



con CIENCIAS.digital

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/26

Nº 26 MAYO 2021

CONOCIMIENTO, el eterno
"CRESCENDO"



Nº 26 / MAYO 2021

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

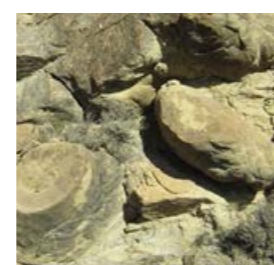
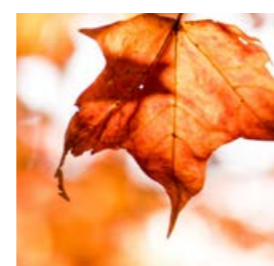
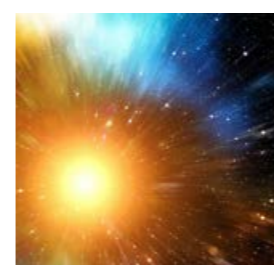
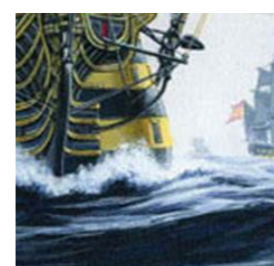
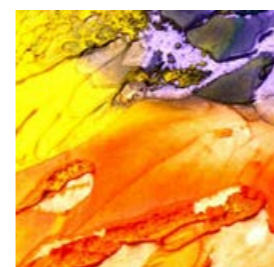
EDITA

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: Ana I. Elduque,
Nobis Hotel, Estocolmo (Suecia)

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



EDITORIAL	2
DEL RÍO, DESCUBRIDOR DEL ERITRONIO, HOY VANADIO	4
Gabriel Pinto	
DESPERFECTOS EN LA NATURALEZA: ¿QUÉ NOS ENSEÑAN LAS ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS DE DEFORMACIÓN?	26
Gonzalo Pardo y Concepción Arenas	
CAMINO HACIA EL LIDERAZGO	44
Javier Aceña Medina	
LA INFLUENCIA DEL COLOR EN LA HISTORIA DE LA QUÍMICA	58
Ernesto de Jesús Alcañiz	
LOS NÚMEROS DETRÁS DE LA PANDEMIA	88
Ignacio de Blas	
NOTICIAS Y ACTIVIDADES	100

CONOCIMIENTO, el eterno “CRESCENDO”

El *eterno crescendo* es como se denomina muchas veces al Bolero de Ravel. La pieza, en su ejecución, va adquiriendo intensidad progresivamente. A pesar de que los compases se repiten, la pieza parece otra porque, al fin y a la postre, logra lo pretendido por el compositor, emocionarnos cada vez más. En el caso de la ciencia y el saber, lo que se busca es el conocimiento, que cada vez sea mayor y más consolidado. Que su alcance e influencia, al igual que en el Bolero, sean tales que lleguen a un número mayor de individuos. En definitiva, un eterno crescendo.

Para ayudar a este noble fin, en la medida de nuestras fuerzas estamos nosotros. Otro número más para traer a nuestra revista conocimiento y divulgarlo entre los lectores. Y, como siempre, en una temática variada, pero siempre muy interesante.

A finales del siglo XVIII, un ingeniero español, Andrés del Río, aprovechó su trabajo para la ciencia, y también la política, desde lo que fueron las colonias de América. Gabriel Pinto nos narra una historia de cómo un español aportó al conocimiento y, desgraciadamente como en tantas ocasiones, no se ha reconocido su figura lo que debería. Aquí podemos empezar a reivindicarlo.

Siempre se ha dicho que no hay que empezar la casa por el tejado, por lo que toda obra civil debe comenzar por el suelo. Pero no en todos los suelos es conveniente construir una obra civil. Concha Arenas y Gonzalo Pardo nos muestran los defectos de la Naturaleza y que, con el conocimiento debido, es posible “leer” en las estructuras naturales. Aprendamos un poco más de ello sumergiéndonos en su artículo. Merece la pena.

Las organizaciones, por muy complejas y estructuradas que sean, siempre son obra de personas. Esto, aunque suene muy obvio, parece olvidarse. Se busca de manera casi obsesiva que la regulación, de todo tipo y nivel, sea capaz de dar las normas suficientes para que las estructuras sociales funcionen a modo de autómatas. En estos tiempos, en los que los algoritmos están en boca de todos, muchos creen que serán los que gobiernen el mundo. En mi opinión están claramente equivocados y el factor humano nunca desaparecerá. Pero para que la impronta de las personas siga siendo imprescindible y decisiva hace falta que los que en cada momento deben estar al frente ejerzan un liderazgo auténtico, que inspire y cree confianza entre los

“En estos tiempos, en los que los algoritmos están en boca de todos, muchos creen que serán los que gobiernen el mundo. En mi opinión están claramente equivocados y el factor humano nunca desaparecerá”.

miembros de esa organización. El líder responsable, útil y empático está muy alejado del simple jefe. Cada día más, la diferencia entre poder y autoridad se hace más clara. Javier Aceña nos lo explica perfectamente.

Perkins, cuando sintetizó la malveína, creó toda una rama de la química que lo revolucionó todo: la síntesis orgánica. Desde entonces hasta la fecha varios millones de nuevos compuestos han sido sintetizados, y muchos miles de ellos nos hacen a todos la vida mucho mejor. Buscó un color y encontró un mundo, al que, como pocos, unas cuantas compañías y científicos alemanes aportaron un potencial que ha hecho de la química, ciencia e industria, lo que es hoy. No os perdáis el artículo de Ernesto de Jesús. Dará color al tiempo que dediquéis a su lectura.

Nacho de Blas, uno de los expertos de nuestra comunidad y de nuestra universidad sobre el desgraciado desarrollo de la pandemia, nos habla del significado de los conceptos relacionados con la COVID 19 que escuchamos todos los días. De tanto oírlos, muchos creen que los entienden, pero me temo que no. Como en este

número hablamos de que el conocimiento siempre está aumentando, hemos pensado que aprender de algo que tanto nos está afectando era casi obligatorio. Nacho nos iluminará en un mundo lleno de opiniones inexactas y de negacionistas, no solo de la enfermedad sino del propio saber. Nada mejor que recurrir a los auténticos expertos para aumentar nuestro conocimiento.

Hemos llegado al final, pero, afortunadamente, solo del editorial. Ahora comienza lo realmente interesante: los artículos de nuestros colaboradores. Con ellos conseguiremos que lo que hemos anunciado al principio se haga realidad, ser más sabios que ayer. No olvidemos que el conocimiento es un eterno crescendo.

Ana Isabel Elduque Palomo
Directora de conCIENCIAS



BOLERO

Transkrypcja:
Roger Branga

MAURICE RAVEL

Tempo di Bolero, moderato assai (♩ = 76)

piano *pp* *simile*

cresc. poco a poco alla ff

pp akordy zapisane małymi nutami są partią do wykonania tylko za drugim razem



Del Río, descubridor del eritronio, hoy vanadio

“Andrés Manuel del Río se formó en los mejores centros educativos, compartió su quehacer con personajes de la talla de Werner, Haüy o von Humboldt, descubrió un nuevo elemento químico, y no escatimó el compromiso social y político.”

Gabriel Pinto



www.eluniversal.com.mx

En este artículo se esboza la vida y obra de Andrés Manuel del Río (1764-1849), un científico nacido en Madrid, pero no suficientemente conocido en España porque desarrolló su labor principalmente en México. Insigne profesor e ingeniero de minas, destacó por sus aportaciones a la mineralogía y por el descubrimiento del elemento químico que se denominaría vanadio y que vendría acompañado de cierta controversia durante décadas, en la que estuvieron implicados su amigo von Humboldt y destacados químicos de la época. Entre otras muchas actividades, fue diputado durante las Cortes del *trienio liberal*, representando a Nueva España.

INTRODUCCIÓN

Durante 2019, con motivo de la celebración del *Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos*, la comunidad química hispana reivindicó la labor de Antonio de Ulloa, los hermanos Juan José y Fausto Elhuyar y Andrés Manuel del Río, en los hallazgos del platino, wolframio y vanadio -primer elemento descubierto en un laboratorio de América-, respectivamente.

Estos descubrimientos fueron el resultado de una apuesta decidida por la modernización de España, durante el siglo XVIII y hasta la *invasión francesa*, que conllevó, entre otras iniciativas, la creación de instituciones científicas y educativas -desde la *Escuela de Guardias Marinas de Cádiz* al *Real Seminario Patriótico de Nobles de Vergara*-, la confianza de los monarcas -primeros Borbones- en personas ilustradas (José Patiño, el marqués de la Ensenada...), la contratación de profesores y especialistas extranjeros (como los químicos Joseph Louis Proust y Pierre François Chavaneau), la financiación de expediciones científicas (*Misión Geodésica*, *Expedición de Malaspina*, *Viaje a América de Humboldt*, etc.), la promoción de jóvenes con talento para formarse en centros educativos europeos, y el desarrollo de mejoras económicas y técnicas en ciertos sectores, como la minería y la metalurgia en la América Española.

PRIMEROS AÑOS Y FORMACIÓN INICIAL: 1764-1784

Del Río nació en la calle Ave María -dentro del barrio de Lavapiés- de Madrid, el 10 de noviembre de 1764. Sus padres fueron Joseph del Río, originario de Linás de Broto (Huesca) y María Antonia Fernández, natural de la aldea de Biduedo (Lugo). Con 9 años ingresó en los *Reales Estudios de San Isidro* de Madrid y un año después ya leía a los clásicos griegos y latinos. Se trataba -con otras denominaciones anteriores y actualmente como I.E.S. San Isidro- de uno de los centros educativos más antiguos de España, ubicado en la calle de Toledo desde 1569; tras la expulsión, en 1767, de los jesuitas que los regentaban, se reabrieron en 1770 con la convocatoria de varias cátedras por oposición. Allí destacó del Río como "cursante más aprovechado" y fue alumno de Antonio Fernández Solano, catedrático de física experimental que había sido cirujano de la Armada y profesor en el *Colegio de Cirugía* de Cádiz, y que sería experto en instrumentación científica. Desde 1778, del Río compaginó su formación con el estudio de leyes en los *dominicales* (sesiones académicas impartidas los domingos) de la *Real Universidad de Alcalá*, graduándose como Bachiller en Artes en 1781.

En 1777 Carlos III, por indicación de su ministro José de Gálvez, marqués de la Sonora, había nombrado director

Izquierda: retrato al óleo de Andrés del Río, seguramente de Rafael Ximeno y Planes (hacia 1825).

Derecha: sello sobre los tres elementos descubiertos por científicos españoles.



de la mina de Almadén y de su recién fundada *Real Academia de Minas* (primera de su género en España y cuarta de Europa) al alemán Heinrich Christophe Störr, con obligación de «enseñar a los jóvenes profesores de matemáticas, que se remitirán de estos reynos y los de América, para que se destinen e instruyan en la theorica, y practicamente, la Geometría Subterránea y Mineralogía [sic]». Los primeros alumnos llegaron a Almadén en 1781 y, al año siguiente, se incorporó del Río por sus excelentes resultados en matemáticas y física. Gálvez, impulsor de las reformas borbónicas, que fue tío de Bernardo de Gálvez (considerado uno de los “padres fundadores” de Estados Unidos), se dio cuenta

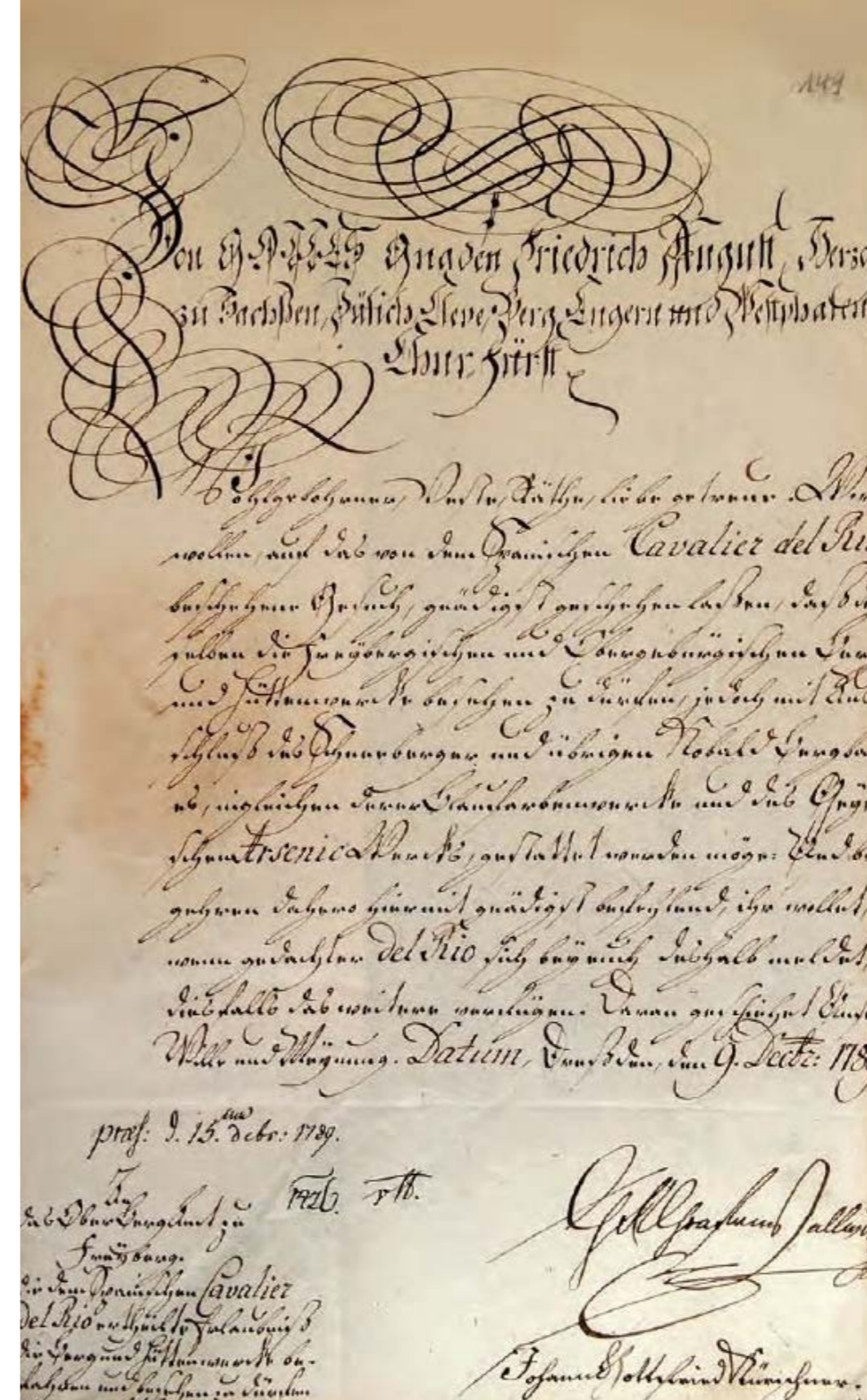
de la perentoria necesidad de reformar la minería en el Virreinato de Nueva España por ser un sector básico para la economía. En 1783 encomendó a del Río completar sus estudios matemáticos en Madrid y preparar bombas de desagüe para las minas de Almadén.

FORMACIÓN EN EL EXTRANJERO: 1784-1793

Del Río amplió estudios en el *Collège Royal* y en la *École Royale des Mines* de París, entre 1784 y 1788. Aparte de temas de química, se implicó también en estudios de medicina, siguiendo cursos de Historia Natural, Anatomía y Fisiología. Fue discípulo de Jean d’Arcet, profesor



◀ José de Gálvez, marqués de la Sonora, en 1785.

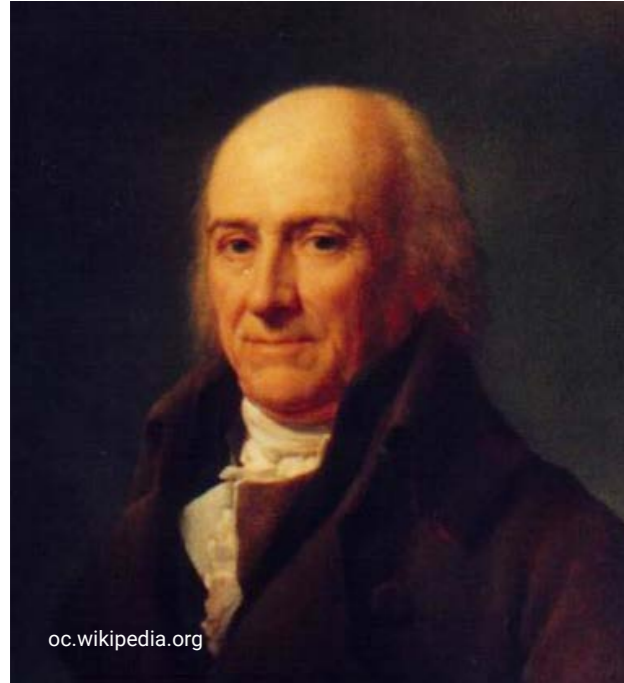


◀ Carta de aceptación de Andrés del Río a la Academia de Minas de Freiberg.

de química, mineralogista y director de la *Manufacture de Sèvres*, con quien se introdujo en la fabricación de porcelana, tema de interés en España por las dificultades encontradas al respecto en la *Real Fábrica de Porcelanas del Buen Retiro* de Madrid.

Entre 1788 y 1790 estudió, con otros pensionados españoles, en la *Bergakademie* (Escuela de Minas) de Freiberg en Sajonia, el “centro mundial de la minería”, con el fin de “adiestrarse en el nuevo método de amal-

gamación de Born” para la obtención de oro y plata. Allí fue discípulo de Abraham Gottlob Werner, director del centro y uno de los fundadores de la mineralogía moderna, entonces conocida como *Orictognosia* –del griego ‘ορυκτος’, *oryktos*, ‘desenterrado’ y ‘γνωσις’, *gnosis*, ‘conocimiento’–, a quien consideró siempre como su gran maestro. Werner destacó como experimentista y *neptunista*. En aquella época existía una polémica entre dos teorías sobre el origen de las rocas de la corteza terrestre, que recibían los nombres de los



dioses romanos del mar y del inframundo. Así, en el primer caso, el *neptunismo* interpretaba que las rocas se formaron a partir de la sedimentación de un “caldo espeso” de agua, frente al *plutonismo*, que otorgaba más importancia al calor y a los procesos volcánicos. Esta segunda teoría ponía en entredicho la existencia del diluvio universal y sugería unos procesos geológicos mucho más lentos que la primera, que estimaba en unos seis mil años la datación del mundo. Durante ese período, del Río también estudió en la *Academia de Minas* de Schemnitz (actual Banská Štiavnica, Eslovaquia). Coincidió con Fausto Elhuyar, ya reconocido por el descubrimiento del wolframio, y fue condiscípulo de Alexander von Humboldt, quien destacaría posteriormente como geógrafo, naturalista y viajero. Ambos personajes tendrán una importante influencia en del Río.

Entre 1790 y 1791 realizó viajes de estudio, desde Viena, por distintas zonas industriales y mineras centroeuropeas. De vuelta a la *Ciudad de la Luz –La Ville Lumière–*, en 1791, coincidió en el laboratorio de *El Arsenal*, dirigido por Lavoisier, con el Abate Haüy, fundador de la cristalografía y con quien se cartearía muchos años. Se dice que del Río huyó disfrazado de aguador, durante el período convulso de la *revolución francesa*, a Inglaterra. Visitó zonas mineras de Cornualles y Escocia, estudiando la fundición del hierro y la nueva maquinaria asociada a la minería. Allí recibió ofertas de trabajo pero su compromiso con España le disuadió de aceptarlas. En 1793, estando de nuevo en Viena, recibió el encargo de ir a Nueva España, como profesor del *Real Seminario de Minería* de México. Ese mismo año escribió su primer artículo científico en el *Diario de los Nuevos Descubrimientos de todas las Ciencias Físicas, que tienen alguna relación con las diferentes partes del Arte de Curar*.

◀
De arriba a abajo:
retratos de Jean
d’Arcet, Abraham G.
Werner y Alexander von
Humboldt.

PRIMERA ETAPA EN MÉXICO (NUEVA ESPAÑA): 1794–1821

En 1792 se había creado en México el *Real Seminario de Minería*, dirigido por Fausto Elhuyar que, a su vez, era el director del *Real Tribunal General de Minería*. La llegada de Elhuyar no estuvo exenta de polémica, dado que los industriales mineros mexicanos preferían que se hubiera encomendado la tarea a alguien de la propia zona. Por aquel entonces existían en México los “reales de minas”, instituciones creadas desde el siglo XVI, que implicaban la organización de distritos mineros en los que el subsuelo era propiedad del rey, que lo cedía en usufructo a cambio de la quinta parte del metal producido. Eran de gran relevancia porque al amparo de estas zonas se desarrollaban caminos, industrias, iglesias, hospitales, etc.

El 17 de enero de 1794 del Río salió de Madrid con la compañía de un criado; tras pasar por Almadén, donde recogió material, embarcó en Cádiz, en el navío de guerra San Pedro de Alcántara, desembarcó en Veracruz y

“El 17 de enero de 1794 del Río salió de Madrid; tras pasar por Almadén embarcó en Cádiz, en el navío de guerra San Pedro de Alcántara.”

Navío San Pedro de Alcántara (1788-1815). ▼



recorrió en diligencia los cerca de 500 kilómetros que la separan de la Ciudad de México, donde llegó finalmente el 18 de diciembre de ese año.

La oferta que recibió fue para impartir la materia de Química, pero prefirió la "cátedra cuarta del Colegio Metálico", que equivaldría a las actuales Mineralogía y Laboreo de Minas. Eran aspectos importantes, porque la falta de comunicación entre planos dificultaba la labor en las minas de la época colonial. Para del Río, el olvido de la geometría subterránea que hacía imposible la conducción de minerales por vehículos de ruedas era un tema escandaloso. Se lamentó durante años de que en pleno siglo XIX los indígenas transportaran durante horas pesos de hasta 90 kg y con ausencia de ventilación adecuada.

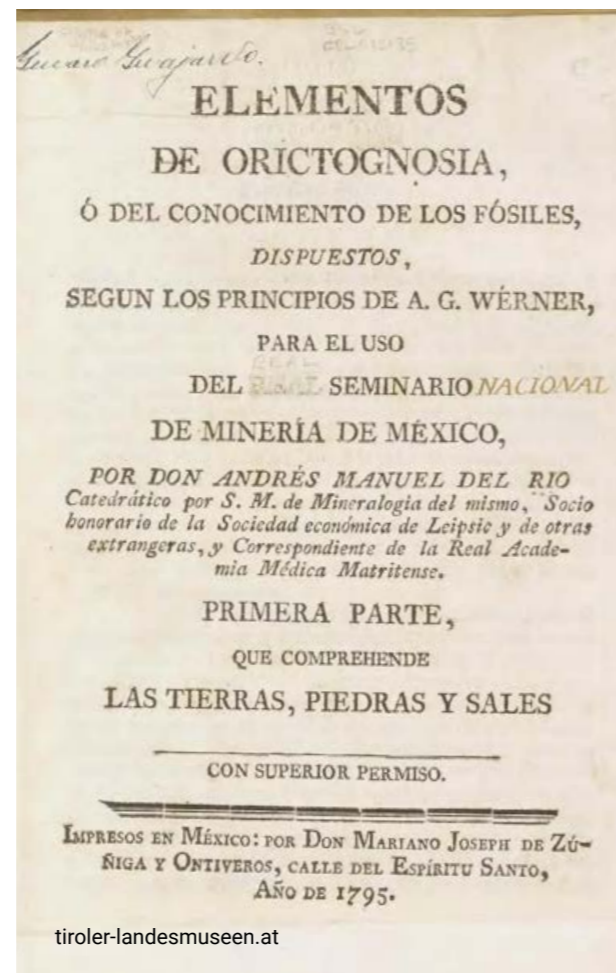
Inició su labor docente con tres clases semanales para cuatro alumnos. En 1795 publicó la primera parte de *Elementos de Orictognosia*. En la portada se especifica que se trata del conocimiento de los fósiles, dispuestos según los principios de A. G. Werner. El término fósil –del latín *fossilis*, 'que se obtiene cavando', a su vez derivado de *fodĕre*, 'cavar'–, incluía entonces lo que hoy en día se conoce como mineral. Mediante esta obra, considerada una de las mejores de la época, introdujo en América la doctrina werneriana.

Entre 1787 y 1813 se construyó el *Palacio de Minería* en la Ciudad de México, para albergar tanto el Seminario como el Tribunal de Minería. Una de las obras maestras de la arquitectura neoclásica en América, fue construida por el arquitecto, escultor e ingeniero Manuel Tolsá (Enguera, Valencia, 1757 – Ciudad de México, 1816), otro insigne "novohispano" que actualmente da nombre a la plaza donde se ubica el Palacio.

Algunas acciones destacadas de del Río en su primera etapa mexicana, ordenadas cronológicamente, fueron: la publicación del *Discurso sobre volcanes* (1799) donde trata sobre el origen de las rocas; el desarrollo de la ingeniería para el establecimiento de desagües en la mina de Morán en Pachuca (1799-1780); el descubrimiento del eritronio (1801), que posteriormente se conocerá como vanadio, como se explica más adelante; la traducción de las *Tablas mineralógicas* de Dietrich Karsten (1804) en las que incluye notas como el descubrimiento anterior; la publicación de la segunda parte de *Elementos de Orictognosia* (1805) dedicada a combustibles, metales y rocas, y donde señala los grandes progresos que se habían sucedido en el área en menos de una década; la construcción y dirección de una

“Inició su labor docente con tres clases semanales para cuatro alumnos. En 1795 publicó la primera parte de *Elementos de Orictognosia*.”

Portada de *Elementos de Orictognosia* (1795), donde se aprecia un cambio de nombre posterior de la institución.



Virreinato de Nueva España a finales del siglo XVIII.

ferrería en Coalcomán (1806–1809); el reconocimiento de minas de hierro y mercurio en Guatemala (1810–1812); y la dirección provisional de la *Real Casa de la Moneda* de México (1815). Entre 1803 y 1804 convivió estrechamente con su amigo von Humboldt, que se involucró en las actividades (conferencias, viajes científicos, exámenes de alumnos...) del *Seminario de Minería*, al que donó instrumental y donde quedó gratamente impresionado por el nivel de investigación y formación. En ese tiempo, Humboldt elaboró mapas geológicos de Nueva España.

El profesor Miguel Ángel Alario, de la Universidad Complutense de Madrid, ha referido en varias conferencias la teoría que le comentó Miguel José Yacamán, físico mexicano y profesor de la Universidad de Texas en San Antonio, en el sentido de que los precisos mapas gomineros de Nueva España –informando sobre



◀
Escultura sobre los "elementos químicos españoles" en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid, por Iria Groba Martín y Miguel Pozas Pérez (2019).

“En muchas de sus obras y escritos en prensa se lamentó de la lenta comunicación con los países europeos y de falta de recursos.”

ubicaciones de mineral de hierro y, especialmente, petróleo, entre otros— realizados desde el *Real Seminario de Minería* y difundidos por Humboldt en Estados Unidos, fueron un estímulo para que este país se hiciera con la mitad de México. Al final de su expedición por Nueva España, en 1804, Humboldt se reunió con Thomas Jefferson, presidente de EE. UU. y naturalista, con quien intercambió correspondencia durante años.

Entre 1812 y 1820 del Río compatibilizó su labor con el cargo de regidor honorario (equivalente a una concejalía actual) de la Ciudad de México, tomando parte activa en temas como educación, ordenanzas municipales, planes de desagüe, etc. Para compensar sus escasos ingresos, ejerció también un tiempo en el *Colegio de Minería* como catedrático de Gramática Castellana y Francés.

▶
Pintura al óleo sobre Andrés Manuel del Río por Pilar Ruiz Azuara (2015).



En la ferrería de Coalcomán, donde desarrolló importantes obras de ingeniería e hidráulica, pasó muchas penalidades por las lluvias, carestías de materiales, problemas con los obreros e, incluso, enfermó de cierta gravedad. Aplicó en ella el *Traité sur les mines de fer et les forges du Compté de Foix* del francés Philippe-Isidore Picot de Lapeyrouse, adaptándolo con ingenio por la diferente altitud y composición del mineral.

Con motivo de su estancia de dos años en Guatemala se conoce una referencia a su familia, pues escribió: «*Os encomiendo a mi mujer e hija para el caso de que fallezca en el viaje*». Del Río se casó en México con María Ignacia Gandiaga Garduño y tuvieron tres hijos, aunque dos fallecieron poco después de nacer. Su hija Cristina le daría seis nietos. Tras enviudar, se casó (en 1825) con María de la Luz Muñoz de la Orden, viuda y con un hijo.

En muchas de sus obras y escritos en prensa se lamentó de la lenta comunicación con los países europeos y de falta de recursos. Por ejemplo, tardó 20 años en recibir un crisol de platino y, tras pasar 10 años desde la petición de un goniómetro de precisión, se lo fabricó él mismo.

En esa época, la entidad territorial de la zona era el Virreinato de Nueva España, fundado en el siglo XVI, que incluía, entre otros, aparte del actual México, a Cuba, Puerto Rico, Centroamérica, Filipinas y gran parte de los actuales Estados Unidos y Canadá. Aunque hubo conflictos anteriores, el inicio formal de la *Guerra de la Independencia* mexicana, denominada “la insurgencia” por los “realistas”, se toma como el 16 de septiembre de 1810, fecha en la que el cura Miguel Hidalgo dio el conocido como “Grito de Dolores”, arengando a la población a que se alzase en contra de las autoridades españolas, que habían abdicado en favor de los franceses. En la guerra, la minería alcanzó un valor estratégico

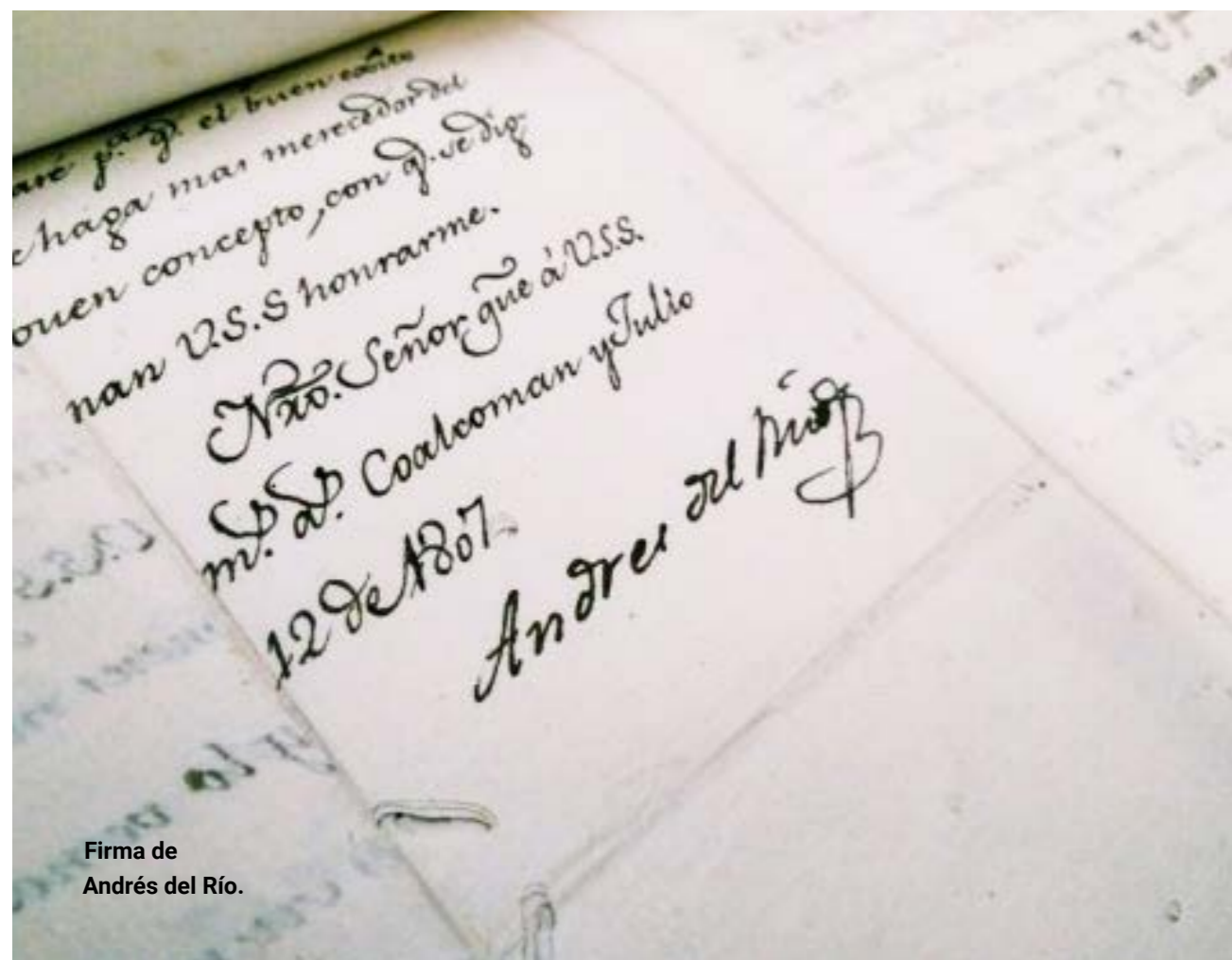
para la producción de armamento. Por ello, la ferrería de Coalcomán fue tomada por los *independentistas* y, tras su reconquista por los *realistas* en noviembre de 1811, destruyeron la maquinaria al no poder garantizar su defensa. Ese período bélico afectó mucho a del Río; algunos de sus discípulos fueron ejecutados, la mayoría por pertenecer al bando insurgente, como Casimiro Chowell, a quien dedicaría posteriormente el mineral chovellia, y el filipino (y por ello novohispano) Ramón Fabié, con tan sólo 25 años de edad. La guerra terminó una década después, oficialmente el 27 septiembre de 1821, con la entrada triunfal de Agustín de Iturbide en la ciudad de México. No obstante, continuó un período turbulento en el país; baste recordar que el propio Iturbide, tras proclamarse emperador, como Agustín I, y pasar un breve exilio en Europa, fue fusilado en 1824.

BREVE REGRESO A ESPAÑA: 1821–1822

Después de 26 años en tierras mexicanas, del Río regresó a España como representante de Nueva España en las Cortes del *trienio liberal* (1820-1823). En sus datos como diputado (<https://bit.ly/3bdDgGG>) consta que se dio de alta el 18 de mayo de 1821 y de baja el 14 de febrero de 1822, figurando como regidor del Ayuntamiento de México en cuanto a profesión. Como diputado, defendió la independencia de México y participó en la ley de minas, dictámenes de la Casa de la Moneda, y la comisión de salud pública, entre otras iniciativas. En una curiosa semblanza (desde nuestra perspectiva actual) fue descrito así como diputado, a sus 57 años: «Don Andrés del Río. Anciano amabilísimo, la misma honradez en persona, y asistente al salón como el que más, y siempre en regla. Aunque ha tomado la palabra alguna vez, la debilidad de su órgano no le ha permitido figurar como orador, pero en cuanto a votaciones, vota por sí y siempre como liberal».

“Después de 26 años en tierras mexicanas, del Río regresó a España como representante de Nueva España, en las Cortes del *trienio liberal*.”

No aceptó el ofrecimiento que recibió de dirigir las minas de Almadén y el *Gabinete de Historia Natural* para quedarse en España. En Burdeos, coincidió con Juana Raab, la mujer de Fausto Elhuyar, que le preguntó por qué quería regresar a un México que se había hecho independiente. Del Río le contestó: «vuelvo a mi patria».



Firma de Andrés del Río.



Retrato de Jons Jacob Berzelius

de en los caracteres externos (dureza, color, brillo...) como había hecho Werner. Aunque se atenuó con el tiempo su entusiasmo como *neptunista werneriano*, siempre se consideró seguidor de su querido maestro.

EXILIO EN ESTADOS UNIDOS: 1829–1835

Tras la independencia, se decretó en 1829 la expulsión de españoles, como represalia por un intento fallido de reconquista, mediante el desembarco de tropas realistas en Tampico, que fue sofocado por Santa Anna (quien sería presidente de México en una decena de períodos entre 1833 y 1847). Entre las excepciones a esta medida se encontraba la del propio del Río pero, en solidaridad con sus compatriotas expulsados, se autoexilió, con 64 años, a Estados Unidos. En este país residió hasta 1835, en Filadelfia, Boston y Washington, y fue acogido con honores por la comunidad científica. Por ejemplo, fue nombrado miembro de la *American Philosophical Society* (fundada por Benjamin Franklin en 1743). Publicó importantes libros (como la segunda edición de *Elementos de Orictognosia*) y artículos, y consiguió una importante colección de minerales y fósiles que llevaría posteriormente a México y que, lamentablemente, sufrió sucesivos expolios.

ÚLTIMA ETAPA EN MÉXICO: 1835–1849

En 1835 asumió de nuevo su cátedra al reincorporarse a un *Palacio de Minería* en profunda decadencia –se llegó a pensar en derribarlo por problemas de mantenimiento del edificio–, con muy pocos alumnos.

Entre 1835 y 1836 México tuvo que afrontar la guerra tras la que se formalizó de facto la República de Texas, a la vez que España reconoció definitivamente la independencia mexicana. Habría una segunda campaña bélica,

SEGUNDA ETAPA EN MÉXICO:

1822–1829

Cuando retornó a México, en 1822, del Río compaginó su labor en el *Seminario de Minería* con el nombramiento como introductor de embajadores en la corte de Agustín I, por su conocimiento de idiomas. Un capítulo interesante fue el juramento de lealtad de los indios del norte de México, representados por Guanoqui, jefe de la Nación Comanche, después de la coronación que, por otra parte, imitó a la de Napoleón y supuso un gasto inmenso. Aparte de otros cargos, que simultaneaba de forma altruista con su función de profesor, del Río desarrolló durante un lustro algunos de sus trabajos científicos más relevantes, como estudios sobre seleniuro de plata encontrado en Talco (1823) y los descubrimientos de aleaciones de oro y rodio (1824) y nuevos minerales como el bisele niuro de zinc y el seleniuro de mercurio en Culebras (1827), y yoduro de mercurio (1828). Entre otras obras, tradujo el *Nuevo Sistema Mineralógico* de Berzelius (1828), que basaba la clasificación de los minerales en su composición química principalmente, en vez



“Tras la independencia, se decretó en 1829 la expulsión de españoles, como represalia por el desembarco de tropas realistas en Tampico.”

Arriba: Carlos Paris, Acción militar en Pueblo Viejo, Batalla de Tampico (septiembre de 1829), 1835.

Abajo: anverso de la medalla del Premio Nacional de Química “Andrés Manuel del Río”, otorgada anualmente por la Sociedad Química de México.



scifunam.fisica.unam.mx

entre 1842 y 1844, tras la que Texas se uniría a los Estados Unidos. Otro episodio que asoló a México fue la conocida como *Guerra de los Pasteles* o primera intervención francesa, entre 1838 y 1839. Se desencadenó por las reclamaciones del dueño de un restaurante francés donde, unos años antes, oficiales de Santa Anna cenaron y, tras acabar con todos los dulces, se fueron sin pagar y destrozaron el local. Francia se sentía molesta por el trato que habían recibido también otros negocios, dentro de su plan para obtener privilegios comerciales por toda Hispanoamérica. La derrota obligó a México a pagar a la potencia gala por los daños causados a ciudadanos franceses y para indemnizar los gastos de la flota. Del Río llegó a ofrecer sus escasos bienes para vencer al invasor.

No descansa en su tarea docente e investigadora, publicando en 1841 su *Manual de Geología*. Un año después fue nombrado miembro correspondiente de la *Academia de Ciencias* de París, en una elección entre candidatos de gran nivel. En esa época figura como profesor jubilado pero permaneció siempre activo. En 1843 publicó con M. Herrera y M. del Moral el *Informe sobre la porcelana de Puebla* en la revista *Siglo XIX* –donde aplicaba conceptos que empezó a aprender con d’Arcet hacía más de 50 años–, y en 1848, pocos meses antes de su muerte, un suplemento de adiciones y correcciones a su *Orictognosia*.

La última época de su vida estuvo rodeada de cierta amargura. Tuvo roces con el director del Colegio de Minería, elegido más por cuestiones políticas que por méritos científicos. El edificio fue atacado con balas de cañón y fusil en 1841 y sería ocupado durante la intervención estadounidense de 1846 a 1848. Hay textos que indican que «*catedráticos y seminaristas iban tropezando por doquier con los triunfos de Baco y de la muerte*». Además, se decepcionó por la falta de interés de los nuevos gobernantes por los trabajos tecnológicos: «*es una desgracia, porque estas ciencias industriales y las artes son las que constituyen la felicidad temporal de las naciones*». Aunque vivía prácticamente en la pobreza, a su salida del Seminario le esperaban indigentes a los que repartía unas monedas. Ante ciertas críticas por ir siempre cargado de libros y documentos, expresó: «*el cargar la ciencia no deshonra a nadie*». El 23 de marzo de 1849, con 84 años, falleció repentinamente. Le debían cuatro años de sueldo y de él se escribió: «*dejó a su familia un apellido ilustre, muchas deudas y algunos ejemplares de sus Elementos de Orictognosia, que no habían podido venderse*». En su testamento había indicado que los libros con sus investigaciones se vendieran como papel viejo.

EL DESCUBRIMIENTO DEL ERITRONIO (HOY VANADIO)

En 1801 del Río analizó una muestra de una piedra extraña de *plomo pardo* de Zimapán, que se creía era fosfato de plomo. Hoy se conoce como vanadinita y se sabe que es un clorovanadato de plomo de fórmula $Pb_5Cl(VO_4)_3$. Encontró en ella un 14,8% de óxido de un metal desconocido, que barajó denominar *zimapanio*, pero optó por *pancromo* –del griego ‘muchos colores’, por la multitud de colores que ofrecían sus compuestos– y, finalmente, por *eritronio* –del griego ‘rojo’, por el color que se apreciaba al calentar y añadir ácido a algunas de sus sales–. En 1803 se lo comunicó a su amigo von Humboldt en su estancia en México, quien creyó que se trataba de un compuesto de cromo (elemento descubierto en 1797 por el francés Louis Nicolas Vauquelin) o de uranio (descrito en 1789 por el alemán Martin H. Klaproth). Humboldt regresó a Europa con muestras para analizar y una copia en francés de los manuscritos de del Río al respecto. En 1805, Hippolyte Victor Collet-Descotils, con gran prestigio científico y director de la *École des Mines* de París, publicó el trabajo *Analyse de la mine brun de plomb de Zimapan, dans le Royaume de México, envoyée par M. Humboldt, et dans laquelle dit avoir découvert un nouveau métal*, concluyendo que poseería un 16% de ácido crómico y que no se trataría de un nuevo metal.

Del Río aceptó su “error” en pensar que se trataba de un nuevo elemento, pero reivindicó que, al menos, descubrió que el *plomo pardo* no era un fosfato, como se creía, y que fue el primero en pensar que pudiera contener cromo. Durante años, manifestó su resquemor por la forma de actuar de Humboldt y Descotils. El primero no tenía suficientes conocimientos de química para criticar el trabajo desarrollado y el segundo falleció en 1815, antes de que se dilucidara definitivamente la cuestión. En 1817, por ejemplo, del Río remitió una carta dirigida al Sr. Barón de Humboldt en la revista *Mercurio de España*, donde se lamentaba de cómo se despreció su labor, en favor de Descotils, «*por la razón sin duda de que los españoles no debemos hacer ningún descubrimiento, por pequeño que sea, de química ni de mineralogía, por ser monopolio extranjero. Y á la verdad que Mr. Descotils no necesita tanto como yo de este pequeño descubrimiento, siendo mucho mas conocido en la republica literaria [sic]*».

En 1831, el sueco Nils Gabriel Sefström, avalado por su maestro Jöns Jacob Berzelius, de fama reconocida, encontró un “nuevo” metal acompañando al hierro de una ferrería de Eckersholm. Lo denominó vanadio,



◀ **Muestra de plomo pardo exhibida en el Museo de Historia Natural de Berlín, con la ficha de clasificación original de Humboldt, donde se indica: “El señor del Río creyó encontrar ahí un nuevo metal que llamó pancromo y luego eritronio. Al final reconoció haber encontrado cromo ordinario”.**

bre de vanadio por eritronio. Destacó en ello Modesto Bargalló –otro gran profesor de química español que desarrolló su carrera en México–, para lo que contó con el apoyo de Linus Pauling.

Del Río dejó escrito en la edición de 1846 de los *Elementos de Orictognosia*, en relación a la nomenclatura para los minerales: «Los mejores nombres son los que indican alguna propiedad característica (...) Así llamé yo eritronio a mi nuevo metal, por la bella propiedad característica de que sus sales blancas de amoniaco, barita, cal &c., se vuelven al fuego, y con una sola gota de ácido concentrado, del mas hermoso rojo escarlata (...) pero vos non vobis, el uso que es el tirano de las lenguas, ha querido que se llame Vanadio, por no sé qué divinidad Escandinávica; más derecho seguramente tenia otra Mejicana, que en sus tierras se halló treinta años antes [sic]». Incluyó además la siguiente nota: «Yo no me sentí ni poco ni mucho, porque lo que interesa á las ciencias son los descubrimientos, y nada le importa que sea Pedro, Juan ó Diego el que los haga; ademas, ¿quién pretendería competir con semidioses? [sic]».

“En 1905 se realizó el primer uso de vanadio a gran escala, para la fabricación del acero del chasis del Ford T.”



▶ **Muestra de vanadinita.**

pinterest.fr

pensando que no había elementos cuyo nombre empezara por uve, y por la diosa escandinava de la belleza Freya o Vanadis (“dama de los Vanir”, grupo de dioses de la mitología nórdica). Ese mismo año, el alemán Friedrich Wöhler analizó una de las muestras de *plomo pardo* de Zimapán de Humboldt y concluyó que el óxido de vanadio encontrado era idéntico al de *eritronio* de del Río. Así, tres décadas después, se comprobaba que del Río, efectivamente, había descubierto un nuevo elemento químico metálico. El mineralogista George William Featherstonhaugh (nacido en Inglaterra pero reconocido como el primer geólogo norteamericano) sugirió por ello que se denominara *zimpanium* (zimpanio) o mejor, para hacer justicia, *rionium* (rionio) en vez de vanadio.

Hacia 1833, un sobrino de Humboldt le indicó a del Río en Filadelfia, que su tío le había comentado que los cajones que iban a Francia con las notas del descubrimiento y algunas muestras se habían perdido en un naufragio. Con el tiempo, se atemperó el resentimiento de del Río hacia su viejo amigo, expresando en un escrito publicado en 1840 en *El Zurriago, Periódico Litera-*

rio, Científico e Industrial: «Featherston y yo atacamos con demasiada vehemencia al barón de Humboldt, y acaso sin tener culpa alguna».

Aunque en 1831 Berzelius sugirió haber producido vanadio, se trataba de nitruro de este metal. Hasta 1867 no fue aislado, por el inglés Henry Enfield Roscoe, por reducción de tricloruro de vanadio con hidrógeno. Años después, en 1905, se realizó el primer uso de vanadio a gran escala, para la fabricación del acero del chasis del Ford T, por sus propiedades especiales. En 1927 se obtuvo por reducción de pentóxido de vanadio, V_2O_5 , con calcio por los norteamericanos John W. Marden y Malcolm N. Rich. El vanadio no es una mera curiosidad científica, aparte de su uso en ciertos aceros, por ejemplo para instrumentación quirúrgica y herramientas, sus compuestos se usan como catalizadores de importantes procesos industriales, como el citado V_2O_5 en la obtención de ácido sulfúrico (producto químico de gran relevancia), y en el diseño de nuevas baterías.

A mediados del siglo XX, la comunidad científica mexicana reivindicó ante la IUPAC que se cambiara el nom-



◀
Detalle del Palacio de la Minería en México.

Vivió desde México la época en la que cristalizaron los tres modelos universitarios emblemáticos que han llegado hasta el presente: el inglés –integral y humanista–, el francés –con un enfoque napoleónico basado en la formación de profesionales, como los ingenieros– y el alemán o humboldtiano –basado en la investigación, donde «se enseña lo que se investiga y se investiga lo que se enseña»–. Defendió con ardor la necesidad de formar a los ingenieros de minas en el conocimiento de la mineralogía (*orictognosia*), algo discutido en la época.

Formó a discípulos que destacarían no solo en el campo de la minería, sino en otros, como Leopoldo Río de la Loza (1807–1876), médico, cirujano y farmacéutico que asistió a clases de mineralogía y de química en el *Colegio de Minería*. Aparte de patriota ejemplar, –formó en 1847 una compañía con alumnos y profesores de la *Escuela de Medicina* para defender la ciudad frente a las tropas estadounidenses–, heredó de del Río la pasión por la docencia y la investigación, modernizando la formación superior en química del México del siglo XIX.

Del Río obtuvo en su dilatada vida un amplio reconocimiento internacional, siendo miembro de diversas sociedades científicas, como algunas ya citadas y la So-

ciudad *Werneriana* de Edimburgo y la *Real Academia Médica Matritense*, entre otras. Más considerado en México que en España, figura su nombre, como el de Elhuyar, en una de las puertas principales del *Palacio de Minería*. En 1964, con motivo del bicentenario de su nacimiento, se instauró el *Premio Nacional de Química “Andrés Manuel del Río”* por la *Sociedad Química de México*, y se editaron en este país un millón de sellos con su efigie y, de fondo, el *Palacio de Minería*. Ampliamente reconocido por su labor en beneficio de la sociedad mexicana del siglo XIX, su retrato está integrado, junto con los de sus amigos Fausto Elhuyar y von Humboldt, en el *Retablo de la Independencia*, realizado por Juan O’Gorman en 1960 y conservado en el *Museo Nacional de Historia* de México. Fue encargado inicialmente al muralista Diego Rivera, pero falleció antes. Se trata de un fresco sobre muro directo con forma curva, con 4,5 metros de alto y 16 metros de ancho, donde se representa desde la “noche” colonial al “amanecer” de la independencia, reflejando aspectos como la vinculación de la religión católica con el pueblo mexicano y su proceso de independencia, y personajes emblemáticos, como los sacerdotes Hidalgo y Morelos, junto a la población indígena. Una explicación con detalles del mural puede encontrarse en la dirección web: <https://www.youtube.com/watch?v=P3iTgu1TalQ>.

En España, la Universidad de Alcalá le honró con la denominación del *Instituto de Investigación Química Andrés M. del Río* (IQAR) y en 2019, con motivo del *Año Internacional de la Tabla Periódica*, se le dio su nombre a una plaza en Alcalá de Henares. Ese mismo año, la Universidad Complutense de Madrid inauguró en la Facultad de Ciencias Químicas una escultura, realizada por Iria Groba Martín y Miguel Pozas Pérez, sobre los “elementos químicos españoles”, donde se cita a Andrés del Río en el espacio del vanadio. El Ayuntamiento de Madrid le honró, en enero de 2020, mediante la aprobación por unanimidad de una proposición, interesando que se asigne su nombre a algún espacio público o edificio de carácter científico, por su contribución a la ciencia; concretamente, por el descubrimiento del vanadio, y que se adopten las demás medidas que contiene la iniciativa.

Andrés Manuel del Río, paradigma de científico, ingeniero y profesor de trayectoria excelente, vivió en primera persona los grandes avances de la mineralogía, la geología y la química de su época (finales del siglo XVIII y primera mitad del XIX). Se formó en los mejores centros educativos, compartió su quehacer con personajes de la talla de Werner, Haüy o von Humboldt, descubrió un nuevo elemento químico, y no escatimó el compromiso social y político para favorecer el desarrollo de la sociedad en general y de una nueva nación: México. Su ejemplo es, sin duda, una fuente de estímulo constante y, por ello, debe ser más conocido.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo recibido de la Universidad Politécnica de Madrid a través del proyecto de innovación educativa IE1920.0502 (*Fomento del aprendizaje STEAM basado en la indagación*) y de la Fundación Obra Social ‘La Caixa’ (proyecto *Ciencia y tecnología para la sociedad del siglo XXI*).

Gabriel Pinto

E.T.S. de Ingenieros Industriales
Universidad Politécnica de Madrid
Grupo Especializado de Didáctica e Historia
de la Física y la Química
Reales Sociedades Españolas de Física y de Química

BIBLIOGRAFÍA

- Acebes Pastrana, P., “Andrés Manuel del Río y Fernández”, Real Academia de la Historia (2018). <http://dbe.rah.es/biografias/4339/andres-manuel-del-rio-y-fernandez>
- Caswell, L. R., “Andrés del Río, Alexander von Humboldt, and the twice-discovered element”, *Bull. Hist. Chem.*, 28(1), 35-41 (2003).
- De Jesús Alcañiz, E. Vídeo de la conferencia “Andrés Manuel del Río y el vanadio”, UNED (2019). bit.ly/3aTLHa3
- Pinto, G. “Iniciativas del Ayuntamiento de Madrid para resaltar la labor de Andrés Manuel del Río, el madrileño que descubrió el vanadio”. G. Pinto, *Anales de Química*, 116(1), 38-42 (2020).
- Pinto, G. Vídeo de la conferencia “Andrés Manuel del Río, descubridor del vanadio”. E.T.S. de Minas y Energía de la Universidad Politécnica de Madrid (2020). <https://www.youtube.com/watch?v=PYaPkqj7EUg>
- Puche Riart, O. “Andrés Manuel del Río”, Fundación Ignacio Larramendi, Madrid (2017). <http://dx.doi.org/10.18558/FIL142>
- Ramírez, S. “*Biografía del Sr. D. Andrés Manuel del Río, primer catedrático de Mineralogía del Colegio de Minería*”, Imp. del Sagrado Corazón de Jesús, México (1891).
- Ramírez-Sagaón, D. M. et al., “La historia del descubrimiento del vanadio (elemento 23)”, *Naturaleza y Tecnología*, 6(2), 32-38 (2019).
- Uribe Salas, J. A. “Labor de Andrés Manuel del Río en México: profesor en el Real Seminario de Minería e innovador tecnológico en minas y ferrerías”, *Asclepio. Revista de Historia de la Medicina y de la Ciencia*, 58(2), 231-260 (2006).
- Uribe Salas, J. A. “Ciencia y filosofía. Dos facetas en la vida de Andrés Manuel del Río”, *Saberes. Revista de Historia de las Ciencias y las Humanidades*, 1(3), 10-29 (2018).



Desperfectos en la naturaleza: ¿qué nos enseñan las estructuras sedimentarias de deformación?

“Las estructuras sedimentarias de deformación son importantes como indicadores de las características del ambiente físico en que tuvo lugar la sedimentación y también para la construcción y la ingeniería civil.”

Sedimentos lacustres pleistocenos afectados por licuefacción. Graben de Morelia, estado de Michoacán, México.

Gonzalo Pardo y Concepción Arenas



Estructura de slump en el Eoceno del Grupo de Hecho, Cuenca de Jaca.

Fotografía cedida por G. Pardo.

Las rocas se deforman de manera espectacular cuando sobre ellas actúan fuerzas tectónicas de compresión o extensión. Con una tectónica compresiva se originan pliegues anticlinales y sinclinales, fallas inversas y láminas de cabalgamiento, que son los elementos estructurales típicos de las cadenas montañosas. Con esfuerzos distensivos se generan fallas normales, a veces también pliegues que ajustan los estratos de cobertera a fallas en el zócalo; a mayor escala se alcanza la formación de fosas tectónicas, y a escala todavía mayor a la creación de cuencas tipo *rift*.

Pero los sedimentos pueden también deformarse muy pronto tras su depósito y antes de su consolidación, previamente a esos esfuerzos tectónicos. Tales deformaciones no alcanzan, en el registro geológico, la espectacularidad de las estructuras tectónicas antes citadas: la mayoría son de pequeña escala y se pueden limitar a una parte del estrato, por lo que podrían calificarse de “arrugas en las capas”, aunque algunas pueden llegar a ser complejas, intrincadas, e implicar desplazamientos notables. Se denominan estructuras sedimentarias de deformación y son importantes como indicadores de las características del ambiente físico en que tuvo lugar la sedimentación y también para la construcción y la ingeniería civil, como se verá a continuación.

PROCESOS QUE ORIGINAN LAS ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS DE DEFORMACIÓN

Se trata de estructuras penecontemporáneas con el depósito y que, por tanto, se originan en sedimentos poco consolidados. Pero los fenómenos que determinan la creación de estas estructuras, que encontramos en rocas sedimentarias antiguas, pueden producirse también ahora, en sedimentos recientemente formados. Y si se dan en un área poblada podrían representar graves afecciones para la economía del área y la seguridad de quienes la habitan, si afectan severamente a edificios e infraestructuras. Estos casos están relacionados, al igual que la mayoría de las estructuras de deformación que se ven en el registro geológico, con el fenómeno de **licuación de los sedimentos**. Un sedimento licuado se comporta como un fluido viscoso debido a dos procesos que Allen (1982) denominó licuefacción y fluidificación. Estos dos procesos suelen darse íntimamente relacionados en la naturaleza.

La **licuefacción** implica la pérdida de contacto entre los granos del sedimento a consecuencia de un incremento de presión en el fluido que rellena los poros. Entonces los granos dejan de soportarse mutuamente, quedan dispersos en el fluido y el sedimento es transitoriamente una masa fluida capaz de deformarse.

La **fluidificación** es el proceso por el que los granos del sedimento son arrastrados por el ascenso de un fluido; este soporta el peso de los granos y el conjunto se comporta como un líquido dinámico.

Ambos procesos se dan en depósitos arenosos o limosos de más de un metro de espesor, en capas con partículas de tamaño homogéneo saturadas en agua y, por tanto, con baja cohesión. Estas condiciones son propias de limos y arenas que se depositan en playas, áreas interdunares húmedas, cauces y llanuras de inundación de ríos y sectores distales de abanicos aluviales, con el nivel freático cerca de la superficie. Los dos procesos suponen la disminución o la anulación de la resistencia interna a la cizalla del sedimento. La licuefacción se da sin aumento de volumen del fluido de los poros, y la fluidificación implica el ascenso de dicho fluido. En definitiva, se producen cambios en la disposición original del sedimento al adquirir un comportamiento (hidro)plástico.

Estos procesos requieren de un detonante que los inicie, como sobrecargas locales, movimiento de agua subterránea, olas de tormenta o sacudidas sísmicas. Hasta ese momento, los sedimentos saturados en agua pueden parecer perfectamente sólidos. En el cine se nos han ofrecido secuencias dramáticas en que interviene la licuefacción, con arenas movedizas (las *quick sands*



El hombre enmascarado lucha por salir de arenas movedizas en la película *The Phantom* (1943).

elpais.com

en inglés) en las que quien queda atrapado en ellas las pasa moradas para escapar, si no perece. Sin embargo, aunque salir de las arenas movedizas es difícil, hundirse totalmente en ellas es imposible según el principio de Arquímedes, ya que son más densas que el cuerpo humano, que así no se sumergirá mucho más allá de la cintura. Pero se puede morir de hipotermia o insolación si se permanece mucho tiempo atrapado; así que cuidado dónde se pisa en pantanos y marismas.

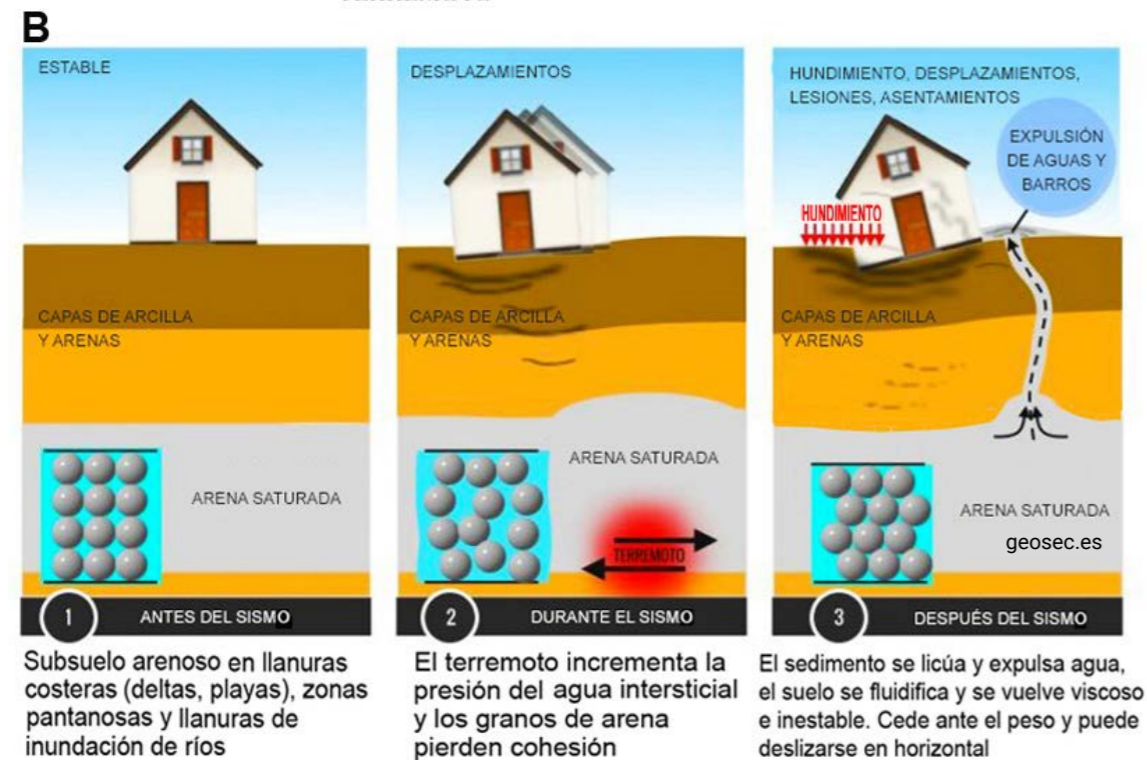
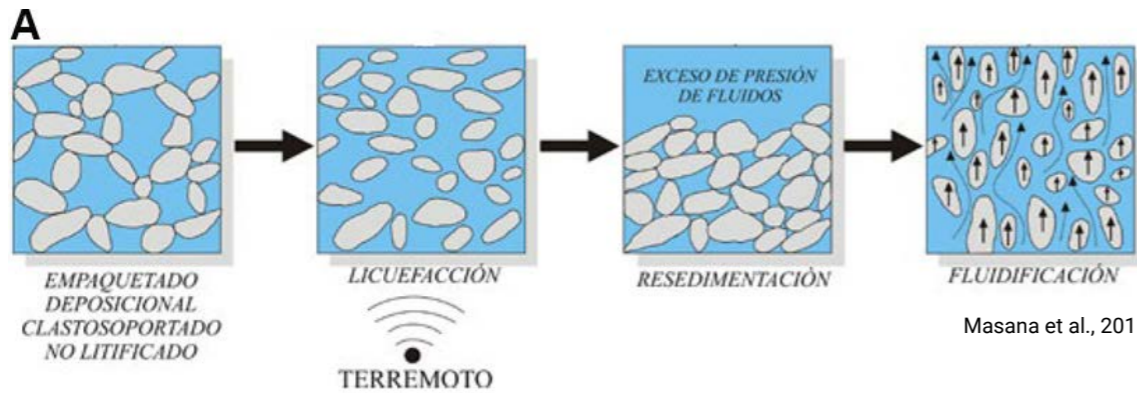
En las arenas movedizas la licuefacción se produce por sobrecarga diferencial al paso de una persona o animal, pero mucho más peligro implica la producida por

A: esquema de la secuencia de procesos de licuefacción y fluidificación de un sedimento poco compactado, saturado de agua, a consecuencia de una sacudida sísmica.

B: efectos de la licuefacción y fluidificación de terrenos producidas por un movimiento sísmico.

A: vista aérea de los efectos de licuefacción del suelo causados por el terremoto de Niigata.

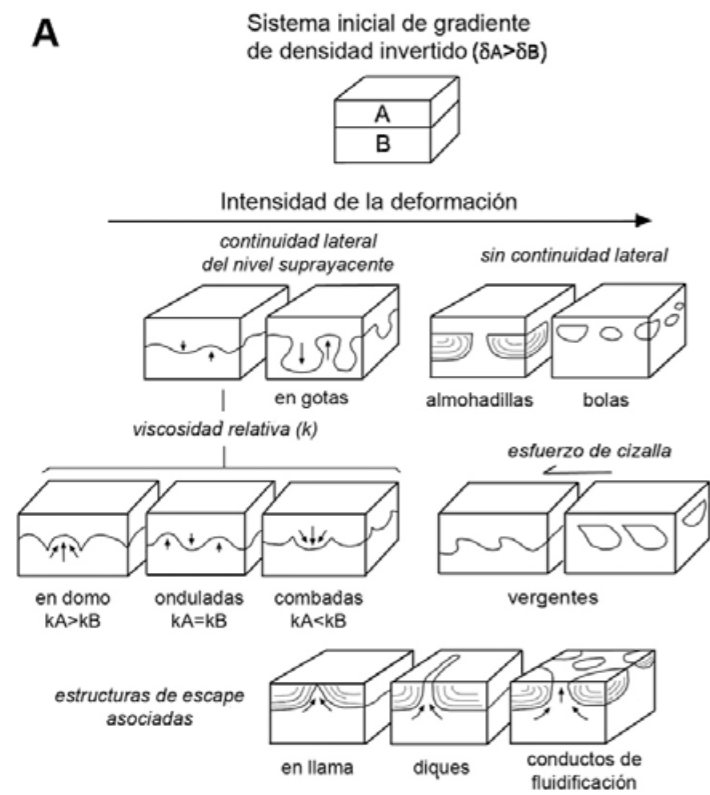
B: edificio afectado por licuefacción en Taiwán, consecuencia del sismo de 2018.



terremotos. La tensión tangencial cíclica debida a las ondas sísmicas vence la resistencia del esqueleto granular; el sedimento se licuefacta y cambia a un empaquetamiento más denso. La presión intersticial, al aumentar de forma casi instantánea, conlleva la deformación del suelo y finalmente la fluidificación del sedimento, que se inyecta junto con el agua intersticial hacia la superficie.

De resultados espectaculares fueron, a este respecto, los terremotos de Niigata, Japón, de 1964 y de Taiwán, de 2018. De magnitudes altas (momentos sísmicos $M_w=7$ y $M_w=6,4$ respectivamente), apenas dañaron la estructura de los edificios, seguramente construidos según normas antisísmicas, pero la licuefacción en diversos puntos determinó que los cimientos perdiesen apoyo y algunos edificios se tumbasen. Además, los conductos de agua, gas y electricidad suelen resultar afectados, rotos y

“En las arenas movedizas la licuefacción se produce por sobrecarga diferencial al paso de una persona o animal, pero mucho más peligro implica la producida por terremotos.”



Modelo conceptual simplificado de Alfaro et al. (2000)



(Arenas Abad et al., 2016)

◀ **A: estructuras de carga, almohadilladas y en bolas y estructuras de escape de fluidos asociadas.**

B: fotografía de la base de un estrato de arenisca con estructuras de carga. Formación Arenisca de Sabiñánigo, Eoceno, Cuenca de Jaca.

catastróficos fueron debidos al tsunami asociado, pero buena parte de los desperfectos en infraestructuras se debieron a licuefacción. También se constataron, midiendo las alturas de puntos geodésicos tras el seísmo, hundimientos de entre 30 cm y 1,2 m en áreas costeras, desde entonces más susceptibles de inundación en mareas altas.

TIPOS DE ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS DE DEFORMACIÓN

Pero vayamos al registro geológico. En él, las estructuras sedimentarias de deformación se reconocen en estratos concretos dentro de una serie estratigráfica, mientras que los estratos infra y suprayacentes no aparecen afectados por las mismas. Además, como se ha dicho arriba, pueden afectar solo a una parte de un estrato. Siguiendo a diferentes autores, como Corrales et al. (1977), Reinek y Singh (1980), Allen (1982), Collinson y Thompson (1982), Boggs (2001), Dabrio y Hernando (2003), entre otros muchos, estas estructuras se pueden agrupar en los tipos que se describen a continuación.

Estructuras de carga (en inglés *load structures*), almohadilladas y en bolas (*pillow-and-ball structures*)

Se originan cuando el proceso de licuefacción tiene lugar donde existe un gradiente de densidad invertido; es decir, donde una o varias capas de mayor densidad (comúnmente arenas) se apoyan sobre otras de densidad

menor (limos, arcillas o margas), lo que implica inestabilidad gravitacional. Entonces la unidad superior colapsa en la inferior, formando las *load structures*. Estas son prominencias bulbosas, aisladas o en contacto, con relieve de milímetros a centímetros en la base de las capas arenosas. Su morfología varía en función de la diferencia de viscosidad que existiese entre la capa arenosa y la infrayacente más fina (Alfaro et al., 2000). Como en el registro geológico aparecen siempre en la base de la capa de arenisca, son indicadores de la polaridad vertical de la serie estratigráfica en que se encuentran.

Si la intensidad del proceso es alta, la unidad arenosa pierde su continuidad y se divide en cuerpos aislados con forma de almohadillas o bolas (*pillow-and-ball structures*), totalmente rodeadas por el material infrayacente menos denso. Las dimensiones de estos cuerpos varían de centímetros a metros.

Estructuras almohadilladas y en bolas. Nótese que los estratos por encima y por debajo de las estructuras no presentan deformación. Arenisca de Sabiñánigo sobre las Margas de Larrés, Eoceno, Cuenca de Jaca



desplazados hacia la superficie por efecto de la fluidificación asociada. Como consecuencia, se pueden producir fuegos de difícil extinción si en el proceso los hidrantes de bomberos se inutilizan. Esto ocurrió, por ejemplo, en el Marina District de San Francisco durante el terremoto de 1989, atribuido a la actividad de la falla de San Andrés. En el terremoto de Tohoku de 2011 (de $M_w=9,1$, que afectó a la central nuclear de Fukushima) los daños más

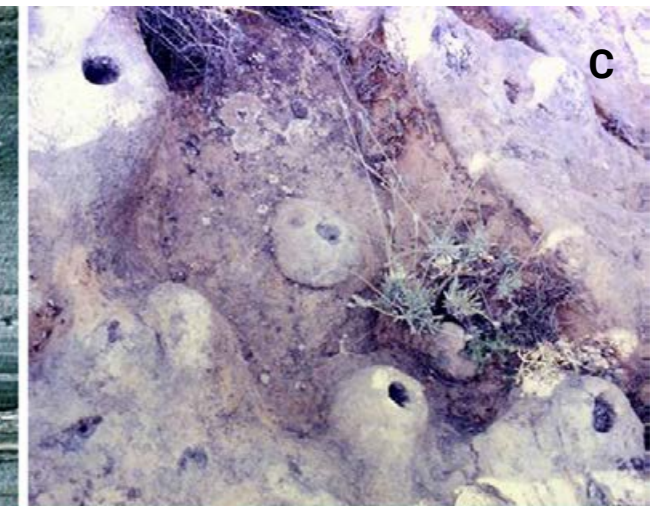
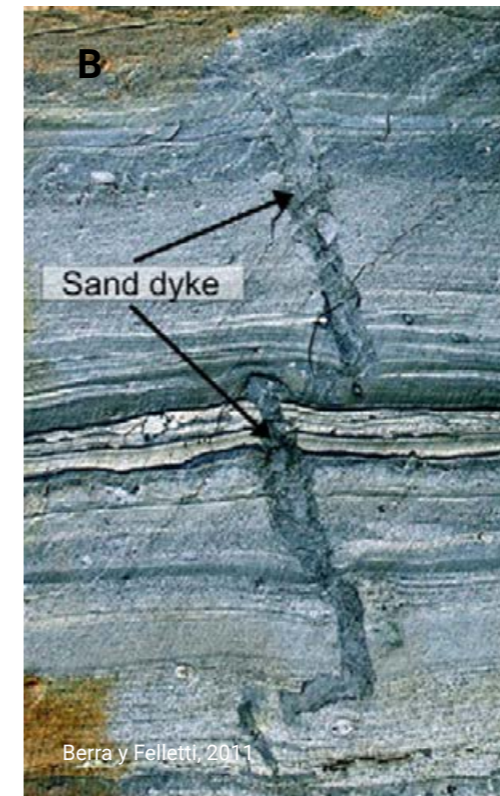
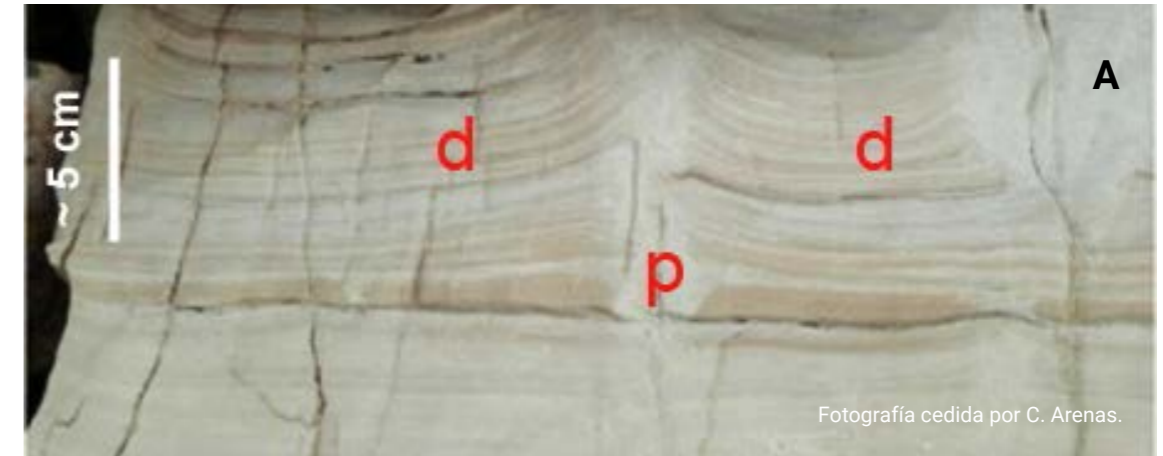
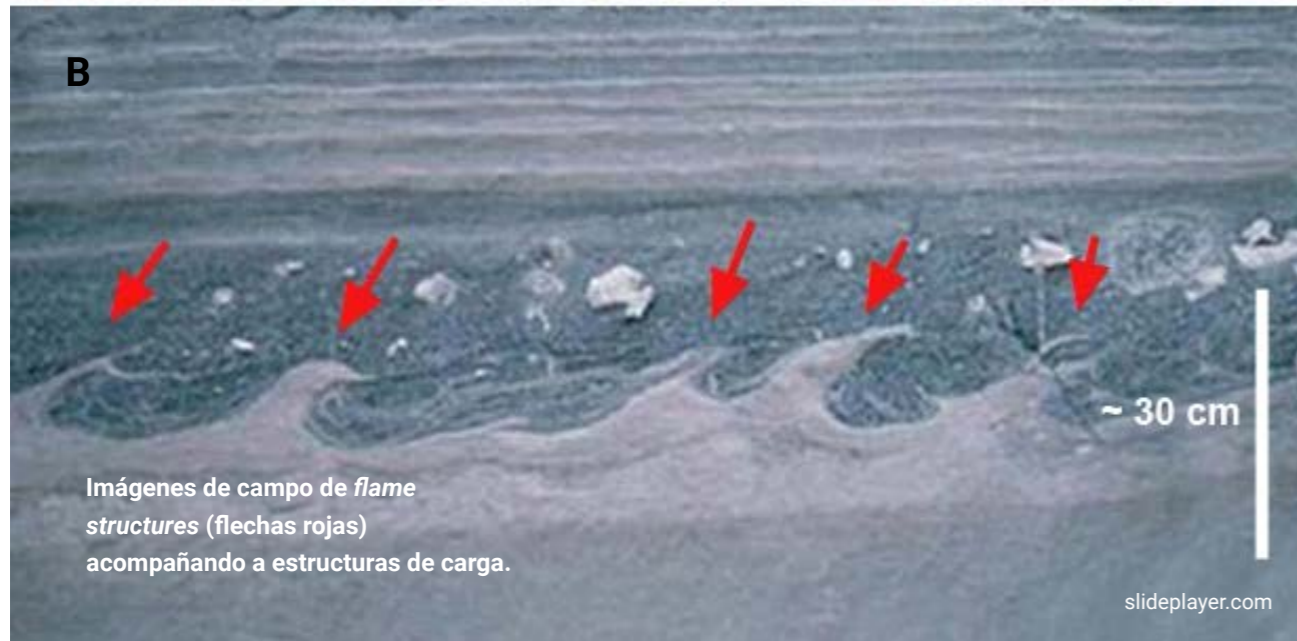
“Si la intensidad del proceso es alta, la unidad arenosa pierde su continuidad y se divide en cuerpos aislados con forma de almohadillas o bolas.”

Estructuras en llama (*flame structures*), estructuras en platos y pilares (*dish and pillar structures*), diques clásticos y volcanes de arena

Íntimamente relacionadas con las anteriores, en su generación interviene esencialmente la fluidificación. Cuando se producen estructuras de carga con un relieve importante, el sedimento fino infrayacente se inyecta, formando las *flame structures*, espaciadas con más o menos regularidad en la base de la arenisca suprayacente). En ocasiones, las estructuras en llama se presentan alargadas en una dirección preferente. En paralelo, las estructuras de carga exhiben una clara

inclinación en el mismo sentido; esto sugiere la acción de una fuerza de cizalla, por ejemplo ejercida por una corriente, que se suma al gradiente de densidad invertido (Alfaro et al., 2000).

Si un estrato de arena contiene láminas de material más fino (lutítico), el escape del fluido (agua más arena) puede dar lugar a las estructuras en platos y columnas. Las *dish structures* se crean porque el fluido ascendente busca los puntos más permeables entre las láminas de lutita, que así aparecen discontinuas y con un perfil cóncavo hacia arriba. En los conductos de escape puede acumularse la arena, dando lugar a las *pillar structures*.



A: estructuras *dish* (d) y *pillars* (p). Cámbrico, Montañas Rocosas (Columbia Británica, Canadá).

B: diques clásticos.

C y D: volcanes de arena (C, vista en planta y D, en sección).

El escape de material a partir de un nivel de arena licuefactado puede tener un recorrido mayor, inyectándose por fisuras en los estratos suprayacentes. Sería este el origen de los diques clásticos. Si el material inyectado a través de *pillar structures* llega a superficie, se derrama y forma volcanes de arena dispersos, o alineados si se inyecta a través de diques. En los volcanes producidos por seísmos, el diámetro suele ser proporcional a la intensidad del evento. En terremotos intensos, sedimento y agua llegan a surgir a borbotones.



Fotografía cedida por C. Arenas.



gbank.gsj.jp

◀ Ejemplos de laminación convolucionada.

Laminación y estratificación “convolucionadas”
(*convolute lamination and bedding*)

Las capas de arenisca suelen presentar unas láminas internas que pueden ser horizontales (paralelas a los límites del estrato) o cruzadas (inclinadas respecto a las superficies de estratificación). Estas últimas constitu-

yen la estructura interna de *ripples* (laminación cruzada) y *megaripples* (estratificación cruzada) (véase Sánchez-Moya y Sopeña, 2015). Cuando las láminas originales aparecen intensamente replegadas dentro de un estrato se habla de laminación o de estratificación “convolucionada” (término adaptado del inglés *convoluted*). En esta estructura la laminación aparece plega-

▶
A: estratificación cruzada deformada, indicada con flechas, en la Arenisca Navajo, Jurásico inferior, USA.

B: pliegue recumbente, marcado en rojo, en la Arenisca Coconino, Pérmico, USA. Nótese los estratos infra y suprayacentes sin deformación.



Owen et al., 2011



Whitmore et al., 2015

da según crestas agudas o con forma de champiñón y surcos más laxos. Las láminas pueden estar volcadas en una dirección, llegando a invertirse, pero en general se observa continuidad de cada lámina individual.

La génesis de esta estructura es discutida, y más de un proceso puede estar involucrado. Sin embargo la deformación plástica del sedimento, causada por licuefacción, al menos parcial, parece ser el factor más importante (Corrales et al., 1977; Boggs, 2001). A veces los pliegues de la laminación presentan una inclinación (vergencia) bien definida, que suele coincidir con la dirección de la paleocorriente que originó el depósito. En este caso, como ya se ha visto con las *flame structures*, la paleocorriente ejercía una fuerza tangencial que pudo ser el desencadenante de la licuefacción del sedimento recién depositado. La laminación convolucionada se encuentra con frecuencia en depósitos originados por corrientes de turbidez en abanicos submarinos profundos, pero también en ambientes fluviales y en llanuras mareales y deltaicas.

Estratificación cruzada deformada
(*deformed cross-bedding*)

Aunque podría agruparse con las estructuras anteriores, algunos autores (Allen, 1982; Dabrio y Hernando, 2003) diferencian este tipo para depósitos con estratificación cruzada, especialmente de gran escala (de espesor superior a 1 m) en los que se reconocen deformaciones similares a pliegues recumbentes simples e incluso a contorsiones complejas, afectando a horizontes extensos. Collinson y Thompson (1982) la denominan *overturned cross bedding*. Sobrecarga vertical, colapso gravitacional, esfuerzo de cizalla y escape de agua pueden contribuir a crear la estructura.

Esta estructura se conoce en gravas y areniscas de medios marinos y fluviales, y son espectaculares en formaciones interpretadas como depósitos eólicos gigantes, como las areniscas Navajo (Triásico-Jurásico inferior) y Coconino (Pérmico) de Estados Unidos, que representan la existencia de *ergs* en el supercontinente Pangea.

Pero en estos casos, ¿cuál es el origen del agua cuyo escape facilita la formación de la estructura?, ¿habría que pensar en un nivel freático alto?, ¿se trataría de dunas costeras, afectadas por ascensos del nivel del mar, o una parte de tales formaciones son subacuosas? Esta es una polémica que se reaviva periódicamente (véase Whitmore et al., 2015).

Estructuras de arrastre y caída

Conocidas en la literatura en lengua inglesa como *slump structures*, *slump sheets* o *synsedimentary folds and faults*, ya no se refieren a la laminación o estratificación dentro de un estrato, sino a conjuntos de estratos cuyo

espesor puede variar entre menos de un metro y más de 100 m. Estos conjuntos son alternancias de capas de sedimento detrítico o carbonatado y material arcilloso o margoso, que aparecen muy replegados entre estratos originariamente sin deformación.

Internamente, las estructuras de *slump* consisten en pliegues irregulares apretados y apilados, con las crestas erosionadas por las capas suprayacentes no afectadas. A veces la estratificación dentro de la estructura es discontinua por fracturación, generalmente de tipo inverso, y los estratos más litificados pueden llegar a fragmentarse en bloques de tamaños diversos y dispersos en el material fino, dando lugar a brechas intraformacionales.



◀ **Slump structures** en la Formación Carretero (calizas y margas), Cretácico inferior, Cordilleras Béticas. En B, la rotura de los estratos da lugar a una brecha intraformacional.

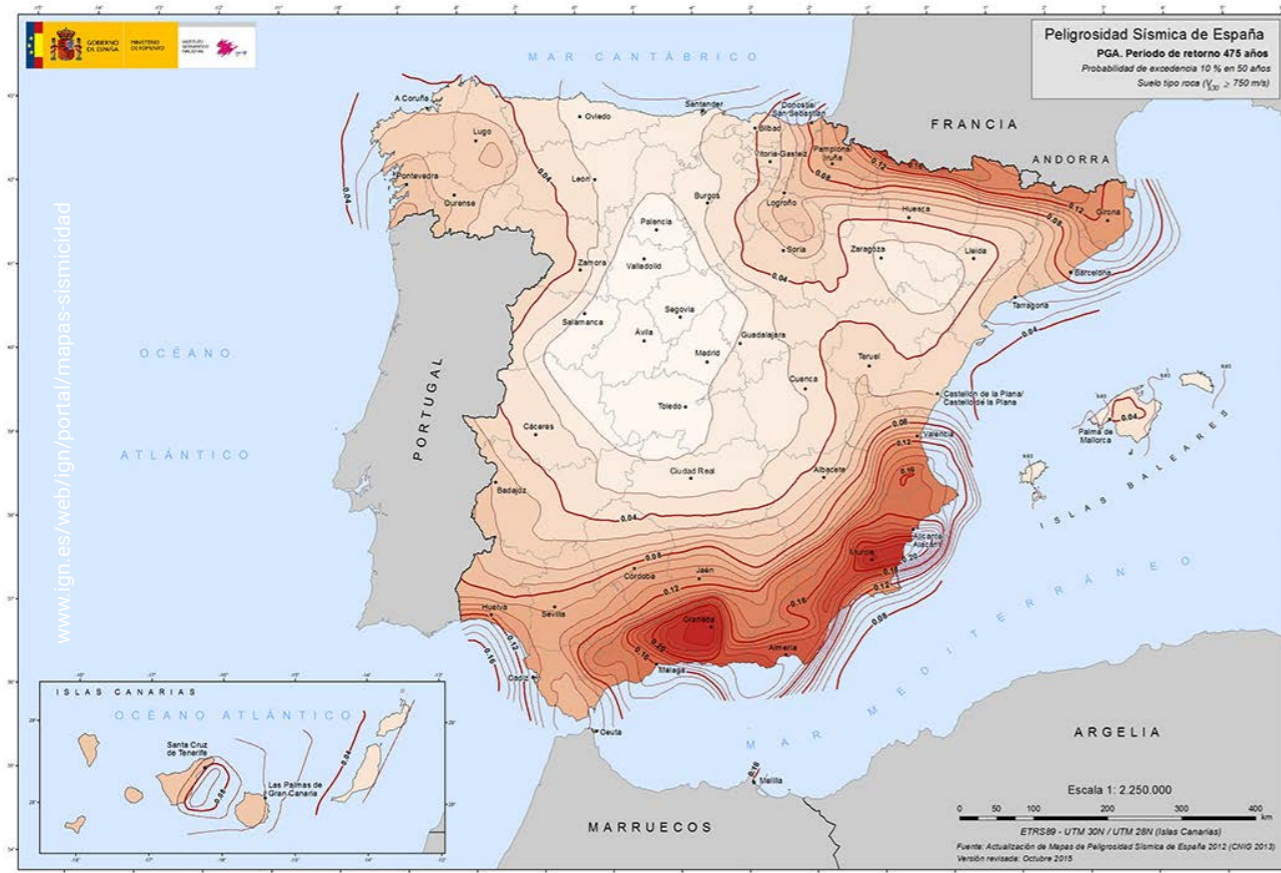


El origen de la estructura está en que una pila de sedimentos depositados en una pendiente se hace inestable y se desplaza por acción gravitacional, a veces a lo largo de kilómetros. La pendiente para que esto se produzca puede ser inferior a 1°, y el proceso estaría favorecido por la alta presión de fluido en los poros de los sedimentos aún poco consolidados. Los *slumps* pueden darse en cualquier ambiente sedimentario en que la superficie de depósito esté inclinada en origen, como en plataformas y taludes continentales, abanicos submarinos y frentes deltaicos y arrecifales.

ESTRUCTURAS DE DEFORMACIÓN Y PALEOSISMICIDAD

Los procesos que generan las estructuras sedimentarias de deformación requieren de un detonante que los desencadene, y uno de ellos son los terremotos. En un área pueden encontrarse esas estructuras en el registro geológico cuaternario y anterior, de hasta hace unos 10 millones de años, y puede que se hayan originado por terremotos en el pasado. ¡Ahí me los den todos!, dice

“Las estructuras de slump consisten en pliegues irregulares apretados y apilados, con las crestas erosionadas por las capas suprayacentes no afectadas.”



Mapa de peligrosidad sísmica de España actualizado a 2015 del Instituto Geográfico Nacional. El valor de las isótopos corresponde a la aceleración sísmica, teniendo como referencia para el valor 1 la del campo gravitatorio ($g = 9,84 \text{ m/s}^2$). Es una medida de la intensidad de los terremotos.

el *Homo sapiens* que habita esa área. Pero si hay una probabilidad de que vuelvan a producirse sismos de importancia en ese mismo lugar, vale la pena prevenir posibles daños, adoptando la normativa antisísmica para las construcciones. En esta línea sería prudente:

- 1) Conocer la sismicidad y la peligrosidad sísmica del área,
- 2) Reconocer y estudiar las estructuras tectónicas (fallas activas desde hace unos 20 millones de años) capaces de generar terremotos en ella,
- 3) Investigar si las estructuras sedimentarias de deformación presentes en el registro geológico son de origen sísmico, asociado a tales fallas, y
- 4) Explorar si existen depósitos sedimentarios susceptibles de licuefacción frente sacudidas sísmicas.

El punto 1, en España, es de conocimiento público a través del Instituto Geográfico Nacional (IGN), que elabora mapas a partir de los datos instrumentales disponibles desde 1900 y ofrece fichas de terremotos históricos anteriores a esta fecha (<http://www.ign.es/web/ign/portal/sis-catalogo-terremotos>); véase también Silva

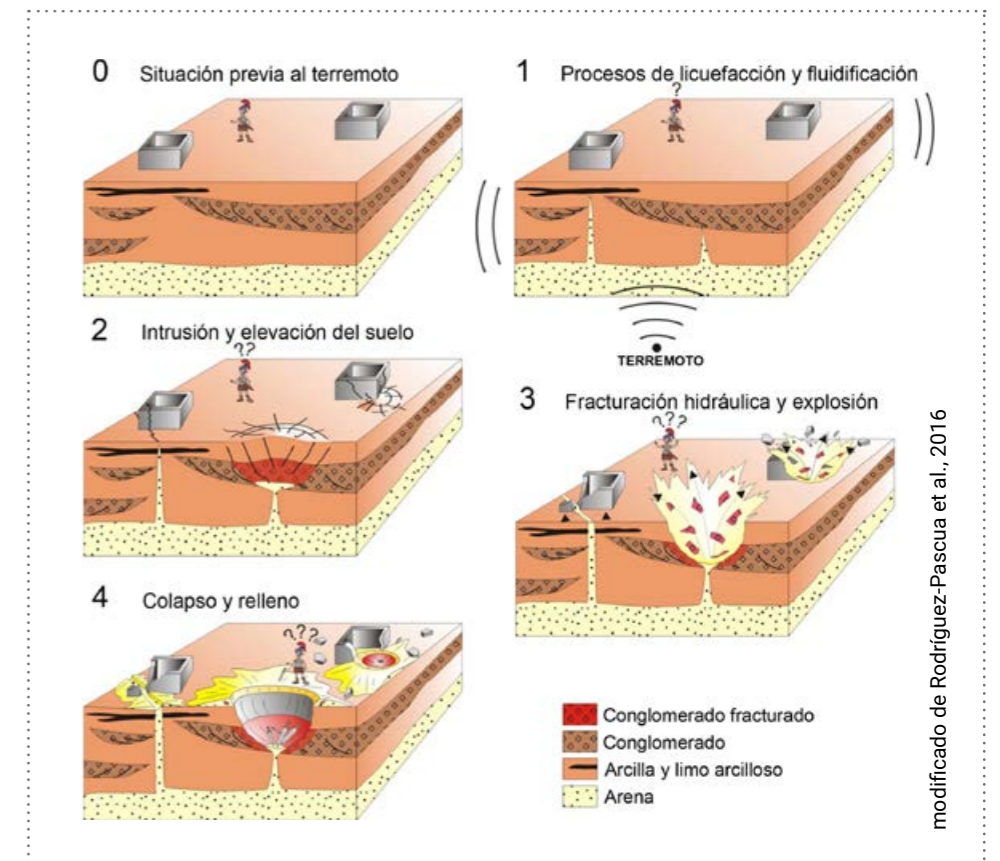
Barroso, 2019). Sin embargo, un mapa de peligrosidad sísmica como el de la figura solo indica la probabilidad, establecida con métodos estadísticos, de que se produzca un terremoto de determinada magnitud dentro de un intervalo de tiempo dado (periodo de recurrencia). En este mapa del IGN ese periodo es de 475 años; pero en este tipo de mapas no se predicen los efectos geológicos de los terremotos, como caídas de bloques, deslizamientos de ladera y licuefacción de suelos.

En la figura, se puede observar que el área central de España es una de las de menor peligrosidad. Sin embargo, la arqueosismología evidencia un terremoto con M_w entre 5 y 6,6 en el siglo IV que afectó a la ciudad romana de Complutum, en el entorno de Alcalá de Henares (Rodríguez-Pascua et al., 2016). Si el mapa de peligrosidad da para el área un valor de aceleración sísmica de $< 0.04g$, que no conlleva daños, ese terremoto supuso entre 0.19 y 0.39g, que se percibiría como fuerte a muy fuerte, con potencial de daños fuertes, descritos en el trabajo citado. En la escala de intensidad sísmica ESI-07 esos autores atribuyen a este evento una intensidad mínima de IX, sobre la base de la amplitud de volcanes de arena de carácter explosivo.

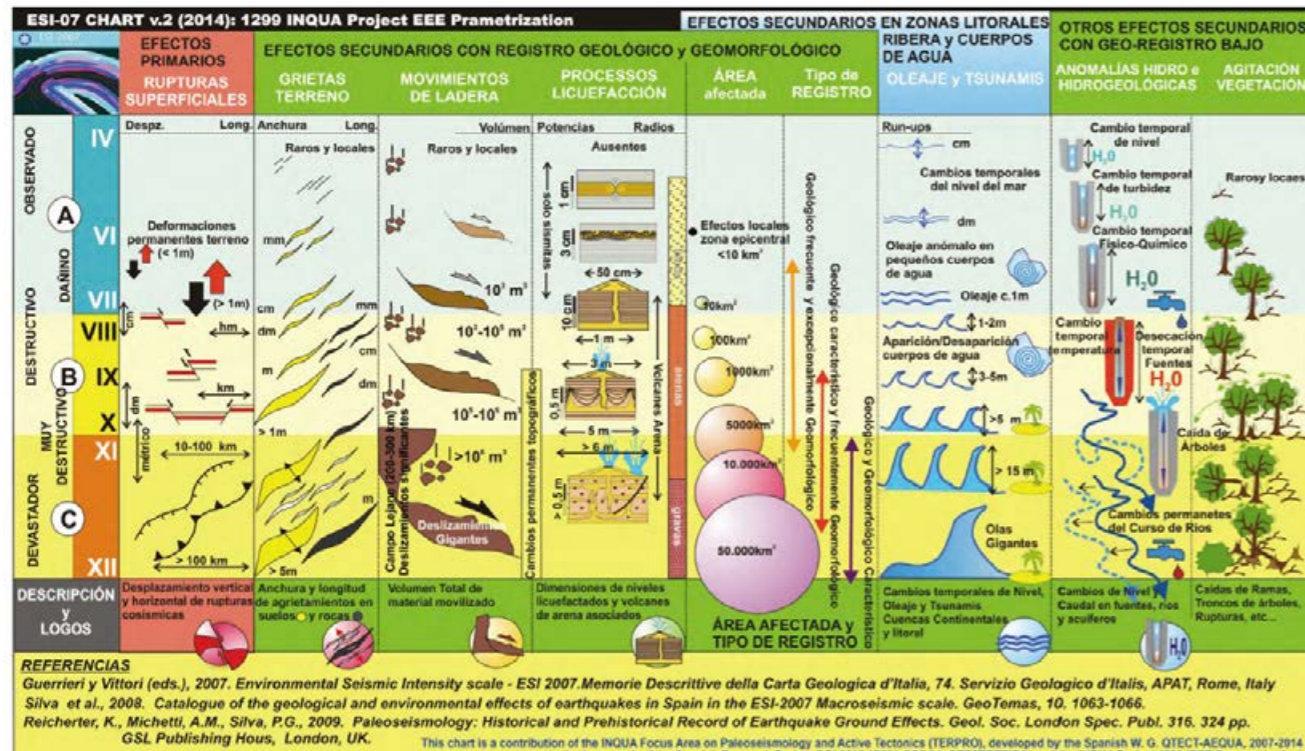
BIBLIOGRAFÍA

- Allen, J.R.L. (1982). *Sedimentary Structures: Their Character and Physical Basis*, v. II. Developments in Sedimentology, 30B, Elsevier, Amsterdam, 663 pp.
- Alfaro, P., Estévez, A., Moretti, M. y Soria, J.M. (2000). Estructuras sedimentarias de deformación en el Mioceno superior-Cuaternario de la Cordillera Bética. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 13(1): 79-89.
- Arenas Abad, C., González Rodríguez, A., Pardo Tirapu, G., Muñoz Jiménez, A., Pérez García, A., Bádenas Lago, B., Meléndez Hevia, A., Luzón Aguado, A., Soria de Miguel, A.R. (2016). *Catálogo de estructuras sedimentarias: Litoteca e imágenes de campo*, Área de Estratigrafía, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza (https://ocw.unizar.es/ocw/pluginfile.php/761/mod_resource/content/11/presentacion%20espa%C3%B1ol%20ingl%C3%A9s.htm)
- Berra, F. y Felletti, F. (2011). Syndepositional tectonics recorded by soft-sediment deformation and liquefaction structures (continental Lower Permian sediments, Southern Alps, Northern Italy): Stratigraphic

Fases sucesivas del evento sísmico de La Magdalena, en la ciudad romana de Complutum. El personaje romano, cada vez más atemorizado durante el proceso, una vez concluido éste, arroja a los crateres abiertos diversos objetos de hierro (cuchillos, hachas y otras herramientas) como ofrenda para aplacar a los dioses de la tierra y del fuego.



modificado de Rodríguez-Pascua et al., 2016



▲
Escala ESI-07 de intensidad sísmica, que se basa en los efectos de los terremotos sobre la naturaleza. Esta escala se describe en Catálogo de los efectos geológicos de los terremotos en España (Publicaciones del IGME, Serie Riesgos Geológicos/Geotecnia, nº 6), descargable en: <https://www.igme.es/Publicaciones/PubliGratis.htm>

A este respecto, Lafuente et al. (2014) señalan que los registros sísmicos instrumentales en áreas situadas en el interior de las placas tectónicas cubren periodos más cortos que los de recurrencia de terremotos importantes, que normalmente están en el orden de miles de años. Así, el riesgo sísmico puede ser subestimado si solo se atiende a un registro instrumental e histórico durante el cual la sismicidad ha sido baja. Como consecuencia, es recomendable el estudio de las fallas existentes: en primer lugar, si los epicentros de los terremotos instrumentales e históricos pueden estar controlados por tales estructuras; en segundo lugar, si hay evidencias de deformación en sedimentos jóvenes (pliocenos a holocenos) asociados a ellas, incluyendo episodios de fracturación, basculamiento y estructuras sedimentarias de deformación como las descritas antes, así como rasgos geomorfológicos de movimientos relativamente recientes, como creación de escarpes.

Ejemplo de este tipo de estudios son los realizados en la fosa tectónica de Teruel-Jiloca, en la Cordillera Ibérica. Se trata de un *semigraben* con relleno de origen aluvial, eólico, fluvial y lacustre que va del Mioceno superior, unos 11 millones de años, al Pleistoceno superior, alrededor de 14.000 años (Lafuente et al., 2008). Este relleno estuvo controlado por la actividad extensional de las fallas de Conclud y Teruel que limitan la fosa.

En la primera de las fallas, los estudios realizados en trincheras llevaron a determinar 9 eventos paleosísmicos durante el Pleistoceno superior, entre 81.600 y los 14.000 años atrás, con periodos intersísmicos de 4.000 a 11.000 años, y magnitudes M_w entre 6.0 y 6.8, muy por encima del registro instrumental en la región, normalmente entre 1.5 y 3.5, con un máximo de 4.4 (Lafuente et al., 2014).

En la misma fosa, en los sedimentos del Plioceno superior al Pleistoceno superior se han reconocido diques clásticos, estructuras de carga y almohadilladas y estructuras de escape de agua, que se han interpretado como *sismitas*, es decir, resultado de licuefacción y fluidificación debidas a sacudidas sísmicas (Lafuente et al., 2008; Ezquerro et al., 2015). Determinar que una estructura sedimentaria de deformación es una *sismita* suele ser bastante problemático (Owen et al., 2016). En el caso de la fosa de Teruel-Jiloca, esas estructuras se encuentran a corta distancia de las fallas activas, incluso en la misma confluencia de las fallas de Conclud y Teruel, y concentradas en niveles sedimentarios sintectónicos a esas fallas. Además, la orientación del plano de algunos diques clásticos es similar a la de las fracturas dominantes, lo que indica que la licuefacción ha seguido vías coherentes con el campo regional de esfuerzos (Lafuente et al., 2008). Con su estudio, Ezquerro et al. (2015) llegan a reconocer 21 niveles de *sismitas*. Como la magnitud mínima para que un terremoto produzca licuefacción y fluidificación de sedimentos se estima que debe ser superior a 5, se concluye que en la fosa de Teruel se han dado en el pasado terremotos de intensidad de fuertes a muy destructivos.

Los estudios paleosismológicos realizados, ya publicados o en vías de publicación, determinaron que en agosto de 2013 el Gobierno de Aragón paralizase el inicio de las obras de un nuevo hospital en Teruel, que se ubicaría en un lugar directamente afectado por las fallas de Conclud y Teruel. Tras un informe del IGN y del Instituto Geológico y Minero de España, el hospital se está construyendo actualmente en la misma parcela, pero incorporando medidas sismo-resistentes (véase Diario de Teruel de 27 de abril de 2019, <https://www.diariodeteruel.es/movil/noticia.asp?notid=1014462>).

Gonzalo Pardo y Concepción Arenas
Área de Estratigrafía
Dpto. de Ciencias de la Tierra
Universidad de Zaragoza

significance. *Sedimentary Geology*, 235: 249–263.

- Boggs, S. (2001). *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. Prentice Hall, Inc., New Jersey, 726 pp.
- Collinson, J.D. y Thompson, D.B. (1982). *Sedimentary Structures*. George Allen & Unwin Ltd, London, 194 pp.
- Corrales, I., Rosell, J., Sánchez de la Torre, L.M., Vera, J.A. y Vilas, L. (1977). *Estratigrafía*. Ed. Rueda, Madrid, 718 pp.
- Dabrio, C.J. y Hernando, S. (2003). *Estratigrafía*. Editorial Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 383 pp.
- Ezquerro, L., Moretti, M., Liesa, C.L., Luzón, A. y Simón, J.L. (2015). Seismites from a well core of palustrine deposits as a tool for reconstructing the palaeoseismic history of a fault. *Tectonophysics*, 655: 191–205.
- Lafuente, P., Rodríguez-Pascua, M.A., Simón, J.L., Arlegui, L.E. y Liesa, C.L. (2008). Sismitas en depósitos pliocenos y pleistocenos de la fosa de Teruel. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 21 (3-4): 133-149.
- Lafuente, P., Arlegui, L.E., Liesa, C.L., Pueyo, Ó. y Simón, J.L. (2014). Spatial and temporal variation of palaeoseismic activity at an intraplate, historically quiescent structure: The Conclud fault (Iberian Chain, Spain). *Tectonophysics*, 632: 167–187.
- Masana, E., Rodríguez Pascua, M.A. y Martínez Díaz, J.J. (2011). Los paleoterremotos: estudiando el pasado para entender el futuro. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.3: 305-316.
- Owen, G., Moretti, M. y Alfaro, P. (2011). Recognising triggers for soft-sediment deformation: Current understanding and future directions. *Sedimentary Geology*, 235: 133–140.
- Reineck, H.E. y Singh, I.B. (1980). *Depositional sedimentary environments*. Springer-Verlag, Berlín, 549 pp.
- Rodríguez-Pascua, M.A. y 11 autores más (2016). Seismically induced liquefaction structures in La Magdalena archaeological site, the 4th century AD Roman Complutum (Madrid, Spain). *Sedimentary Geology*, 344: 34-46.
- Sánchez-Moya, Y. y Sopeña, A. (2015). Aprendiendo a leer en las estratificaciones cruzadas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23 (2): 148-159.
- Silva Barroso, P.G. (2019). Fuentes históricas y geológicas de los terremotos antiguos de la Península Ibérica. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 32 (2): 43-64.
- Whitmore, J.H., Forsythe, G. y Garner, P.A. (2015). Intraformational parabolic recumbent folds in the Coconino Sandstone (Permian) and two other formations in Sedona, Arizona (USA). *Answers Research Journal*, 8: 21–40.

El mundo será de los líderes apasionados y con empuje; gente que no sólo tenga una cantidad enorme de energía, sino que pueda proporcionársela a aquellos a quienes conducen.

Jack Welch

Camino hacia el liderazgo

Javier Aceña



Aunque el estudio científico del liderazgo es algo relativamente reciente, su interés se ha mantenido a lo largo de los años. Ya los antiguos pensadores coincidían en afirmar que las cualidades extraordinarias de los líderes provocaban una notable influencia en la conducta, el pensamiento y el corazón de las personas. Desde Jesucristo hasta nuestros días, figuras como Julio César, Napoleón, Nelson Mandela o Steve Jobs han despertado una gran fascinación. ¿Pero cuáles son esos rasgos que les distinguen de las personas normales y corrientes y les convierten en referentes ante los ojos de los demás?

“Desde Jesucristo hasta nuestros días, figuras como Julio César, Napoleón, Nelson Mandela o Steve Jobs han despertado una gran fascinación.”

En la antigua Grecia, el sabio Aristóteles (IV a.C.), discípulo de Platón y maestro del gran Alejandro Magno, afirmaba que *“Desde el mismo instante del nacimiento algunos están predestinados a la obediencia y otros al mando”*. Estamos ante el eterno, y afortunadamente ya superado, debate de si el líder nace o se hace. Efectivamente, uno de los grandes mitos sobre la capacidad de liderazgo es pensar que algunas personas la tienen y otras no, y en caso de no poseerla, poco o nada se puede hacer para aprenderla. Aunque en la actualidad, y principalmente en el mundo de las organizaciones, nadie discute que el líder principalmente

se “hace”, las primeras aproximaciones al estudio del liderazgo, las denominadas “teorías del gran hombre”, creían firmemente que ciertas características innatas y estables de las personas (rasgos) diferenciaban a los líderes de los que no lo son. Este enfoque del rasgo constituye uno de los primeros intentos por estudiar el liderazgo de manera sistemática. Sin embargo, estas ideas cayeron en desuso a mediados de los años 40 al concluir que no era posible encontrar rasgos específicos que se pudieran atribuir a los líderes en cualquier situación, siendo esta lista, además, interminable.

A partir de entonces, las investigaciones dejaron de poner el foco en el “qué” y se centraron en el “cómo”. Ya no interesaba tanto conocer qué características poseían los líderes, sino cómo se comportan los líderes y, sobre todo, qué efectos tenían estas conductas en el comportamiento de lo demás. Surge así un nuevo enfoque de los “estilos de conducta” el cual cobra un importante impulso con los estudios pioneros de un grupo de investigadores norteamericanos en 1939 dirigidos por Kurt Lewin, profesor de la universidad de Berlín y de la universidad de Iowa, quien realizó una destacada contribución al campo de la psicología social. Lewin y cols. demostraron que era posible condicionar el comportamiento de los individuos según el estilo de liderazgo con el que se les dirija. Este experimento surgió en un contexto social en el cual la mayoría de las investigaciones iban encaminadas a explicar la conducta que tuvieron los nazis bajo el mando de Adolf Hitler.

Unos años después, alcanzada la década de los 70, se abandonó la idea de que el rendimiento de un grupo u organización depende tan solo de las características del líder (rasgos de personalidad) o de su manera de actuar (estilo de conducta). En esta ecuación del liderazgo, deberían tenerse en cuenta, además, las variables situacionales propias al contexto en el que se desarrolla dicho liderazgo. Surgen así las denominadas “teorías de la contingencia”, las cuales asumen la relevancia de los elementos de la situación. Los muchos autores que defienden este nuevo enfoque se ponen a la difícil tarea de determinar cuáles son exactamente esas variables situacionales que influyen de manera determinante en el ejercicio del liderazgo.

Pero, aunque el papel del líder y la influencia del contexto son aspectos fundamentales a la hora de entender el significado del liderazgo, tampoco nos podemos olvidar de que existe un tercer protagonista en esta historia: los seguidores. Ya Platón (IV a. C) en su conocida e



“Las personas quieren seguir a líderes en quienes poder confiar.”

influyente obra “La República” destacaba que *“el buen líder no ha de pedir serlo, ni rogar a los demás que se sometan a su liderazgo. Al contrario, son los demás los que voluntariamente piden al líder que lo sea, que les guíe. Para ello es preciso que el líder tenga las cualidades precisas para gobernar y dirigir el grupo hacia el objetivo común, y que los miembros de ese grupo reconozcan esas cualidades en el líder”*. Efectivamente, en esencia, el liderazgo es una relación personal en la cual líder y seguidores comparten una relación de beneficio mutuo en la que cada uno aumenta la efectividad del otro.

Tras esta breve y simplificada aproximación histórica al estudio del liderazgo, hemos de tener claro que en el ejercicio del liderazgo interviene multitud de variables, lo que

hace difícil encontrar una definición consensuada del término. Efectivamente, existen casi tantas definiciones como personas han pretendido definirlo. No obstante, hay un amplio consenso a la hora de afirmar que el liderazgo, lejos de ser un rasgo o característica estática que reside únicamente en el líder, se considera un proceso de influencia líder-seguidores que tiene lugar en un contexto determinado a lo largo del tiempo y cuyo fin es alcanzar las metas de un grupo, organización o sociedad.

¿Qué busca y admira la gente en sus líderes?

Muchos estudios han analizado cuáles son las cualidades más valoradas en las personas que dirigen equipos y qué aspectos valoran en mayor medida a la hora de trabajar con ellos. Ante esta pregunta, un informe de *Randstad Employer Branding* (2014), realizado a más de 200.000 encuestados de 3.400 empresas de todo el mundo, reveló que la confianza y honestidad son los rasgos más valorados en un jefe para más del 66% de los trabajadores. Además de estas cualidades, se valoraba otro aspecto muy importante: la seguridad que transmite el jefe en sus actuaciones, principalmente a través de su competencia técnica (conocimientos del sector) y la firmeza a la hora de tomar decisiones. El citado estudio, en la misma línea que otros muchos, viene a decir sencillamente que para estar dispuestos

a seguir a alguien, ya sea en el campo de batalla, en el mundo del management o en cualquier otro ámbito, lo primero que le exigimos a esa persona es que sea digna de confianza y que esté a la altura de lo que esperamos de él/ella.

Llegados a este punto, lo siguiente que nos tenemos que plantear es de qué manera podemos llegar a ser capaces de transmitir esa confianza y seguridad en las personas que se encuentran bajo nuestra dirección y hacer posible que crean en nosotros. Ante esta cuestión, existen infinidad de posibles respuestas según el autor de que se trate, pero casi todos coinciden en afirmar que hay una serie de principios que sin duda ayudan en gran manera a mejorar nues-

tra capacidad de liderazgo y que, desde nuestra modesta opinión y en base a nuestra experiencia, queremos destacar en los siguientes apartados a modo de decálogo.

1. NADIE QUIERE SEGUIR A UN LÍDER QUE NO SEA HONESTO

Como acabamos de señalar, las personas quieren seguir a líderes en quienes poder confiar, personas íntegras y auténticas, coherentes con lo que piensan y lo que hacen, rasgos todos ellos sinónimos de honestidad.

Al igual que en el estudio anterior de Randstad, la honestidad es la cualidad que aparece de manera más consistente en la gran mayoría de las investigaciones realizadas sobre liderazgo. En este sentido, dos investigadores de la Universidad de Santa Clara (CA), James Kouzes y Barry Posner, llevan realizando desde principios de la década de 1980 un amplio estudio a través de cientos de entrevistas, revisión de miles de estudios de casos y análisis de más de dos millones de encuestas, con el fin de analizar qué valores o características personales son las más admiradas en los buenos jefes. Inicialmente, se identificaron más de 225 características, que se redujeron posteriormente a veinte categorías y finalmente a tan solo cuatro. Lo más interesante

del estudio es que, *“pese a los espectaculares cambios que ha vivido el mundo, lo que la gente busca en un líder ha permanecido increíblemente estable”*, afirman sus autores (2018). En dicho ranking, la honestidad es la característica de liderazgo más valorada, siguiendo en orden de importancia los rasgos competente, visionario y motivador. El hecho de que más de un 80% de los encuestados quieran que sus líderes sean honestos por encima de todo, nos deja un mensaje muy claro que cualquier persona con responsabilidad en la dirección de personas debe tener muy en presente, y que el genial actor Groucho Marx lo definía de manera muy precisa: *“El secreto del éxito se encuentra en la sinceridad y la honestidad”*... aunque finalizaba apostillando con cierto humor: *“Si eres capaz de simular eso, lo tienes hecho”*.

2. NO FINJAS QUE LO SABES TODO: EL VALOR DE LA HUMILDAD

Si nos preguntamos por qué hay personas que inspiran más confianza y credibilidad que otras, muy probablemente encontremos la respuesta en su capacidad para ser humildes, virtud que guarda relación con el conoci-

“Las personas necesitamos percibir un vínculo o conexión personal con nuestros jefes, verles como seres humanos igual que nosotros.”



miento y aceptación de nuestras propias limitaciones, y que contrasta con actitudes de arrogancia, presunción y atención desmesurada a uno mismo.

Hayes y Comer (2010), en su libro *Start with Humility* recoge muchas lecciones aprendidas de decenas de prestigiosos CEO (máximos responsables o directores ejecutivos de una organización) y critican el hecho de que muchos profesionales piensen que la humildad no es más que una flaqueza y que para dirigir personas tienes que imprimir una fuerte autoridad en tus acciones, sin mostrar debilidades. Pero la realidad es bien distinta, y seguramente muchos de nosotros coincidiremos en el hecho de que las personas necesitamos percibir un vínculo o conexión personal con nuestros jefes, verles como seres humanos igual que nosotros. Preferimos líderes humildes que no sean pretenciosos, interesados, ni egoístas, y que hagan las cosas por lo que le conviene al grupo mostrando una mayor predisposición hacia el reconocimiento de los demás (el “nosotros”) y un menor enfoque hacia la autoalabanza (el “yo”). La importancia de contar con líderes humildes es que proyectan de manera muy nítida una actitud creíble y ejemplar, con grandes efectos en sus subordinados, ya que estos les corresponden con su compromiso, colaboración y actitud de servicio. Jack Welch (2005), ex presidente de General Electric, y considerado como el mejor ejecutivo del siglo XX según la revista *Fortune*, afirmaba que *“Los líderes crean confianza con su sinceridad y transparencia. La sencillez y la humildad son muy importantes. No permita que su cargo se le suba a la cabeza”*.

3. LA IMPORTANCIA DEL BUEN TRATO

Una gran parte de nuestra vida la pasamos trabajando en compañía de otras personas. Somos seres sociales y por tanto necesitamos relacionarnos con los demás, lo que pasa es que no siempre nuestras relaciones son todo lo satisfactorias que desearíamos que fueran. En la misma línea, uno de los estudios longitudinales más completos, que se hayan realizado nunca sobre el desarrollo en adultos (*Harvard Study of Adult Development*, 1938-2002), trató de dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿qué es lo que realmente nos mantiene felices y saludables? Para ello, durante 75 años se siguió pormenorizadamente la vida de más de 700 personas de diferentes niveles socio económicos a las que, año tras año, se les preguntaba acerca de su trabajo, su vida familiar y su salud. Las conclusiones del estudio fueron concluyentes: nuestra felicidad y salud están directamente relacionadas con la calidad de nuestras relaciones, muy por encima de nuestros éxitos profesio-

nales o el poder económico. En palabras del psiquiatra Robert Waldinger (2015), actual director del proyecto anterior *“Las conexiones sociales son muy beneficiosas para el ser humano. Las personas más conectadas socialmente con su familia, amigos, trabajo, son más felices, físicamente, más saludables y viven más tiempo”*.

Al hilo de lo anterior, hay que destacar que en el ámbito profesional la calidad de las relaciones tiene mucho que ver con el trato recibido, no solo de nuestros superiores jerárquicos, sino también de nuestros propios compañeros de trabajo. J. Sterling Livingston, profesor de administración en Harvard, investigó acerca del efecto de las expectativas de los gerentes en el comportamiento de sus subordinados y en 1969 escribió en la prestigiosa revista *Harvard Business Review* el conocido artículo “Pigmalión en la gerencia”, donde destaca el poder que tiene la manera de tratar a los subordinados induciéndoles a una actuación superior a lo que estos son capaces de lograr (efecto pigmalion). El artículo comienza haciendo referencia a una secuencia de la obra teatral “Pigmalión” de Bernard Shaw (1913). En ella, aparece Eliza Doolite, una vulgar florista que el profesor de fonética Henry Higgins quiere convertir en una verdadera dama de la alta sociedad británica tras cruzar una apuesta con su entrañable amigo el Coronel Pickering. La transformación de Eliza fue impresionante en tan solo unos pocos meses. Pero ésta, dolido por el trato distante que recibía a diario por parte de su instructor, le confiesa a su amigo Pickering (y así comienza el artículo de Livingston):

“Somos seres sociales y por tanto necesitamos relacionarnos con los demás, lo que pasa es que no siempre nuestras relaciones son todo lo satisfactorias que desearíamos que fueran.”



unsplash.com

“Como ve, la única diferencia verdadera entre una señora y una florista, aparte de las cosas que cualquiera puede advertir, como la forma de vestir o hablar, no está en cómo se comporta, sino en cómo la tratan. Para el profesor Higgins yo siempre seré una florista, porque él me trata siempre como una florista; pero yo sé que para usted puedo ser una señora, porque usted siempre me ha tratado y me seguirá tratando como una señora”. Implicitamente, Eliza nos quería decir con estas palabras que la forma en cómo se relacionen con nosotros determinará nuestra actitud y por tanto nuestra implicación y desempeño.

Los buenos líderes no ven a las personas como son, sino como pueden llegar a ser, mostrando en todo momento un trato próximo, amable y siempre respetuoso. Esa es su verdadera sabiduría. El célebre poeta, novelista y científico alemán, J. W. Goethe, afirmaba: *“Trata a una persona tal y como es y seguirá siendo lo que es; trátala como puede y debe ser y se convertirá en lo que puede y debe ser”.*

4. ASÍ TE VEN, ASÍ SE COMPORTARÁN

Albert Einstein dijo una vez que *“dar ejemplo no es la principal forma de influir en los demás; es la única”.* Hemos oído infinidad de veces eso de que el líder arrastra en lugar de empujar. Efectivamente, desde el poder formal y legítimo que nos confiere nuestra posición se

“Dar ejemplo no es la principal forma de influir en los demás; es la única.”

Albert Einstein

puede conseguir cambiar las voluntades de los demás a base de “empujar” mediante premios y castigos. Pero para conseguir el compromiso desinteresado de nuestros subordinados necesitamos predicar con el ejemplo y ponernos siempre delante, mostrando el camino. El compromiso es una carrera de doble sentido y, para que otros den lo mejor de sí mismos y reflejen aquellos comportamientos que queremos promover, tenemos que mostrarles previamente el camino con esos mismos comportamientos que queremos potenciar. Debemos ser los primeros en trabajar duro, en tomar las responsabilidades que amparan nuestra posición y, a su vez, hacerlo con honestidad, ética y autenticidad.

5. SER COHERENTES PARA SER CREÍBLES

Para algunos autores, la credibilidad es el fundamento del liderazgo (Kouzes y Posner, 2018), ya que ejerce un notable impacto en la actitud y el comportamiento de

los subordinados. Antes resaltamos que las personas quieren seguir a líderes en los que se pueda creer, pero ¿cómo consigue un líder ser creíble? Muy posiblemente la respuesta la tengamos en lo que siempre pedimos a nuestra clase dirigente: hacer lo que decimos que vamos a hacer, practicar lo que predicamos, llevar a cabo nuestros compromisos y hacer coincidir los hechos con las palabras. Efectivamente, cuando alguien

“Nuestra felicidad y salud están directamente relacionadas con la calidad de nuestras relaciones.”



pixabay.com

quiere decidir si un líder es creíble, primero escucha lo que dice y luego se fija en lo que hace. Cuando un líder “predica” y “practica”, la gente está más dispuesta a confiar en él. Es así de sencillo, pero a la vez así de complicado, porque no olvidemos que la credibilidad se gana poco a poco con esfuerzo, pero también se puede disipar con gran facilidad.

6. EL LIDERAZGO ES UN DEPORTE DE CONTACTO

Sin contacto y comunicación no hay liderazgo. No se puede ser líder desde la distancia, instalado entre las cuatro paredes del despacho. Evitar las relaciones interpersonales y perder el contacto con tu equipo es un lujo que un líder no se puede permitir. En palabras de Jack Welch (2005) *“los buenos líderes son abiertos, van arriba y abajo, dan vuelta por todos los rincones de sus organizaciones y hacen que ser accesibles se convierta en una religión para ellos”*. Hemos de ser visibles, alentar a nuestro equipo y que noten nuestra proximidad, impulso y aliento, de esa manera podremos conocer en todo momento sus inquietudes, dudas e inseguridades. Tenemos que dejar de recordar constantemente a nuestros subordinados esa frase tan manida de que “las puertas de mi despacho están siempre abiertas”. No se trata solo de ser accesibles, sino de acceder a nuestra gente y mejorar nuestra comunicación con ellos.

7. SI QUIERES QUE CONFÍEN EN TI, APRENDE ANTES A CONFIAR EN TU EQUIPO

Una de las máximas en liderazgo es que, para ganarte la confianza de los demás, primero tienes que aprender a confiar en ellos. Pero esa confianza no puede forzarse; es algo que la gente tiene que percibir a través de tus comportamientos, prestando interés a sus ideas, observaciones e inquietudes y ayudándoles a resolver sus problemas y dificultades. Por el contrario, si no eres capaz de confiar en tu equipo, acabarás haciendo todo el trabajo tú solo o gestionando el trabajo de los demás. Aquellos que saben trasladar responsabilidad en su equipo serán capaces de motivar, generar compromiso (engagement) y garantizar su lealtad. En este sentido, tenemos que destacar una herramienta valiosísima altamente valorada por nuestros subordinados y que muchas veces nos cuesta poner en marcha. Nos estamos refiriendo a la delegación, es decir, la asignación de nuevas responsabilidades a los subordinados, otorgándoles mayor autoridad para asumirlas (Yukl, 2010).

El principio fundamental de la delegación se sustenta básicamente en mantener siempre aquello que queremos ceder: la responsabilidad; y ceder aquello que queremos mantener: la autoridad. Es obvio que, aunque asignemos una responsabilidad a nuestros subordinados, la responsabilidad última sigue siendo nuestra. Pero también es cierto que solemos ser reacios a soltar la autoridad, es decir, a conferirles la capacidad de decidir en nuestro nombre y, además, brindarles los recursos necesarios para llevar a cabo su nueva responsabilidad.

Aunque muchas veces entendemos la delegación como una simple estrategia de gestión del tiempo en manos de ciertos directivos asfixiados por el exceso de trabajo, la realidad es bien distinta. La delegación es la energía que necesitan muchas veces los equipos, ya que consigue cosas extraordinarias como incrementar la participación y el compromiso, estimular la iniciativa y la toma de decisiones, mejorar la motivación y el sentido de pertenencia y, finalmente, favorecer el crecimiento personal y profesional de nuestros subordinados, razones más que suficientes para confiar en



“Para ganarte la confianza de los demás, primero tienes que aprender a confiar en ellos.”

las capacidades de tus subordinados. Nuestro papel se debe centrar en conseguir que nuestros subordinados crezcan, asuman cada vez nuevos retos, desafíos y responsabilidades y que vuelen solos sin vivir bajo la sombra de su líder, porque como afirmaban Peter y Waterman (1982) *“El papel de los líderes no es crear más seguidores, sino más líderes”*.

8. SÉ INSPIRADOR

Liderar no es sinónimo de controlar y administrar. Liderar se basa principalmente en inspirar a otros para que crezcan y alcancen los resultados que desean. Un líder inspirador saca a la luz lo mejor de sus colaboradores y hace que se sientan grandes e importantes. Toda persona que merezca el calificativo de líder debe despertar entre sus subordinados el espíritu de crecer, mejorar y evolucionar. Nadie quiere tener jefes tristes, apagados y grises. Las personas nos vemos fuertemente influidos por los estados emocionales que percibimos en los demás, y en mayor medida cuando estos son nuestros referentes (padres, maestros,

jefes...). Los líderes inspiradores son emocionalmente inteligentes y son capaces de transmitir positividad y entusiasmo, incluso en las situaciones más adversas y complicadas. El mismo Welch (2005) apunta: «El mundo será de los líderes apasionados y con empuje; gente que no solo tenga una cantidad enorme de energía sino que pueda proporcionársela a aquellos a quienes conducen». Si tus acciones inspiran a otros a soñar más, a hacer más, a aprender más y a ser mejores, tu imagen como líder saldrá muy reforzada.

9. ENTIENDE LOS PROBLEMAS COMO OPORTUNIDADES

Los conflictos son un aspecto inherente a cualquier entorno social y organizacional, pero lo que nos diferencia a unos de otros es nuestra actitud hacia ellos. Como ya expusimos al principio del artículo, uno de los aspectos más valorados en los jefes, y que más credibilidad y confianza generan entre los subordinados, es la capacidad de tomar decisiones cuando los problemas se presentan. “Mi jefe nunca decide”, es una queja muy frecuente, pero ¿por qué ocurre esto? Algunos jefes ante la aparición de un problema son muy hábiles en apartarse e inhibirse como si los problemas no fueran con ellos, otros tienen el hábito fuertemente arraigado de posponer su decisión esperando que se solucionen solos o

que alguien los resuelva por ellos, y finalmente, otros deciden enfrentarse a ellos con mejor o peor resultado.

El presidente Theodore Roosevelt decía que “La mejor decisión que podemos tomar es la correcta, la segunda mejor es la incorrecta, y la peor de todas es ninguna”. Si no tienes todas las variables definidas, aplica tus conocimientos, tira de tu experiencia, emplea la intuición o apóyate en el criterio de tu equipo, pero nunca mueras de indecisión. Se dice que liderazgo y conflicto van de la mano y, efectivamente, el hecho de encarar los problemas, independientemente del resultado que obtengamos, refuerza nuestra credibilidad e imagen como líderes. Podemos acertar en su resolución o fracasar en el intento, pero lo que nunca perdonarán nuestros subordinados es que miremos para otro lado cuando las cosas vayan mal.

10. SÉ COMPETENTE EN LO TUYO

Finalmente, algo que resulta obvio, y que por ello no hemos querido dejar pasar por alto en nuestro artículo, es la importancia que debemos conceder al conocimiento que se debe poseer en el ámbito en el que queremos ejercer nuestro liderazgo. Difícilmente podré influir en mis alumnos, mis soldados, mis trabajadores o mis deportistas, por poner algunos ejemplos, si desconozco aquellos aspectos técnicos que se precisan en ese ámbito de actuación.

Hay una creencia generalizada de que las competencias que definen en mayor medida a los buenos líderes guardan una mayor relación con las denominadas competencias blandas o *softskills*, como algunas de las que hemos mencionado en los apartados anteriores, que con aquellas vinculadas a los conocimientos técnicos propios de cada puesto de trabajo (*hardskills*). Las primeras tienen que ver con la manera en que nos relacionamos con nosotros mismos y con los demás (inteligencia emocional, habilidades de comunicación interpersonal, empatía, etc.) y las segundas, con la formación y los conocimientos técnicos en un campo determinado. Autores de la talla de Daniel Goleman (1995) son de la opinión de que las *softskills* son las competencias que más nos aproximan al éxito en nuestra vida, personal, social y laboral. Efectivamente, esto puede ser así, sin embargo, recientes investigaciones ponen en valor el hecho de que los buenos líderes tienen que contar con sólidos conocimientos técnicos y la experiencia suficiente en la materia sobre la que se han de tomar las decisiones (Markman, 2017), de lo contrario difícilmente podrán ejercer un liderazgo efectivo. El conocimiento técnico, por tanto, no es condición suficiente, pero sí necesaria para ser un buen líder. Si no contamos con conocimientos técnicos o una sólida experiencia en un ámbito de liderazgo en concreto, por mucho empeño que le pongamos, jamás alcanzaremos las cotas de liderazgo esperadas.

Para concluir, señalar que lo expresado en el presente artículo ha pretendido recoger tanto la opinión de conocidos autores, como modestamente la mía propia, en el entendimiento de que el liderazgo es una especie de arte o habilidad que es posible desarrollar y mejorar, en el que intervienen multitud de factores, pero que, sin lugar a dudas, actitudes y competencias como las señaladas en este decálogo nos deben mostrar el camino hacia el buen liderazgo.

BIBLIOGRAFÍA

- Goleman, D. (1995). *Inteligencia emocional*. Kayrós.
- Hayes, M. A. y Comer, M. D. (2010). *Start With Humility: Lessons from America's Quiet CEOs on How to Build Trust and Inspire Followers*. Westfield.
- Kouzes, J. M. y Posner, B. Z. (2018). *El desafío del liderazgo* (6ª ed). Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
- Livingstone, J. S. (1969). Pygmalion in Management. *Harvard Business Review* (reprint 1988), 121-130.
- Markman, A. (2017). *Can You Be a Great Leader Without Technical Expertise?* Extraído de <https://hbr.org/2017/11/can-you-be-a-great-leader-without-technical-expertise>
- Peters, T, y Waterman, Jr. (1982). *In search of excellence*. New York: Harper and Row Publishers, Inc.
- Welch, J. (2005). *Winning (ganar). Las claves para el éxito del ejecutivo más admirado del mundo*. Barcelona: Vergara.
- Yukl, G. (2010). *Liderazgo en las Organizaciones*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Waldinger, R. (2015). Conferencia TED. *The Good Life*.
- Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=q-7zAkwaOYg&feature=youtu.be> Randstad Employer Branding (2014). Employer branding cuando la percepción puede convertirse en realidad. Recuperado de <https://www-randstad-es.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2016/10/Informe-Randstad-Award-2014.pdf>.

“Los líderes inspiradores son emocionalmente inteligentes y son capaces de transmitir positividad y entusiasmo.”

Javier Aceña Medina
Dpto. de Psicología y Sociología
Facultad de Educación
Universidad de Zaragoza





La influencia del color en la Historia de la Química

“Hasta el desarrollo de la química sintética, los colorantes se extraían de la naturaleza y la dificultad de obtención de muchos de ellos explica que el color de la vestimenta fuera un símbolo de estatus social.”

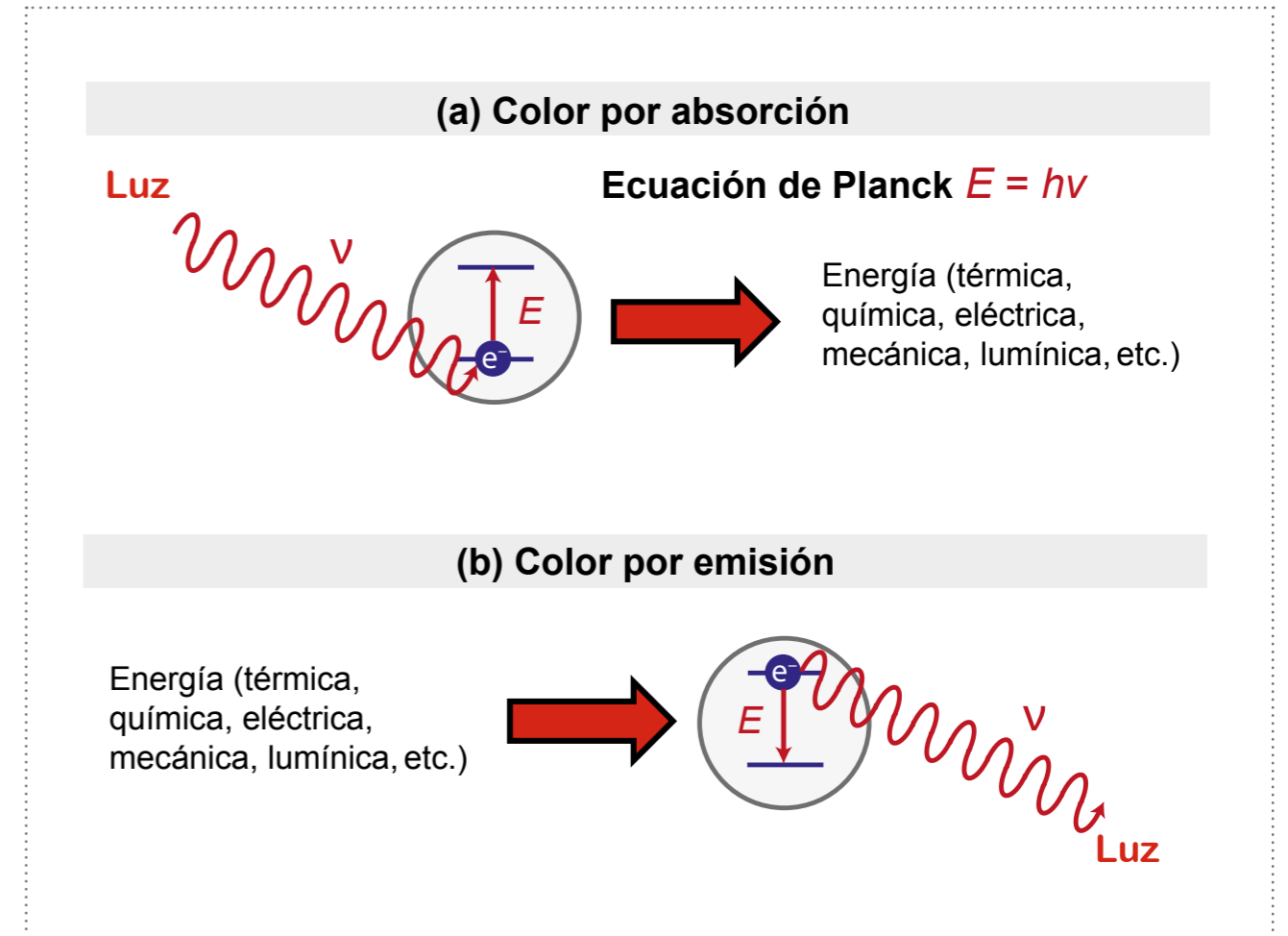
Ernesto de Jesús



Una propiedad tan presente en el mundo cotidiano como es el color ha influido en muchas de las revoluciones teóricas, prácticas e industriales de la Química a lo largo de su Historia. Queremos en este texto contar algunas historias de esta relación entre química y color.¹

EL ORIGEN DEL COLOR

La mayoría de los 15 orígenes del color que describe Kurt Nassau en un libro clásico sobre la física y química de esta propiedad se deben a la absorción de una parte de la energía de la luz por los electrones más externos de átomos, moléculas o sólidos en compuestos de metales de transición, en algunos tipos de compuestos orgánicos, o en semiconductores y conductores electrónicos.² Esos mismos electrones son los responsables del comportamiento químico de las sustancias y



a: la absorción de algunas frecuencias de la luz visible por excitación de los electrones a un nivel superior de energía es una de las principales causas de color.

b: la emisión de luz coloreada o *luminiscencia* se produce cuando los electrones vuelven a un estado de energía inferior tras ser excitados mediante alguna forma de energía.

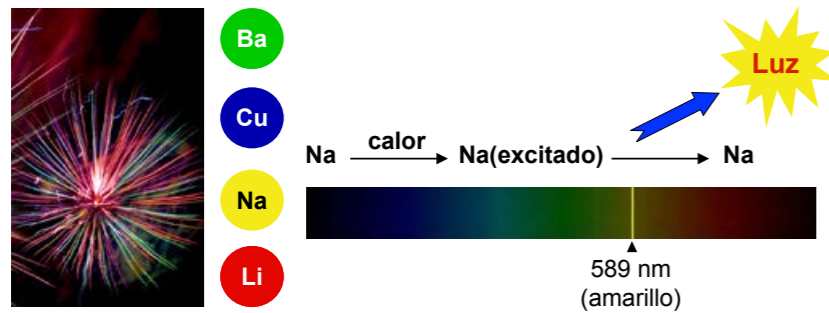
de ahí proviene la relación estrecha entre el color y la química.³ Como los electrones confinados en átomos o moléculas se pueden *excitar* únicamente a algunos niveles determinados de energía, los fotones de luz absorbidos son solo aquellos cuyo color (frecuencia) se corresponde con el salto de energía de acuerdo a la relación de Planck. La energía absorbida se puede reemitir como energía térmica, química o eléctrica, entre otras formas. El fenómeno contrario es la emisión de luz que se produce cuando los electrones excitados mediante alguna de estas fuentes de energía regresan a un estado de energía inferior.

El estudio de la luz absorbida o emitida por átomos, moléculas o sólidos ha sido clave en ciencia porque informa directamente de la estructura electrónica de la materia. Así, los espectroscopistas del siglo XIX observaron que la luz emitida por los átomos de un gas

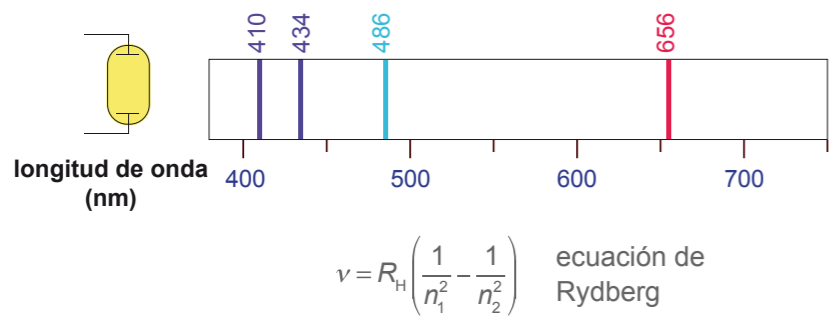
REFERENCIAS

1. Este artículo se basa parcialmente en una conferencia impartida en la Societat Andorrana de Ciències (de Jesús E., *Rec. Conf. 2012-2013, 2015, 427-450; DOI: 10.2436/15.0110.21.41*).

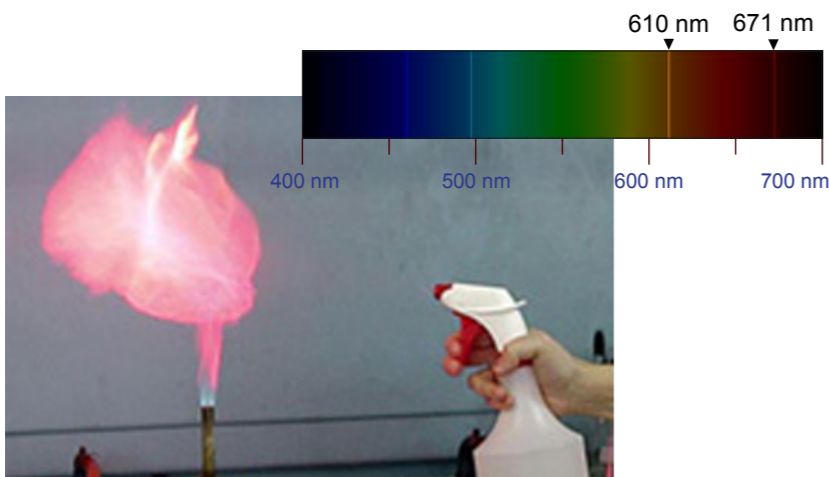
(a) Emisiones características de los elementos



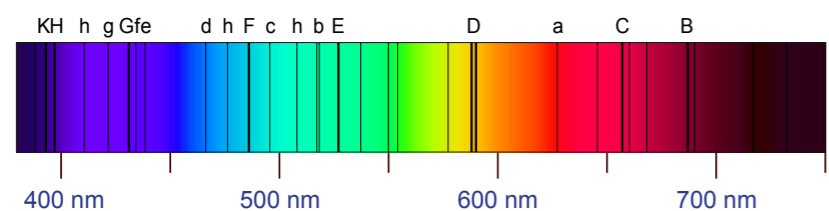
(b) Espectro de emisión en el visible del átomo de hidrógeno



(c) El color del litio



(d) Las líneas de Fraunhofer



a: foto de la izquierda: emisiones características obtenidas por la adición de sales metálicas específicas en los fuegos artificiales. El sodio, por ejemplo, emite luz amarilla de longitud de onda de 589 nm producida por una transición electrónica desde el orbital 3p al 3s.

b: Johannes R. Rydberg (1854-1919), prosiguiendo trabajos previos de Johann J. Balmer (1825-1898), encontró una relación entre las frecuencias de las líneas de emisión del hidrógeno.

c: esta espectacular coloración carmín se ha conseguido pulverizando la llama de un mechero Bunsen con una disolución de una sal de litio en etanol. La coloración se debe a las intensas emisiones del litio en el rojo y naranja (671 y 610 nm, transiciones 2p-2s y 3d-2p, respectivamente).

d: espectro de la luz procedente del sol. Las líneas oscuras fueron descubiertas por el óptico Joseph von Fraunhofer (1787-1826). Son producidas por la absorción de los elementos presentes en la atmósfera solar (o en la atmósfera terrestre).

excitado estaba formada por líneas de color que eran características de cada elemento. Estas observaciones y, en especial, la ecuación de Rydberg, que relacionaba las frecuencias de las líneas de emisión del hidrógeno, fueron un apoyo fundamental al modelo de estructura atómica propuesto en 1913 por Niels Bohr (1885-1962). Los químicos también han utilizado ampliamente, por su simplicidad, los llamados "ensayos a la llama" que permiten detectar la presencia de ciertos elementos en una sustancia basándose en su color de emisión característico. En estos ensayos, se pone en contacto una pequeña cantidad de muestra con una llama y se observa el color que toma esta. Si la muestra contiene litio, por ejemplo, la llama se vuelve carmín debido a la emisión característica de este elemento. Análogamente, la observación de la luz solar permitió determinar la composición del sol durante el siglo XIX gracias a la propuesta formulada por Gustav Kirchhoff (1824-1887) y Robert Bunsen (1811-1899) en 1859 de que las 574 líneas oscuras que presenta el espectro de la luz solar se debían a las absorciones de luz por los elementos químicos presentes en la atmósfera solar. Unos años después, en 1868, los astrónomos Pierre Jules Janssen (1824-1907) y Norman Lockyer (1836-1920) descubrieron una nueva línea que no se correspondía con la de ningún elemento conocido en la época. El nuevo elemento se bautizó como helio, en honor del dios griego del sol. El vulcanólogo Luigi Palmieri (1807-1896) lo detectó en la tierra en 1882 y el químico William Ramsay (1852-1896) lo aisló en el laboratorio en 1895.

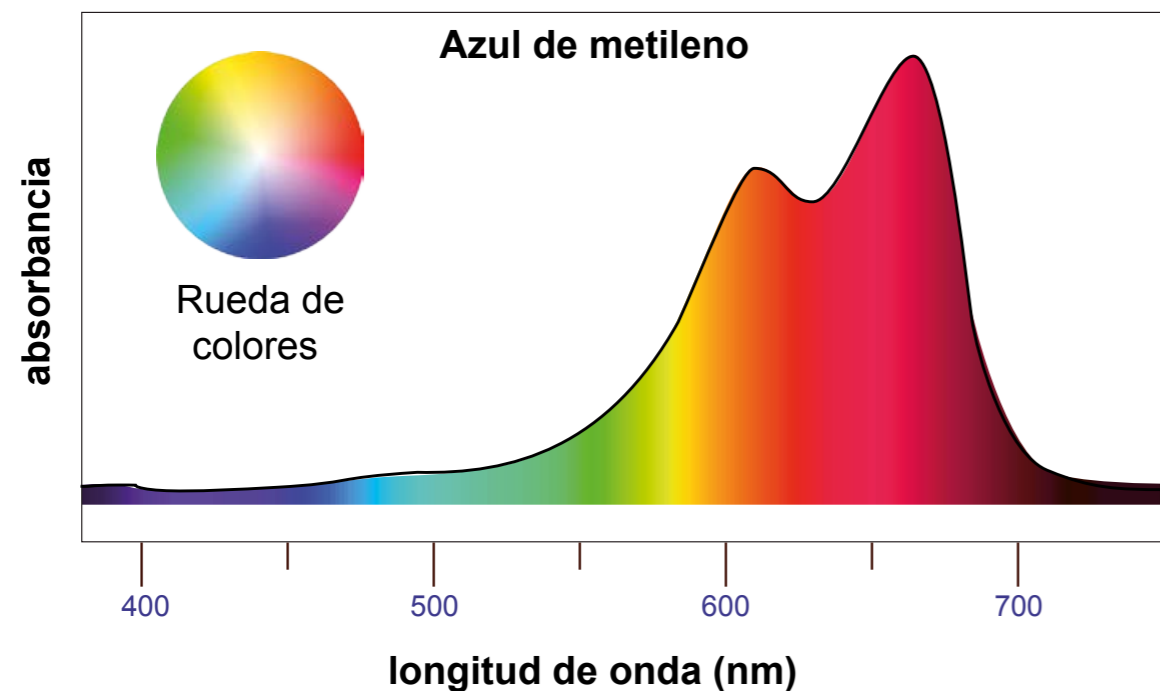
“El nuevo elemento se bautizó como helio, en honor del dios griego del sol.”

EL COLOR EN LA NATURALEZA

Los átomos en la mayoría de la materia que nos rodea no están aislados sino unidos entre sí mediante enlaces químicos para formar moléculas de tamaño discreto o redes de gran dimensión. La absorción y emisión de luz en moléculas no se produce en líneas estrechas, como en el caso de los átomos aislados, sino en bandas anchas del espectro. Por otra parte, la gran mayoría de sustancias no absorben luz que sea visible por el ojo humano y, por tanto, no tienen color. La razón es que la mayoría de las transiciones electrónicas necesitan una energía superior a la que se puede conseguir con un fotón de luz visible (entre 1,6 y 3,2 eV aproximadamente). En otras palabras, el "color" de la mayoría de las sustancias químicas cae más allá del visible y, por lo tanto, es inobservable para el ojo humano. Esto puede sorprender teniendo en cuenta la abundancia de color en la naturaleza. Algunos ejemplos nos mostrarán que las moléculas responsables de gran parte de los colores de la naturaleza pertenecen a familias relativamente limitadas de sustancias que comparten patrones estructurales comunes.

“El color de la mayoría de las sustancias químicas cae más allá del visible y, por lo tanto, es inobservable para el ojo humano.”

El característico color del azul de metileno se debe a su fuerte absorción de naranjas y rojos.

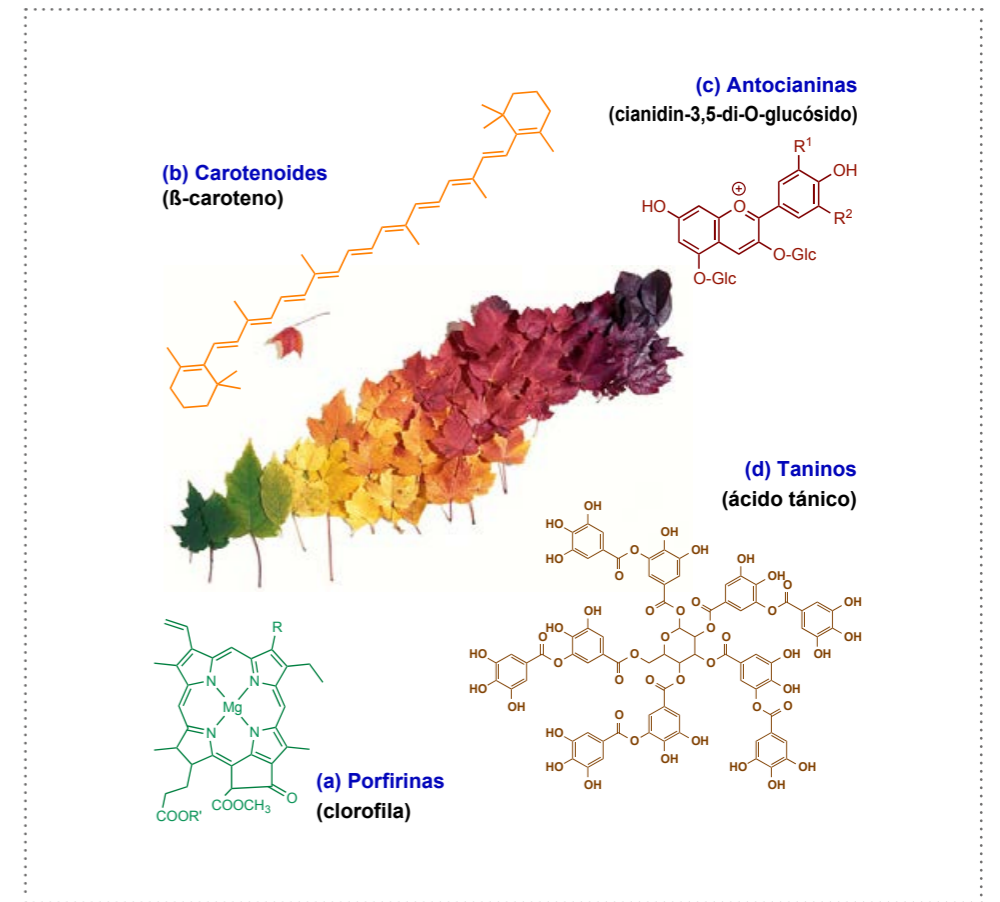


a: la clorofila contiene un átomo de magnesio rodeado por un ciclo porfirínico.

b: los carotenoides son pigmentos orgánicos que se encuentran de forma natural en plantas y otros organismos fotosintéticos.

c: las antocianinas (del griego, "flor azul") son los pigmentos responsables del color rojo, púrpura o azul de hojas, flores y frutos.

(d) Los taninos son compuestos poliméricos con estructuras muy variadas de tipo polifenólico.

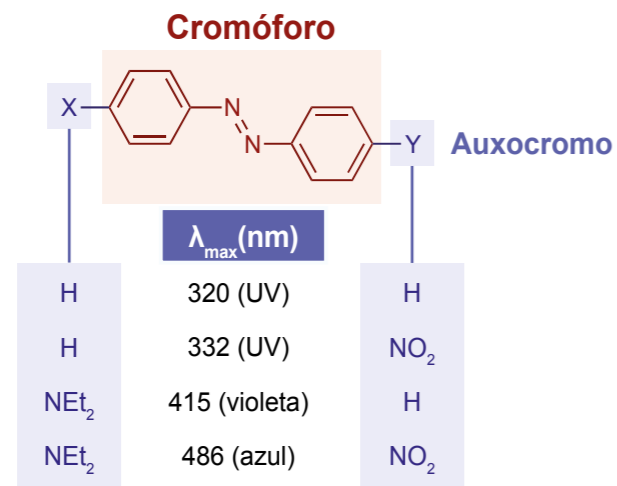


La alternancia de la coloración verde con una rica gama de tonalidades naranjas, rojizas o violáceas hace que la naturaleza sea especialmente atractiva en otoño. Las moléculas responsables de estas tonalidades forman parte de las familias de pigmentos más representativas del mundo vegetal. Cuando cesa la **síntesis** de la clorofila en otoño, el color verde deja paso a la observación del color rojo, anaranjado o amarillo de pigmentos como los carotenoides. En algunos casos, este proceso coincide con la producción de antocianinas que dan coloraciones espectaculares que van del rojo al azul. Finalmente, las hojas se vuelven marrones a causa de los taninos. Cualquier observador perspicaz apreciará una característica estructural que se repite en la figura. Esta característica es la presencia de enlaces dobles carbono-carbono (C=C) que se alternan con enlaces sencillos (C-C) a lo largo de las estructuras. Un enlace doble está formado por un enlace "normal" bastante fuerte, denominado sigma, y un enlace más débil, llamado pi. Los electrones del enlace pi son menos atraídos por las cargas positivas de los núcleos y, como consecuencia, necesitan menos energía para ser excitados. La energía necesaria para excitar electrones pi

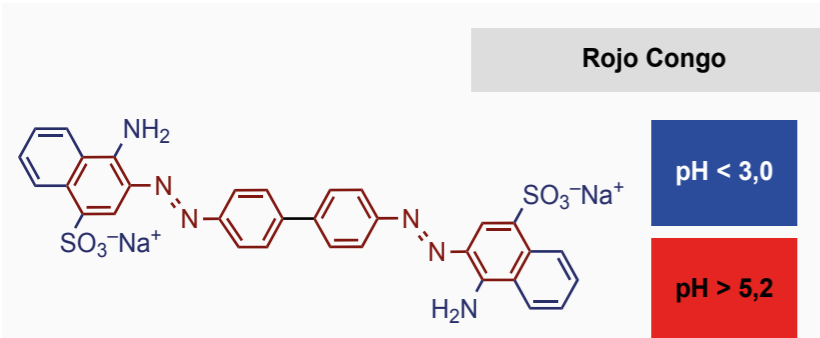
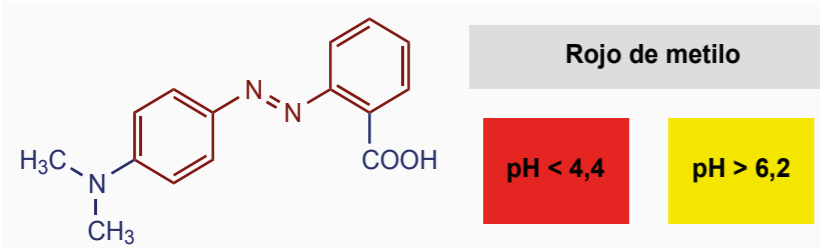
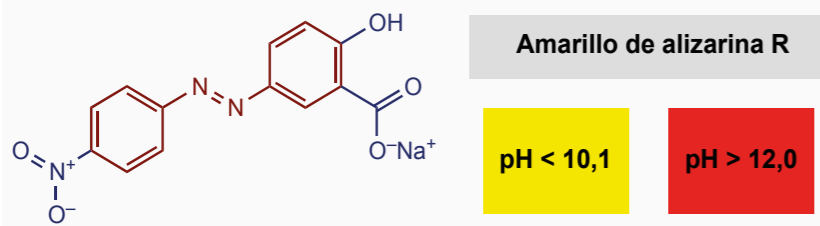
es todavía alta en moléculas como el etileno (7,25 eV), a pesar del enlace doble carbono-carbono (H₂C=CH₂). Por ello, el etileno es incoloro. La conjugación de enlaces dobles, que es como se denomina a su alternancia con enlaces sencillos, facilita la movilidad de los electrones pi y produce una disminución suplementaria de la energía de excitación en las moléculas de la figura.

“Cuando cesa la síntesis de la clorofila en otoño, el color verde deja paso a la observación del color rojo, anaranjado o amarillo de pigmentos como los carotenoides.”

(a) Diazobencenos



(b) Indicadores ácido-base



a: los diazobencenos son una familia usual de tintes. La parte común (el cromóforo) es la responsable del color mientras que los grupos dadores o aceptores (auxocromos) lo modifican.

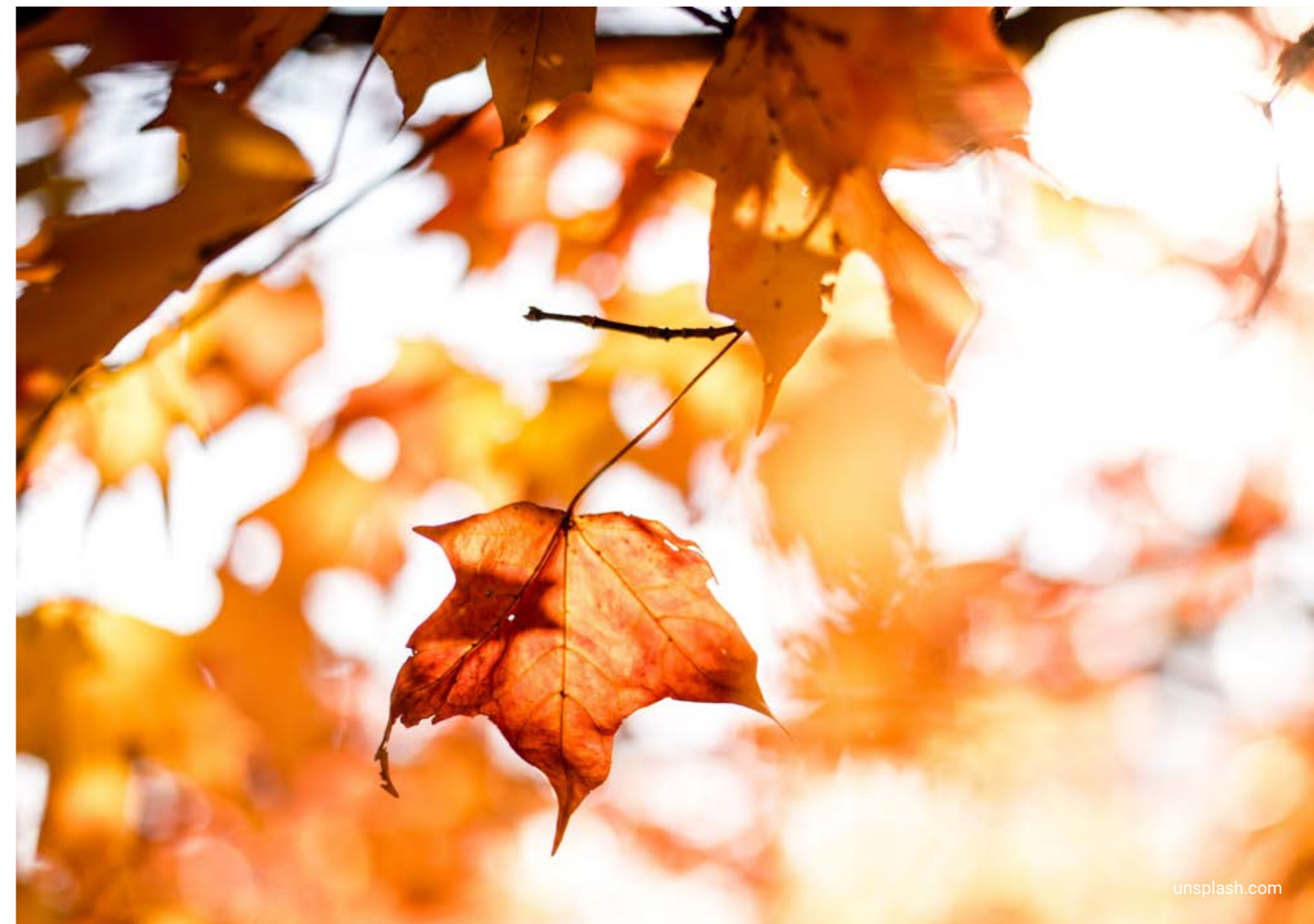
b: algunos colorantes derivados del diazobenceno que son indicadores de pH. Estas moléculas tienen grupos funcionales ácidos o básicos que hacen al colorante sensible a la acidez o basicidad de la disolución. Las modificaciones estructurales modulan el pH al cual se produce el cambio de color (desde alrededor de 4 para el rojo Congo hasta 10 para el amarillo de alizarina R).

Lógicamente, el color de un tinte cambia o desaparece si su estructura de enlaces es modificada o rota por un proceso químico (una reacción ácido-base o redox). Muchos tintes poseen grupos dadores y aceptores de electrones ya que estos aportan una disminución adicional de la energía de excitación y permiten modular el color de las moléculas. Estos grupos reaccionan a menudo con ácidos y bases produciendo una modificación del color del tinte. Este es el fundamento de los indicadores de pH mas usuales. Robert Boyle (1627-1691) fue quién fabricó por primera vez un papel de tornasol para medir el pH. El descubrimiento lo hizo, precisamente, al observar que los tintoreros ajustaban el color de los colorantes tratándolos con ácidos y bases.

La relación entre color y acidez es también muy evidente en los siguientes consejos de cuidado de las hortensias que da un manual de jardinería:⁴ “El pH [del sustrato] influye decisivamente en la coloración azul o rosa de las flores. Las condiciones necesarias para obtener flores azules son: pH 4,5-5, elevado contenido de

aluminio libre, alto contenido en K₂O. Si se desean flores rosas, el pH del sustrato tiene que ser de 6-6,5.” Los pigmentos responsables de estas coloraciones son las antocianinas, cuya estructura se mostró en la figura de la página 65 (los grupos R¹, R² y la molécula de azúcar enganchada dependen del pigmento específico

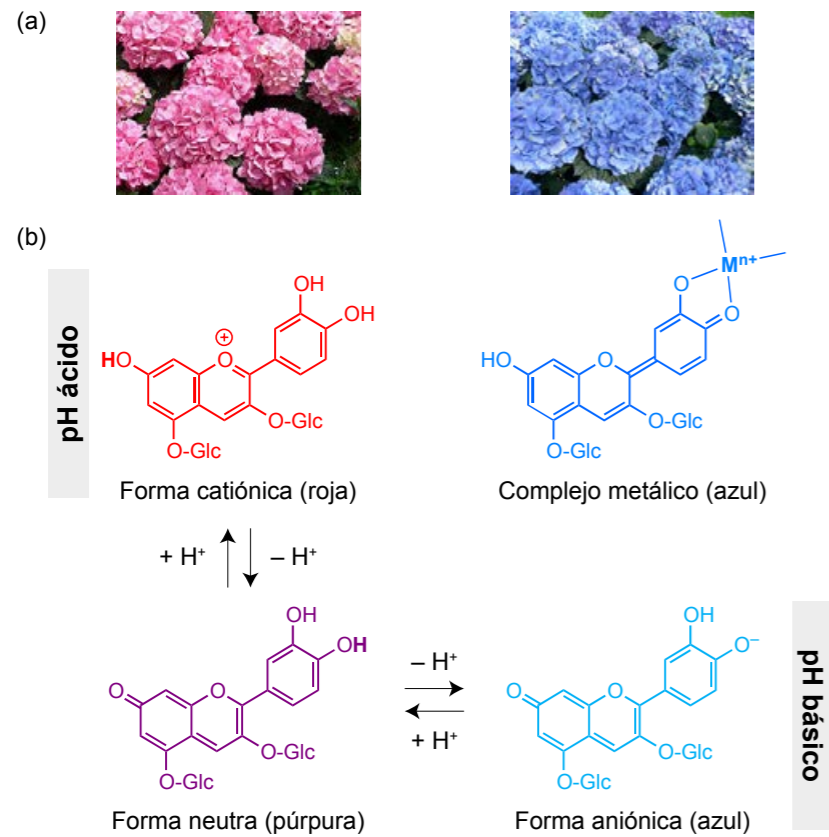
“Finalmente, las hojas se vuelven marrones a causa de los taninos.”



presente en la flor). Estas moléculas cambian de coloraciones rojizas en disoluciones ácidas a azuladas en disoluciones alcalinas. Sin embargo, el efecto del pH en el color de las hortensias es indirecto y tiene que ver con la mayor biodisponibilidad del aluminio para las raíces de las plantas en suelos ácidos.^{5,6} Cuando el metal está disponible para la planta, la flor toma un color azul debido a que la cianina forma un complejo con el aluminio(3+) de este color.

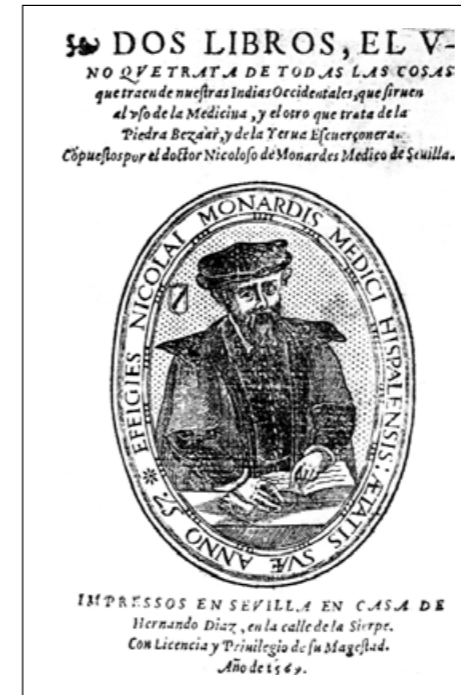
En el mismo libro en el que describe la preparación del papel de tornasol (*Experiments and considerations touching colours*, 1664), Boyle hace referencia a otro libro publicado un siglo antes por el médico y naturalista sevillano Nicolás Monardes (1493-1588) en el que se describe por primera vez el fenómeno de la fluorescencia. Monardes investigaba los efectos medicinales de los extractos de plantas americanas y observó un extraño color azul en el extracto de una madera utilizada por los aztecas como remedio para el cólico nefrítico (el *Lignum Nephriticum*).

“El color de un tinte cambia o desaparece si su estructura de enlaces es modificada o rota por un proceso químico.”



a: variaciones azul y rosa de la hortensia (*Hydrangea macrophylla*).

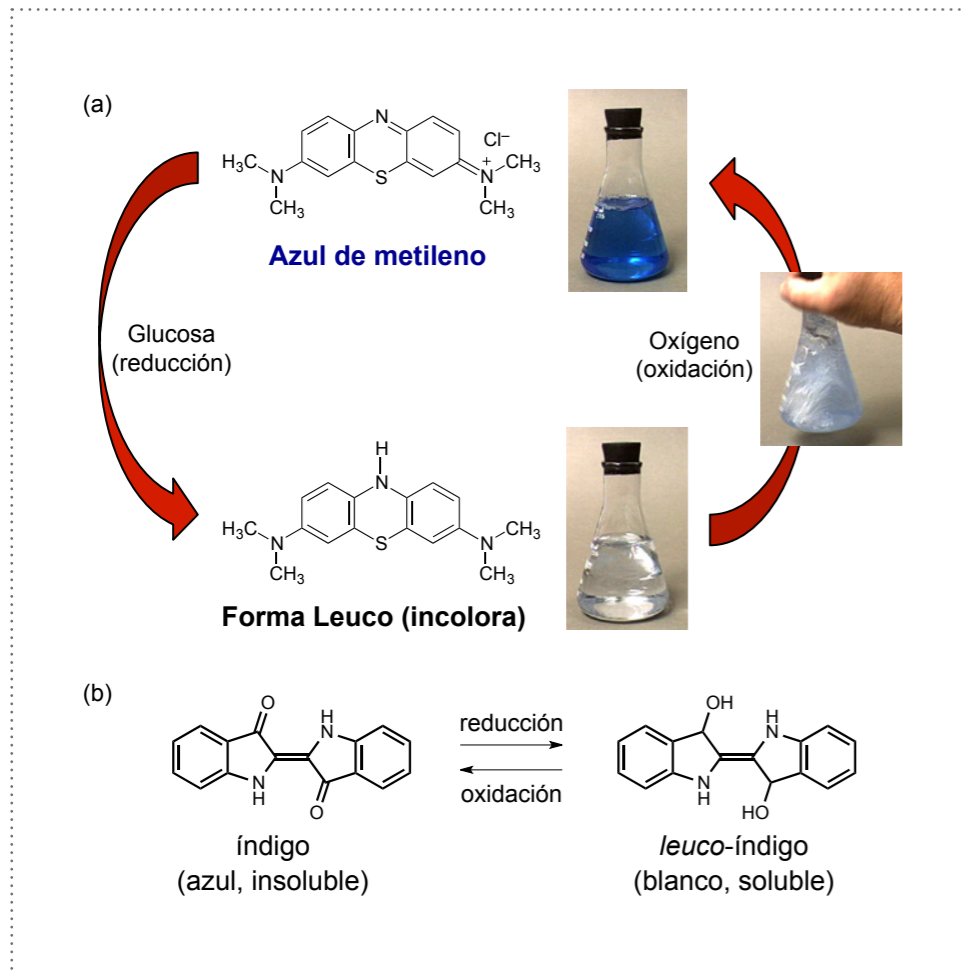
b: cambios de color en la antocianina cloruro de cianidin-3,5-di-O-glucósido como efecto de su desprotonación o de la formación de complejos con metales.



Arriba, portada del libro de Nicolás Monardes, publicado en el año 1569. Abajo, reproducción realizada por M. Muyskens de la fluorescencia observada por Monardes:⁷ (A) Extractos de *Lignum Nephriticum* en agua bajo iluminación blanca; los números marcados son valores de pH. (B) Bajo iluminación ultravioleta, las disoluciones anteriores presentan emisión fluorescente en el azul entre pH 6 y 11.

“La percepción del color es una cuestión compleja que no está solamente relacionada con la física o la fisiología, sino también con la sociología, la psicología o la lingüística.”





A: el experimento de la botella azul. La botella contiene una disolución básica de azul de metileno y un reductor (glucosa). La disolución, inicialmente azul (arriba), se vuelve incolora al poco tiempo (abajo) porque la glucosa ha reducido el azul de metileno. Si la botella se agita, el color azul reaparece circunstancialmente hasta que la glucosa vuelve a reducir al colorante. El ciclo se puede repetir mientras reste glucosa en la disolución.

B: formas coloreada e incolora del índigo.

El cambio de color producido en un colorante por una reacción de oxidación-reducción es la base del clásico experimento de la *botella azul*.^{8,9} En este experimento, se añade glucosa como reductor a una disolución de azul de metileno. La glucosa transfiere dos electrones a la molécula de colorante, rompiendo el sistema conjugado de enlaces y ocasionando la pérdida del color. La forma reducida del azul de metileno se denomina leuco (del griego *leukos*, blanco). Cuando la botella se agita, el color desaparece debido a la oxidación de la forma leuco por el oxígeno del aire. Este cambio de color ha servido de base a la aplicación reciente del azul de metileno en sensores ópticos de oxígeno para el empaquetamiento de alimentos bajo atmósfera de nitrógeno o dióxido de carbono. Un proceso similar sucede durante el proceso de tintado de materiales textiles con índigo, colorante del que hablaremos más extensamente después. La insolubilidad de este colorante en agua es un inconveniente para el proceso de tintado. Para su aplicación, el índigo se reduce con ditionito de sodio a su forma leuco, que es soluble en

“El ojo humano tiene tres tipos de fotorreceptores, que se denominan conos y son sensibles al rojo, verde y azul, respectivamente.”

agua (en los tiempos preindustriales, se utilizaba orina como reductor). La exposición de la tela al oxígeno del aire revela el color del tinte.

Los cromóforos más comunes, aparte de los sistemas con enlaces pi conjugados ya mencionados, son los que contienen iones de metales de transición. El color se origina en estos metales por la presencia de orbitales de valencia de la subcapa *d* que están parcialmente llenos y tienen una menor implicación en la formación de enlaces químicos que los orbitales de las subcapas *s* y *p*. El color en las sustancias mencionadas hasta ahora está asociado con electrones localizados en regiones de la molécula formadas por un número limitado de átomos (la cadena de enlaces pi conjugados o el entorno del metal de transición). En cambio, el color en semiconductores, como el cinabrio o la pirita, y en metales, como el oro o el cobre, está relacionado con la fácil movilidad de los electrones a través de la red tridimensional de átomos que forma estos materiales sólidos.

LA PERCEPCIÓN DEL COLOR

La percepción del color es una cuestión compleja que no está solamente relacionada con la física o la fisiología, sino también con la sociología, la psicología o la lingüísti-

ca. Diferenciamos colores, en primer lugar, porque nuestro ojo posee pigmentos capaces de absorber algunas zonas concretas de la luz visible. Una segunda característica obligada de estas moléculas es que, tras la absorción de un fotón, tienen que sufrir alguna modificación que envíe una señal a nuestro cerebro. Concretamente,

“Se ha estimado que el ojo humano puede llegar a diferenciar unos 10 millones de colores.”

Algunos minerales muy conocidos por su característico color.

(a) Complejos de metales de transición

Malaquita
 $Cu_2(OH)_2(CO)_3$

Esmeralda (Cr³⁺)

Rubí (Cr³⁺)

(b) Transferencia de carga

Lapislázuli
 $(Ca,Na)_8(Al,Si)_{12}O_{24}(S,SO_4,Cl)_x$

(c) Semiconductores

Cinabrio (HgS)

Pirita (FeS₂)

(d) Metales

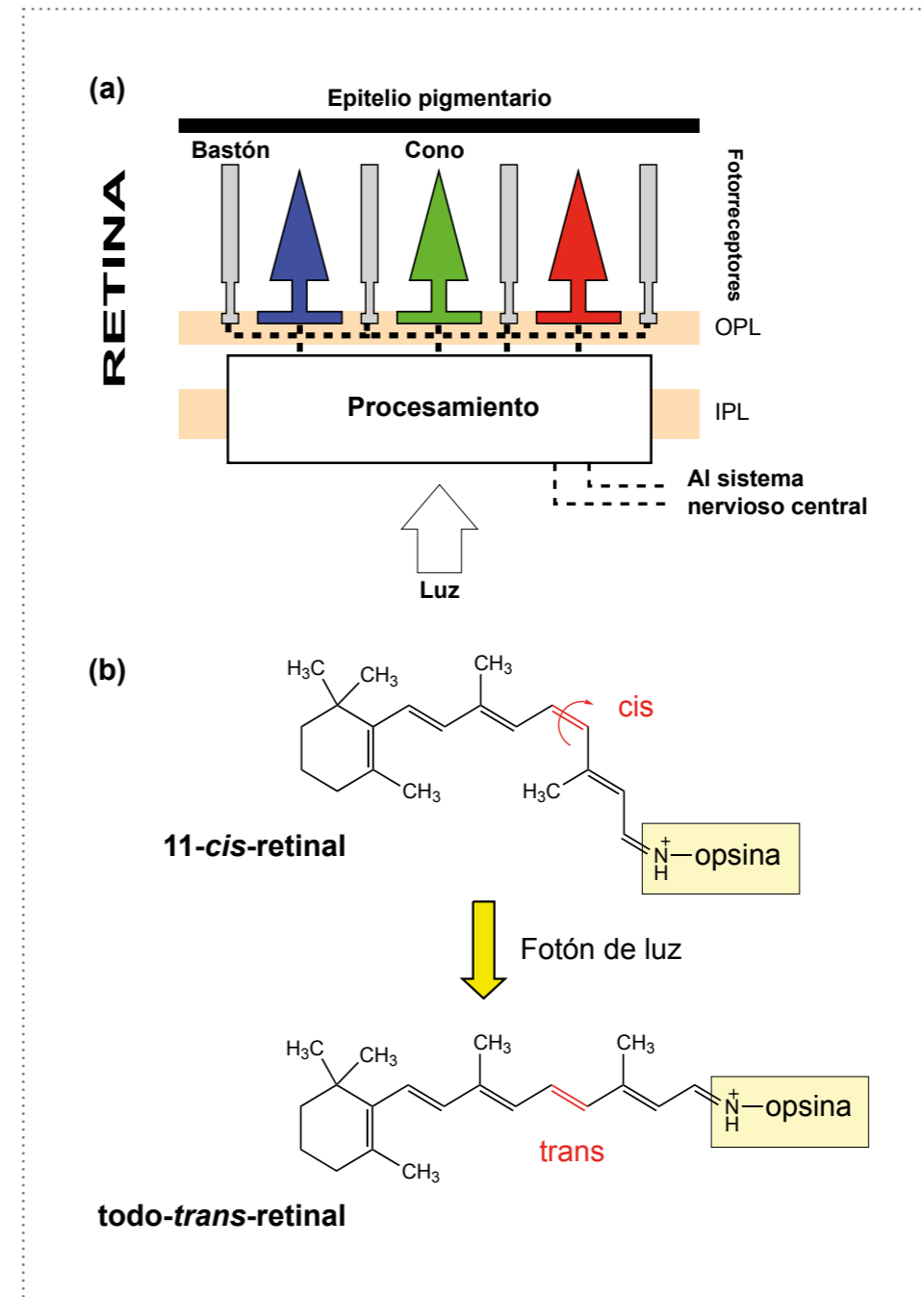
Oro



el ojo humano tiene tres tipos de fotorreceptores, que se denominan conos y son sensibles al rojo, verde y azul, respectivamente. Las tres clases de conos contienen el mismo pigmento, un derivado del retinal, que tiene una estructura típica de enlaces dobles conjugados. Estos conos están unidos a diferentes proteínas, denominadas opsinas. El retinal puede adoptar dos formas, *cis* y *trans*, que se diferencian por la disposición en el espacio de los sustituyentes del enlace doble en rojo (ver la figura anexa). Por absorción de un fotón, la forma *cis* se puede transformar en la *trans*. Esta modificación es reconocida por la opsina y la información es enviada al cerebro.

Se ha estimado que el ojo humano puede llegar a diferenciar unos 10 millones de colores. Sin embargo, para entender este proceso de diferenciación y las apasionadas discusiones sobre el color de un jersey, hay que tener en cuenta que los tres tipos de conos de la retina absorben en rangos anchos de frecuencias ya que sus pigmentos son moléculas. La figura de la página 74 (arriba) muestra la sensibilidad a las diferentes longitudes de onda de los conos rojo, verde y azul en un ojo humano prototípico. Por otra parte, los colores que observamos tampoco son generalmente monocromáti-

“Los tres tipos de conos de la retina absorben en rangos anchos de frecuencias ya que sus pigmentos son moléculas.”

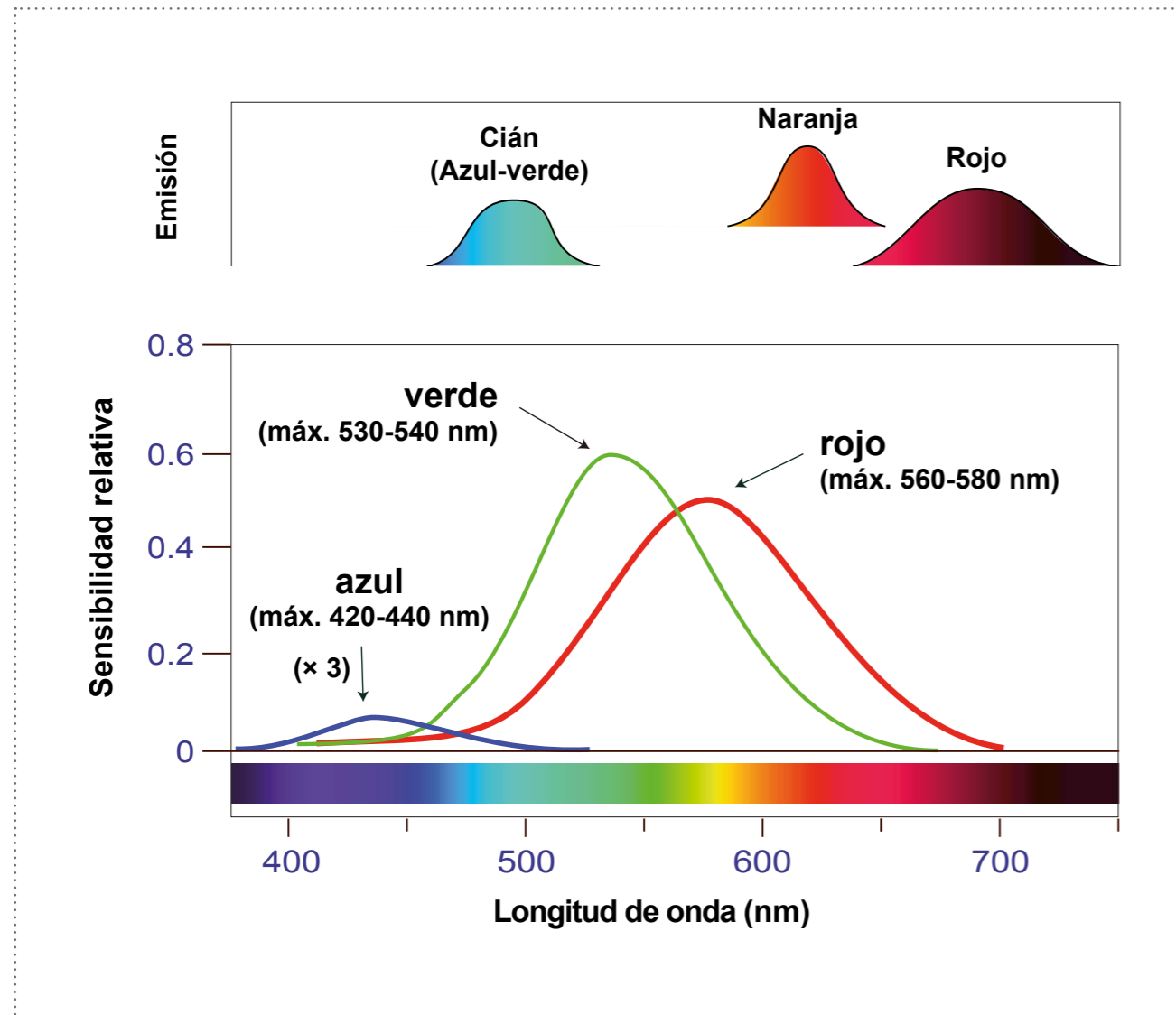


A: los conos son los responsables de la visión del color.

B: estructura química de los fotorreceptores de color del ojo. Cuando la forma *cis* absorbe un fotón de luz, el enlace doble se rompe, de forma que la molécula puede girar ahora 180° alrededor de este enlace antes de que se vuelva a cerrar. De este modo, el isómero *cis* se transforma en el isómero *trans* y el cambio de forma es reconocido por la opsina que le rodea, que envía una señal al cerebro. Una serie de reacciones vuelven a transformar el *trans*-retinal en *cis*-retinal, permitiendo que otro fotón pueda reiniciar el ciclo.

cos, sino que constan de bandas anchas de longitudes de onda. Por eso, mezclas de colores de composición espectral diferente pueden producir la misma sensación de color en nuestro ojo si producen un nivel similar de activación de los tres conos. Por ejemplo, nuestro ojo ve como naranja tanto un color más o menos puro formado por emisiones dentro de la región naranja del espectro como un color compuesto formado por la suma de emisiones de tonalidades rojizas y cian. Los dispositivos como televisiones o impresoras no están diseñados para reproducir el color original, entendido

“Las televisiones no están diseñadas para reproducir el color original sino nuestra percepción del color.”



Arriba: nuestro ojo puede ver como naranja tanto un color más o menos puro formado por tonalidades dentro de la región naranja del espectro como un color compuesto formado por tonalidades rojas y cian.

Abajo: contribuciones de los receptores individuales de color a la sensibilidad total de la fóvea en un sujeto humano determinado (se indican los máximos para un observador medio). El ojo humano prototípico es sensible especialmente al verde, seguido del rojo, y es muy poco sensible al azul (el componente azul es solo un tercio de alto del mostrado). Fuente: G. Wald, *Science*, 1964, 145, 1007.

“Además de por la teoría atómica, John Dalton es conocido por haber sido el primero en describir formalmente los defectos en la percepción de color (el daltonismo).”

CLASIFICACIÓN	INCIDENCIA (%)	
	HOMBRES	MUJERES
Tricromacia anómala	6,3	0,37
Protanomalía (defecto del cono rojo)	1,3	0,02
Deuteranomalía (defecto del cono verde)	5,0	0,35
Tritanomalía (defecto del cono azul)	0,0001	0,0001
Dicromacia	2,4	0,03
Protanopia (ausencia del cono rojo)	1,3	0,02
Deuteranopia (ausencia del cono verde)	1,2	0,01
Tritanopia (ausencia del cono azul)	0,001	0,03
Monocromacia de Bastones (no conos)	0,00001	0,00001

Causes of color (www.webexhibits.org/causesofcolor)

Anomalías y cegueras en la percepción del color.

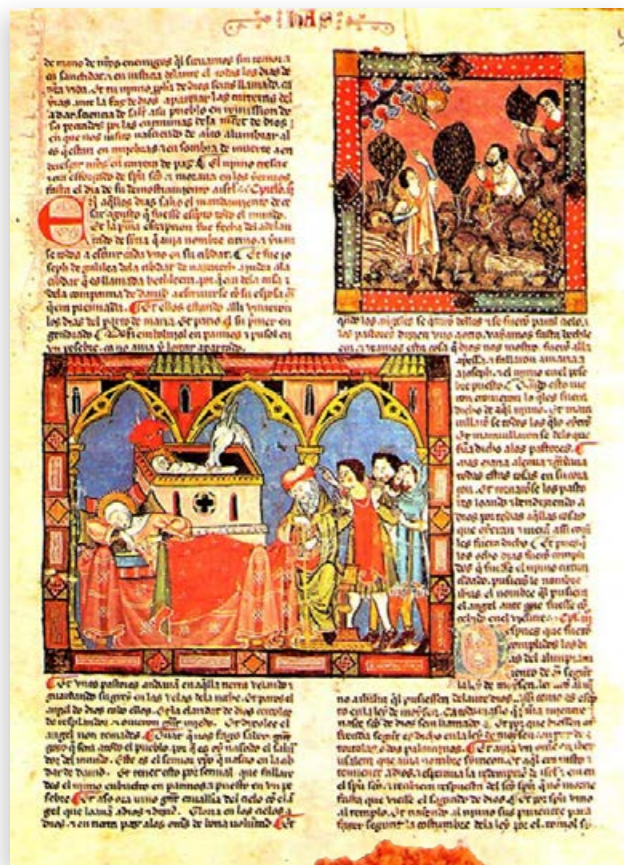
como una distribución espectral determinada de longitudes de onda, sino nuestra percepción del color, es decir, el efecto fisiológico del color en nuestro cerebro. Estos dispositivos engañan razonablemente bien al ojo de los seres humanos mediante una combinación de solo tres colores (rojo, verde y azul en los dispositivos emisivos como los televisores). No obstante, son seguramente burdas imitaciones para el ojo de las palomas, ya que estas disponen de 5 tipos de conos y pueden distinguir 10 billones de colores.

Además de por la teoría atómica, John Dalton (1766–1844) es conocido por haber sido el primero en describir formalmente los defectos en la percepción de color (el daltonismo) y en proponer que estos defectos estaban relacionados con la decoloración del medio líquido del ojo.¹⁰ Él mismo sufría de dicromacia, es decir, le faltaba uno de los tres tipos de conos, concretamente el verde. Es mucho más común, no obstante, la

tricromacia anómala en la cual se produce un desplazamiento de la sensibilidad de algunos de los pigmentos produciendo distorsiones más o menos graves en la percepción del color. Por cierto, un 8,7% de los hombres sufre alguna anomalía o ceguera en la percepción del color en comparación con solo un 0,4% de las mujeres.

LOS PIGMENTOS EN LA PINTURA¹¹

Los pigmentos utilizados históricamente por los grandes maestros de la pintura son normalmente de origen inorgánico. En la novela “El nombre de la rosa”, Umberto Eco narra la investigación por Guillermo de Baskerville de las muertes de monjes en una Abadía debidas a la lectura de un libro de hojas envenenadas. En realidad, las propias tintas utilizadas en los manuscritos tenían un grado de toxicidad no despreciable. Así, las miniaturas se dibujaban con tintas rojas de cinabrio, es decir sulfuro de mercurio, o de minio, un óxido de plomo.



Una página del *códice del Escorial Grande e general estoria* de Alfonso X el Sabio (1272-1284). El minio se utilizaba como pigmento rojo para la iluminación de letras capitales, márgenes e imágenes en manuscritos medievales (de ahí procede la palabra miniatura, que se refería originalmente a estas pequeñas imágenes). Otros pigmentos inorgánicos usuales, de origen mineral o sintético, eran el cinabrio (HgS, vermellón), el orpimente (As₂S₃, amarillo), el verdigris (verde), el ultramarino (azul oscuro, obtenido del Lapislázuli) o la azurita (Cu₃(CO₃)₂(OH)₂, también azul oscuro), además de las características hojas o polvo de oro o plata. También se usaban colorantes orgánicos, procedentes de plantas o animales, como el carmín y el carmesí (rojos) o el índigo (azul).

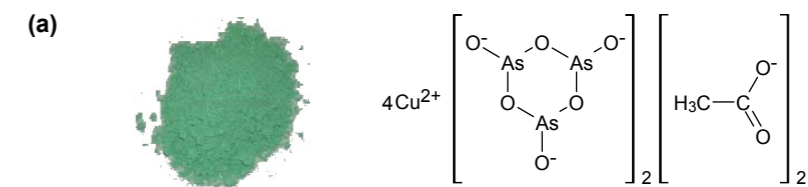
En un libro clásico sobre materiales de pintura, Max Doemer señala que los grandes maestros utilizaban pigmentos como el verdigris debido a la falta de alternativas, a pesar de ser conscientes de su toxicidad y falta de estabilidad.¹² Verdigris es el nombre que se da tanto al pigmento como a la pátina verde que recubre a las piezas de cobre expuestas al aire durante un periodo de tiempo. El pigmento es una mezcla compleja de color verde blanquizco que contiene acetato de cobre(II). Por desgracia, sufre a menudo alteraciones cromáticas al envejecer, oscureciendo y modificando el aspecto visual de las pinturas de una manera antiestética e irreversible.¹³

El descubridor del oxígeno, Carl Wilhem Scheele, sintetizó un nuevo pigmento de color verde en 1775 cuya fórmula fue mejorada y comercializada a partir de 1814 con el nombre de Verde de Maralda o Verde de París. Por desgracia, estos pigmentos contenían arsénico y eran tan baratos que no solo fueron usados por los artistas de la pintura, sino que también se aplicaron masivamente como tintes en la ropa o en papeles pintados. En 1860, el diario Times alertó de que los papeles pintados con estos pigmentos podrían ser responsables de las muertes de muchos niños. Se piensa que el moho de las húmedas casas inglesas podría haber liberado arsénico como gas en forma de dimetilarsina.¹⁴ Williams Morris fue un polifacético diseñador que jugó un papel fundamental en la popularización del papel pintado verde a través de su empresa *Morris and Company*. Morris profesó ideas socialistas y es considerado por algunos historiadores como un precursor de la protección del medio ambiente. Curiosamente, un estudio reciente ha desvelado que los papeles pintados de Morris contenían también arsénico.¹⁵



Arriba: el cuadro "Primavera" fue pintado por Sandro Botticelli alrededor del año 1482. El aspecto deslucido y oscuro se debe a la degradación del verdigris utilizado para representar el fondo de naturaleza verde.

Abajo: (a) Fórmula química del Verde de París. (b) Ilustración de 1848 mostrando un traje probablemente teñido con un pigmento de cobre-arsénico que, de hecho, se utilizó para imprimir la imagen. (c) William Morris (1834-1896) fue artesano, pintor, diseñador, activista político, escritor, poeta e impresor.



Verde de Maralda o Verde de París (1814) (C.I. Pigment Green 21)



El conocimiento de las técnicas y pigmentos utilizados por los maestros de la pintura en las diferentes épocas es clave en la conservación de las pinturas y en la detección de falsificaciones. Han Van Meegeren (1889-1947) fue un pintor y retratista neerlandés, además de un magistral falsificador especializado en el pintor Johannes Vermeer (1632-1675). Para llevar a cabo sus falsificaciones, estudió y replicó los procedimientos técnicos y químicos del siglo XVII. No obstante, al falsificar el famoso cuadro de "La chica de la perla", cometió el error de pintar el turbante con azul de cobalto, un pigmento que no se comercializó hasta el siglo XIX, en lugar de con ultramarino.

DE LOS COLORANTES ORGÁNICOS NATURALES A LOS SINTÉTICOS

Los colorantes se pueden clasificar de múltiples formas. Para un tintorero, por ejemplo, una clasificación útil de los colorantes textiles distinguiría seguramente entre colorantes ácidos y básicos porque, entre otras razones, son aptos para diferentes tipos de telas. Los colorantes son generalmente solubles y tienen que fijarse mediante algún tipo de interacción al tejido (en caso contrario no resistirían su lavado) y un colorante básico

se puede fijar por interacciones iónicas a telas acrílicas modificadas por ácidos. La clasificación natural de los colorantes para un químico de síntesis es seguramente una como la que se muestra en la figura, basada en la estructura química del cromóforo.¹⁶

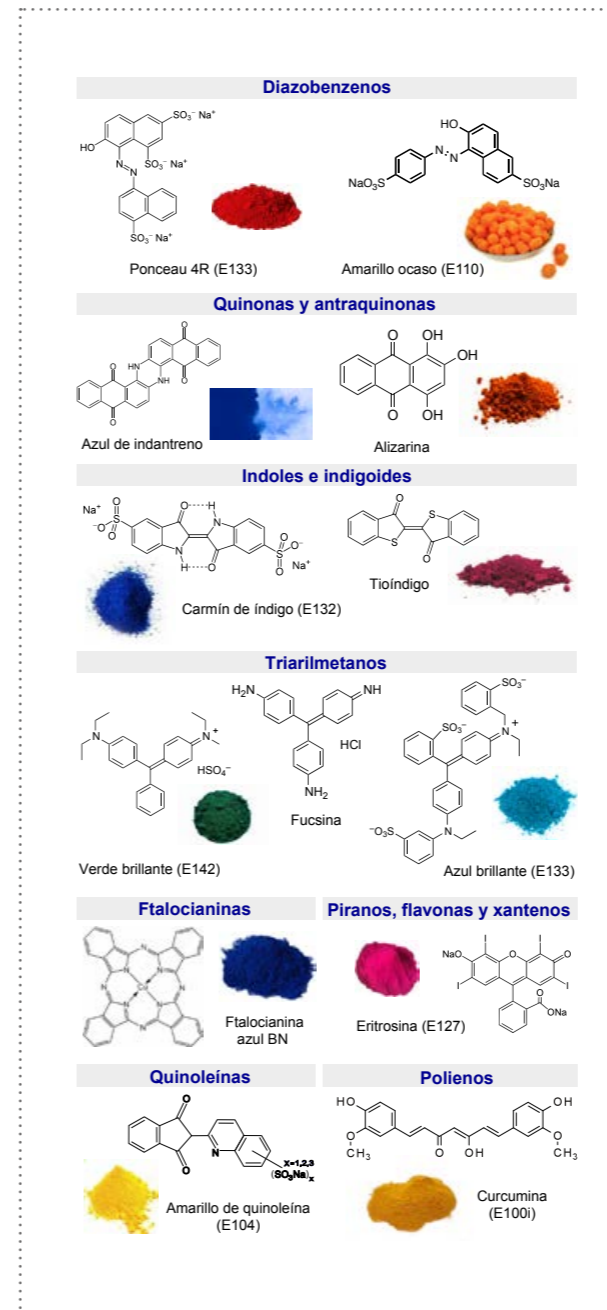
A la izquierda, el cuadro "Het meisje met de parel (La chica de la perla)", pintado alrededor de 1660-1665 por Johannes Vermeer. A la derecha, Han Van Meegeren en 1945.



Koos Raucamp



Azul de cobalto (CoAl₂O₄)



Algunos colorantes comunes clasificados según su estructura química. Los números E indicados son los códigos asignados en la Unión Europea a los colorantes que pueden tener un uso alimentario.

REFERENCIAS

- Nassau K., *The physics and chemistry of color*, Wiley, 2001.
- Atkins P., *Atoms, electrons, and change*, Scientific American Library, 1991.
- «La hortensia. Un arbusto repleto de flores» (http://plantas.facilísimo.com/reportajes/arbus-tos/la-hortensia_183988.html), consultado el 11 de enero de 2015.
- Kotz J., Treichel P., Weaver G., *Chemistry and Chemical Reactivity, Enhanced Review Edition*, Thomson, Brooks/Cole, 2006, capítulo 18.
- Tilley R. J. D., *Colour and the optical properties of materials*, 2ª ed., Wiley, 2011.
- Muyskens M., "The Fluorescence of Lignum nephriticum: A Flash Back to the Past and a Simple Demonstration of Natural Substance Fluorescence", *J. Chem Ed.*, 2006, 83, 765.
- Roesky H. W., Möckel K., *Chemical Curiosities*, VCH, 1996.
- Para ver un vídeo del experimento: <https://www.youtube.com/watch?v=OeQtQdSFPXU>
- John Dalton, "Extraordinary facts relating to the vision of colours: with experiments", *Memoirs of the Literary Philosophical Society of Manchester*, 1798, 5, 28 (leído el 31 de octubre del 1794 en la Sociedad Filosófica de Manchester).
- En el mundo de los colorantes se suele diferenciar entre tintes, que son solubles y se aplican disueltos en agua, y pigmentos, que se aplican en sólido.
- Verdigris and other blue and green copper colors [...] had to be used by the old masters because of the lack of other pigments. **They were aware of the dangerous nature and incompatibility of these pigments** and took the precaution of placing them between coats of varnish. Doerner M., *The materials of the artist*, Harcourt, 1934.
- Este fenómeno de oscurecimiento no es todavía muy comprendido, aunque se han sugerido algunas hipótesis. Santoro C., Zarkout K., Le Hô A.-S., Mirambet F., Gourier D., Binet L., Pagès-Camagna S., Reguer S., Mirabaud S., Le Du Y., Griesmar P.I., Lubin-Germain N., Menu M., "New highlights on degradation process of verdigris from easel paintings", *Applied Physics A*, 2014, 114, 637.
- Aunque posteriormente ha sido descartado, se llegó a creer que la muerte de Napoleón en Santa Elena podría haber sido producida por la misma causa.

(a) **Púrpura de Tiro**

BrC1=CC=C2C(=C1)C(=O)N(C2=O)N3C=CC=C(Br)C3
6,6'-dibromoindigo
(principal componente)

Murex Brandaris

El Cardenal Tavera (El Greco)

El emperador Justiniano Mosaico s. VI Basílica de S. Vitale, Ravena

(b) **Carmin**

CC1=C(C(=O)OC1O)C(=O)OC2=CC(=O)C(O)=C(O)C2=O
Ácido carminico (E-120)

Cochinilla

(c) **Tekhelet**

(d) **Índigo**

C1=CC=C2C(=C1)C(=O)N(C2=O)N3C=CC=C(N3)C4=CC=CC=C4
Índigo

Indigofera tinctoria (añil)

Hasta el desarrollo de la química sintética, los colorantes se extraían de la naturaleza y la dificultad de obtención de muchos de ellos explica que el color de la vestimenta fuera un símbolo de estatus social. La asociación del color de la púrpura de tiro a emperadores y cardenales, por ejemplo, se debe a que eran necesarios 10000 ejemplares de un caracol del mar mediterráneo (*murex brandaris*,) para extraer un gramo del colorante con el que teñir el ribete de una pieza. Un sustitutivo más barato era el carmín, extraído de la hembra de la cochinilla, un insecto parásito de las higueras de pala, originarias de México. La higuera de pala, fue cultivada en las Islas Canarias donde la cochinilla ha sido históricamente una industria vital. De 100000 hembras se puede extraer 1 kg de producto debido al alto contenido de colorante en la hembra adulta (hasta el 21% de su peso seco). Hay colorantes cuyo origen se ha perdido a lo largo de los tiempos sin que existan datos suficientes para deducir su naturaleza, a pesar de tener referencia histórica de su existencia. Un caso singular es el de Tekhelet, un colorante citado en la Biblia Hebrea y cuya forma de producción se pierde en algún momento tras la diáspora judía. La Torá indica expresamente que las vestimentas con esquinas deben tener flecos y que en estos solo se puede emplear Tekhelet como colorante. Los judíos actuales utilizan a menudo flecos blancos en el chal de oración por la imposibilidad de obtener el tinte azul prescrito. El índigo es un colorante de uso muy antiguo que se extraía de la *indigofera tinctoria*, una planta leguminosa cultivada en India. Es también conocido como añil y es el colorante típico de los pantalones vaqueros. A lo largo del siglo XIX, la expansión de la industria textil produjo un aumento considerable en la demanda de colorantes, ocasionando la tala masiva de maderas tintóreas en los bosques

tropicales. Bajo el dominio del colonialismo inglés y de los grandes terratenientes, millones de hectáreas en países como India pasaron de producir alimentos a dedicarse al cultivo del índigo. Las consecuencias fueron que el hambre se extendió y dio origen a revueltas como la de Bengala (1859-1861). La repercusión que tuvo el índigo en el siglo XIX recuerda en alguna medida a los efectos que podría producir la fiebre actual de los biocarburantes si no se establecen políticas adecuadas.

El problema del abastecimiento de colorantes se resolvió con la invención de los colorantes sintéticos. William H. Perkin obtuvo el primero de ellos, la malveína, en 1856, cuando era un joven estudiante de 18 años en el Royal College of Chemistry en Londres. Su profesor, el químico alemán Augusto Wilhelm von Hofmann, trabajaba en el aprovechamiento del alquitrán que se obtenía como subproducto en la producción del gas de alumbrado a partir del carbón de hulla. Los alquitranes contienen cantidades importantes de compuestos aromáticos como el benceno o naftaleno, a partir de los cuales se obtenían sustancias como la anilina y derivados de la misma. La quinina era el único remedio conocido en aquellos días contra la malaria y Hofmann propuso a su alumno que intentara obtenerla a partir de uno de los derivados de la anilina, la *N*-alil toluidina. La hipótesis de Hofmann era que la quinina se podría sintetizar por acoplamiento oxidante de dos moléculas de alil toluidina. Esta propuesta se basaba en que la fórmula molecular de la alil toluidina es la mitad de la fórmula de la quinina, descontando los oxígenos que serían aportados por el oxidante y dos hidrógenos que serían liberados como agua en el proceso de acoplamiento.¹⁷ La reacción no dio los resultados deseados. Hoy en día sabemos que la quinina y la alil toluidina difieren estructuralmente demasiado como para que

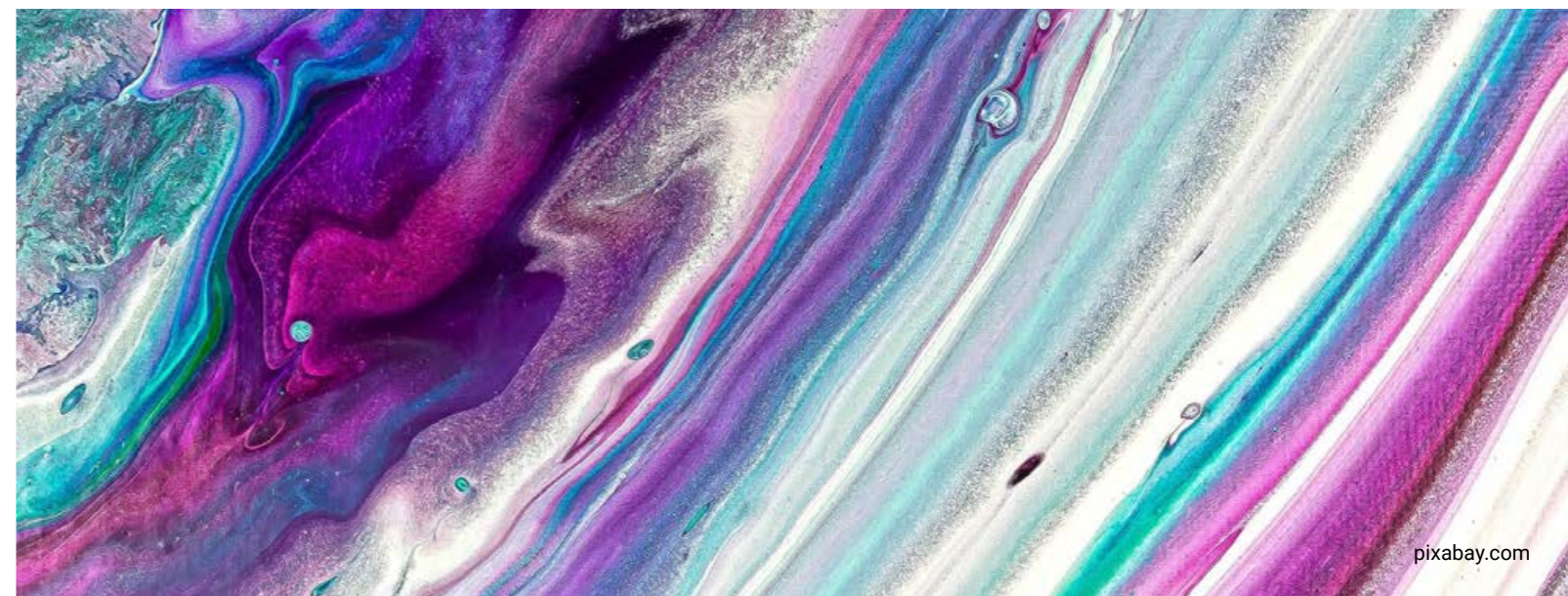
15. Meharg A., "The arsenic Green", Nature, **2003**, 423, 688.
16. Christie R. M., *Colour Chemistry*, Royal Society of Chemistry, **2001**.
17. Perkin W. H., "The origin of the coal-tar colour industry, and the contributions of Hofmann and his pupils", *J. Chem. Soc., Trans.*, 1896, 69, 596.
18. Aunque el término serendipia fue acuñado en 1754, su popularización en el mundo científico se inicia posiblemente a partir de su uso en la revista "Scientific American" en 1955. "Our story has as its critical episode one of those coincidences that show how discovery often depends on chance, or rather on what has been called 'serendipity' – the chance observation falling on a receptive eye". S. E. Luria, "The T2 mystery", *Sci. Amer.*, **1955**, 192 (4), 92.

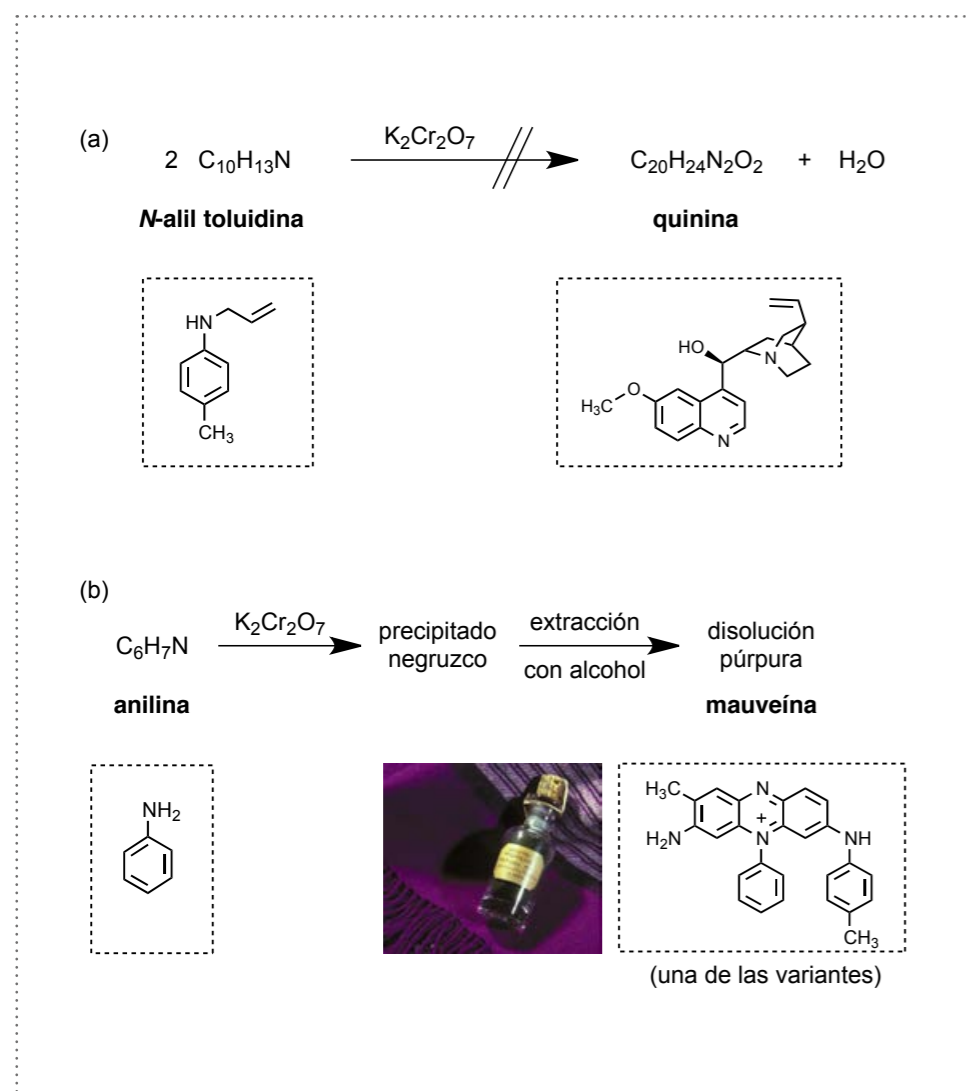
“El problema del abastecimiento de colorantes se resolvió con la invención de los colorantes sintéticos.”

Algunos tintes naturales de importancia histórica:

(a) El púrpura de tiro se obtenía a partir del *murex brandaris* y constituía un símbolo de poder. El principal componente del pigmento es un derivado dibromado del índigo. (b) El carmín se extraía de la hembra de la cochinilla, un insecto parásito de las higueras de pala. (c) Un chal judío con los flecos blancos. (d) El añil se extraía de la *indigofera tinctoria* y es el responsable de la típica coloración de los pantalones vaqueros.

“El índigo es un colorante de uso muy antiguo que se extraía de la *indigofera tinctoria*, una planta leguminosa cultivada en India.”





A: la reacción que William Perkin intentó infructuosamente. La quinina no pudo ser sintetizada hasta 1944, gracias al trabajo de William E. Doering y Robert B. Woodward (premio Nobel de Química en 1965).

B: la reacción que produjo el primer colorante sintético. La malveína es realmente una mezcla de varias moléculas similares a la mostrada, que se diferencian en el número y posición de grupos metilo (provenientes de la toluidina que impurificaba la anilina empleada por Perkin). La fotografía recoge una muestra de malveína preparada por Perkin.

“La malveína no es ni mucho menos la única sustancia química importante que se ha descubierto durante la limpieza de matraces.”

la reacción tuviera posibilidades de éxito. Pero Hofmann y Perkin desconocían la estructura de estas moléculas ya que no sería hasta un par de años después que August Kekulé propondría su teoría de la estructura química. Después de este fracaso, Perkin utilizó una táctica común en síntesis química: estudiar la reacción con una molécula más simple que la alil toluidina como es la anilina. De la reacción con la anilina obtuvo un sólido negro que sugería una síntesis “fracasada”. Pero al limpiar el recipiente con alcohol, Perkin se dio cuenta que se extraía una disolución de color púrpura. La sustancia fue denominada malveína por su color, que recuerda al de algunas variedades de la flor de malva. Tras demostrar que era posible escalar la producción y utilizar en la práctica la sustancia como un tinte, patentó el método de obtención del nuevo colorante y montó una fábrica para producirla. El color malva se puso rápidamente de moda y la popularización del tinte hizo que Perkin se hiciera millonario en poco tiempo.

La malveína no es ni mucho menos la única sustancia química importante que se ha descubierto durante la limpieza de matraces (y seguramente otras muchas han acabado en la pila). Sin embargo, la síntesis de la malveína es mucho más que un descubrimiento casual. Este y otros muchos descubrimientos científicos se podrían describir como el resultado de aventurarse en un camino desconocido donde se encuentran cosas inesperadas que el buen observador tiene la sagacidad de percibir. Los ingleses utilizan el término de serendipia (*serendipity*) para describir estos descubrimientos.¹⁸ Este término proviene del título en inglés de un libro italiano del siglo XVI (*The Three Princes of Serendip*), basado en antiguos cuentos orientales. Narra los viajes y aventuras de tres príncipes de Serendip (el actual Sri Lanka) que, para completar su formación, marchan en una misión. En su camino, no hacen más que encontrar indicios sin relación aparente con su objetivo, pero en realidad necesarios.

La síntesis de la malveína es seguida por la de la fucsina en 1859, por Emmanuel Verguin (1817-1864) en Lyon, y la de la alizarina en 1868 (sus estructuras se muestran en la figura de la página 79). La alizarina es un tinte textil rojo utilizado ampliamente desde los tiempos antiguos gracias a su extracción de la rubia, una planta de la familia de las rubiáceas (*Rubia tinctorum L.*). El tinte había sido aislado y caracterizado en 1826 por el químico francés Pierre Jean Robiquet y fue el primer colorante orgánico natural en ser producido industrialmente. La síntesis de la alizarina tiene dos particularidades dignas de mencionar. La primera es consecuencia de los cambios que las propuestas estructurales de Kekulé habían producido en la química orgánica durante la década precedente. Carl Graebe y Carl Liebermann, ayudantes de Adolf van Baeyer, consiguen elucidar la estructura de la alizarina, considerando que este paso debía de anteceder a los intentos de síntesis. El segundo aspecto destacable es la participación en la síntesis de Heinrich Caro, que había trabajado en mejorar el proceso de extracción de la alizarina en una compañía inglesa y que acababa de ser contratado como director de la BASF (Badische Anilin- und Soda-Fabrik). Esta compañía se fundó tres años antes para fabricar tintes, además de sosa y otros productos químicos necesarios para su fabricación (por cierto, BASF presentó la patente de la alizarina tan solo un día antes de que lo hiciera también Perkin).¹⁹

Pero, seguramente, el acontecimiento central del descubrimiento de los colorantes sintéticos es el gran proyecto de síntesis del índigo que tiene como protagonistas al propio Caro, a Adolf van Baeyer y a Karl

19. Caro H., Graebe C, Liebermann C., “Ueber Fabrikation von künstlichem Alizarin”, *Ber. Dtsch. Chem. Ges.*, **1879**, 3, 359.
20. Wojtkowiak C., *Histoire de la Chimie*, Lavoisier, 1988.
21. “There was an awful rainbow once in heaven: / We know her woof, her texture; she is given / In the dull catalogue of common things. / Philosophy will clip an Angel’s wings, / Conquer all mysteries by rule and line, / Empty the haunted air, and gnomed mine— / Unweave a rainbow, as it erewhile made / The tender-person’d Lamia melt into a shade”, John Keats, *Lamia*, part II, 1820.

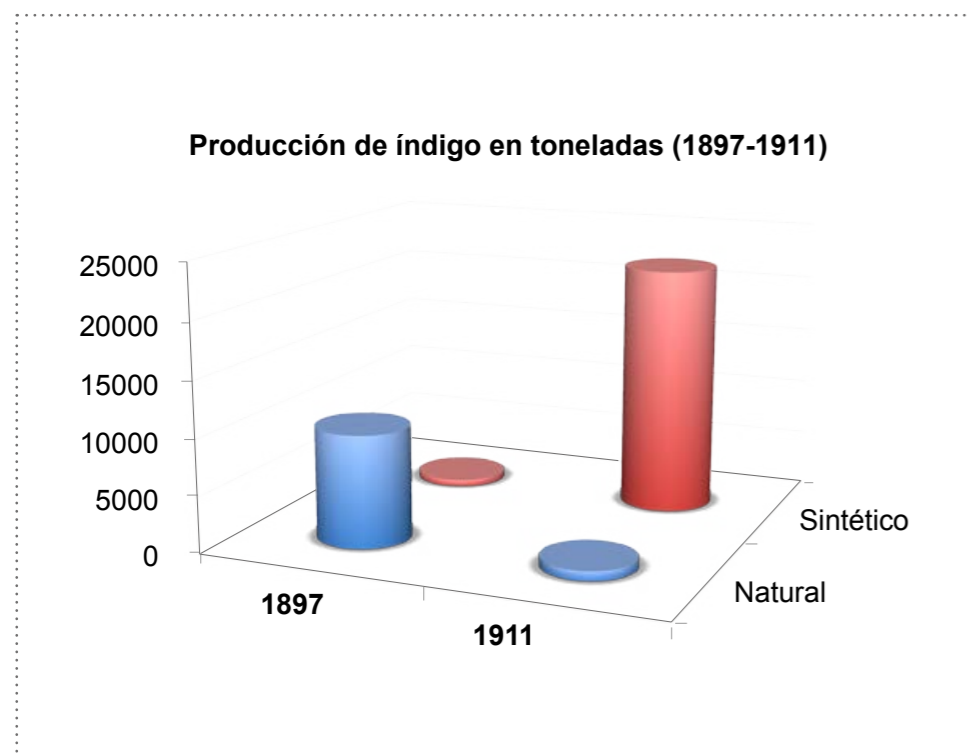


Heumann. Los trabajos de Adolf von Baeyer en la síntesis del índigo habían empezado ya en 1865 pero no consiguió un primer método de síntesis hasta 1878, seguido por un segundo método en 1880. No obstante, ninguno de los dos era viable industrialmente. BASF se involucró en el proyecto de encontrar un proceso sintético industrial para el índigo en 1876, pero no fue hasta 1897 que pudo implementarse el proceso ideado por Karl Heumann. Durante estos 20 años, BASF invirtió en la investigación una cantidad superior al capital de la propia empresa (18 millones de marcos-oro que equivaldrían aproximadamente a 5 millones de euros). Los resultados del éxito fueron enormes. BASF pasó de 520 empleados en 1871 a unos 7200 en 1900, incluyendo 500 ingenieros, técnicos e investigadores. Todavía cien años después, BASF producía el 40% de las 17.000 toneladas de índigo que se fabrican aproximadamente al año en el mundo (cantidad suficiente para teñir 800 millones de vaqueros). La contrapartida fue que, mientras la producción del índigo sintético aumentaba espectacularmente, la producción de índigo natural cayó entre 1897 y 1911 de 10000 a 600 toneladas. En India, el cultivo de indigofera prácticamente desapareció al caer de 1.683.328 de hectáreas cultivadas en 1896 a 4289 de hectáreas en 1956. Hoy en día, se encuentran en el mercado unos ochenta mil colorantes que difieren en su composición, propiedades químicas y físicas.

EL NACIMIENTO DE LA INDUSTRIA QUÍMICA MODERNA

Otras grandes compañías químicas alemanas, como Hoeschst, Agfa o Bayer, también nacieron en torno a la fabricación de colorantes. Si el desarrollo de la industria del carbón y la máquina de vapor en la primera mitad del siglo XIX puso en marcha la primera revolución industrial, la síntesis industrial de los colorantes en la segunda mitad del XIX constituye la segunda revolución industrial al dar nacimiento a la industria química moderna. Y es que la síntesis de colorantes tuvo consecuencias que van más allá del interés económico del propio producto. Por un lado, generó cambios radicales de las técnicas industriales y de fabricación de productos de base y semi-acabados, y motivó el diseño de aparatos sofisticados. Por otra parte, fomentó la formación de generaciones enteras de ingenieros y científicos cualificados para la industria, además de poner en marcha una organización moderna y eficiente de la investigación y del desarrollo.

La industria química empezaría pronto a fabricar productos para otras aplicaciones como fármacos, perfumes, fitosanitarios, etc. Hay que pensar, por ejemplo, que en 1870 existían únicamente una decena de productos farmacéuticos de síntesis. El cambio radical de la situación que se produjo en las décadas siguientes



◀ **Evolución de la producción de índigo natural y sintético, 1897-1911.**

está estrechamente relacionado con los colorantes. El responsable fue Paul Ehrlich (1854-1915), quién desarrolló la quimioterapia, es decir el uso de sustancias químicas para destruir gérmenes patógenos. Ehrlich pensó que si los colorantes podían tinter selectivamente bacilos y bacterias también se podrían utilizar para matarlos selectivamente. Para demostrarlo empezó a buscar agentes bactericidas entre los colorantes. Después de 15 años de investigación, el éxito le llegó estudiando la efectividad contra la malaria de supuestos análogos de "diazobencenos" modificados por sustitución de los átomos de nitrógeno por átomos de arsénico. Una de estas moléculas, la arsfenamina fue comercializada en 1910 con la marca Salvarsan como el primer fármaco eficaz contra la sífilis.

Por supuesto, la industria química no se desarrolló tan solo en Alemania. No obstante, es esclarecedor comparar la situación de Alemania con la de Francia, el país que dominaba la química a principios del siglo XIX.²⁰ Las diferencias en la ley de patentes o el papel de los oponentes al atomismo en Francia hasta muy avanzada la segunda mitad del siglo XIX, con Marcellin Berthelot como respetado representante, son algunas de las razones que explican la pérdida de influencia francesa en la química durante esta época. Pero querría resaltar el papel fundamental de la enseñanza, de las altas escue-

las técnicas alemanas y de la concepción Humboldtiana de una universidad que debía combinar ilustración, formación e investigación. En Francia, en cambio, dominaba una concepción napoleónica de la universidad orientada a la instrucción enciclopédica y separada de la investigación.

A modo de conclusión

El poeta romántico John Keats maldijo a Isaac Newton por haber desnudado al arco iris de su misterio.²¹ Se le puede responder con una famosa cita de Henri Poincaré: "Los científicos no estudian la naturaleza porque es útil, la estudian porque les place; y les place porque es bella. Si la naturaleza no fuera bella, no merecería la pena conocerla, no merecería la pena vivir la vida". Belleza, gozo y conocimiento no deberían de estar reñidos y espero que estas líneas hayan servido a tal propósito.

Ernesto de Jesús Alcañiz
Dpto. de Química Orgánica y Química Inorgánica
Universidad de Alcalá

.....

PUBLICACIONES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

.....



Permanente de instrumentos históricos
laboratorio de la Facultad de Ciencias,
Universidad de Zaragoza.



Triquinoscopio

Este microscopio compuesto de reciente desarrollo, a medida del agua potable, se diseñó para el Hospital de la Facultad de Ciencias como instrumento de gran utilidad en el laboratorio de patología y parasitología, gracias a su amplia variedad de objetivos, filtros y de filtros con filtros y objetivos parafinados.

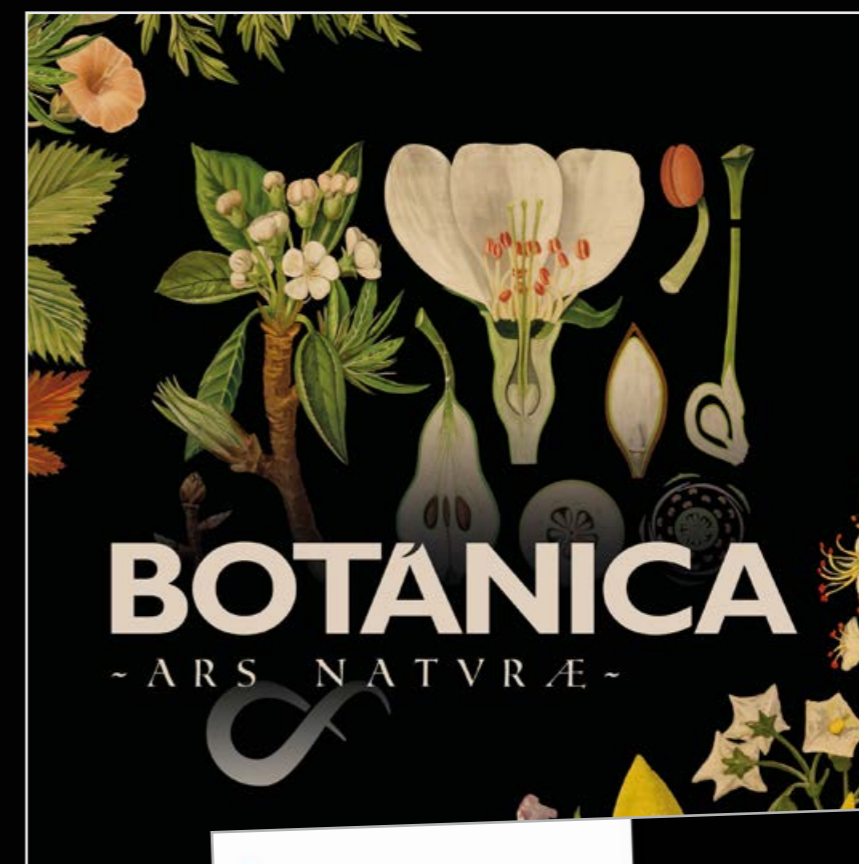
Una buena posibilidad de detección en el examen óptico de las preparaciones coloreadas de muestra de diagnóstico patológico de la especialidad. Para ello, se emplea el mismo sistema de objetivos de larga longitud focal, que se emplea para estudios de patología y de patología de la muestra de estudio.



Modelo 1971 - Universidad de Zaragoza
Laboratorio de Instrumentación Científica
Departamento de Instrumentación Científica
Laboratorio de Instrumentación Científica
Departamento de Instrumentación Científica
Laboratorio de Instrumentación Científica



LOS ÁRBOLES DEL CAMPUS



Descárgalas gratis



INSTRUMENTA

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

LOS ÁRBOLES DEL CAMPUS

ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion_social/los_arboles_del_campus.pdf

BOTÁNICA ARS NATURÆ

ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion_social/botanica_ars_naturae.pdf



theconversation.com

Los números detrás de la pandemia

“Para entender una epidemia hay que tener la capacidad de describirla numéricamente.”

Ignacio de Blas



En esta ocasión vamos a dejar atrás las palabras para centrarnos en las cifras porque para entender una epidemia hay que tener la capacidad de describirla numéricamente y para ello tendremos que definir una serie de medidas de enfermedad.

Pero antes de cuantificar el número de enfermos en una población necesitamos una herramienta que nos discrimine los individuos enfermos de los individuos sanos. Me estoy refiriendo a las pruebas diagnósticas. Un pequeño comentario antes de empezar a evaluar la fiabilidad del diagnóstico: tenemos que tener claro lo que estamos diagnosticando: enfermedad, infección o inmunidad frente al patógeno. El diagnóstico clínico permite diferenciar sanos y enfermos, pero en muchas ocasiones tiene que ser complementado con pruebas

de diagnóstico directo para identificar la presencia del patógeno que causa la enfermedad. En este grupo de pruebas directas se encuentran la PCR, las pruebas de antígenos y el cultivo microbiológico. Y por último hay un tercer grupo de pruebas indirectas que intentan determinar si el individuo ha estado en contacto con el patógeno en el pasado buscando elementos de la respuesta inmune frente a ese patógeno, fundamentalmente anticuerpos usando pruebas serológicas como ELISA y seroneutralización.

Pero lo que tienen en común todas estas pruebas diagnósticas es que son imperfectas y por eso decimos que un individuo es positivo a la prueba en lugar de decir que está infectado, o que es negativo para indicar que no está infectado. Puede parecer algo confuso porque la mayoría de las personas piensan que es lo mismo, y no es así.

Imaginemos que existiera una prueba diagnóstica perfecta a la que llamaremos prueba de oro (*gold standard*) con la que pudiéramos comparar nuestras pruebas diagnósticas. En ese caso podríamos aplicar ambas pruebas a un conjunto de individuos y obtendríamos cuatro posibilidades que vamos a mostrar en una tabla de 2x2.

Lo deseable es que solo hubiera **verdaderos positivos** (individuos enfermos que dan un resultado positivo con la prueba que estamos evaluando) y **verdaderos negativos** (individuos sanos con resultado negativo a la prueba evaluada). Eso solo ocurre con la prueba de oro que hemos imaginado en nuestra cabeza (aunque en muchos casos se utiliza la histopatología y la PCR como pruebas de oro asumiendo que son perfectas, sin serlo).

En la práctica hay varias alternativas a esa prueba de oro, la más sencilla sería seleccionar un grupo de individuos que tengamos plena seguridad de que están sanos (por ejemplo, procedentes de un país donde nunca se haya detectado la enfermedad) a los que tomaremos

muestras para ver cuántos son negativos (suponemos que la mayoría) y si hay alguno positivo. Esos individuos sanos con diagnóstico positivo es lo que denominamos **falsos positivos** y se pueden producir por muy distintos motivos (infección con un patógeno similar al que estamos estudiando, reacciones inmunitarias cruzadas con anticuerpos frente a otro patógeno, contaminaciones de la muestra, errores en el procesado, etc.).

Una vez estudiado este grupo de individuos sanos podemos plantearnos infectarlos experimentalmente. Lógicamente hay unas restricciones éticas que nos impiden hacerlo cuando trabajamos con seres humanos, pero en el caso de los veterinarios es viable, pero siempre con la supervisión de una comisión ética. Es decir, que nos aseguramos que los animales están realmente infectados y/o enfermos (según lo que estemos

“Especificidad (E) se define como la probabilidad de detectar correctamente a un individuo sano.”

		PRUEBA DE ORO	
		Enfermos (positivos)	Sanos (negativos)
Prueba a evaluar	Positivo	Verdaderos positivos (a)	Falsos positivos (b)
	Negativo	Falsos negativos (c)	Verdaderos negativos (d)

$$1) \quad S = P(\text{positivo}|\text{enfermo}) = \frac{P(\text{positivo, enfermo})}{P(\text{enfermo})} = \frac{a/N}{(a+c)/N} = \frac{a}{a+c} = \frac{\text{verdaderos positivos}}{\text{enfermos}}$$

$$2) \quad E = P(\text{negativo}|\text{sano}) = \frac{P(\text{negativo, sano})}{P(\text{sano})} = \frac{d/N}{(b+d)/N} = \frac{d}{b+d} = \frac{\text{verdaderos negativos}}{\text{sanos}}$$

diagnosticando). Ahora esperamos encontrar que los individuos sean positivos (verdaderos positivos), pero en la práctica algunos individuos tienen diagnóstico negativo (los **falsos negativos**) que pueden deberse a problemas con el tipo de muestra utilizada, mala conservación de la muestra, fallos durante el análisis laboratorio o toma de la muestra en un momento inadecuado (un ejemplo clásico ocurre con el diagnóstico de anticuerpos ya que tardan 7-10 días en aparecer tras la infección y si tomamos la muestra antes de que pase ese tiempo no se pueden detectar porque no están presentes todavía).

A partir de esta información podemos calcular dos indicadores de fiabilidad de las pruebas diagnósticas: sensibilidad y especificidad. Empezamos a usar los números.

La **sensibilidad (S)** es la probabilidad de detectar correctamente a un individuo enfermo y podemos expresarlo también como la probabilidad de que un verdadero po-

sitivo padezca la enfermedad o como la probabilidad de obtener un diagnóstico positivo cuando el individuo está enfermo. Estamos hablando de una probabilidad condicional que se expresaría como P(positivo|enfermo), y que tras simplificar corresponderá al cociente entre el número de verdaderos positivos (enfermos detectados por la prueba) y el número total de enfermos reales (ecuación 1).

Es evidente que una prueba muy sensible dará pocos falsos negativos y por tanto tendrá utilidad para descartar la presencia de enfermedad, ya que ante un resultado negativo podremos estar bastante seguros de que se tratará de un individuo sano.

El segundo indicador es la **especificidad (E)** que se define como la probabilidad de detectar correctamente a un individuo sano, y que podemos expresar también como la probabilidad de que un verdadero negativo esté sano o como la probabilidad de obtener un diagnóstico negativo cuando la enfermedad esté ausente, lo que en términos de probabilidad condicional equivale a P(negativo|sano) y se calcula como el cociente entre el número de verdaderos negativos (sanos detectados por la prueba) y el número total de sanos reales (ecuación 2).

Lógicamente una prueba muy específica dará pocos falsos positivos y por tanto tendrá utilidad para confirmar la presencia de enfermedad, ya que gran parte de los positivos serán individuos realmente enfermos.

Para terminar de entenderlo pondré un sencillo ejemplo para detectar infectados de SARS-CoV-2 con una muestra nasofaríngea utilizando una PCR (ver tabla).

		PRUEBA DE ORO		
		Infectados	No infectados	TOTAL
Prueba a evaluar (PCR)	Positivo	990 Verdaderos positivos	200 Falsos positivos	1.190 Positivos
	Negativo	10 Falsos negativos	3.800 Verdaderos negativos	3.810 Negativos
	TOTAL	1.000 infectados	4.000 no infectados	5.000

Aplicando las fórmulas anteriores veremos que la sensibilidad es 99% (=990/1.000) y la especificidad es 95% (=3.800/4.000). Pueden parecer valores muy altos (y lo son) e indicarían que la prueba es muy fiable, pero a pesar de ello en la muestra analizada hay 10 individuos que estaban infectados y que hemos diagnosticado como negativos (falsos negativos). Puede que no parezcan demasiados, pero son personas infectadas a los que les decimos que no tienen el virus y que vuel-

ven a la calle donde pueden infectar a otras personas. Para evitar ese problema con la sensibilidad, a los contactos estrechos con un positivo se les obliga a mantenerse en cuarentena a pesar de que ellos tengan un diagnóstico negativo. Cuando estamos rastreando en busca de infectados es muy importante que la prueba sea muy sensible para minimizar el número de individuos infectados que sean negativos y que no seríamos capaces de detectar.



“La sensibilidad (S) es la probabilidad de detectar correctamente a un individuo enfermo.”

El otro problema es que hay 200 personas a las que les hemos dicho que están infectadas sin ser cierto (falsos positivos). En este caso la consecuencia es que vamos a ponerles en aislamiento durante 14 días sin ser realmente necesario y además vamos a investigar a sus contactos estrechos (que también se mantendrán confinados en sus casas). Es el precio que hay que pagar por usar una prueba inespecífica, pero más vale prevenir. En este caso no es un precio demasiado alto, pero en los planes de erradicación en sanidad animal un resultado positivo conlleva el sacrificio del animal positivo o incluso de toda la explotación ganadera, así que las pruebas tienen que ser muy específicas para evitar sacrificar animales que realmente están sanos.

Por lo tanto, cuando medimos la cantidad de enfermos en una población lo que realmente estamos haciendo es estimar la cantidad de positivos, y a esa proporción de positivos en la población la denominamos **prevalencia aparente**, que es la probabilidad de diagnosticar como positivo a un individuo de la población y se calcula dividiendo número total de individuos positivos por el número total de individuos. En nuestro ejemplo sería 23,8% (=1.190/5.000).

$$P_{\text{aparente}} = P(\text{positivo}) = \frac{a+b}{N} = \frac{\text{positivos}}{\text{población total}}$$

Sin embargo, lo que realmente querríamos conocer es la **prevalencia real o verdadera** que mide la frecuencia de aparición de una enfermedad en una población (la

probabilidad de estar enfermo) y se calcularía dividiendo el número total de enfermos por total de individuos. En nuestro caso es 20% (=1.000/5.000).

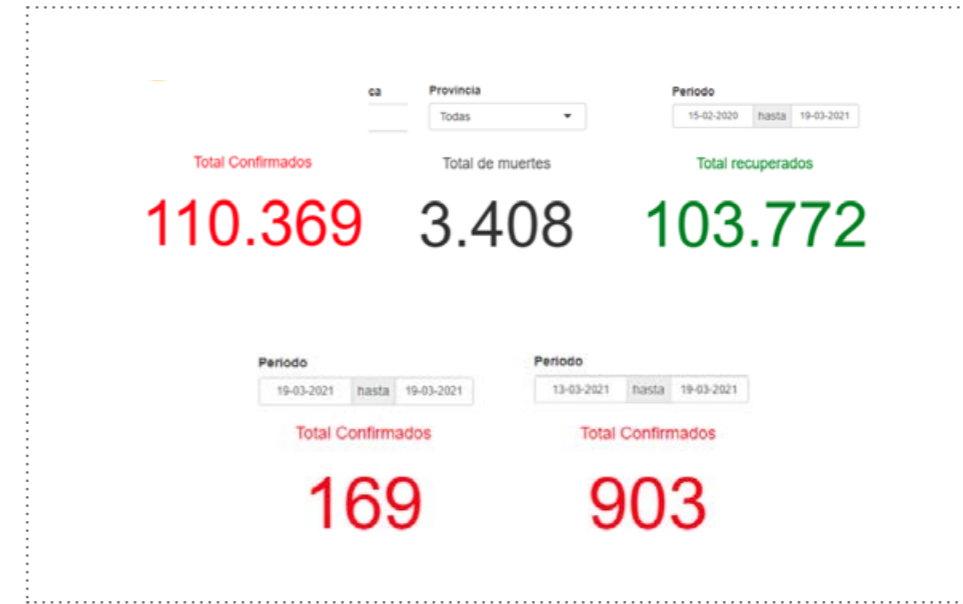
$$P_{\text{real}} = P(\text{enfermo}) = \frac{a+c}{N} = \frac{\text{enfermos}}{\text{población total}}$$

Vemos que al calcular la prevalencia aparente estamos considerando que hay más enfermedad de la que realmente hay por eso es importante estimar la prevalencia real en función de la prevalencia aparente, la sensibilidad y la especificidad utilizando la siguiente fórmula que nos permite comparar la proporción de enfermos entre poblaciones que han sido diagnosticadas con pruebas diagnósticas con distinta fiabilidad.

$$P_{\text{real}} = \frac{P_{\text{aparente}} + \text{Especificidad} - 1}{\text{Sensibilidad} + \text{Especificidad} - 1}$$

Pensad por un momento en un mismo grupo de personas que es diagnosticada con dos pruebas diferentes; por ejemplo, la PCR de sensibilidad de 99% y especificidad de 95%, y una prueba de antígenos con sensibilidad del 97% y especificidad del 96%. Con la PCR la prevalencia aparente era 23,8%, sin embargo, con la prueba de antígenos sería del 20,2%. ¿Cuál se equivoca? Ambas, y la solución es calcular la prevalencia real teniendo en cuenta la fórmula anterior. Os invito a que hagáis los cálculos con los datos de la tabla.

		PRUEBA DE ORO		
		Infectados	No infectados	TOTAL
Prueba a evaluar (PCR)	Positivo	990	200	1.190
	Negativo	10	3.800	3.810
	TOTAL	1.000	4.000	5.000
Antígenos	Positivo	850	160	1.010
	Negativo	150	3.840	3.990



Mapa de casos de COVID-19 en Aragón.

Hemos hablado de la prevalencia como probabilidad de que un individuo esté enfermo, infectado o positivo (según lo que estemos diagnosticando) en un momento dado (prevalencia puntual) o a lo largo de un periodo de tiempo (prevalencia acumulada).

Tomemos como referencia los datos de la covid-19 en Aragón del día 19 de marzo de 2021 (disponibles en esta dirección: <https://datacovid.salud.aragon.es/covid>). Hasta ese día en Aragón se han confirmado 110.369 casos (positivos), de los cuales se han recuperado 103.772 y han fallecido 3.408 personas.

Pero si buscamos sólo los datos de ese día comprobamos que ese día se han producido 169 nuevos casos y en la última semana han sido un total de 903.

Para saber la **prevalencia puntual** del día 19 de marzo necesitamos saber los casos activos en ese momento, que será el total de casos acumulados menos los que han fallecido y los que se han recuperado, es decir que ese día hay 3.189 casos activos (=110.369 - 3.408 - 103.772), y para poderlo comparar con otras regiones tenemos que convertir esta frecuencia absoluta en una frecuencia relativa dividiendo por el total de la población de Aragón (1.311.212 habitantes). El resultado es una proporción de casos igual a 0,243%, y como es un valor muy pequeño lo vamos a expresar como casos por 100.000 habitantes de manera que el 19 de marzo había 243 casos activos por 100.000 habitantes.

Esa es una medida transversal, pero también nos interesa ver cuál ha sido la evolución en un periodo de tiempo; por ejemplo, desde que empezó la epidemia en marzo de 2020. En ese caso utilizaremos la **prevalencia acumulada** que es una medida longitudinal de la enfermedad, y dividiremos el total de casos que se han producido por la población de Aragón, y vemos que el 8,42% (=110.369/1.311.212) de la población aragonesa ha sido diagnosticada como caso desde que se inició la pandemia (aunque es muy probable que sean muchos más debido a la existencia de los falsos negativos y a

“A los epidemiólogos nos gusta trabajar con las incidencias acumuladas semanales porque nos indican la velocidad de propagación de la enfermedad y cómo varía a lo largo del tiempo.”



“A partir de estos números podemos valorar la eficacia de las medidas de prevención, el impacto de la enfermedad y la evolución de la epidemia.”

que algunos han cursado la infección de forma asintomática y no se les realizó ninguna prueba diagnóstica).

Hay otra medida de la enfermedad muy importante para saber la evolución de la enfermedad a lo largo de tiempo y poder comparar la velocidad de aparición de nuevos casos. Se trata de la **incidencia** que se calcula dividiendo el número de nuevos casos que se producen en un periodo de tiempo por la población en riesgo al inicio de ese periodo. Se puede calcular la **incidencia diaria**, pero es más habitual calcular la **incidencia acumulada** cada 7 días (IA7) o cada 14 días (IA14) para “compensar” las variaciones diarias.

Volviendo a nuestro ejemplo vemos que la incidencia diaria sería de 0,0129% (=169/1.311.212) o 12,9 nuevos casos diarios por cada 100.000 habitantes, mientras que la incidencia acumulada a 7 días (IA7) sería de 0,0689% (=903/1.311.212) o 68,9 nuevos casos semanales por cada 100.000 habitantes.

Para finalizar este breve repaso de epidemiología descriptiva, hay dos indicadores de gran interés relacionados con la probabilidad de morir por la enfermedad. El primero es la **mortalidad** definida como la probabilidad de que un individuo de la población muera a consecuencia de la enfermedad en un momento o periodo de tiempo. Se calcula como el cociente entre el número de muertes causadas por la enfermedad en el periodo de tiempo estudiado y la población en riesgo de morir por esa enfermedad en ese mismo periodo (los casos).

$$\text{Mortalidad} = \frac{\text{nº de muertos}}{\text{Población en riesgo}}$$

Por tanto, la mortalidad acumulada en Aragón por covid-19 será del 0,26% (=3.408/1.311.212).

La otra medida es la **letalidad** y es la probabilidad de que un caso muera en un periodo de tiempo determinado.

La calcularemos dividiendo el número de muertos por la enfermedad y el número de individuos enfermos en un periodo de tiempo establecido. Aunque también se podría calcular dividiendo la mortalidad por la prevalencia (a la que en ocasiones también se le denomina morbilidad).

$$\text{Letalidad} = \frac{\text{nº de muertos}}{\text{nº de casos}} = \frac{\text{Mortalidad}}{\text{Prevalencia}}$$

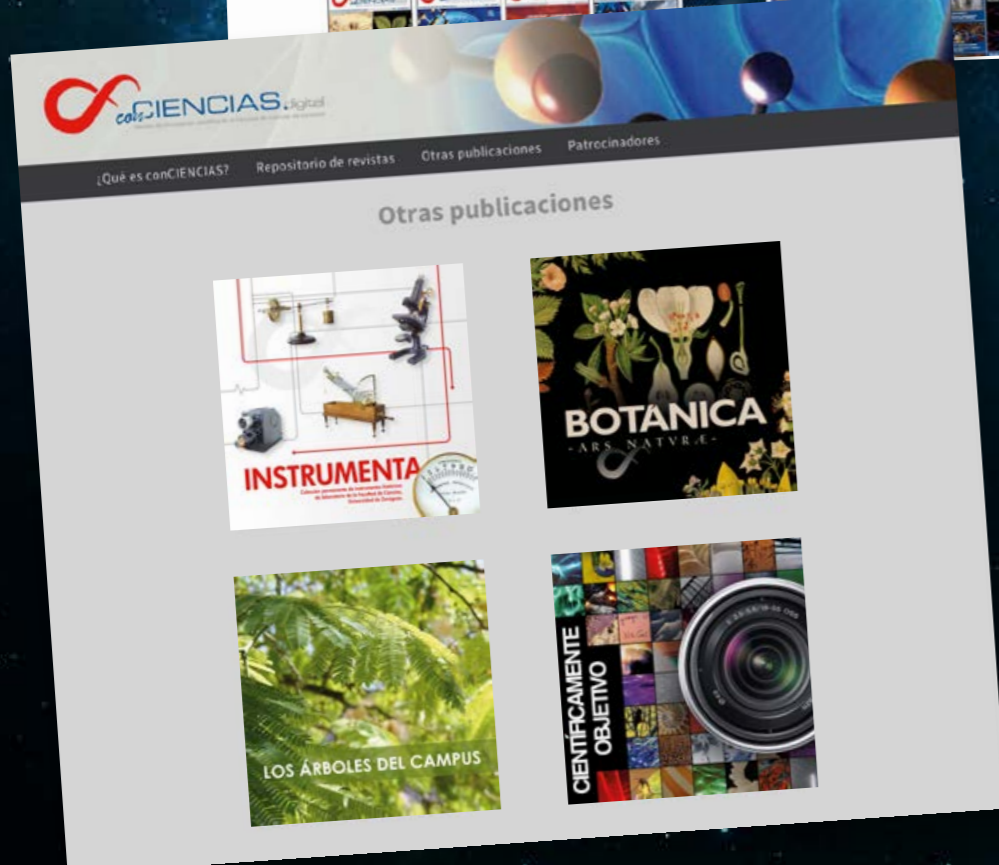
En nuestro ejemplo la letalidad es del 3,09% (=3.408/110.369), lo que indicaría que si alguien se infecta con SARS-CoV-2 tendría más de un 3% de posibilidades de morir por culpa de la covid-19. En la práctica esa probabilidad depende de la edad, y en personas mayores de 70 años la probabilidad de morir cuando se infectan puede ser incluso superior al 20%.

A los epidemiólogos nos gusta trabajar con las incidencias acumuladas semanales porque nos indican la velocidad de propagación de la enfermedad y cómo varía a lo largo del tiempo, lo que nos permite saber si estamos en la fase de progresión o de regresión de la curva epidémica. Y también nos resulta muy interesante conocer la letalidad ya que podemos pronosticar la evolución de la enfermedad en los individuos infectados.

Hay muchos más números con los que trabajar en una epidemia, pero los principales son los que hemos visto, y a partir de ellos podemos valorar la eficacia de las medidas de prevención, el impacto de la enfermedad y la evolución de la epidemia.

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

ii 14 años divulgando
la Ciencia!!



divulgacionciencias.unizar.es

VII CONCURSO DE CRISTALIZACIÓN EN LA ESCUELA EN ARAGÓN: DESARROLLO Y ENTREGA DE PREMIOS

El VII Concurso de cristalización inició su desarrollo, en noviembre 2019, con los cursos de formación dirigidos al profesorado de Educación Secundaria de los cincuenta centros participantes.

En los cursos de formación, se trataron diversos temas relacionados con la Cristalización. La Dra. Nuria Sánchez-Pastor (Dpto. Mineralogía y Petrología, Universidad Complutense de Madrid) impartió una interesante charla titulada "El papel de los cristales en la eliminación de contaminantes" y el Dr. Jesús Berenguer (Dpto. Química, Universidad de la Rioja) participó con la charla titulada "¿Qué puede hacer la Cristalografía por ti?". Se habló, además, de otros aspectos relacionados con el concurso, se presentaron Recursos didácticos que podían ser de utilidad para el profesorado, conceptos de Simetría y Cristalización y dos profesoras del Colegio Hijas de San José (Zaragoza), que habían participado en ediciones anteriores, compartieron su experiencia. Estudiantes y profesores iniciaron el diseño de sus proyectos de cristalización y comenzaron con la parte experimental. A mediados del mes de marzo, se inició el confinamiento debido a la situación sanitaria y, aunque supuso una paralización de las actividades en los centros educativos, treinta centros siguieron trabajando en sus proyectos desde casa y comunicándose con sus compañeros y profesores de modo online.

Desde la organización se adaptó el desarrollo del concurso a la nueva situación y se trasladó a los centros que plasmaran sus trabajos en posters, blogs científicos

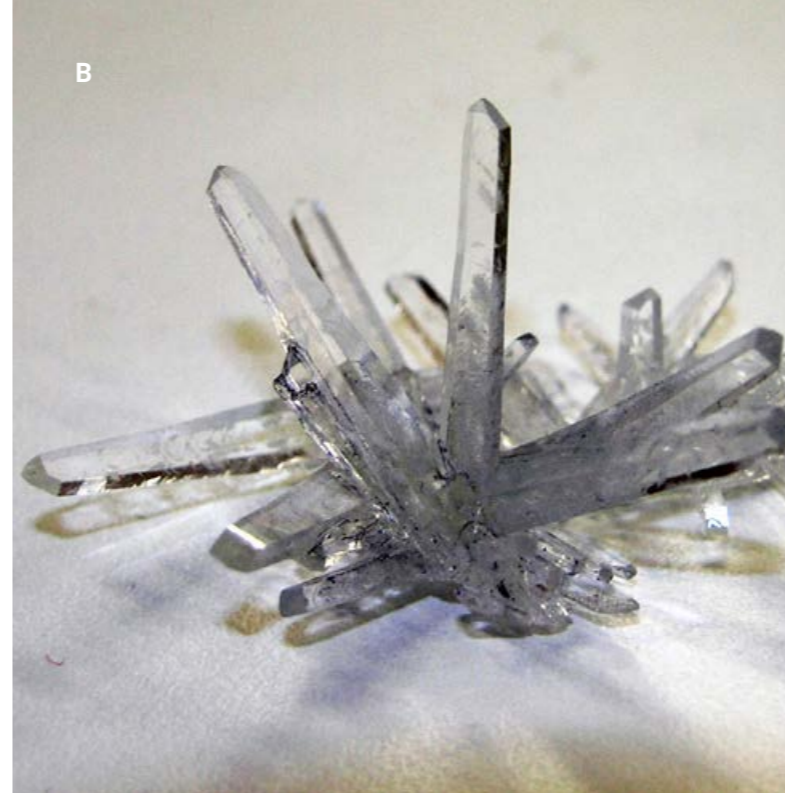
y videos. A final de curso, nos sorprendieron con 27 posters, 7 blogs científicos y 10 videos.

En la entrega de premios, que fue online el 26 de noviembre de 2020, contamos con la presencia de Ángela Alcalá (Vicerrectora de Estudiantes, Universidad de Zaragoza), María Jesús Lázaro (Delegada del CSIC en Aragón) y Luis Morellón Alquézar (Decano de la Facultad de Ciencias). Los estudiantes, profesores y organizadores compartieron su experiencia en el concurso de cristalización, sin duda marcada por la situación sanitaria.

Centros premiados en la VII Edición del Concurso de Cristalización

- **Categoría Poster Científico:** IES Matarraña, Valderrobres (1º), IES Cabañas, La Almunia de Doña Godina (2º), IES Gúdar-Javalambre, Mora de Rubielos e IES Valdespartera, Zaragoza (3º).
- **Categoría Blog Científico:** IES Pablo Serrano, Andorra (1º), IES Sierra de San Quílez, Binéfar (2º), Colegio Santa Ana, Zaragoza (3º).
- **Categoría Video científico:** Colegio La Milagrosa, Zaragoza (1º), Aula de Educación de Personas Adultas, Ateca (2º), IES Rodanas, Épila (3º).
- **Categoría Mención Especial del Jurado:** IES Ángel Sanz Briz, Casetas, Centro Público de Educación de Personas Adultas Ricardo Sola Almu, Cariñena, IES Miguel de Molinos, Zaragoza.

Equipo Editorial



A: acto de entrega de Premios. IES Pablo Serrano.
B: agregado de cristales transparentes de ADP.
C: cristales de ADP luminiscentes.
D: cristales de ADP con colorantes organicos.
E: proyecto de Cristalización del IES Sierra de Guara.



VISITA DE LOS PROFESORES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS A LOS CENTROS DE SECUNDARIA

Dentro de las actividades dirigidas a centros de Educación Secundaria, la Facultad de Ciencias ofrece las visitas de sus profesores e investigadores a aquellos centros que lo soliciten. Durante estas visitas se informa a los alumnos de los grados que se imparten en la facultad, de las salidas profesionales que ofrecen y de las actividades complementarias que se realizan en la facultad tanto para alumnos de secundaria como para alumnos de grado.

El escenario sanitario que teníamos en octubre no nos ha permitido ofertar este curso una nueva edición de las Jornadas de Puertas Abiertas.

Sin embargo, esta situación nos ha permitido ofertar y poner en valor estas visitas que realizan los profesores e investigadores de la Facultad de Ciencias, y que resultan especialmente interesante para los estudiantes de Bachillerato. Esta es una actividad para la que disponemos de mayor versatilidad a la hora de afrontar tanto la afluencia que hay prevista este curso para los estudiantes de los centros de Secundaria como los posibles cambios de escenarios que se puedan producir en función de cómo evolucione la situación sanitaria. Es una actividad que en principio está diseñada como presencial, pero que es fácilmente virtualizable median-

te la realización de videoconferencias en las cuales es posible informar y resolver las dudas de los estudiantes de secundaria y bachillerato interesados en nuestras titulaciones.

Este año esta actividad ha sido solicitada por 40 centros de Educación Secundaria de las tres provincias aragonesas que nos van a permitir llegar a más de 800 estudiantes y que es atendida por 17 profesores e investigadores de todas las titulaciones de la Facultad.

Ana Rosa Soria
Vicedecana de Proyección Social y Comunicación
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

“El escenario sanitario que teníamos en octubre no nos ha permitido ofertar este curso una nueva edición de las Jornadas de Puertas Abiertas.”

CAMPAÑA LA FACULTAD DE CIENCIAS CON LOS ODS

En 2015, la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el que mejorar la vida de todos, sin dejar a nadie atrás. La Agenda cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, que incluyen desde la eliminación de la pobreza hasta la lucha contra el cambio climático, la educación, la igualdad de la mujer, la defensa del medio ambiente o el diseño de nuestras ciudades.

En 2020 dio comienzo la década de acción para alcanzar los objetivos trazados hace un lustro y desde la ONU se apela a la movilización y al desarrollo de acciones en tres niveles: mundial, local y por parte de las personas, siendo el primer desafío que la ciudadanía entienda que los ODS deben ser un paraguas que engloben todas las leyes, políticas y normativas, convirtiéndose en un elemento estructural de toda nación/institución comprometida con valores medioambientales éticos.

En la Facultad de Ciencias somos conscientes de la importancia de los ODS y nos queremos sumar al llamamiento de la ONU a través de la implicación de las personas que formamos o que han formado parte de nuestro centro (estudiantes, PAS, PDI, miembros de Institutos de Investigación,...) en estos Objetivos de la Agenda 2030. Por ello, desde enero de 2021 se lanza una campaña de sensibilización, conocimiento e implicación, de dos años de duración.

La campaña: Un ODS en cuatro semanas

Para conocer en detalle cada ODS se va a dedicar a cada uno de ellos 4 semanas:

- 1ª semana: Conocer el ODS: ¿Cuál es su contexto?, ¿por qué es importante?, ¿cuáles son sus metas? y ¿cómo podemos ayudar? Se incluirá un vídeo explicativo de ese ODS y también se lanzará una encuesta muy sencilla, que estará activa tres semanas, y que nos permitirá valorar el grado de implicación en el centro con ese ODS.
- 2ª semana: Conocer 10 de los retos que tiene la ciencia con cada ODS.
- 3ª semana: Uno o dos vídeos de acciones que hacen personas vinculadas de algún modo con nuestro centro en relación a cada ODS. Estas acciones pueden ser de diversa índole: personales, de investigación, humanitarias...
- 4ª semana: Difusión de los resultados de la encuesta.



“La Agenda cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, que incluyen desde la eliminación de la pobreza hasta la lucha contra el cambio climático.”

Video-Conferencia Inaugural

La Facultad de Ciencias
con los **OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE**

Los ODS, ¿la Agenda de las utopías posibles?

José Ramón Moreno Fernández

Enlace: <https://meet.google.com/qnq-vnhz-rme>

Jueves, 17 de diciembre a las 12:15 h

Facultad de Ciencias
Universidad Zaragoza

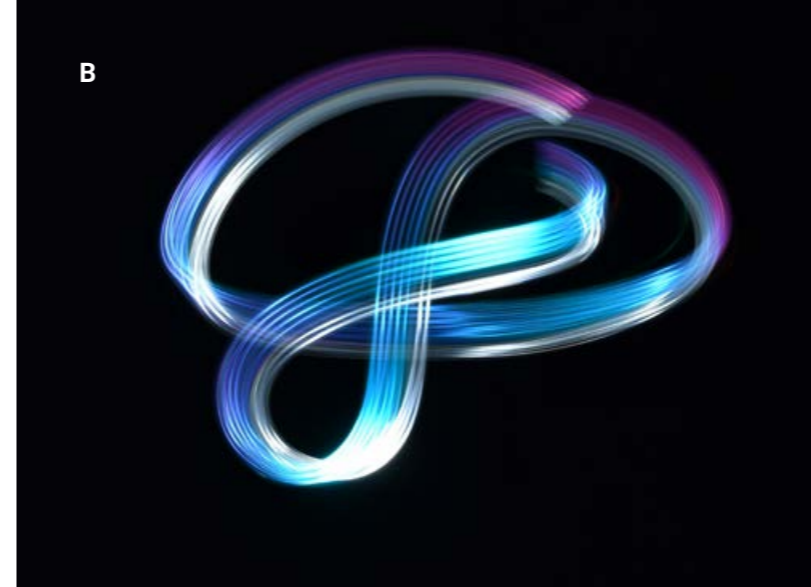
Del 10 al 22 de diciembre de 2020 se realizó la presentación de esta campaña a la Delegación de Estudiantes del centro y al PDI y PAS de la Facultad a través de diversas acciones y reuniones que culminaron el 17 de diciembre con la videoconferencia "Los ODS, ¿la Agenda de las utopías posibles?" impartida por José Ramón Moreno, director del Máster Propio en Cooperación para el Desarrollo de la Universidad de Zaragoza. Dicha presentación fue grabada y puede encontrarse en el canal de YouTube en el enlace: <https://youtu.be/2tj8b28d7U>

En enero y febrero de 2021 conocimos el ODS 1 (Fin de la Pobreza) y el ODS 2 (Hambre Cero). Dentro de los vídeos de acciones que hacen personas vinculadas a nuestro centro hemos conocido, en el ODS1, a Esther Millán, egresada en Física de nuestra facultad y presidenta de la ONG española Amigos de ODISHA, que nos explicó el sistema de microcréditos como impulsor del crecimiento económico en una comunidad deprimida como es Odhisa en la India. En el vídeo dedicado al ODS 2 conocimos a dos colaboradores del Banco de Alimen-

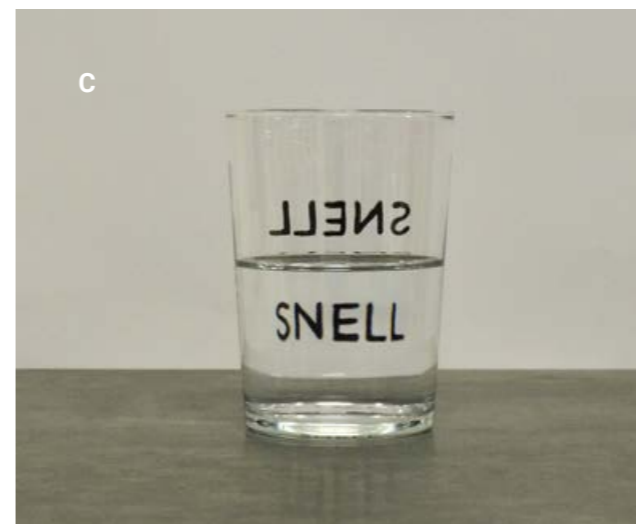
tos de Zaragoza, Isolda Duerto, estudiante del programa de doctorado en Química Orgánica y a Daniel Barrios, estudiante del programa de doctorado en Física. Ellos nos hablaron de esta Fundación y de la importancia que tiene en la distribución de alimentos a centros asistenciales o entidades que los distribuyen a comedores sociales o a familias necesitadas. Estos vídeos pueden verse en el canal de YouTube:

<https://www.youtube.com/channel/UC2qm0505TybNf-daAufb3R6g>

Ana Rosa Soria
Vicedecana de Proyección Social y Comunicación
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza



A: "La inmensidad de una mirada", por Elena Crespo.
B: "Jugando con la velocidad de la luz", por Laura Andrea de las Heras.
C: "La refracción de Snell", por Alba Erdociaín.



XXIII CONCURSO DE FOTOGRAFÍA "SAN ALBERTO MAGNO"

Dentro del marco de la festividad del patrón de la Facultad de Ciencias se convocó, en octubre de 2020, el **XXIII Concurso de Fotografía "San Alberto Magno"**, con el patrocinio de la Cátedra Ibercaja de Innovación Bancaria de la Universidad de Zaragoza. Este concurso que 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 han presentado un total de 26 obras que se han expuesto en el hall del edificio D (Químicas) de la facultad y que se pueden ver en la página web: <https://ciencias.unizar.es/galeria/fotografias-seleccionadas-san-alberto-magno-2020>

<https://ciencias.unizar.es/concurso-de-fotografia-san-alberto-magno>

La comisión evaluadora del XXIII concurso de fotografía "San Alberto Magno", estuvo compuesta por: Luis Mo-

rellón (Decano de la Facultad de Ciencias), Guillermo Laplana (Gabinete de Imagen y Comunicación de Universidad de Zaragoza), M^a Teresa Serrano (Encargada de Conserjería de la Facultad de Ciencias) y Alba Peiro (Estudiante de Doctorado).

Las obras premiadas en esta edición fueron:

- Primer premio: "La inmensidad de una mirada" Por Elena Crespo.
- Segundo premio: "Jugando con la velocidad de la luz" Por Laura Andrea de las Heras.
- Primer accésit: "La refracción de Snell" Por Alba Erdociaín.

Ana Rosa Soria
Vicedecana de Proyección Social y Comunicación
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

**VI CONCURSO DE RELATOS CORTOS
"FACULTAD DE CIENCIAS"**

Con motivo de la festividad del patrón de la Facultad de Ciencias se convocó, en octubre de 2020, el **VI 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 han presentado un total de 24 obras que se han expuesto en el hall del edificio D (Químicas) de la Facultad de Ciencias

La comisión evaluadora estuvo formada por: Javier Sancho (Catedrático del Dpto. de Bioquímica y Biología Molecular y Celular), Aránzazu Luzón (Vicedecana de la Facultad de Ciencias), Roberto Soriano (Director de la Biblioteca de la Facultad de Ciencias) y Sandra Pérez (Estudiante del Master de Biología molecular y celular).

La excelente calidad de los relatos presentados llevó al jurado a conceder cuatro premios:

- Primer Premio: "La protectora del Imperio"
Por Inés Mármol.
- Segundo Premio: "Primos Gemelos"
Por Pedro José Miana.
- Accésit 1º: "Desintegración doble beta sin neutrinos"
Por Alberto Báguena.
- Accésit 2º: "Pequeña científica"
Por David Benedicto.

Estos cuatro relatos pueden encontrarse en la página web: <https://ciencias.unizar.es/concurso-de-relatos-cortos>

Ana Rosa Soria
Vicedecana de Proyección Social y Comunicación
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

LA PROTECTORA DEL IMPERIO

Por Inés Mármol

Primer premio de VI Concurso de Relatos Cortos de la Facultad de Ciencias

A pesar de ser una de las miembros más destacadas de esta comunidad, y de saber que todo se vendría abajo sin mí en cuestión de minutos, mi trabajo no podría aburrirme más.

Me llamo Tiorredoxina, de la noble familia Reductasa, y estoy involucrada en la defensa antioxidante del Imperio Célula. Soy la segunda al mando de la comandante Tiorredoxina, la responsable de que no nos invadan los Radicales Libres. Mi misión consiste en asegurarme de que mi superior funcione siempre a pleno rendimiento, pero, últimamente, aborrezco mi trabajo. Es repetitivo. Coger electrones, transferir electrones. Coger electrones, transferir electrones. Siempre igual. La necesidad de electrones de la comandante nunca cesa.

Ojalá pudiese cambiar de trabajo, pero esto es imposible. La sagrada función de una proteína es la misma desde que nace en el ribosoma hasta que muere en el proteasoma. La vida es así.

Una gran vesícula transportada por eficientes Proteínas Motoras pasa con parsimonia junto a mí. "Actina y Miosina, ¡la pareja en la que siempre puedes confiar para llegar a tu destino!" reza en el mono de trabajo de las Proteínas Motoras. En su interior viaja un grupo de Glicoproteínas que se dirige al exterior. No puedo mirirlas con cierta envidia. Fuera de nuestras fronteras es donde ocurre toda la diversión.

- ¡Buenos días, general Tiorredoxina! – me saluda una de ellas con energía. - ¡Muchas gracias por su labor!

Asiento con desgana y sigo a lo mío. La vesícula se aleja lentamente, alcanza la frontera y las Glicoproteínas abandonan mi ciudad.

Entonces, una diminuta molécula aparece botando a mi lado. Es tan rápida que ni siquiera me da tiempo a identificarla, pero me ha parecido que se trataba de... No, no puede ser. Mi comandante los mantiene a raya.

Entonces, comienzan los gritos. Me giro, alarmada, y descubro que mi ciudad ha sido invadida por una miríada de pequeñas moléculas que saltan, giran, chillan.

Los Radicales Libres. El caos se desata a mi alrededor. El simple contacto con cualquier miembro del ejército invasor produce un dolor indescriptible a mis conciudadanos. Proteínas, lípidos, ácidos nucleicos. Todos ellos están indefensos frente a sus ataques.

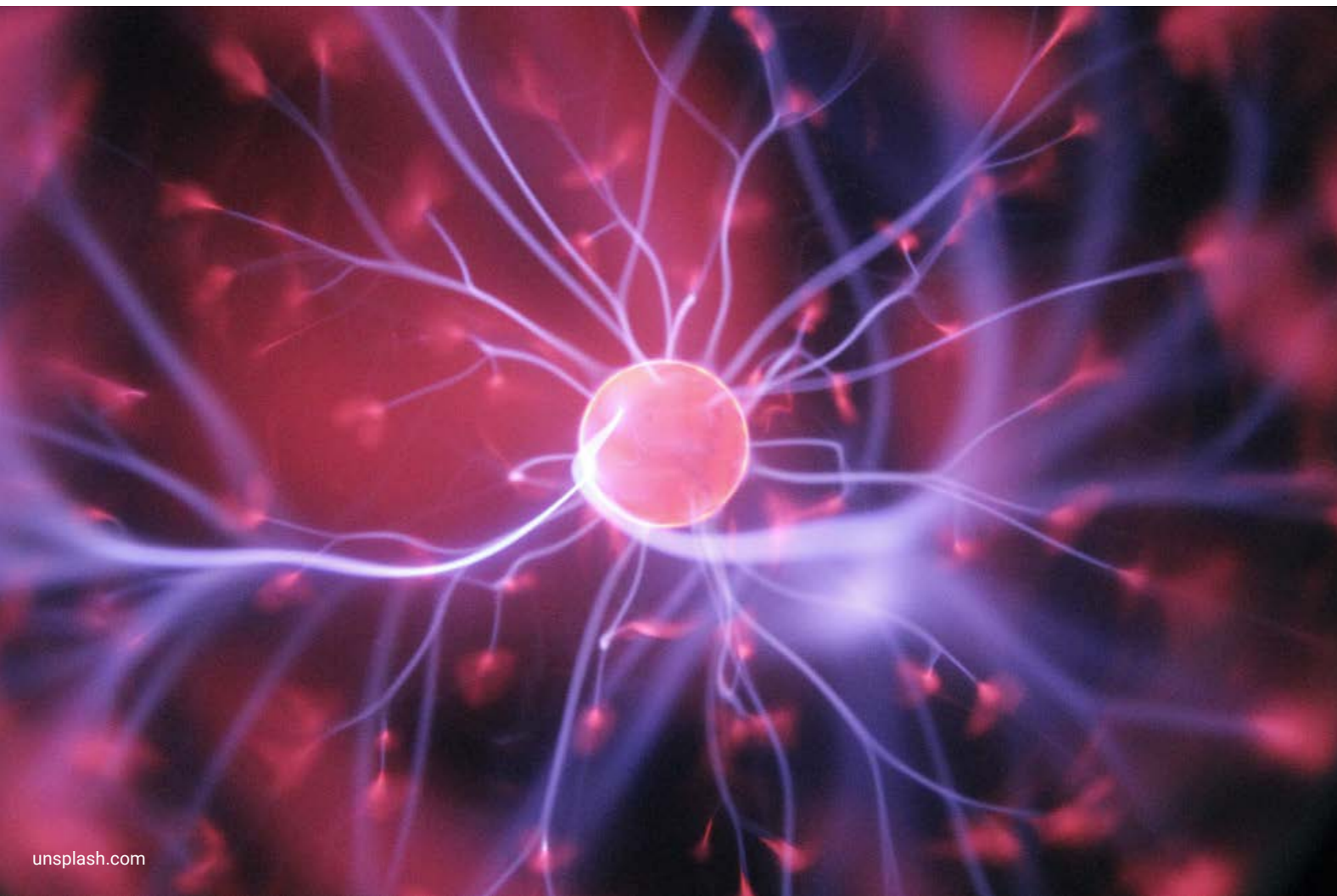
Yo soy quien debe protegerles.

Alguien hace sonar una alarma. Al momento, algunas de mis hermanas acuden a mi lado.

- Nos han llamado a filas desde el Núcleo – me explica una de ellas cuando se coloca junto a mí. – Se trata de una situación desesperada. Por lo visto, desde la región Pulmonar informan de que se ha vuelto a fumar. Nos espera una noche larga. Los Radicales Libres no se detendrán. Seguirán atacando.

- Que vengan – respondo con fiereza.

Es mi momento. Mi Imperio me necesita. Coger electrones, transferir electrones. Coger electrones, transferir electrones.





divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/1



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/2



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/3



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/4



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/17



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/18



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/19



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/20



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/5



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/6



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/7



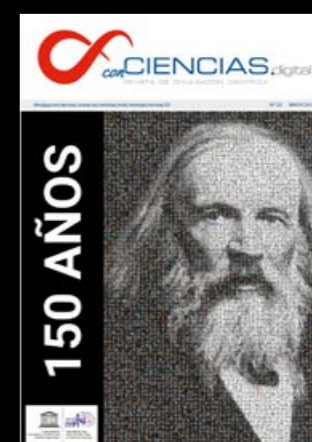
divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/8



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/21



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/22



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/23



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/24



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/9



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/10



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/11



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/12



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/25



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/26



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/13



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/14



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/15



divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/16

¡DESCÁRGALAS GRATIS!

