de Divulgación Científica José María Savirón, instaurado en 2005 y que lleva el nombre de un eminente científico y maestro excepcional, se concede a aquellas personas o entidades que, a juicio del Jurado, han realizado una meritoria labor para acercar la cultura científica y tecnológica a la sociedad. El premio, organizado por la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza, cuenta con la colaboración de diversas instituciones, incluyendo colegios profesionales, institutos de investigación y reales sociedades:

<https://ciencias.unizar.es/noticia/x-edicion-del-premio-de-divulgacion-premio-jose-maria-saviron-solicitudes-hasta-el-30-de>

El Jurado de la X edición del premio, convocada en 2022, estuvo constituido por Luis Oriol (Facultad de Ciencias, Presidente), José Luis Simón (Real Academia de Ciencias de Zaragoza), Josefina Pérez-Arantegui (Institutos de Investigación, IUCA), Scott Mitchell (Institutos de Investigación, INMA, Secretario), M^a Concepción Gimeno (Reales Sociedades, RSEQ), Juan José Ortega (Colegios Profesionales, Colegio Oficial de Químicos de Aragón

y Navarra) y Rosa Pilar Villacampa (Colegios Profesionales, COFIS-Aragón). El acto de entrega de premios se celebró en el Aula Magna del Edificio Paraninfo de la Universidad de Zaragoza la mañana del 14 de abril. Premiados y asistentes pudieron además realizar a continuación una visita a la exposición "Eistein & La Ciencia Aragonesa" en el Edificio Paraninfo, guiada por la comisión organizadora.

El galardón en su modalidad "Premio a la Trayectoria en Divulgación" fue otorgado a Amelia Ortiz Gil del Observatorio Astronómico de la Universidad de Valencia, por la calidad y originalidad de sus actividades, que han tenido un claro impacto social e inspirador en nuevas generaciones sobre la belleza e importancia de la ciencia y que incluyen actividades que muestran una alta sensibilidad y utilidad social y que son inclusivas, imaginativas, y favorecen que la ciencia permee a toda la sociedad.

"Premio a la Trayectoria en Divulgación" concedido a Amelia Ortiz.



a y b) "Premio a Jóvenes Divulgadores" concedido ex aequo a Daniel Pellicer e Inés Mármol.

c) Reconocimiento a título póstumo a José Ignacio García Laureiro.



Fotografías de la Facultad de Ciencias.

El "Premio a Jóvenes Divulgadores" fue concedido ex aequo a Daniel Pellicer Roig de la Universidad de Valencia e Inés Mármol Peguero del Instituto de Investigación Sanitaria de Aragón. El Jurado destacó la proyección de ambos candidatos, su trayectoria polifacética, su capacidad y el uso de medios diversos para hacer que la ciencia tenga una repercusión directa a la sociedad.

Además, de forma unánime se concedió el merecido reconocimiento a título póstumo a José Ignacio García Laureiro, Profesor de Investigación en el Instituto de Síntesis Química y Catálisis Homogénea (CSIC-Universidad de Zaragoza). José Ignacio fue un gran impulsor y visionario de la importancia de la divulgación científica, con una extensa y meritoria labor en Aragón, así como un excelente científico, con extraordinaria formación humanista y cualidades personales.

Felicitamos a los premiados y agradecemos el desinteresado trabajo de las personas e instituciones que hacen posible la realización de este acontecimiento.

Susana Cebrián
Vicedecana de Proyección Social y Comunicación
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

Imágenes del acto y de la visita posterior.



Fotografías de la Facultad de Ciencias.



Encuentros con la Ciencia

Ciclo de charlas de divulgación científica

Ámbito Cultural El Corte Inglés (Paseo de la Independencia 11, Zaragoza)
Octubre 2022 - Junio 2023 / 19 horas

"TEBEOS Y CIENCIA, NI MUCHO MENOS UN AMOR IMPOSIBLE"
Santiago Gonzalo / 20 de octubre

"LA NEUROTECNOLOGÍA: ¿TECNOLOGÍA DISRUPTIVA O PUBLICIDAD ENGAÑOSA?"
José M^o de Teresa / 24 de noviembre

"RADIACIONES EN MEDICINA: USOS Y GESTIÓN DE RIESGOS"
Javier Jiménez / 15 de diciembre

"OTRA EDUCACIÓN" (coloquio coordinado por Ana Elduque)
Ana Pilar Zaldivar y José Luis Melero / 12 de enero

"PARA SER MARIE CURIE SOLO HACE FALTA..."
Ana Elduque / 16 de febrero

"MOMENTOS ESTELARES DE LA MÚSICA MILITAR EN ESPAÑA"
Roberto Sancasto / 16 de marzo

"EL NACIMIENTO DEL MAR MEDITERRÁNEO"
Gonzalo Pardo y Concha Arenas / 20 de abril

"VINOS. ARTE Y TÉCNICA"
Fernando Mora / 11 de mayo

"MITOS Y RITOS DEL ALTOARAGÓN"
Severino Pallaruelo / 15 de junio

Organizan:

Ana Isabel Elduque (Universidad de Zaragoza)
José Manuel Vicente (Centro Universitario de la Defensa)
Alberto Vito (Ayuntamiento de Zaragoza)
Juan José Ortega (Colegio Oficial de Químicos de Aragón y Navarra)
Fernando Bartolomé (Real Sociedad Española de Física en Aragón)

Patrocinan:

Etopia (Ayuntamiento de Zaragoza)
Fundación Zaragoza Ciudad del Conocimiento
Colegio Oficial de Químicos de Aragón y Navarra
Cátedra IQE
Real Sociedad Española de Física en Aragón
Ámbito Cultural de El Corte Inglés

Colaboran:

Albireo Cultura Científica
Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza

¡¡No te pierdas la edición 21 de Encuentros con la Ciencia!!

21 AÑOS DE "ENCUENTROS CON LA CIENCIA"

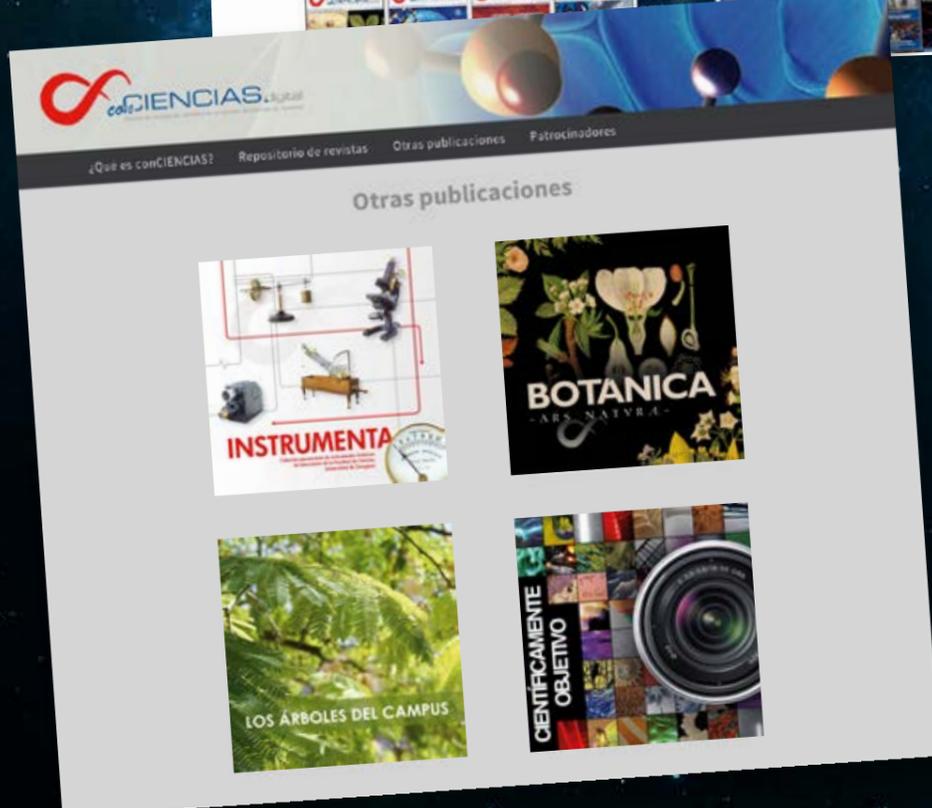
El ciclo de conferencias "Encuentros con la Ciencia" se ha desarrollado en el curso 2022-23 en su vigésimo primera edición. Desarrollado en "Ámbito Cultural" de El Corte Inglés de Zaragoza cuenta con los siguientes organizadores: Colegio Oficial de Químicos de Aragón y Navarra, Etopia y Fundación Zaragoza Ciudad de Conocimiento (Ayuntamiento de Zaragoza), Cátedra IQE (Industrias Químicas del Ebro), Facultad de Ciencias (Universidad de Zaragoza) y Real Sociedad Española de Física en Aragón.

En el curso 22-23 se han planificado nueve conferencias de carácter divulgativo y temáticas variadas. El ciclo de charlas tiene una periodicidad mensual de octubre a diciembre y de enero a junio. La asistencia de público a las mismas ha sido muy elevada superando las expectativas iniciales, lo que indica una fidelización a este ciclo de divulgación activa en nuestra ciudad.

Equipo Editorial



¡¡15 años divulgando la Ciencia!!



divulgacionciencias.unizar.es

Nº 1 conCIENCIAS. Descubre la revista de tu Facultad.

Olimpiada Matemática. *Elduque A. I.* (10)
III Olimpiada Española de Biología. Fase Aragón.
Peña R. (11)
XXI Olimpiada Química 2008. *Palacián S.* (12)
Fase Aragonesa de la XIX Olimpiada Española de Física. *Martínez J. P.* (13)
La biblioteca de la nueva sociedad. *Soriano R.* (24)
Presentación del Senatus Científico. *Elduque A. I.* (42)
Agua y Vida. *Sancho J.* (44)

Nº 2 conCIENCIAS.

El Cosmos, la Tierra, el Hombre y la Vida.

Fósiles del universo primitivo.
Sarsa M. L. y García E. (6)
Proyecto SSETI. *Marín-Yaseli J.* (14)
2008, Año Internacional del Planeta Tierra.
Meléndez A. (16)
Día de la Tierra en la Facultad de Ciencias.
Simón J. L. (26)
Las edades de la Tierra.
Liñán E., Gámez J. A. y Dies M. E. (28)
Dinosaurios, meteoritos, cambio climático y extinciones. *Canudo J. I.* (36)
El hombre de Atapuerca del siglo XXI. *Cuenca G.* (42)
¿Qué es la vida?. *Usón R.* (54)
Vida extraterrestre. *Boya L. J.* (56)
Vida y geología. *Sánchez Cela V.* (64)
Impresiones sobre mi vida científica.
Núñez-Lagos R. (70)

Nº 3 conCIENCIAS.

2009: DARWIN, ASTRONOMÍA, CRISIS Y...

Biología del Cáncer. *Boya L. J.* (6)
Origen del oxígeno atmosférico terrestre.
Sánchez Cela V. (16)
Darwinismo: la evolución selectiva. *Amaré J.* (22)
Curiosidades sobre Darwin. *M. L. Peleato* (32)
2009: Año Internacional de la Astronomía. *Virto A.* (38)
Planetas y exoplanetas I. *Elípe A.* (46)
Continente con contenido. *Elduque A. I.* (54)
El Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza. *Liñán E.* (58)
¿Está la Ciencia en crisis?. *Sesma J.* (66)
¿Crisis en matemáticas?. *Garay J.* (70)
Premio Don Bosco. *Rubio M.* (76)
Premio J.M. Savirón de Divulgación Científica.
Carrión J. A. (84)

Nº 4 conCIENCIAS.

LA CIENCIA: UN ESPACIO PARA TODOS.

El aceite de oliva, un reto para los científicos.
de la Osada J. (6)
La renovación del paisaje. *García Novo F.* (12)
La magia de las astropartículas.
Cuesta C., Pobes C. y Sarsa M. L. (28)
Planetas y exoplanetas II. *Elípe A.* (32)
El Universo desde Javalambre. *Moles M.* (38)
Mi despacho. *Echenique P.* (56)
Matemáticas, ¿puras o aplicadas?. El caso de la geometría proyectiva. *Etayo F.* (62)
Vigencia y actualidad de la Teoría de la Evolución.
de Azcárraga J. A. (74)
**¡Arde la Facultad!.
Álvarez A. (96)
La nueva Ley de Ciencia y Tecnología.
Elduque A. I. (102)
Espacio Europeo de Educación Superior. *Artal E.* (114)**

Nº 5 conCIENCIAS. CRISIS. ¿QUÉ CRISIS? LA CIENCIA ANTE EL NUEVO MILENIO.

Los glaciares del Pirineo Aragonés: una singularidad de gran valor. *del Valle J.* (6)
2010: Año Internacional de la Biodiversidad.
Martínez Rica J. P. (16)
Geometría de la ciudad. *Sorando J. M.* (30)
El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva. *Vicente J. M.* (40)
¿Error o incertidumbre?. *Núñez-Lagos R.* (54)
Biología olímpica. *Peña R.* (68)
Formación para el empleo y encuentro con la empresa.
Sarsa M. L. (78)
El reto que viene: sociedad, ciencia y periodismo.
Sabadell M. A. (84)
Historia de unos libros viajados. *Elduque A. I.* (94)
El LHC llega a Zaragoza. *Virto A.* (98)



Nº 6 conCIENCIAS.

¿CIENCIAS?, ¿HUMANIDADES?... ¡CULTURA!

El impacto meteorítico que hizo temblar la vida en la tierra. *Alegret L., Arenillas I. y Arz J. A.* (6)
La Ciencia en la Zaragoza del siglo XI. *Corral J. L.* (14)
Hablando de... Química. *Elduque A. I.* (24)
Consecuencias del fuego en los paisajes mediterráneos.
Eceverría M., Pérez F., Ibarra P. y de la Riva J. R. (32)
Un personaje singular en la historia de meteorología: Benjamin Franklin. *Uriel A. E. y Espejo F.* (44)
El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva (II). *Vicente J. M.* (52)
La radiactividad. *Lozano M. y Ullán M.* (64)
Peregrinaje matemático en el camino de Santiago.
Miana P. J. (76)
A las puertas de 2011: Año Internacional de la Química. *Carreras M.* (84)



Nº 7 conCIENCIAS.

Ciencia, pensamiento y... MUCHA QUÍMICA.

¿Cómo se puede explicar el altruismo humano?.
Soler M. (6)
Nanoseguridad: confrontando los riesgos de la Nanotecnología. *Balas F. y Santamaría J.* (16)
Algunas reflexiones alrededor de nuestra Química.
Elguero J. (26)
El hidrógeno como combustible. *Oreara V. M.* (42)
Una visión de la Química desde la empresa.
Villarroya J. (54)
Maya o Shogun. *Pétriz F.* (58)
La ética profesional de los docentes y los sistemas de evaluación. *Elduque A. I.* (62)
La Isla Decepción: un volcán activo bajo el hielo antártico.
Gil A., Gil I., Maestro A., Galindo J. y Rey J. (76)
La profesión del químico.
Comenge L. y Palacián S. (88)
Modelización y simulación. La asignación alfabética de apellidos. *Cruz A.* (100)
Conocer, tras ver, para actuar: la componente matemática. *Díaz J. I.* (110)

Nº 8 conCIENCIAS.

ARTE Y CIENCIA: LA ESTÉTICA DEL CONOCIMIENTO.

El cambio climático. *Uriel A.* (6)
Metales en Medicina. *Laguna A. y Gimeno Mª C.* (16)
Ibones del Pirineo aragonés: lagos glaciares entre agrestes montañas.
del Valle J., Arruebo T., Pardo A., Matesanz J., Rodríguez C., Santolaria Z., Lanaja J. y Urieta J. (30)
Leer el periódico con ojos matemáticos. *Ibañez R.* (48)
AMS-02: la odisea de un detector de rayos cósmicos.
Aguilar M. (58)
Arte y Ciencia: la invención de la litografía.
Pagliano S. (76)
El legado del Año Internacional de la Química.
Elduque A. I. (92)
Los microRNA: pequeñas moléculas, grandes reguladoras. *Lizarbe Mª A.* (98)
IMAGINARY, una mirada matemática.
Artal E., Bernués J. y Lozano Imízcoz Mª T. (110)
El túnel subterráneo de Canfranc: 25 años apasionantes. *Villar J. A.* (116)

Nº 9 conCIENCIAS.**NUEVOS TIEMPOS, RETOS DESCONOCIDOS.**

Tras las huellas de los dinosaurios. *Canudo J. I. (4)*

Larga vida a la superconductividad.

Camón A., Mazo J. J. y Zueco D. (16)

Marte en lontananza. *Díaz-Michelena M. (26)*

Y la Medicina se hizo Ciencia, ¿o no? . *Gomollón F. (38)*

Marie Curie: Ciencia y Humanidad. *Román P. (48)*

Iberia cartesiana. *Boya L. J. (62)*

Tiempos nuevos. *Elduque A. I. (72)*

Homenajes a la Ciencia en Zaragoza.

Sorando J. M. (84)

Nº 10 conCIENCIAS.**UN ANIVERSARIO PARA MEDITAR.**

Estética, creatividad y Ciencia. *Franco L. (4)*

Reflexión sobre principios de la divulgación científica. *Mira J. (16)*

Terremotos y tsunamis. *González A. (24)*

El día más largo de mi vida. *Pobes C. (38)*

Zaragoza matemática. *Sorando J. M. (52)*

La Responsabilidad Social de la información (bio) química. *Valcárcel M. (72)*

Un aniversario para meditar. *Elduque A. I. (84)*

Claves para la excelencia universitaria: pasado y futuro inmediato del Campus Íberus.

López Pérez M. (94)

Una vieja historia para el Cincuentenario del Edificio de la Facultad de Ciencias. *Carrión A. (102)*

El emblema histórico de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza. *Bernués J. y Rández L. (108)*

Ramanujan: un matemático ejemplar para todos.

López Pellicer M. (114)

Nº 11 conCIENCIAS. CIENCIA: EL CAMINO SIN FIN

Ernest Rutherford: padre de la Física Nuclear y alquimista. *Román P. (4)*

La Prevención de Riesgos en Laboratorios de Química. *Blein A. (20)*

El origen de la teoría cuántica del átomo. Niels Bohr, 1913. *Boya L. J. (50)*

Másteres: pasado, presente y futuro. *Elduque A.I (66)*

Estancias de verano para estudiantes. *Bolsa M. (78)*

El cambio global y el Antropoceno; más allá del clima.

Bruschi V., Bonachea J., Remondo J., Forte L. M.,

Hurtado M. y Cendrero A. (42)

Nº 12 conCIENCIAS. ERÁSE UNA VEZ LA CIENCIA

Matemáticas y Música. *Garay J. (4)*

La Ciencia vista por un hombre de letras. *Arce J. (14)*

Los comienzos de la era nuclear. *Núñez-Lagos R. (30)*

Einstein en Zaragoza. *Turrión J. (46)*

Entendiendo la Estadística: modelos, controversias e interpretaciones. *Cristóbal J. A. (60)*

¿Hay alguien ahí fuera? *Elduque A. I. (76)*

Leiden: lecciones de Ciencia y Universidad.

Bartolomé F. (96)

La Matemática desde Zaragoza. *González S. (106)*

Nº 13 conCIENCIAS.**LA CIENCIA Y SU IMPORTANCIA SOCIAL**

Henry Moseley: rayos X, tabla periódica y guerra.

Román P. (4)

Los asesinos del sistema inmunitario.

Anel A., Martínez-Lostao L. y Pardo J. (22)

Biolingüística: breve biografía de una disciplina emergente. *Mendivil J. L. (30)*

Polímeros: de macromoléculas a materiales.

Piñol M. y Oriol L. (46)

Geología para una Nueva Cultura de la Tierra.

Simón J. L. (64)

La reforma que nos va a llegar. *Elduque A. I. (76)*

Espirales en la naturaleza: una incursión en la

Biomatemática recreativa. *Gasca M. (88)*

**Nº 14 conCIENCIAS. OBJETIVO: SABER**

El día que el universo creció enormemente.

Martínez V.J. (4)

Baade y Zwicky, la extraña pareja. *Pérez Torres M. (14)*

Leiden: más lecciones de Ciencia y Universidad.

Bartolomé F. (22)

La Colección de Minerales de la Facultad de Ciencias de Zaragoza. *Calvo M. (42)*

El último ser vivo. *Sabadell M.A. (56)*

35 años del Seminario Rubio de Francia. *Alfaro M. (66)*

¿Es 4+1 igual a 3+2? *Elduque A. I. (92)*

IAESTE: un puente hacia el mundo laboral.

Rísquez E. y Garzo R. (94)

¿Estás preparado para trabajar en el extranjero?

Gracia G. y Sarsa M. (102)

Nº 15 conCIENCIAS. Al principio, LA CIENCIA

Gamow, Alpher y el Big Bang. *Pérez Torres M (4)*

2015: En torno a Einstein y su Teoría de la Relatividad (una reflexión por encargo). *Turrión J. (10)*

Los Árboles del Edén: pequeña incursión en la

Botánica mítica. *Martínez Rica J. P. (26)*

Cristales en los alimentos.

Cuevas-Diarte M. A., Bayés-García L., y Calvet T. (44)

Química Forense ¿Ciencia o Ficción?

Montalvo G. y García-Ruiz C. (58)

Un modelo universitario. *Elduque A. I. (72)*

Hilbert y los fundamentos de la Matemática.

Bombal F. (86)

Nº 16 conCIENCIAS. Una visión emotiva de la Ciencia

El poder de las emociones. Aprender a convivir con ellas. *Aceña J. (4)*

Cooperación en Salud Visual en África. *Bea A. (18)*

Óptica y Arte: Salvador Dalí creador de imágenes.

Vallés J. A. (26)

Las Conferencias Solvay: una oportunidad para la didáctica (parte I).

Pinto G., Martín M. y Martín M.T. (46)

El poder de los cristales. *Bauluz B. (66)*

Una experiencia docente con Ibercivis.

Pelacho M. (74)

Los elementos químicos. *Boya L J. (88)*

Nº 17 conCIENCIAS. Simplemente CIENCIA

Las Conferencias Solvay: una oportunidad para la didáctica (parte II).

Pinto G., Martín M. y Martín M.T. (4)

La era del silicio. De la arena al microprocesador.

Aldea C. (22)

Edificios de consumo de energía casi nula: ¿Es posible? *Rodríguez B. (42)*

Una nueva política educativa. *Elduque A. I. (58)*

El Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza. *Canudo J. I. (68)*

Ars Qubica, el patrón geométrico de la belleza. *Miana P. J., Corbalán F., Rández L., Rubio B. y Vila C. (86)*

La Química en mi vida. *Carreras Ezquerro M. (98)*

La Ciencia explicada a los Niños. Hoy... "Ondas Gravitacionales". *Bartolomé F. y García-Nieto D. (110)*

Nº 18 conCIENCIAS. La CIENCIA y el TODO

La Química a través del espejo. *Gomollón-Bel F. (4)*

Riadas del Ebro: comprenderlas sin miedo.

del Valle J. (14)

Átomos y moléculas de cristal. *Martínez-Ripoll M. (24)*

El Paleomagnetismo y el viejo geólogo.

Pardo G., Pérez F.J. y Arenas C. (36)

Dieta Mediterránea y Salud Pública.

Mauriz Turrado I., y Martínez Pérez J. M. (50)

Matemáticas en los bolsillos: los dígitos de control.

Gasca M. (66)

La RSME en Aragón. *Miana P. J. (76)*

Nº 19 conCIENCIAS. PASIÓN POR EL CONOCIMIENTO

Las cuevas heladas del Pirineo: crónica de una sorpresa efímera. *Sancho C., Belmonte A.,*

Bartolomé M., Leunda M. y Moreno A. (4)

Viaje a los Campamentos de Refugiados Saharais.

Vallés J. A. y Collados Mª V. (20)

Una nueva política académica. *Elduque A. I. (30)*

El fascinante mundo de los Insectos.

Lantero J. M. (42)

Miguel Servet: la Vida y la Ciencia. *Corral J. L. (66)*

La búsqueda de los restos de Cervantes. ¿Qué hay

debajo del suelo?. *Cubas Jiménez S. (80)*

Nº 20 conCIENCIAS. ¡20!

Un mundo de minerales. *Bauluz B. (4)*
El desarrollo de la carrera profesional. *Ortega J. J. (16)*
Un campeonato entre árboles: más alto, más grande, más viejo... *Martínez-Rica J. P. (24)*
La óptica en la China Oriental. *Vallés J. A. (42)*
Desafíos de la higiene, inspección y seguridad alimentarias para el tercer milenio.
Martínez J. M. y Mauriz I. (54)
El 40 aniversario de un paradigma en el análisis de cuencas sedimentarias.
Pardo G., Gonzalez A. y Arenas C. (70)

Nº 21 conCIENCIAS. SIGLO XXI.

Conciencia química y CO₂. *Fernández Álvarez F. J. (4)*
Mendeléiev y San Alberto Magno en el paraíso de los inmortales. *Román Polo P. (16)*
Los yacimientos minerales como indicadores ambientales en la tierra arcaica. *Subías I. (34)*
Biología sintética: La ingeniería de la naturaleza.
Nevot G. (48)
La arqueología subacuática: Hay que llegar al fondo.
Martin-Bueno M. (62)
Una definición Genérica de los másteres.
Elduque A. I. (78)

Nº22 conCIENCIAS. CIENCIA, SIEMPRE.

La verdadera historia de la balsa de piedra.
Pardo G. y Arenas C. (4)
Toumai: ¿Nuestro primer antepasado directo?
Armendáriz A. (16)
Antonio de Ulloa: Un patriota y científico ilustrado polifacético. *Pinto G. y Martín M. (24)*
Biopsia Virtual: Ver el cáncer invisible.
Jiménez Schuhmacher A. (36)
La ciencia en crisis: Los investigadores contra las revistas académicas. *Sabadell M. A. (52)*
María Andrea Casamayor: Matemática ilustrada.
Miana P. J. (68)
Un mundo lleno de ondas. *Martínez Jiménez J. P. (76)*

Nº23 conCIENCIAS. 150 AÑOS.

Año internacional de la tabla periódica de los elementos químicos. *Ortega J. J. (4)*
Henry Moseley: Rayos x, tabla periódica y guerra.
Román P. (18)
El éxodo de nuestros científicos. *Oro L. (36)*
Sobre el almacenamiento de agentes químicos en el laboratorio. *Blein A. y Elduque A. I. (48)*
Cristalografía y biominerales. *Moya R. (58)*
Paisajes que nos hemos perdido. *Pardo G. y Arenas C. (72)*

Nº24 conCIENCIAS. LA CIENCIA ES COSA DE MUCHOS.

Yo estuve una vez en África. *Gómez-Moreno C. (4)*
Un valor oculto del patrimonio frutal. De la biodiversidad a la gastronomía. *Errea Abad P. y González Bonillo J. (28)*
Mitología, cultura y arte en la tabla periódica de los elementos químicos. *Román Polo P. (38)*
Big data: La fiebre del siglo XXI: Reinventándose la estadística para los nuevos datos. *Olave Rubio P. (56)*
La química en la frontera: Más allá de buretas y tubos de ensayo. *Madrona Martínez H. (68)*
Del quinto postulado a la forma del universo.
Vigara Benito R. (80)

Nº25 conCIENCIAS. EN TIEMPOS DE CONFINAMIENTO

El neutrino y el origen de la materia.
Cuesta Soria C. (4)
Cómo construir “Construyendo la tabla periodica”.
Calvo M. (16)
Estructuras sedimentarias: más que *ludus naturae*.
Pardo G. y Arenas C. (28)
Agenda 2030. ¿hacen falta más datos?.
Elduque A. I. (50)
La Antártida, un paraíso para la investigación.
Anzano J., Cáceres J., Marina C. y Pérez-Arribas L. V. (60)
Bruno solano y los inicios de la facultad de ciencias de zaragoza. *Bartolomé F. (72)*
GuíaME-AC-UMA: un programa de apoyo al alumnado de altas capacidades intelectuales.
Viguera Mínguez E. y Grande Pérez A. (84)
Las palabras detrás de la pandemia. *de Blas I. (94)*

Nº 26 conCIENCIAS. CONOCIMIENTO, el eterno “CRESCENDO”.

Del Río, descubridor del eritronio, hoy vanadio.
Pinto G. (4)
Desperfectos en la naturaleza: ¿qué nos enseñan las estructuras sedimentarias de deformación?
Pardo G. y Arenas C. (26)
Camino hacia el liderazgo. *Aceña J. (44)*
La influencia del color en la Historia de la Química.
de Jesús E. (58)
Los números detrás de la pandemia. *de Blas I. (88)*

Nº 27 conCIENCIAS. EL CONOCIMIENTO siempre empieza por el APRENDIZAJE.

El tiempo entre dolinas. *Soriano M. A. y Pocovi A. (4)*
Jacques Hadamard en Zaragoza. *Miana P. J. (22)*
ANAIS y el viento de materia oscura.
Sarsa M. L. (34)
“Experimentando” con la divulgación de la Química.
Madurga A. (44)
Toscas, tobos y travertinos: materiales de construcción y archivos geológicos.
Pardo G. y Arenas C. (54)
Las competencias profesionales y la formación superior. *Elduque A. I. (74)*



Nº 28 conCIENCIAS. Despertar a la normalidad.

Aspectos de interés sobre la salud (pública) oral.
Yepes C., Mauriz Turrado I. y Martínez J. M. (4)
Despertando sueños. *López M. (14)*
Zaragozanos supervivientes a todas las enfermedades. De las pandemias de peste a la de Covid-19. *Arcarazo L. A. (24)*
Lo único imprescindible para ser Marie Curie es ser mujer... lo demás lo aporta el conocimiento.
Elduque A. I. (38)
Escrito en las rocas. *Bauluz B. y Laita E. (56)*
2037. Paraíso neuronal.
de Teresa, J. M. y Elduque A. I. (70)

Nº 29 conCIENCIAS. La CIENCIA y nuestro ENTORNO.

Cuando en el valle del Ebro había dunas eólicas.
Luzón M^a. A., Pérez A. y Soriano M^a. A. (4)
De lo invisible a lo previsible. El camino a la fisión nuclear. *Vicente J. M. (24)*
La UME, incendios forestales, evolución y riesgos.
Abad G. (44)
Servetus Studio®, más de 20 años de creación de cortometrajes en educación secundaria y bachillerato. *Cólera I. y Moreno C. (64)*
Institutos de estudios avanzados ligados a universidades: las oportunidades y las trampas.
Bondía J. G. (80)

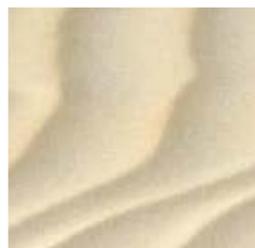
Nº 30 conCIENCIAS. Una singladura con 30 escalas ya.

¿Existe conexión entre el consumo de marihuana y los trastornos psiquiátricos?.
Doménech E. (4)
Importancia de la higiene bucodental durante la infancia. *Noriega Y. (14)*
Avances en microtecnologías y en inteligencia artificial podrían hacer la neurotecnología disruptiva. *de Teresa J. M. (28)*
Conceptos básicos sobre las células.
Yepes C., Mauriz Turrado I. y Martínez J. M. (42)
1628. La aventura del Vasa. *Elduque A. y Ortega J. (56)*
Las gráficas detrás de la pandemia. *de Blas I. (68)*
40 años viendo átomos. *Bartolomé F. (78)*

Apellido, nombre, volumen de la revista y página:

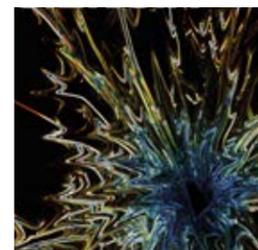
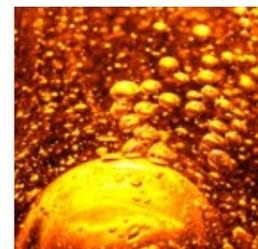
Abad, Gustavo, 29 (44)
 Aceña, Javier, 16 (4), 26 (44)
 Aguilar, Manuel, 8 (58)
 Aldea, Concepción, 17 (22)
 Alegret, Laia, 6 (6)
 Alfaro, Manuel, 14 (66)
 Álvarez, Ana, 4 (96)
 Amaré, Julio, 3 (22)
 Anel, Alberto, 13 (22)
 Anzano, Jesús, 25 (60)
 Arcarazo, Luis A. 28 (24)
 Arce, José Luis, 12 (14)
 Arenas, Concepción, 18 (36), 20 (70) 22 (4), 23 (72),
 25 (28), 26 (26), 27 (54)
 Arenillas, Ignacio, 6 (6)
 Armendáriz, Andrés. 22(16)
 Arruebo, Tomás, 8 (32)
 Artal, Enrique, 4 (114), 8 (110)
 Arz, José Antonio, 6 (6)
 Badía, Laura, 8 (132)
 Balas, Francisco, 7 (16)
 Bartolomé, Fernando, 6 (106), 12 (96), 14 (22),
 17 (110), 25 (72), 30 (78)
 Bartolomé, Miguel 19 (4)
 Bauluz, Blanca, 16 (66), 20 (4), 28 (56)
 Bayés-García, Laura, 15 (44)
 Bea, Alnudena, 16 (18)
 Belmonte, Ánchel, 19 (4)
 Bernués, Julio, 8 (110), 10 (108)
 Blein, Antonio, 11 (20), 23 (48)
 Bolsa, Marta, 11 (78)
 Bombal, Fernando, 15 (86)
 Bonachea, Jaime, 11 (84)
 Bondía, José Gracia, 29 (80)
 Boya, Luis J., 2 (56), 3 (6), 9 (62), 11 (50), 16 (88)
 Bruschi, Viola, 11 (84)
 Cáceres, Jorge, 25 (60)
 Calvet, Teresa, 15 (44)
 Calvo, Miguel, 14 (42), 25 (16)
 Camón, Agustín, 9 (16), 9 (122)
 Canudo, José Ignacio, 2 (36), 9 (4), 11 (32), 17 (68)
 Carreras, Miguel 6 (84), 17 (98)
 Carrión, J. Alberto, 3 (84), 5 (122), 6 (94), 6 (108), 8
 (126), 9 (126), 10 (102)
 Cebrián, Susana, 6 (90)
 Cendrero, Antonio, 11 (84)
 Cólera, Ignacio, 29 (64)
 Collados, M^a Victoria, 19 (20)
 Comenge, Luis, 7 (88)

Conde, Mariola, 10 (128)
 Corbalan, Fernando, 17 (486)
 Corral, José Luis, 6 (14), 19 (66)
 Cristóbal, José A., 12 (60)
 Cruz, Andrés, 7 (100)
 Cuenca, Gloria, 2 (42), 6 (100)
 Cuesta, Clara, 4 (28), 25 (4)
 Cuevas-Diarte, Miguel Ángel, 15 (44)
 Cubas, Santiago, 19 (80)
 Dafni, Theopisti, 6 (90)
 De Azcárraga, José Adolfo, 4 (74)
 De Blas, Ignacio, 25 (94), 26 (88), 30 (68)
 de Jesús, Ernesto 26 (58)
 De la Osada, Jesús, 4 (6)
 De la Riva, Juan Ramón, 6 (32)
 De Teresa, José María, 4 (128), 28 (70), 30 (28)
 Del Valle, Javier, 5 (6), 8 (32), 18 (14)
 Díaz, Jesús Ildefonso, 7 (110)
 Díaz-Michelena, Marina, 9 (26)
 Díes, María Eugenia, 2 (28)
 Doménech, Eva, 30 (4)
 Echenique, Pablo, 4 (56)
 Echeverría, Maite, 6 (32)
 Elduque, Alberto, 1 (10)
 Elduque, Ana Isabel, 1 (42), 3 (54), 4 (102),
 5 (94), 6 (24), 7 (62), 8 (92), 9 (72), 10 (84),
 11 (66), 12 (76), 13 (76), 14 (82), 15 (72), 17 (58), 19
 (30), 21 (78), 23 (48), 25 (50), 27 (74), 28 (38), 28 (70),
 30 (56)
 Elguero, José, 6 (26)
 Elipe, Antonio, 3 (46), 4 (32)
 Errea Abad, Pilar 24 (28)
 Espejo, Francisco, 6 (44)
 Etayo, Fernando, 4 (62)
 Figueroa, Adriana, 8 (132)
 Fernández Álvarez, Francisco José, 21 (4)
 Forte, Luis, 11 (84)
 Franco, Luis, 10 (4)
 Galindo, Jesús, 7 (76)
 Gámez, José Antonio, 2 (28)
 Garay, José, 3 (70), 12 (4)
 García, Eduardo, 2 (6)
 García- Nieto, Dani, 17 (110)
 García Novo, Francisco, 4 (12)
 García-Ruiz, Carmen, 15, (58)
 Garzo, Ricardo, 14 (94)
 Gasca, Mariano, 13 (88), 18 (66)
 Gil, Andrés, 7 (76)
 Gil, Inmaculada, 7 (76)
 Gimeno, M^a Concepción, 8 (16)
 Gómez-Moren, Carlos 24 (4)



Gomollón, Fernando, 9 (38), 18 (4)
 González, Álvaro, 10 (24)
 González, Ángel 20 (70)
 González, José 24 (28)
 Gonzáles, Santos, 12 (106)
 Gracia, Gustavo, 14 (102)
 Gracia Bondía, José 29 (80)
 Grande Pérez, Ana, 25 (84)
 Grupo Aragosaurus, 11 (32)
 Hurtado, Martín, 11 (84)
 Ibañez, Raúl, 8 (48)
 Ibarra, Paloma, 6 (32)
 Ibarra, Ricardo, 4 (128)
 Jiménez Schuhmacher, Alberto, 22 (36)
 Laguna, Antonio, 8 (16)
 Laita, Elisa 28 (56)
 Lanaja, Javier, 8 (32)
 Lantero, José Manuel 19 (42)
 Leunda, María, 19 (4)
 Liñán, Eladio, 2 (28), 3 (58)
 Lizarbe, M^a Antonia, 8 (98)
 Lozano, Manuel, 6 (64)
 Lozano Imízcoz, M^a Teresa, 8 (110)
 López Pellicer, Manuel, 10 (114)
 López Pérez, Manuel, 10 (94)
 López, Mercedes 28 (14)
 Luzón, M^a Aránzazu, 29 (4)
 Madrona Martínez, Héctor, 24 (68)
 Madurga, Ángel 27 (44)
 Maestro, Adolfo, 7 (76)
 Marín-Yaseli, Julia, 2 (14)
 Marina, César, 25 (60)
 Martín-Bueno, Manuel, 21 (62)
 Martín, Manuela, 16 (46), 17 (4), 22 (24)
 Martín, M^a Teresa, 16 (46), 17 (4)
 Martínez, Juan Pablo, 1 (13), 5 (16), 15 (26), 20 (24),
 22 (76)
 Martínez, Vicent, 14 (4)
 Martínez-Lostao, Luis, 13 (22)
 Martínez Pérez, José Manuel, 18 (50), 20 (54), 28 (4),
 30 (42)
 Martínez-Ripoll, Martín, 18 (24)
 Matesanz, José, 8 (32)
 Mauriz Turrado, Isabel, 18 (50), 20 (54), 28 (4), 30 (42)
 Mazo, Juan José, 9 (16)
 Mendivil, Jose Luis, 13 (30)
 Meléndez, Alfonso, 2 (16)
 Menéndez, Amalia, 9 (120)
 Miana, Pedro J., 6 (76), 17 (86), 18 (76), 22 (68), 27 (22)
 Mira, Jorge, 10 (16)
 Moles, Mariano, 4 (38)

Montalvo, Gemma, 15 (58)
Montañés, Margarita, 7 (124)
Moreno, Ana, 19 (4)
Moreno, Carlos, 29 (64)
Moya, Raquel, (58)
Nevot, Guillermo, 21 (48)
Noriega, Yadhira, 30 (14)
Núñez-Lagos, Rafael, 2 (70), 5 (54), 12 (30)
Olave Rubio, Pilar, 12 (60), 24 (56)
Orera, Víctor M., 7 (42)
Oriol, Luis, 13 (46)
Oro, Luis, 23 (36)
Ortega, Juan José, 20 (16), 23 (4), 30 (56)
Pagliano, Silvia, 8 (76)
Palacián, Susana, 1 (12), 7 (88)
Pardo, Alfonso, 8 (32)
Pardo, Gonzalo, 18 (36), 20 (70), 22 (4), 23 (72),
 25 (28), 26 (26), 27 (54)
Pardo, Julián, 13 (22)
Pelacho, Maite, 16 (74)
Peleato, M^a Luisa, 3 (32)
Peña, Rubén, 1 (11), 5 (68)
Pérez-Arribas, L. Vicente, 25 (60)
Pérez, Antonio, 29 (4)
Pérez, Fernando, 6 (32)
Pérez, Francisco Javier, 18 (36)
Pérez Torres, Miguel, 14 (14), 15 (4)
Pétriz, Felipe, 7 (58)
Piñol, Milagros, 13 (46)
Pinto, Gabriel, 16 (46), 17 (4), 22 (24), 26 (4)
Pobes, Carlos, 4 (28), 6 (90), 10 (38)
Pocovi, Andrés, 27 (4)
Puyod, Carmina, 5 (110)
Rández, Luis, 10 (108), 17 (86)
Remondo, Juan, 11 (84)
Rey, Jorge, 7 (76)
Rísquez, Eduardo, 14 (94)
Rodríguez, Beatriz, 17 (42)
Rodríguez, Carlos, 8 (32)
Román, Pascual, 9 (48), 11 (4), 13 (4), 21 (16), 23 (18),
 24 (38)
Rubio, Beatriz, 17 (86)
Rubio, Mario, 3 (76)
Sabadell, Miguel Ángel, 5 (84), 14 (56), 22 (52)
Sánchez Cela, Vicente, 2 (64), 3 (16)
Sancho, Carlos, 19 (4)
Sancho, Javier, 1 (44)
Sangiao, Susana, 9 (118)
Santamaría, Jesús, 7 (16)
Santolaria, Zoé, 8 (32)



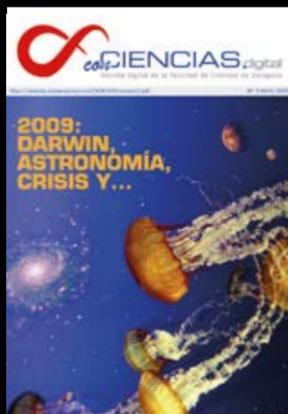
Sarsa, María Luisa, 2 (6), 4 (28), 5 (78), 6 (90),
 7 (128), 9 (124), 9 (126), 14 (102), 27 (34)
Serrano, José Luis, 10 (144)
Sesma, Javier, 3 (66)
Sevil, Begoña, 9 (116)
Simón, José Luis, 2 (26), 13 (64)
Soler, Manuel, 7 (6)
Sorando, José María, 5 (30), 9 (84), 10 (52)
Soriano, María Asunción, 27 (4), 29 (4)
Soriano, Roberto, 1 (24)
Subías, Ignacio, 21 (34)
Tornos, José, 6 (94), 6 (108)
Turrión, Javier, 12 (46), 14 (14), 15 (10)
Ullán, Miguel, 6 (64)
Uriel, Amadeo E., 6 (44), 8 (6)
Urieta, José, 8 (32)
Usón, Rafael, 2 (54)
Valcárcel, Miguel, 10 (72)
Vallés, Juan, 16 (26), 19 (20), 20 (42)
Vicente, José Manuel, 5 (40), 6 (52), 29 (24)
Vigara Benito, Rubén, 24 (80)
Viguera Mínguez, Enrique, 25 (84)
Vila, Cristóbal, 17 (86)
Villar, José Ángel, 6 (90), 8 (116)
Villarroya, Jorge, 7 (54)
Virto, Alberto, 3 (38), 5 (98), 10 (142)
Yepes, Claudio, 28 (4), 30 (42)
Zueco, David, 9 (16)
Zulaica, Fernando, 8 (128)



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/1



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/2



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/3



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/4



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/17



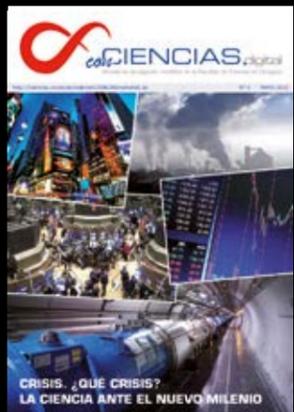
divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/18



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/19



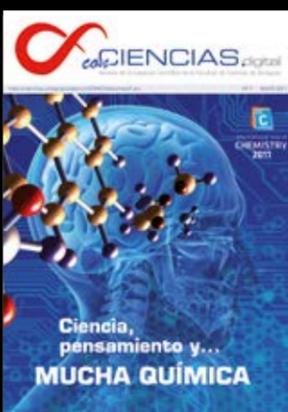
divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/20



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/5



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/6



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/7



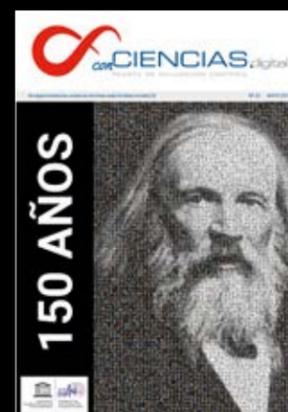
divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/8



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/21



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/22



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/23



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/24



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/9



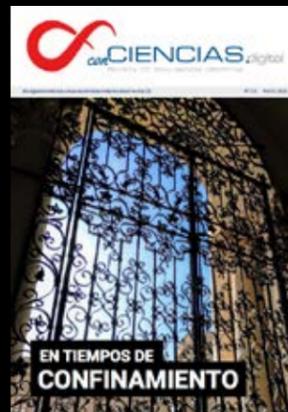
divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/10



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/11



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/12



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/25



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/26



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/27



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/28



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/13



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/14



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/15



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/16



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/29



divulgacionciencias.unizar.es/
revista-conCIENCIAS/numero/30



¡DESCÁRGALAS GRATIS!

ENCIASCIENCIASCIENCIASCIENC
ASCIENCIASCIENCIASCIENCIASC
NCIASCIENCIASCIENCIASCIENC
SCIENCIASCIENCIASCIENCIASO
CIENCIASCIENCIASCIENCIASCIEN
CIASCIENCIASCIENCIASCIENCIAS
ENCIASCIENCIASCIENCIASCIENC
ASCIENCIASCIENCIASCIENCIASO
CIENCIASCIENCIASCIENCIASCIEN
CIASCIENCIASCIENCIASCIENCIAS
ENCIASCIENCIASCIENCIASCIENC
ASCIENCIASCIENCIASCIENCIASO
CIENCIASCIENCIASCIENCIASSCIE
CIASCIENCIASCIENCIASCIENCIA
ENCIASCIENCIASCIENCIASCIEN
IASCIENCIASCIENCIASCIENCIAS
CIASCIENCIASCIENCIASCIENC



con **CIENCIAS**.digital
REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Patrocinan:

