

Libros

¿QUÉ SABEMOS DE? La tabla periódica de los elementos químicos

AUTORES: JOSÉ ELGUERO BERTOLINI, PILAR GOYA LAZA Y PASCUAL ROMÁN POLO.

EDITORIAL: CSIC y Catarata, 133 páginas, 2019, 12 €

Como puede leerse en la contraportada, el año 2019 ha sido declarado por la ONU como el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos. Esta celebración, oficialmente lanzada el 29 de enero por la UNESCO, permite afirmar el papel esencial desempeñado por la física y la química en el progreso científico, y de manera especial en el marco del Programa de Desarrollo Sostenible para el horizonte 2030.

La tabla periódica es uno de los pilares básicos en los que se apoyan no solo la química y la ingeniería química sino la física y demás ciencias e ingenierías. La tabla periódica es una de las imágenes más fácilmente reconocibles de nuestra civilización y un icono de la ciencia y de la cultura.

Los autores son: José Elguero Bertolini, profesor de investigación

Antes de abordar el contenido del libro me gustaría detenerme en la contribución presentada en el Parlamento Europeo el pasado 22 de enero por la **Sociedad Europea de Química** (EuChemS, por sus siglas en inglés) porque es la prueba tangible de que la tabla periódica está viva y ha ido avanzando a lo largo del tiempo. Como se puede comprobar, se han efectuado numerosos ajustes. En 2015, la Unión internacional de química pura y aplicada (IUPAC, en abreviatura inglesa) validó oficialmente el descubrimiento de cuatro átomos superpesados. Estos elementos completan de esta manera la séptima y última línea de la conocida clasificación. La tabla contiene a partir de ese momento 118 elementos.

Esta tabla corresponde a la imagen 10 del cuadernillo interior del libro que nos ocupa y el texto que viene a continuación ha

sido extraído del artículo "La tabla periódica de EuChemS", publicado en un número monográfico dedicado al Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos por la revista *Anales de Química*. La EuChemS es una organización supranacional que engloba a 42 sociedades químicas de 33 países y que representa a más de 160.000 químicos. En España, pertenecen a ella, la Real Sociedad Española de Química (RSEQ), la Asociación Nacional de Químicos de España (ANQUE), la Societat Catalana de Química (SCQ) y la Sociedad de Química Analítica (SEQA).

Esta artística tabla está inspirada en la publicada por W. F. Sheehan en 1976, pero modificada para reflejar la abundancia de los elementos a escala logarítmica, y se ha coloreado para llamar la atención sobre aquellos elementos que pueden encontrarse en peligro de desaparición a corto plazo. La tabla recoge los 90 elementos químicos naturales que constituyen todas las cosas, desde los que se encuentran en la naturaleza hasta los que se hallan en los dispositivos más avanzados

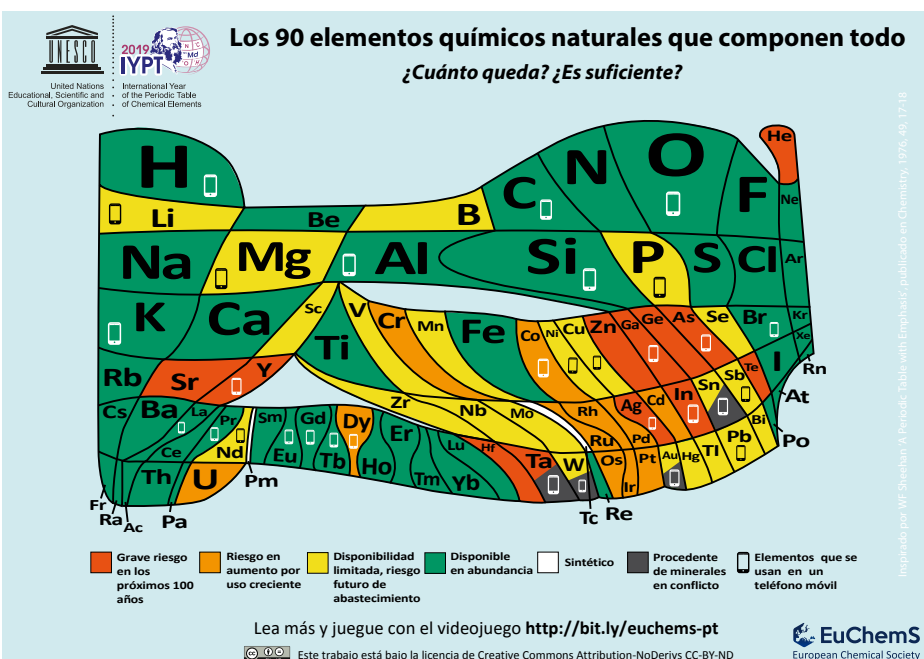
como los móviles. Por otra parte, la estructura de la tabla no deja espacio entre el berilio y el boro, ni entre el magnesio y el aluminio. Los lantánidos aparecen en su posición correcta.

El código de colores (véase la leyenda) alude a la disponibilidad y vulnerabilidad de los diferentes elementos. En color rojo se presentan 12 elementos químicos cuya disponibilidad correrá grave riesgo en los próximos 100 años: el helio, el zinc, el galio, el germanio, etc.

Los colores naranja y amarillo alertan sobre el riesgo que corren los correspondientes elementos si continuamos con su uso creciente; por ejemplo, el litio, cuya demanda aumenta progresivamente a causa de su presencia en baterías recargables para automóviles, aunque es un metal que puede ser reciclado de manera bastante sencilla. En verde figuran los elementos químicos más abundantes.

Por último, hay cuatro elementos que aparecen en color negro: el estaño, el tántalo, el wolframio y el oro, porque frecuentemente se obtienen de minerales extraídos en las denominadas zonas de conflicto.

Por otra parte, se ha incluido un icono de un teléfono móvil en las casillas de los 31 elementos (no existe una unanimidad en



ad honorem del Instituto de Química Médica del CSIC. Entre otros cargos, ha sido presidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), del Consejo Social de la Universidad Autónoma de Madrid y de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; Pilar Goya Laza, profesora de investigación del CSIC en el Instituto de Química Médica, del que fue directora. Es la presidenta de EuChemS (European Chemical Society), y, por último, Pascual Román Polo que es profesor emérito y catedrático de Química Inorgánica en la Universidad del País Vasco.

Es un libro muy bien escrito y sumamente curioso e interesante, que se presta a ser leído en voz alta; algo que todavía resulta raro en los libros de divulgación de ciencia.

La primera página del libro recoge unas reflexiones de Rudy Baum aparecidas en el número especial de *Chemical & Engineering News* sobre los elementos (2003, ACS), donde sucinta y bellamente nos menciona que "La tabla periódica es la piedra Rosetta de la naturaleza", la distinta visión de la tabla periódica que tienen los no iniciados y los químicos, para concluir con: "Tal vez lo más apropiado sería decir que toda la química comienza con la tabla periódica".

Libros

→ la cifra) que forman parte de los denominados teléfonos inteligentes (*smartphones*).

La estructura del libro consta de una introducción y de seis capítulos titulados: *Antecedentes de la tabla periódica (hasta 1860)*, *Distintas propuestas de tablas periódicas (1862-1872)*, *Mendeléiev, la tabla periódica y actualizaciones posteriores*, *Los isótopos en la tabla periódica*, *Los nombres de los elementos químicos. Elementos descubiertos por españoles*, *La tabla periódica en la cultura*, terminando con un glosario y la bibliografía.

La introducción que ocupa cinco páginas, comienza recordando que la ONU designó el año 2011 como el Año Internacional de la Química. Unos años más tarde, el 20 de diciembre de 2017, la Asamblea General de la ONU declaró el año 2019 como el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos. La tabla periódica es una organización tabular de los elementos químicos en orden creciente de su número atómico (*Z*) y sus configuraciones electrónicas, ordenados en filas (periodos) y columnas (grupos) para enfatizar sus propiedades físicas y químicas recurrentes. Se nos recuerda que la tabla periódica tiene dos partes esenciales comunes en todas las lenguas del mundo: el número atómico y el símbolo que representa el nombre del elemento con una o dos letras, la primera de ellas siempre se escribe con mayúscula. De cualquier forma, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, en sus siglas inglesas), institución encargada de velar por el nombre de los elementos químicos, ha adoptado el inglés como lengua universal. Los nombres de los elementos químicos en las lenguas nacionales se refieren a los nombres establecidos por la IUPAC en inglés.

Desde el 28 de noviembre de 2016 se conocen 118 elementos químicos, tras la aprobación y adopción por la IUPAC de los elementos de números atómicos 113 (nihonio, Nh), 115 (moscovio, Mc), 117 (teneso, Ts) y 118 (oganesón, Og).

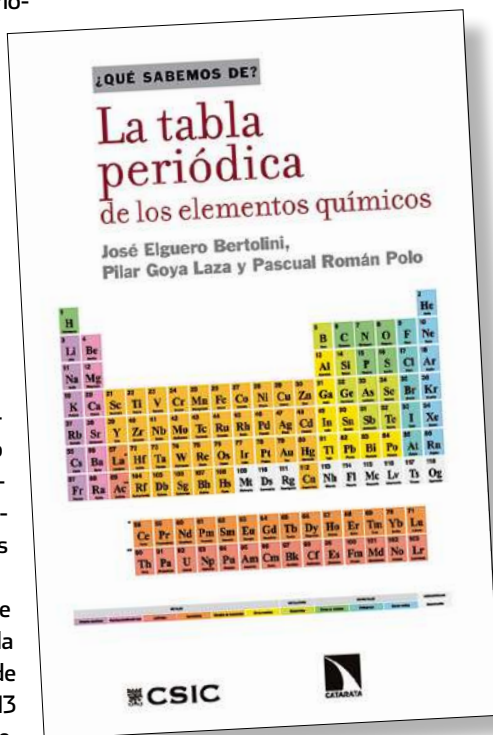
El capítulo 1 está centrado en los antecedentes de la tabla periódica hasta 1860. Vemos como la evolución de la tabla periódica está vinculada con el descubrimiento, aislamiento y creación de los elementos químicos. Resulta imposible conocer el nombre de los descubridores de los primeros elementos. Conforme la humanidad fue progresando, se fueron utilizando nuevos elementos químicos y sus aleaciones pero sin saber de qué tipo de materiales se trataba; tan solo se conocían sus propiedades. En la Antigüedad se conocían nueve elementos químicos (cobre, plomo, oro, plata, hierro, carbono, estaño, azufre y mercurio), según unos autores, y tres más (zinc, arsénico y antimonio), según otros. Aparecen recogidas las primeras ordenaciones de los elementos químicos en forma de listas y las primeras tablas con valores de sus pesos atómicos inexactos. Más tarde, se muestran, una vez establecidos los símbolos por el químico sueco Berzelius, tablas de elementos en

donde se resaltan algunas relaciones matemáticas y ordenaciones parciales de elementos hasta llegar al año 1860, cuando tuvo lugar el Primer Congreso Internacional de Químicos celebrado del 3 al 5 de septiembre en Karlsruhe (Alemania), siendo Kekulé el que creyó necesario ante la gran anarquía existente, celebrar una conferencia internacional. En este congreso, el químico italiano Stanislao Cannizzaro pudo difundir sus ideas acerca de los pesos atómicos que había determinado; en concreto, construyó una tabla con 33 sustancias y determinó el peso atómico de 31 elementos químicos. En 1858 había publicado un artículo seminal titulado "Sunto di un corso di filosofia chimica fatto nella Regia Università di Genova", publicado en *Il Nuovo Cimento*. Este artículo aclara el concepto de peso atómico, despejando la incertidumbre que existía en la época en la definición de los conceptos fundamentales de la química. Los químicos en esa época formulaban el mismo compuesto de maneras diferentes. Como botón de muestra, el agua se formulaba de cuatro formas diferentes.

El capítulo 2 presenta las distintas propuestas de tablas periódicas en el periodo 1862-1872. El congreso de Karlsruhe permitió abordar grandes problemas supranacionales. Se continuaron celebrando congresos hasta la Primera Guerra Mundial. En 1911 nace en París, la Asociación Internacional de Sociedades Químicas (IACS, de sus siglas en inglés), que pasaría a ser en 1919 la IUPAC. Básicamente recoge la difusión y expansión de las ideas de Cannizzaro, ideas que supusieron un gran progreso al poner orden en el caos reinante, estableciendo con claridad los conceptos de átomo, molécula, peso atómico, peso molecular, etc., y las ventajas que supusieron para los químicos de la época. En este periodo se produjeron grandes avances en la tabla periódica de los elementos químicos gracias a las propuestas de De Chancourtois, Newlands, Odling, Hinrichs, Meyer y Mendeléiev (estos dos últimos, alumnos de Bunsen), entre otros. Estos avances culminaron con la primera versión de la

tabla periódica moderna de Mendeléiev de 1869. Sin embargo, conviene señalar que la tabla periódica no es una obra individual (pág. 35), sino una obra colectiva de un gran número de científicos. Los grandes éxitos de la propuesta de Mendeléiev vendrían en los años siguientes tras el desafío del químico ruso a la comunidad científica con sus predicciones sobre la existencia de nuevos elementos químicos que no se conocían todavía.

El capítulo 3 se centra en Mendeléiev quién revisó incansablemente la tabla hasta su muerte (1907), y actualizaciones posteriores. Se mencionan los descubrimientos del galio, escandio y germanio. En este capítulo también se subrayan las dificultades que tuvo que superar la propuesta de Mendeléiev por la falta de precisión en los pesos atómicos y la aparición de distintos descubrimientos científicos-los rayos X, la radiactividad natural, el electrón, los primeros elementos radiactivos, primeros modelos nucleares, la mecánica cuántica, los isótopos, el protón, el neutrón y los elementos de las tierras raras,



que cuestionaban la tabla periódica de Mendeléiev organizada en orden creciente de sus pesos atómicos. Entre 1913-1914, el físico inglés Moseley estableció la ley que lleva su nombre, en la que demostró que los elementos químicos se organizaban en orden creciente de su número atómico. La tabla periódica ha llegado hasta el último elemento aceptado por la IUPAC (oganesón, $Z=118$) gracias al ciclotrón y los potentes aceleradores lineales de partículas. Desde 1914 hasta hoy se han propuesto más de mil tablas y sistemas periódicos, todos ellos basados en la ley de Moseley.

Antes de esta tabla, la química se reducía a un mero catálogo de las propiedades físicas y químicas de los elementos. Mendeléiev tuvo la idea en 1869, de construir una tabla razonada en la que todos los elementos se representarían por masa atómica creciente. Al agruparlas por familias que tenían propiedades físicas y químicas vecinas, el científico ruso logró una tabla de cinco columnas de 18 elementos. La ventaja de una tabla semejante era que revelaba familias de cuerpos químicos. En principio, podría parecer un tanto sorprendente que nos centremos en la Tabla periódica, muchos se habrán preguntado por su relación con la historia de la meteorología, pero realmente la hubo, al menos por un hecho concreto: Dimitri Mendeléiev asistió como delegado ruso a la segunda reunión del Congreso Meteorológico Internacional de Roma en 1879. En la

tudio de los gases. ¿Qué le hizo dar ese giro? En esa época, Mendeléiev sintió que ya había trabajado bastante para establecer la teoría. Y decidió buscar el éter, el universal éter. Como muchos de los científicos de su tiempo, él creía en la existencia del éter y estaba firmemente convencido de su papel en la unificación de todas las ciencias físicas; análogamente al papel desempeñado por la tabla periódica respecto de las ciencias químicas. A pesar de los extraordinarios esfuerzos de trabajo y monetarios, hacia 1875, Mendeléiev había fracasado en encontrar una evidencia sólida del éter. Este fracaso le indujo a estudiar el comportamiento de los gases en las capas superiores de la atmósfera terrestre.

Pensaba que el estudio de las capas altas de la atmósfera le conduciría al descubrimiento de las leyes de refracción, el tiempo atmosférico, la observación astronómica, los gases, y finalmente al éter. Creía que era necesario disponer de medidas antes de formular una teoría. Propuso el uso de vuelos aerostáticos hasta que a comienzos de la década de 1880, su atención se apartó de la meteorología. Su trabajo sobre los gases quedó inacabado y nunca obtuvo suficiente financiación para conseguir un globo aerostático para experimentos meteorológicos. Aunque Mendeléiev continuó manteniendo su creencia en la existencia del éter, no exploró más en cómo investigarlo en la atmósfera superior. Su trabajo en meteorología apenas si dejó un leve rastro en la historia de la meteorología rusa.

En 1955, el elemento 101 fue bautizado mendelevio en su honor. Retornemos a la tabla, los estudios realizados sobre algunos de los elementos superpesados han conducido a nuevos retos para la tabla periódica (pág. 76). Por ejemplo, se ha visto el distinto comportamiento de los elementos rutherfordio y dubnio respecto de los elementos que les preceden en sus grupos respectivos. En la actualidad se están realizando ensayos para crear los elementos de número atómico 119, 120 y 121. Por otra parte, todavía quedan problemas por resolver en los que la comunidad científica no se ha puesto de acuerdo.

En el capítulo 4 se revisa el concepto de isótopo, sus tipos y su influencia en el peso atómico, así como los diferentes tipos de emisiones de los isótopos y sus consecuencias. La tabla periódica se caracteriza porque los isótopos

estables están ausentes a partir del elemento de número atómico 82. La separación entre isótopos estables y radiactivos no es precisa. Se considera estable aquel isótopo cuya inestabilidad es tan lenta que no es medible. Los llamados diagramas de Segrè sirven para determinar el carácter estable o radiactivo de un determinado isótopo. Los isótopos radiactivos pueden ser naturales y artificiales. Se destacan algunos de ellos por sus importantes aplicaciones en ciencia, medicina y tecnología como la resonancia magnética nuclear (RMN), la tomografía por resonancia magnética (TRM) y la espectrometría de masas (EM). Las aplicaciones de los distintos isótopos en RMN dependen de su espín, su abundancia natural y de su grado de sensibilidad. En el capítulo de conclusiones, los autores se han preguntado por qué el descubrimiento de los isótopos no acabó con la ordenación de los elementos en la tabla periódica. La respuesta sencilla sería porque las propiedades de los elementos dependen del número atómico (Z) y no del número másico (A). Cuanto más pequeño es A , más difieren entre sí las propiedades



histórica foto del Congreso que se adjunta, el químico ruso aparece en la fila superior siendo el tercero por la izquierda. Fue en esta reunión donde se creó formalmente la Organización Meteorológica Internacional, predecesora de la OMM.

La principal razón de su participación fue que en los años del Congreso de Roma Mendeléiev dedicaba un interés especial a la meteorología por sus investigaciones sobre los gases atmosféricos, relacionadas a su vez con la búsqueda del éter en cuya existencia creía firmemente como muchos otros científicos de la época.

En los *Proceedings of the International Commission on History of Meteorology 1.1* (2004), se relata que la mayor parte del trabajo de Mendeléiev en meteorología se desarrolló en la década de 1870, cuando dirigió investigaciones a gran escala sobre la naturaleza de los gases. En el periodo comprendido entre 1869 y 1871, prácticamente había completado las investigaciones teóricas y prácticas sobre el Sistema Periódico de los Elementos Químicos. Sin embargo, a últimos de diciembre de 1871 su atención se desplazó al es-

Libros

→ químicas y, como ejemplo, presentan el de los tres átomos de hidrógeno. Finalizan con una nota para curiosos: cuando se habla del hidrógeno sin precisar a qué isótopo nos referimos se debería usar el término hidrón pero no se suele hacer. Sorprendentemente, los tres isótopos se pueden usar en RMN.

El capítulo 5 está centrado en los nombres de los elementos químicos y en los elementos descubiertos por españoles. En esencia, el origen del nombre, su significado, su símbolo junto con el año de su descubrimiento. También se presentan en una tabla periódica los países que han contribuido a su descubrimiento a través de sus banderas (imagen 5 del cuadernillo interior). De ellos destacan cinco, Gran Bretaña, Suecia, Estados Unidos, Alemania y Francia, que descubrieron 86 elementos de los 118 que actualmente se conocen, es decir, el 73 % del total. Además se aborda la controversia de los nombres tungsteno y wolframio, ambos nombres se han utilizado tradicionalmente para el elemento con nº atómico 74 cuyo símbolo es W. En las páginas 103-104, los autores han introducido una propuesta que justifica el uso de wolframio; y se reivindican los tres elementos descubiertos o aislados por científicos españoles: el platino (Antonio de Ulloa, 1748), el wolframio (Juan José y Fausto Delhuyar, 1783) y el vanadio (Andrés Manuel del Río, 1801; bautizado por él como eritronio).

El capítulo 6 revisa la importancia de la tabla periódica en la cultura. En este capítulo los autores hacen mención de la tabla periódica de los elementos químicos en la cultura y en el arte, en concreto en la literatura, el cine, la música, la filatelia, la decoración, aunque no se ha incluido la pintura. Solo comentan algunas de las obras que consideran más representativas y se refieren tanto a la tabla periódica como icono como a algunos elementos por separado.

La novela por excelencia en esta materia es la de Primo Levi, *El sistema periódico*, publicado en 1975, y que no en vano fue elegida por la Royal Institution del Reino Unido como el mejor libro de ciencia jamás escrito. No es un libro estrictamente de química, ya que,

incluye notas de carácter autobiográfico. Primo Levi, judío de origen sefardí, se graduó en Química en el año 1941 por la Universidad de Turín, estructuró esta obra en 21 capítulos cada uno con el nombre de un elemento: argón, hidrógeno, zinc, hierro, potasio, níquel, plomo, mercurio, fósforo, oro, cerio, cromo, azufre, titanio, arsénico, nitrógeno, aluminio, uranio, plata, vanadio y carbono. Relacionados con su estancia en el campo de trabajo industrial que formaba parte del complejo de Auschwitz, están el capítulo del vanadio y el del cerio. El último capítulo, está dedicado al carbono, y en él, Primo Levi describe la conexión entre la vida y la química, ya que la base de toda forma de vida son átomos de carbono.

El tío Tungsteno, recuerdos de un químico precoz, del neurólogo y escritor británico, Oliver Sacks; uno de los libros más atractivos que demuestran el tremendo talento divulgativo de su autor. También se mencionan *A is for arsenic: the poisons of Agatha Christie*, de la química y divulgadora de la ciencia británica Kathryn Harkup, y *El caballo pálido*, de la escritora británica Agatha Christie, entre otros. La tabla periódica también ha sido llevada al teatro, cine y televisión. Asimismo, la tabla periódica y los elementos químicos han sido musicados por diferentes autores.

Acabamos como en la introducción, este libro es un proyecto de los autores para colaborar en la divulgación de la tabla periódica de los elementos químicos con ocasión de la declaración por la Asamblea General de las Naciones Unidas del año 2019 como el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos con la pretensión de ayudar a comprender este icono de la ciencia y la cultura. Profundizando más, “el mensaje que subyace tras la tabla presentada por la EuChemS es la necesidad de hacer todo lo posible para proteger y reciclar los elementos químicos amenazados; a la vez que se debe trabajar en la búsqueda de alternativas que permitan utilizar elementos abundantes para sustituir aquellos que están en peligro”.

María Asunción Pastor Saavedra y
Manuel Palomares Calderón

Climatología de descargas eléctricas y de días de tormenta en España

AUTORES: JOSÉ ÁNGEL NÚÑEZ MORA, JESÚS RIESCO MARTÍN Y MANUEL ANTONIO MORA GARCÍA

EDITADO POR LA AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMET). MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA. 2019. DISPONIBLE EN LÍNEA EN WWW.AEMET.ES, APARTADO RECURSOS EN LÍNEA.

En la primera década del siglo XXI se presentaron algunos trabajos que mostraban climatologías de tormentas en España elaboradas a partir de los datos registrados por la Red de Detección de Descargas Eléctricas de AEMET. Sirva, como ejemplo, el artículo titulado “La frecuencia de las tormentas eléctricas en España”, publicado por Pérez Puebla y Zancajo Rodríguez en 2008 precisamente en las páginas de la *Revista de la AME*, actualmente *Tiempo y Clima*. Posteriormente han visto la luz otras publicaciones centradas en regiones españolas concretas como Galicia (Gómez Viñas, 2015), Canarias (Sanz et al., 2017) o Castilla y León (Mora García, 2012). Estas referencias y otras muchas nacionales e internacionales están citadas en la espléndida obra que presentamos aquí.

Una asombrosa fotografía de un potente rayo realizada por el aficionado a la meteorología y fotógrafo malagueño David Mancebo

da paso desde la cubierta del libro a las 139 páginas de esta *Climatología de descargas eléctricas y de días de tormenta en España*, obra coral firmada por tres expertos de AEMET en el análisis de la convección y las tormentas con una larga y variada experiencia tanto en el ámbito de la investigación como en el operativo, sea desde el punto de vista de la predicción o el de la climatología. Por citar algunas de sus contribuciones científicas podemos nombrar *Predicción de precipitaciones intensas de origen marítimo mediterráneo en la Comunidad Valenciana y la Región de Murcia* (Riesco y Alcover, 2003), *Climatología de tornados en España Peninsular y Baleares* (Riesco, Polvorinos, Núñez, Soriano y Jiménez, 2015), *Características básicas de las supercélulas en España* (Quirantes, Riesco y Núñez) o *La actividad tormentosa en Castilla y León: Análisis microescalar y modelos conceptuales* (2012), tesis doctoral de Manuel Mora pre-

sentada en la Universidad de Salamanca.

Tras el prólogo del libro, firmado por el Presidente de AEMET, Miguel Ángel López, siguen la introducción, cuatro capítulos principales, el apartado de referencias, cuatro completísimos anexos y un espacio dedicado a los agradecimientos, en el que se hace una especial mención a la operatividad de la red cerámica de AEMET, sin la cuál sería imposible realizar este tipo de estudios y conocer tan a fondo el comportamiento de las tormentas en nuestro país. La publicación está profusamente ilustrada a todo color que proporcionan una enorme cantidad de información visual sobre las descargas eléctricas y los días de tormenta en nuestro país.

Tal como describe la breve introducción del libro, el título y contenido de los cuatro capítulos son los siguientes:

- **Capítulo 2: Generalidades sobre electricidad atmosférica**, en el que se hace una introducción breve teórica sobre las descargas eléctricas, así como de conceptos básicos sobre rayos y tormentas.

En este capítulo se hace referencia al anexo I (**Características de la red de detección de descargas eléctricas en AEMET**) y al anexo II (**Datos seleccionados. Parámetros de calidad y precisión de la red. Filtrado de datos**).

Los contenidos detallados de estos anexos y su presentación son una buena muestra del rigor con el que se ha abordado este trabajo. Conocer a fondo los sistemas de observación y las características de los datos registrados es indispensable para poder extraer



la ibérica-islas Baleares y las islas Canarias para el periodo 2007-2016.

Los aproximadamente 20 gráficos y tablas incluidos en este capítulo presentan una valiosa caracterización de las descargas eléctricas registradas: su distribución anual y mensual, distribución horaria, polaridad, intensidad y multiplicidad en los dos ámbitos geográficos considerados. Ciertamente, el periodo analizado no es muy largo y es probable que su extensión en el tiempo pudiese abarcar periodos con comportamientos tormentosos algo distintos de los que se han identificado en este libro. Por ello es altamente deseable que

se pueda ir actualizado esta climatología con el paso de los años.

- **Capítulo 4: Densidad de descargas eléctricas**, dedicado a analizar la densidad espacial de dichas descargas.

Tanto en este capítulo como en el siguiente el núcleo central son los mapas para distintos ámbitos geográficos (península ibérica, islas Canarias y varias ampliaciones regionales) que muestran claramente cuáles son las áreas con mayor (sierras orientales de Teruel) y menor (noroeste de Galicia) densidad espacial de descargas eléctricas, por lo menos para el periodo temporal considerado. Unas conclusiones y una tabla mostrando un curioso ranking provincial de descargas (con Teruel nuevamente en cabeza) cierran este capítulo. El oportuno Anexo III explica sintéticamente la **Metodología utilizada para el cálculo de la densidad de descargas eléctricas**.

- **Capítulo 5: Días de tormenta**, estructurado de forma análoga al anterior capítulo pero dedicado al análisis de los días de tormenta.

Mediante la **Metodología utilizada para la estimación del número de días de tormenta**, descrita en el Anexo IV, se ha elaborado una completa cartografía que muestra muchos detalles de esta variable, como, por ejemplo, que el número máximo anual se sitúa en el Pirineo oriental (Girona), donde algunos trabajos previos han mostrado la influencia de la brisa marina en el disparo de la convección (Callado y Pascual, 2005). Es interesante también en este capítulo el análisis de la actividad eléctrica por cada día de tormenta y la identificación de los días con "gran actividad eléctrica". Cabe destacar la pareja de días 14 y 15 de septiembre de 2009, cuando se registraron en el entorno peninsular un total de 175 228 descargas, concentradas en buena medida sobre el Mediterráneo occidental, entre Cataluña, las islas Baleares y la costa levantina española.

En resumen, una obra de consulta indispensable tanto para quien quiera seguir profundizando en el conocimiento de las tormentas en las complejas geografía y climatología españolas como para la comprensión de la situación meteorológica prevista y el tiempo sensible asociado que deben llevar a cabo los predictores en su operatividad diaria.

Ramón Pascual

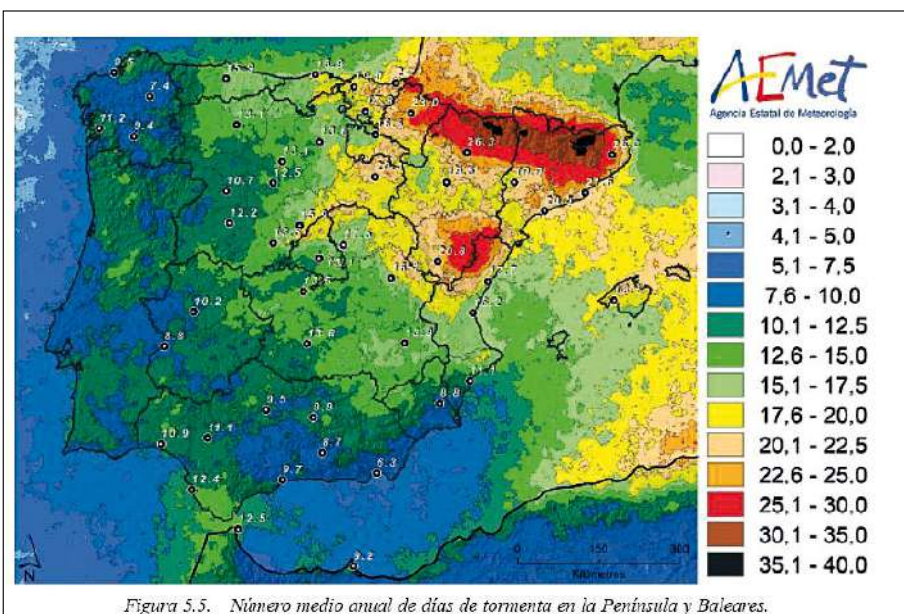


Figura 5.5. Número medio anual de días de tormenta en la Península y Baleares.

conclusiones fiables cuando se analiza una variable o un fenómeno atmosférico complejo.

- **Capítulo 3: Estudio estadístico de descargas eléctricas**, dedicado a presentar una estadística de las descargas eléctricas en dos áreas geográficas tan diferenciadas como son el conjunto peninsular