

Fotógrafos de la química: documentación y arte

Santiago Álvarez

Resumen: Este artículo destaca el trabajo de algunos fotógrafos que han contribuido con una visión artística a la documentación gráfica de la química, a través de sus protagonistas, sus laboratorios, las sustancias y sus reacciones. En primer lugar se repasa un repertorio de retratos de químicos destacados realizados desde la invención del daguerrotipo hasta el final de la Segunda Guerra Mundial. En segundo lugar se presta atención al trabajo del fotógrafo alemán Albert Renger-Patzsch, bien conocido por sus fotografías de la naturaleza y de arquitectura urbana e industrial, pero que nos ha legado unas imágenes simples y fascinantes a un tiempo de material de vidrio para el laboratorio, así como al del fotógrafo científico estadounidense Fritz Goro. En tercer lugar se destacan ejemplos de fotógrafos y científicos que han ilustrado con especial acierto diversas reacciones químicas en libros ricos en imágenes. Por último, se cita brevemente el trabajo de algunos fotógrafos más próximos a la física y de otros con una incursión anecdótica pero interesante en el mundo de la química.

Palabras clave: Fotografía, material de laboratorio, historia de la química.

Abstract: This paper highlights the work of photographers that have contributed with an artistic vision to the graphic documentation of chemistry, through its protagonists, their laboratories, the substances and their reactions. First a collection of portraits of famous chemists, made since the invention of the daguerreotype until the end of World War II, is reviewed. In second place, special attention is paid to the work of the German photographer Albert Renger-Patzsch, well known for his photographs of nature and urban and industrial architecture, but who has left us simple and fascinating images of glassware for the laboratory, as well as to the Northamerican science photographer Fritz Goro. Third, examples of photographers and scientists who have successfully illustrated several chemical reactions in books are given. Finally, brief comments are made on the work of photographers more related to physics, as well as that of other artists with scarce but interesting contributions in the field of chemistry.

Keywords: Photography, Glassware, History of Chemistry.

Often when people speak of science and art, little or no mention is made of photography, the medium pre-eminently qualified to unite art with science.

BERENICE ABBOTT, 1959

INTRODUCCIÓN

No hace falta insistir en la importancia que tiene la documentación gráfica para la descripción histórica y la ilustración didáctica de cualquier rama del saber. La química no es una excepción: los primeros libros de química moderna, con Lavoisier a la cabeza, ilustraban material de laboratorio y procedimientos con esmerados grabados, siguiendo una tradición anterior, de la que cabe destacar el libro de Georgius Agricola, *De re metalica*, dedicado a la minería y la metalurgia. Martin Kemp, que durante muchos años publicaba periódicamente artículos sobre ciencia y arte en

la revista *Nature*, testimonia de esta manera la evolución de la comunicación visual en el campo de la ciencia.^[1]

Me complacía en explicar a mis colegas del mundo del arte que los gráficos de la ciencia moderna, tal como se representaban en *Nature*, hacían parecer aburrido el contenido de las revistas de arte. [...] Mi interés no estaba tanto en la *influencia* de la ciencia sobre el arte, o viceversa, sino en los temas compartidos por los mundos imaginativos del artista y el científico.

A pesar de todo, la fotografía científica no goza de un gran prestigio. Si fotógrafos de modas, retratistas de artistas, o fotoreporteros son ampliamente reconocidos y su obra es objeto de exposiciones, la fotografía científica no es una especialidad muy extendida, y sus practicantes son desconocidos del gran público. Más aún, dentro de la fotografía científica gozan de mayor difusión las obras relacionadas con la zoología, la botánica, o la astronomía, y bastante menos las dedicadas a la química. Por ejemplo, la reciente exposición *Revelations: Experiments in Photography* en el *Science Museum* de Londres,^[2] apenas incluía algunos ejemplos



S. Álvarez

Departament de Química Inorgànica i Orgànica,
Secció de Química Inorgànica, e Institut de Química Teòrica
i Computacional, Universitat de Barcelona.
Martí i Franquès 1-11, 08028 Barcelona
C-e: santiago@qi.ub.es

Recibido: 03/07/2018. Aceptado: 14/09/2018.



Figura 1. Retrato de Martin Hans Boyè realizando operaciones químicas.
Robert Cornelius, daguerrotipo, 1843
(Cortesía del George Eastman Museum)

que se puedan relacionar con la química, como una microfotografía de cristales de vitamina C (Alfred Ehrhardt, 1959), una foto de mica (Arthur Clive Banfield, 1908) y otras dos de una sustancia no especificada (1963) debidas al fotógrafo alemán Manfred Kage. Un último ejemplo destacable es la foto del cañón de una pistola al hacer fuego, que forma parte de la serie *Celestial Objects* (2013) de Sarah Pickering.

Tras la invención de la fotografía (Nicéphore Niépce, 1825) y el posterior desarrollo de las técnicas de semitono (William Fox Talbot, 1852), impresión en huecograbado (Karel Klic, 1877) y *offset* (Washington Rubel, 1903), parecería que las imágenes fotográficas deberían haber ido substituyendo progresivamente los grabados basados en dibujos. Sin embargo, éstos siguieron durante muchas décadas (incluso hasta el presente) jugando un papel preponderante en los libros de química y física. Un repaso somero de decenas de libros de finales del siglo XIX y principios del XX, apuntan a una casi total ausencia de imágenes procedentes de fotografías en ellos. En algún caso, la fotografía sirve para presentar al lector un retrato del autor, como en los libros *Leçons de Chimie Physique* de Jacobus H. van 't Hoff (1898) o *Le fluor et ses composés*, de Henri Moissan (1900). En otros casos la fotografía sirve para documentar observaciones experimentales. Así, una de las figuras que se incluyen en la memoria de la tesis doctoral de Marie Curie, datada en 1903, es una radiografía de un monedero con una moneda y una llave en su interior, y el mismo año Van 't Hoff muestra una fotografía de una lámina metálica afectada por la “enfermedad del estaño” en su libro *Physical Chemistry in the Service of Science*.

Este artículo pretende tan solo presentar un estudio preliminar, sin pretensiones de exhaustividad, sobre algunos fotógrafos que han entrado en el laboratorio químico y nos han dejado imágenes de valor no sólo documental, sino también artístico. La primera mención debe ser para el fotógrafo estadounidense Robert Cornelius (1809-1893), al cual se atribuye el mérito de haber realizado el primer retrato fotográfico en 1839, un autorretrato. Seguramente también se le debe reconocer como autor de una fotografía del químico danés- estadounidense Martin Hans Boyè (Figura 1), la primera de alguien realizando operaciones químicas, que se conserva en el *George Eastman Museum* de Rochester aunque clasificada erróneamente como un autorretrato hasta fechas recientes.^[3]

RETRATOS

Y en el siglo XIX la gente no se hacía muchas fotografías. Media docena en toda la vida, como mucho. Como muchísimo. Por eso la gente se ponía terriblemente elegante en la fotografía. También Van 't Hoff aparecía terriblemente elegante en la fotografía.

UNAI ELORRIAGA, *El pelo de Van 't Hoff*, 2003

En las revistas de química de la segunda mitad del siglo XIX aparecían esporádicamente retratos de químicos notorios, generalmente acompañando una necrológica. Así, en la revista alemana *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* se puede localizar en el período 1868-1899 una cuarentena de retratos de personajes como Charles Friedel, Gustav Kirchhoff, Justus von Liebig, Lothar Meyer, Friedrich Wöhler o Adolph Wurtz. Aunque la mayoría de las fotos aparecen sin indicación de fecha ni autor, algunos de los fotógrafos identificados son retratistas con un amplio portafolio de clientes, particularmente entre la aristocracia, como Carl Günther y Carl Brasch en Berlín, éste último autor de algunos excelentes retratos del compositor Johannes Brahms. También el estudio de Emil Römmler y Leopoldus Erasmus Jonas, en Dresde, contribuyó a la galería de retratos de químicos ilustres, lo mismo que el estudio Meisenbach, Riffarth & Co. (Berlín, Múnich y Leipzig), una de las empresas de huecograbado más importantes de Europa en su tiempo, fundada por los fotógrafos Georg Meisenbach y Heinrich Riffarth. Alrededor de 1900 se pueden localizar unos cuantos retratos más en revistas como *Journal of the Chemical Society*, *Journal of the American Chemical Society*, *Zeitschrift für physikalische Chemie* y *Revue Générale de Chimie Pure et Appliquée*, aunque en la mayor parte de casos el autor de las fotos permanece en el anonimato.

Una buena colección de más de 200 retratos, en gran parte fotográficos, publicados en esas y otras revistas aparecen en el libro *Torchbearers of Chemistry*,^[4] acompañando unas breves notas biográficas. Siguiendo el hilo de las referencias se pueden localizar las biografías o notas necrológicas originales, aunque aun así es prácticamente imposible



Figura 2. Autorretrato del fotógrafo parisino Eugène Pirou (Wikimedia Commons)

identificar a los retratistas. Muchas de esas fotografías se encuentran en la *Oesper Collection* formada por el legado de Ralph Edward Oesper (1886-1977), profesor de química analítica de la Universidad de Cincinnati, coleccionista de fotografías de químicos y de aparatos de laboratorio que publicó numerosos estudios biográficos en el *Journal of Chemical Education*. William B. Jensen, que ocupa desde 1986 la cátedra Oesper de Educación Química e Historia de la Química de esa universidad, se ha preocupado de aumentar esas colecciones que albergan en la actualidad más de 2.500 retratos, aunque sólo un puñado son accesibles por Internet. Otras colecciones de fotografías históricas relacionadas con la química son los *Emilio Segré Visual Archives*,^[5] la *Edgar Fahs Smith Memorial Collection*^[6] y los archivos del *Science History Institute* (antes *Chemical Heritage Foundation*)^[7] o los de la *Université Libre de Bruxelles*.^[8] Algunos de los retratos de químicos más reproducidos son aquellos que aparecen en la página oficial de la fundación Nobel, pero entre ellos los únicos con autor identificado son los de Ulla Montan correspondientes a los premios de 2005 a 2010, y de Dan Porges para los de 2004. Tampoco en los libros que recogen las conferencias Nobel de química se indican los autores de los retratos que aparecen desde 1971.

Una excelente colección de retratos de presidentes de la *Société Chimique de France* se encuentra en una publicación editada con motivo del cincuentenario de dicha sociedad,^[9] que ha publicado posteriormente otra colección de retratos para conmemorar sus 150 años.^[10] Entre los autores de los retratos de los primeros cincuenta años el nombre que más se repite es el de Eugène Pirou. Pierre Petit, Aaron Gerschel y el gran Nadar están presentes con entre

dos y cuatro retratos. Eugène Pirou (1841-1906) mantuvo un estudio fotográfico en París durante casi sesenta años (Figura 2) y era muy conocido por sus retratos de celebridades y por haber fotografiado la revuelta de la Comuna de París. También fue un cineasta pionero que produjo una de las primeras películas eróticas, *Le coucher de la mariée* (1896), en la que aparece un *striptease*. No es extraño, pues, que químicos prominentes lo eligieran para un retrato, posiblemente el retrato de su vida,^[11] y que ante su cámara desfilaran, entre otros, Henri Moissan, Auguste Cahours, Marcellin Berthelot y Pierre Curie. Otro fotógrafo francés de prestigio era Pierre Petit, encargado de hacer las fotos oficiales de la Exposición Internacional de París de 1867, fotógrafo oficial del episcopado, encargado del reportaje fotográfico de la construcción de la Estatua de la Libertad en Nueva York, y también autor de numerosas fotos de la Comuna de París. Entre los personajes retratados por él figuran los compositores Camille Saint-Saëns, Hector Berlioz, César Franck y, entre los químicos, Henri Sainte-Claire Deville y Louis Pasteur. Por su parte Nadar (pseudónimo de Gaspard-Félix Tournachon), uno de los fotógrafos más famosos del siglo XIX y retratista de innumerables celebridades, firmaba las fotos de los presidentes Charles Friedel y Joseph Achille Le Bel. El mismo Nadar realizó en 1886 el primer fotoreportaje con ocasión del centésimo cumpleaños del gran químico Eugène Chevreul, publicado en la revista *Le Journal Illustré*.

Si los retratos de estudio de químicos destacados tienen interés historiográfico, mucho más lo tienen aquellos de científicos en sus laboratorios. Por ejemplo, sendas fotografías de Marie Curie y Marcellin Berthelot en sus respectivos laboratorios (Figura 3) se deben a Henri Manuel (1874-1947), fotógrafo oficial del gobierno francés entre 1914 y 1944, que también trabajó para revistas de modas.

Una fotografía ampliamente reproducida de dos químicos famosos en un laboratorio (Figura 4), publicada por primera vez en la revista *Zeitschrift für Physikalische Chemie* en 1905, muestra a Jacobus H. Van 't Hoff y Wilhelm Ostwald en el laboratorio de este último. La foto fue tomada en 1900 por Charles W. Foulk^[12] con ocasión

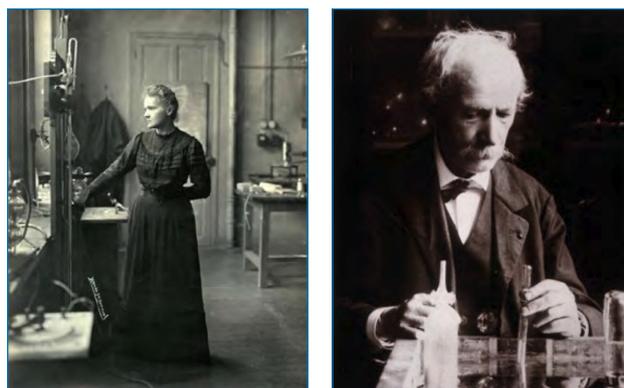


Figura 3. Retratos hechos por Henri Manuel: Marie Curie en su laboratorio de la rue Cuvier (ca. 1913) y Marcellin Berthelot (sin fecha) en el laboratorio (Wellcome Collection, licencia CC BY 4.0)



Figura 4. Jacobus H. Van 't Hoff y Wilhelm Ostwald en el laboratorio de este último, 1900 (Wikimedia Commons)

de la presencia del primero como conferenciante invitado en la fiesta de Navidad (*Weihnachtsfest*) del Instituto de Físico-Química que dirigía Ostwald. Foulk (1869-1958), que realizaba su doctorado bajo la dirección de Ostwald y que luego sería profesor de la Ohio State University y co-autor de un manual de química analítica cuantitativa, tenía afición por fotografiar a químicos distinguidos y con la complicidad de la señora Ostwald pudo tener a los dos sabios frente a su cámara en el laboratorio para impresionar un par de placas.

Algunas de las fotos de grupo de científicos más difundidas son las de las Conferencias Solvay (*Conseils Solvay*), organizadas por los institutos del mismo nombre que creó el químico belga Ernest Solvay (1838-1922). La primera de las conferencias Solvay de Física tuvo lugar en 1911, la primera de Química en 1922, y todavía continúan celebrándose en la actualidad. De ellas la más célebre fue la quinta conferencia de Física (1927), sobre *electrones y fotones*, porque de 29 participantes 17 eran premios Nobel. Entre los científicos que aparecen en esas fotos encontramos figuras tan prominentes de la física y la química del siglo xx como Bjerrum, Bohr, W. H. Bragg, W. L. Bragg, Cabrera, Marie Curie, De Broglie, Debye, Dirac, Einstein, Fermi, Friedel, Heisenberg, Langevin, Langmuir, von Laue, Meitner, Mulliken, Nernst, Onnes, Oppenheimer, Pauli, Pauling, Peierls, Planck, Rutherford, Schrödinger, Sommerfeld, Urbain, y aun me dejó muchos en el tintero. Las fotografías de grupo de los asistentes a las reuniones realizadas antes de la Segunda Guerra Mundial son debidas al fotógrafo de Bruselas Benjamin Couprie (1875-1962), y en algunas de ellas aparecen inscritos su nombre y la dirección de su estudio, en una calle con nombre de químico, Jean Stas, que posteriormente sería trasladado a la avenida Louise. En los *Archives et Musée de la Littérature* se pueden encontrar también fotografías de escritores belgas y de representaciones teatrales hechas por Couprie, de quien sabemos que deseaba ser considerado como fotógrafo artístico (en 1911 su estudio se anunciaba en la revista *La Belgique artistique et littéraire* como *photographie d'art*) lo cual se aprecia en la puesta en escena de su fo-

tografía del Consejo Solvay de Física de 1911, en la que Rutherford, por ejemplo, mira en dirección al fotógrafo, mientras otros hacen ver que están enzarzados en una discusión o leen un artículo, sin olvidar la adición posterior de Ernest Solvay, quien no participaba en las sesiones.^[13] También en la foto del segundo Consejo Solvay de Química (1922) dispuso en primer término sobre una mesa una serie de modelos moleculares y de estructuras cristalinas que simbolizan el temario tratado en esa reunión. Las fotos de las reuniones Solvay posteriores a 1947 suelen llevar el nombre y dirección de G. Coopmans, 114 rue du Maquis, Bruselas. En los archivos de la ULB también se puede encontrar una interesante foto de grupo de una recepción ofrecida por Ernest Solvay a los participantes en el segundo congreso de la IUPAC, el 29 de junio de 1921 en el *Château de la Hulpe*, en la que España fue representada por Enrique Moles Ormella y José Rodríguez Mourelo, firmada por "Benj. Couprie".^[14]

De las fotos de Couprie sorprende la alta resolución, que permite reconocer las facciones de los fotografiados a pesar de tratarse de fotos de grupos muy numerosos.

MATERIAL DE LABORATORIO: ALBERT RENGER-PATZSCH (1897-1966)

Nacido en Würzburg, hijo de un músico y fotógrafo aficionado, Albert Renger-Patzsch estudió química en Dresde después de la primera guerra mundial, donde hizo trizas la instalación de su laboratorio en un intento de preparar fósforo blanco, aunque luego dejaría los estudios para dedicarse a la fotografía. Frente a la fotografía experimental realizada por los fotógrafos más vanguardistas, defendió el carácter artesanal de la fotografía y realizó una obra marcada por la objetividad y la precisión. Fue el principal representante de la *nueva objetividad* en el campo de la fotografía, un movimiento artístico nacido en Alemania en la década de 1910 como reacción al expresionismo.

Uno de los encargos que recibió Renger-Patzsch, proveniente del fabricante de material de laboratorio Schött, de Jena, consistió en una serie de fotografías de material de vidrio (Figura 5) que debían acompañar y dar un toque artístico al catálogo de dicha compañía.^[15] En ese catálogo encontramos fotografías de erlenmeyers, matraces aforados, probetas, cristalizadores, embudos, placas filtrantes, tubos de vidrio, llaves o desecadores. Una reproducción de una de las fotos de vidrios de Renger-Patzsch aparece incluso en una antología de arte del siglo xx.^[16] En una exposición reciente de la obra de Renger-Patzsch presentada en la Fundación Mapfre de Madrid y posteriormente en el *Jeu de Paume* de París,^[17] figuraban dos fotos de material de laboratorio en medio de una excelente selección de imágenes de flores, objetos industriales y paisajes naturales, urbanos y fabriles. El protagonismo en una de esas fotos, no incluidas en el catálogo de Jena, corresponde a un conjunto de vasos de precipitados, y en la otra a matraces de varios tamaños. En ambas, los recipientes

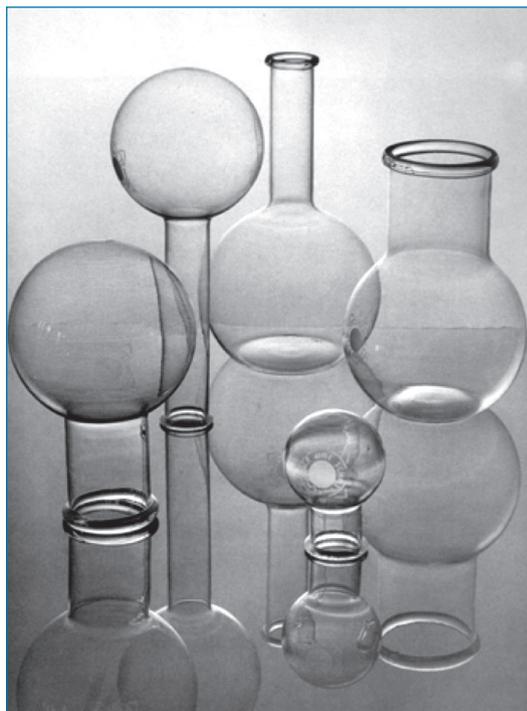


Figura 5. Fotografía de matraces de Albert Renger-Patzsch, 1932

están colocados sobre una superficie reflectante y la toma se ha hecho desde un ángulo ligeramente elevado, de manera que la superposición de los objetos de vidrio en diferentes planos y su extensión en la imagen reflejada resultan en una composición mágica, objetiva y abstracta a la vez. Según Donald Kuspit, “Renger-Patzsch ha montado el escenario para una coreografía en vidrio, un juego de luz, reflejos y sombras, un bodegón de claridad y transparencia, en el que las formas objetivas de los objetos no pasan en absoluto por alto, pero son secundarias respecto a las impresiones visuales. Los vidrios de laboratorio se transforman en instrumentos para ver”.^[18]

A partir de 1933 Renger-Patzsch recibió numerosos encargos de arquitectos, editores y firmas industriales como la farmacéutica Böhringer Ingelheim, Krupp, Zeiss-Ikon, o Kupferhammer Grünthal. Ernst Böhringer, por ejemplo, le encargó en 1939 un libro sobre farmacias alemanas históricas, *Historische Apotheken Deutschlands*, y años más tarde otro sobre hospitales, *Hospitalbauten in Europa aus zehn Jahrhunderten*, que se publicaría póstumamente. Por encargo de la empresa metalúrgica Kupferhammer Grünthal realizó una serie de fotos para el libro *Kupferhammer Grünthal. Vierhundert Jahre deutsche Arbeitskultur. 1537-1937*, con el cual se conmemoraba el cuarto centenario de la empresa. Las fotos, a toda página, se dividen en tres secciones: “La tierra”, con fotos bucólicas del paisaje y de casitas semienterradas en la nieve; “Los hombres”, retratos de gran fuerza expresiva de obreros y especialistas, y “La fábrica”, que recoge imágenes de las instalaciones industriales y los talleres de la empresa.

Aparte del caso excepcional de Renger-Patzsch, y a falta de un estudio más exhaustivo, me conformaré con citar aquí un par de los esporádicos ejemplos de fotografías de material de laboratorio aparecidos en revistas de investigación. Uno de ellos corresponde a material analítico diverso recogido en seis fotografías de autor desconocido que muestran tubos de ensayo en una gradilla circular, erlenmeyers y embudos en un soporte circular de madera, o un aparato de Kipp.^[19] El otro ejemplo es una fotografía de un laboratorio portátil para la determinación de ácido carbónico, oxígeno disuelto y alcalinidad en agua potable.^[20] Se puede encontrar también algún que otro libro que contiene valiosas imágenes fotográficas de laboratorios químicos, como *Les laboratoires de chimie*, de Frémy y otros autores,^[21] o un volumen del informe de la Secretaría de Estado estadounidense sobre la Exposición Universal de París de 1889.^[22] Este último contiene planos y fotografías de los laboratorios de *Yale College*, *Lehigh University*, MIT, *Cornell University* y la Escuela Politécnica de Zúrich. Desgraciadamente, en ninguno de los casos citados se mencionan los autores de las fotografías.

DIVULGACIÓN Y CREATIVIDAD: FRITZ GORO (1901-1986)

Fritz Gorodiski, nacido en Bremen, adoptó como nombre artístico Fritz Goro. Durante su estancia en Francia, y debido a las dificultades que tenían los franceses para escribir su seudónimo, se cambió el apellido oficialmente por Goreau, aunque siguió empleando Goro en el terreno profesional. Goro había estudiado arte en Berlín y en la *Bauhaus* de Weimar, fue director artístico del *Berliner Illustrierte Zeitung* y luego de *Münchner Illustrierte Presse*, donde actuó como catalizador del desarrollo del fotoperiodismo en Alemania. En 1935 se marchó a Viena y luego a Francia tras los avances del nazismo. Finalmente emigró a Nueva York en 1936, donde se empleó como fotógrafo de la agencia Black Star.

A partir de 1937 se especializó en fotografía científica y trabajó en la revista *Life*,^[23] para la cual fotografió la mayor parte de los descubrimientos científicos más importantes de los años anteriores y posteriores a la Segunda Guerra Mundial. Desde el punto de vista químico, uno de sus trabajos más atractivos es el reportaje gráfico sobre el átomo, que realizó para *Life* junto con el escritor Bob Campbell.^[24]

En él aparecen fotos de elementos (hierro, plata, oro, mercurio, cobre, uranio, wolframio, azufre), de la llama de una vela, la electrólisis del agua, la miscibilidad de agua y alcohol, una pompa de jabón, la coloración de una disolución, o la deposición electrolítica de cobre sobre un electrodo. En definitiva, un trabajo que requirió varios meses de preparación, cientos de exposiciones, montajes elaborados, la consulta de más de 100 libros sobre el tema, y el asesoramiento de William Havens, profesor de la *Columbia University*. Para representar algunos átomos, como el de uranio, basados en el modelo de Rutherford, construyó

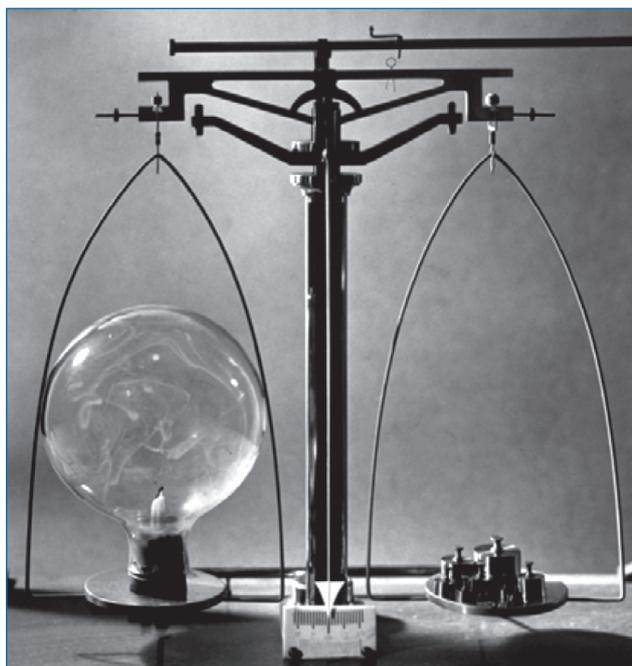


Figura 6. Fotografía de Fritz Goro (1939) que muestra la ley de conservación de la materia



Figura 7. Primera muestra de plutonio obtenida por Seaborg. Fritz Goro (1946)

modelos atómicos hechos con luces de árboles navideños, estuvo dos semanas realizando ensayos preliminares y dos días para hacer exposiciones.^[25]

Para una demostración gráfica de la ley de conservación de la materia, en la que muestra cómo después de quemar una vela en un recipiente cerrado el peso de éste no cambia (Figura 6), el problema era encender la vela después de haber sido sellada dentro de un balón de vidrio, problema que consiguieron resolver mediante el uso de una gran lupa que enfocaba los rayos del sol sobre el pabalo.

Si bien Enrico Fermi había descubierto en 1934 el elemento 94 (al que llamó Hesperio), éste sólo se consiguió producir y aislar en diciembre de 1940. El artículo en que se presentaban los resultados fue retirado antes de publicarse cuando se descubrió que el isótopo ^{239}Pu podía experimentar fisión nuclear y podría ser utilizado para una bomba atómica. La publicación se retrasó hasta un año después de finalizada la segunda guerra mundial por razones de seguridad, hasta que Fritz Goro fue finalmente autorizado en 1946 a fotografiar la primera muestra de plutonio, apenas una mota en una minúscula naveta de platino (Figura 7).

El trabajo de décadas de Goro se recoge en un espléndido libro editado y comentado por sus tres hijos,^[23] en el que se pueden apreciar fascinantes fotografías de los resultados de las pruebas atómicas realizadas en Alamogordo (New Mexico, 1945) y en el atolón de Bikini (1946). También fotos del ciclotrón de Enrico Fermi, de rayos láser hechos visibles con humo de incienso, de la reacción de Belusov-Zhabotinskii, la circulación sanguínea en

el corazón humano, de neuronas, de la primera cirugía prenatal, las primeras fibras ópticas, piedras lunares, o los primeros hologramas, por poner sólo unos pocos ejemplos. En resumen, las fotografías de Fritz Goro constituyen un legado resultante de una inusual fusión de ciencia, arte y periodismo. Según el biólogo y divulgador Stephen Jay Gould, «Fritz Goro fue el fotógrafo más influyente que el periodismo científico (y la ciencia en general) haya conocido, o conocerá jamás».

LA FOTOGRAFÍA EN LOS MANUALES DE QUÍMICA

A lo largo del siglo xx aparecen fotografías en manuales de química salpimentando apenas unas páginas que, sin embargo, contienen abundantes esquemas y dibujos: fotos de grandes hornos o de alguna otra instalación industrial, de algún mineral o, más frecuentemente, de un espectro de emisión o de un espectrógrafo. Un ejemplo de 1915 puede ser representativo: En un libro de química experimental,^[26] de un total de 139 figuras apenas un puñado son fotografías, mientras que predominan los grabados clásicos de montajes y manipulaciones. Las fotos son del volcán del Monte Pelado, en las Islas Martinicas, cuya erupción en 1902 mató unas 30.000 personas, del volcán (*solfatar* o “tierra de azufre”) de Pozzuoli, en Italia; una mina de diamantes en Sudáfrica; columnas de basalto en Irlanda; una cantera de yeso; estalactitas y estalagmitas; fotos de altos hornos, de un pozo de petróleo, o un bodegón de alimentos. Como se ve, toda la química que se practica en el laboratorio se muestra tan sólo mediante

dibujos, mientras la fotografía se emplea básicamente para exteriores. Algo parecido podría decirse del texto de Morgan y Lyman de 1913,^[27] pero la mayoría de libros de finales del siglo XIX y principios del XX no hacen prácticamente uso de la fotografía. Mucho más reciente, un clásico moderno de química inorgánica, *Chemistry of the Elements*, de Greenwood y Earnshaw^[28] hace un uso similar de la fotografía, con menos de una veintena de fotos en casi 1.500 páginas. Predominan también las fotos de plantas químicas y de minas, siendo la excepción apenas algunas fotos de aproximación de fibras de alúmina, de zircona (óxido de zirconio) o de carbono, así como de materiales hechos con polifosfatos.

La fotografía tiene una presencia mayor de lo habitual en el libro editado por George C. Pimentel dentro del proyecto *Chemical Education Material Study* patrocinado por la *National Science Foundation* (NSF), publicado en 1963, y de cuya traducción al castellano se hizo cargo Rafael Usón.^[29] En ese libro, además de retratos de químicos de procedencias diversas, aparece una docena de fotografías atribuidas a Charles L. Finance. De entre las fotos en blanco y negro destacaría aquella que muestra unos granos de sal cayendo desde un salero, con una excelente iluminación. También tienen cierto interés tres fotos en color, de sendas tablas periódicas con muestras de elementos y de compuestos, así como de una serie de soluciones de indicadores con diversos colores a diferentes pH. De formación cinematográfica y especialista en efectos visuales, Finance trabajó en *Encyclopedia Britannica Films*, donde produjo documentales como *Difussion and Osmosis*, *Energy: A Matter of Choices*, *Controversy Over Industrial Pollution*, o *Muscle: Chemistry of Contraction*. También ha sido responsable de efectos visuales en diversas películas, como *Dune* de David Lynch, *Conan el destructor* de Richard Fleischer, o *Cariño, he encogido a los niños* de Joe Johnston.

En 1986 Ronald Gillespie y otros autores publicaron un libro de química^[30] que contiene instrucciones para numerosos experimentos, acompañadas de excelentes y abundantes fotografías del canadiense Tom Bochsler (Figura 8), cuya versión castellana corrió a cargo de Aurelio Beltrán. Según el fotógrafo, ése fue el primer libro de docencia en emplear sistemáticamente fotografías en color. Especializado en fotografía industrial, Bochsler posee en su amplísimo dossier fotografías de instalaciones como una mina de níquel, un alto horno, una planta de obtención de agua pesada o una planta potabilizadora de agua, todas ellas de una gran belleza.

Respecto de las fotos para el manual de química, Bochsler dice:^[31]

Durante los meses de verano en que el laboratorio de la universidad estaba disponible, los profesores Gillespie y Humphreys programaban una cita semanal por la tarde. Antes de que yo fuera a hacer las fotos ellos ya habían hecho una prueba de los experimentos. En algunos casos los objetos se colocaban sobre vidrio traslúcido con iluminación inferior complementada con un foco de resalte cuando se creía conveniente.



Figura 8. Izquierda: retrato del fotógrafo canadiense Tom Bochsler. Derecha: *Gas Flame*, Tom Bochsler, 1986. Fotos cortesía de Tom Bochsler

Utilizaba pequeñas bombillas de wolframio que me permitían ver exactamente lo que hacía la luz y capturar la sutileza de los colores del fondo y de la reacción química. Empleé diversos fondos según la separación visual que deseaba; así, un objeto oscuro lo colocaba sobre un fondo más claro, y un objeto coloreado sobre fondo de color complementario.

Bochsler ha donado más de medio millón de imágenes a la sección de Archivos e Historia Local de la *Public Library* de Hamilton, Ontario, una muestra de las cuales se puede ver en su libro *The Art of Industry*.^[32]

Una de ellas (Figura 8) es la foto de la llama de un mechero Bunsen realizada para la empresa *Union Gas Limited* en 1986. La foto fue tomada en una habitación oscura y reflejada en dos grandes cilindros cromados, un recurso “simple pero efectivo”.

Posteriormente otros fotógrafos seguirían la misma senda y contribuirían a ilustrar reacciones químicas en libros de texto. Es el caso de “Chip” Clark (1947-2010), con una sólida formación en física, biología y química, adquirida en la universidad *Virginia Tech*, y desde 1973 fotógrafo del *Smithsonian's National Museum of Natural History* de Washington. Suyas son las fotografías de laboratorio del libro *Química General* de McQuarrie y Rock, publicado en 1984.^[33] También en *Principios Químicos*, de Atkins, Jones y Laverman,^[34] cuya primera edición data de 1999 y en el que también aparecen fotos de Ken Karp. Por su parte Charles D. Winters (Figura 9) realizó un trabajo análogo para ilustrar el libro de Kotz y Purcell *Chemistry and Chemical Reactivity*.^[35] Winters, a la sazón profesor de fotografía en el Departamento de Arte de la *State University of New York* en Oneonta, había realizado varias películas y tres libros de fotografías sobre naturaleza y paisaje, pero a raíz de su primer trabajo sobre temas químicos recibió diversos encargos de la misma editorial, que le acabó proponiendo trabajar en exclusiva a cambio de una substancial mejora en su retribución. Gracias a la excelente calidad de su trabajo recibió también una fuerte subvención para reconvertirse a la fotografía

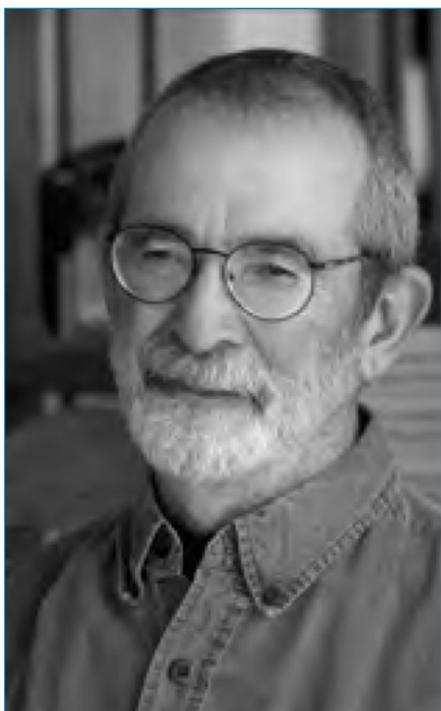


Figura 9. El fotógrafo estadounidense Charles D. Winters. Cortesía de C. D. Winters

digital, y otra para instalar un laboratorio de química en su estudio.^[36]

En el manual de introducción a la química de Earl y Wilford^[37] encontramos numerosas fotos de Andrew Lambert, fundamentalmente de elementos y sus compuestos, junto a una variedad de fotos de diversos autores y agencias o repositorios como Zefa (adquirido en 2005 por Corbis), *Science Photo Library* o *GeoScience Photolibrary* (especialmente fotos de minerales). Más recientemente Herbert Roesky, profesor de la Universidad de Göttingen, ha publicado una trilogía^[38] sobre experimentos atractivos con instrucciones detalladas, ilustrados con fotografías realizadas por el mismo autor. De entre ellas destacan las que muestran colores de reactivos o los dibujos abstractos, la luz o las llamas que acompañan a algunas reacciones. Por ejemplo, una foto de aproximación de un tubo de ensayo en el que reacciona bromo con un hilo de aluminio, la reacción luminosa de polvo de magnesio con hielo seco, o la variedad de colores que un mismo compuesto de hierro puede dar en diez disolventes diferentes.

Theodore Gray, uno de los fundadores de la empresa informática Wolfram y coleccionista de elementos, contactó con Nick Mann, un fotógrafo de Urbana, Illinois, para catalogar y fotografiar las nuevas piezas que se iban incorporando a su colección y que se muestran en el libro *Elements*,^[39] publicado en 2009. La colaboración entre ambos ha continuado posteriormente en los libros *Moléculas*,^[40] y *Reactions*.^[41] Los tres libros se basan fundamentalmente en excelentes fotografías, impresas sobre fondo negro, aunque con una maquetación y textos superpuestos que restan

frecuentemente protagonismo a las propias fotos. En el caso de Mann, no sólo la iluminación de los especímenes fotografiados requirió especial cuidado, sino que incluso la elección del fondo negro se hizo después de probar una docena de tonalidades de negro. En el caso de las fotografías de reacciones, éstas se hicieron en un estudio fotográfico, al que debió dotarse de una vitrina extractora.^[42] Un precedente al primero de estos tres libros lo podemos encontrar en la obra de Glenn Seaborg y Evans Valens, *Elements of the Universe*, profusamente ilustrada con fotografías en blanco y negro.^[43] En ella se pueden ver muestras de elementos sintéticos aislados en pequeñísimas cantidades: prometio, neodimio, plutonio, neptunio o un óxido de americio. También se aprovechó la elevada radioactividad del curio para fotografiar una solución de una sal de este elemento mediante su propia radiación, técnica que ya había usado Fritz Goro en su artículo de la revista *Life*,^[24] impresionando el papel fotográfico con las trayectorias de las partículas emitidas por una muestra de radio, o para mostrar la luz roja emitida por los neutrones del hidrógeno, ionizado mediante una descarga eléctrica. La obra de Seaborg y Valens se acompaña de textos de otros descubridores de elementos artificiales como Emilio Segré, Ernest O. Lawrence o Albert Ghiorso. El grueso de las fotografías son de Richard Fowler, fotógrafo del que no he encontrado ninguna otra referencia, o son fotogramas de las películas didácticas de 16 mm *The Elements*, en las que participó Seaborg.

OTRAS CONTRIBUCIONES

Me gustaría citar aquí a un gran fotógrafo ruso (Figura 10), Sergei Mikhailovich Prokudin-Gorskii (1863-1944). Originario de San Petersburgo, estudió química, presumiblemente con Mendeléiev, y desarrolló un sistema pionero de fotografía en color. Impresionaba tres imágenes en blanco y negro del mismo sujeto en una única placa de vidrio de 24 x 9 cm, usando un filtro rojo, uno verde y uno azul, respectivamente. La proyección simultánea de las tres imágenes con los correspondientes filtros restituía



Figura 10. El fotógrafo ruso Sergei Prokudin-Gorskii

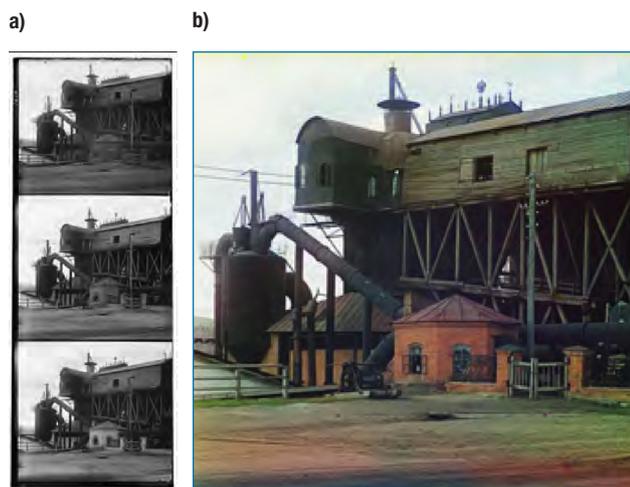


Figura 11. Fotografía de un alto horno por Sergei Prokudin-Gorskii:
a) Negativos hechos con filtros rojo, verde y azul en una misma placa de vidrio.
b) Imagen resultante en tricromía. Archivos de la *Library of Congress*

los colores originales (Figura 11). Prokudin-Gorskii consiguió la autorización y el patrocinio del zar Nicolás II para recorrer todos los rincones del imperio ruso y documentar gráficamente su diversidad paisajística y étnica. Entre una magnífica colección de fotos, conservadas en gran parte en la biblioteca del Congreso de EE. UU., podemos encontrar una de un laboratorio ruso datada en 1905, así como diversas tomas de instalaciones industriales: altos hornos, fábricas de vidrio, de espadas o de algodón.

En otro terreno y en otra época, no deberían pasar inadvertidas las fotografías de pigmentos de la colección Forbes de la *Harvard University*, debidas a la canadiense Pascale Georigiev, fotógrafa, comisaria y promotora editorial y cultural.^[44]

En el terreno de la fotografía industrial, además de los ya mencionados Bochsler, Prokudin-Gorskii y Patzsch-Renger, propongo tan solo alguna pista más para que el lector interesado pueda seguir estos cabos sueltos y elaborar una perspectiva más amplia. Por un lado, el gran fotógrafo de la naturaleza Edward Weston (1886- 1958) realizó una serie de fotografías de una acería (Amco Steel, Ohio, 1922) que marcaron un cambio de rumbo de la fotografía pictorialista de tonos suaves a una más precisa y contrastada, casi geométrica, que acercaba la fotografía al arte abstracto. Por otro lado, Jorge Calado, profesor emérito de química física del Instituto Superior Técnico de Lisboa, crítico musical y cultural, actuó como comisario de una extensa exposición en la Fundación Calouste Gulbenkian de Lisboa, con ocasión del 50 aniversario de la misma, dedicada a la fotografía y la ingeniería. El impresionante catálogo^[45] permite apreciar sugerentes imágenes de plantas químicas en un amplísimo contexto temporal y temático.

Dentro del campo de la fotografía científica podemos destacar a Berenice Abbott (1898-1991), muy conocida por sus fotografías del Nueva York de la década de 1930. Posteriormente fue directora de fotografía de *Science Illustrated*,

donde a menudo desarrolló equipos y técnicas personales para obtener las imágenes que quería,^[47] y en 1958 se unió al *Physical Science Study Committee*,^[47] un equipo de científicos del MIT que pretendía elaborar un nuevo currículum para enseñar los principios de la física mediante experimentos y explicaciones elocuentes, y su papel consistió en proveer las fotografías necesarias.

A los ojos de un químico resultan atractivas sus fotos de burbujas de jabón, del moho de la penicilina, o de unas limaduras de hierro que dibujan las líneas de un campo magnético. El libro *Documenting Science* (2012) recoge lo mejor de su trabajo en el campo de la fotografía científica.^[49]

Para quienes estén interesados en practicar la fotografía en el laboratorio, Felice Frankel, investigadora del *Materials Research Laboratory* del MIT, propone en un libro ejemplos de su trabajo como fotógrafa científica y aborda algunos aspectos técnicos a tener en cuenta.^[50]

Después de unos capítulos introductorios y de otro dedicado a conceptos básicos de fotografía, la autora ofrece consejos para macrofotografía de objetos pequeños y para fotografía a través de microscopios, ofreciendo ejemplos de cómo se pueden modificar los resultados de una foto mediante la iluminación, el encuadre, el fondo, el ángulo de toma, la profundidad de campo, o la incorporación de una referencia de escala. El problema de dar una referencia de escala en una foto de un objeto pequeño se puede resolver de diversas formas, de las cuales la más común es seguramente colocar una moneda junto al objeto fotografiado. Una de las más brillantes, sin embargo, es la adoptada por un fotógrafo anónimo para dar idea de la pequeñísima cantidad de hidróxido de americio que se pudo aislar y consistente en situar junto al capilar que contenía el precipitado la cabeza de una aguja de coser.^[51] Si el objetivo de Frankel es elaborar documentación gráfica de fenómenos científicos, el del fotógrafo alemán Manfred P. Kage es utilizar imágenes microscópicas para hacer arte abstracto. Kage descubrió la microfotografía como técnico químico y se dedicó a manipular el crecimiento de cristales variando las sustancias, la temperatura o la presión, y a experimentar con las condiciones de iluminación y con el uso de luz polarizada.

Por último, y en otro orden de cosas, merece una breve mención Thomas J. Abercrombie (1930-2006), fotógrafo aventurero, cuyo contacto con la química es pequeño pero substancioso. Abercrombie realizó una fotografía de Robert Burns Woodward con un modelo molecular de la clorofila, para ilustrar un artículo sobre el ciclo de la vida en el mar publicado en la revista *National Geographic*.^[52] Una recreación de esa foto fue empleada posteriormente en la portada del disco del grupo de rock *Four Out of Five Doctors* (Figura 12).

CONSIDERACIONES FINALES

El estudio preliminar presentado aquí muestra cómo durante la segunda mitad del siglo XIX, tras el desarrollo del daguerrotipo, la técnica del colodión y el heliograbado se

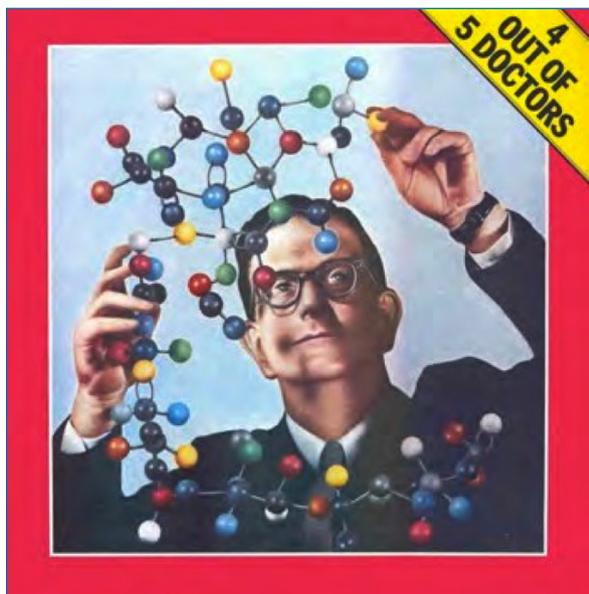


Figura 12. Portada de un disco publicado en 1980 que utilizó una adaptación de una fotografía de Robert B. Woodward con un modelo molecular de la clorofila, hecha por Thomas J. Abercrombie en 1961

publicaron retratos de químicos en algunos libros y en obituarios que aparecían en revistas especializadas. Sin duda, los pesados equipos necesarios para la captación de imágenes y el coste de su procesado limitaron la aplicación de la fotografía a los retratos de estudio. Durante la primera mitad del siglo xx el uso sistemático de imágenes fotográficas en blanco y negro en libros de química se vio limitado a algunos casos de manuales de química general, entre los cuales marcó un hito el libro editado por George C. Pimentel publicado en 1963. La misma tendencia se aprecia a partir de la década de 1980 con la incorporación masiva de fotografías en color a los manuales, sin duda gracias a que el amplio mercado de los libros de química general hace más rentable el sobrecoste de producción e impresión de imágenes en color que en el caso de textos más especializados. Siguiendo la pauta establecida por el químico Ronald Gillespie y el fotógrafo Tom Boschler aparecen diversos fotógrafos que registran una plétora de imágenes químicas, como Chip Clark, Charles D. Winters, Andrew Lambert o Nick Mann, así como de agencias que acumulan amplísimos repositorios de esas imágenes, a los cuales podemos añadir la variadísima colección de fotografías del proyecto *Chemistry in Pictures* que la revista *Chemical and Engineering News* inició en 2004.^[53]

De este estudio se podría extraer como conclusión provisional que la fotografía ha sido tradicionalmente poco utilizada como fuente de documentación gráfica en los textos químicos. Esta tendencia contrasta con la omnipresencia de dibujos y grabados y, en las últimas décadas, de imágenes de superficies y nanocristales, obtenidas mediante técnicas como la microscopía electrónica o la microscopía de efecto túnel. Una exploración preliminar del mundo de las imágenes fotográficas de la química nos

permite poner en valor la aproximación a la química en el trabajo de fotógrafos como Albert Renger-Patzsch, Fritz Goro, Sergei Prokudin-Gorskii, pero también la calidad artística de fotógrafos que han sido auténticos especialistas de la fotografía química como Tom Bochler y Charles Winters. Todo ello nos debería estimular a continuar explorando esa parcela de la fotografía científica en la cual documentación gráfica y arte van de la mano.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Tom Bochler y Charles Winters sus explicaciones e impresiones, así como su autorización para reproducir las imágenes de las Figuras 8 y 9, a Gabriel Pinto por sugerir el nombre de Benjamin Couprie, y a Franklin Lambert por facilitarle información sobre el mismo.

REFERENCIAS

- [1] M. Kemp; *Visualizations. The Nature Book of Art and Science*; Oxford University Press: Oxford, **2000**.
- [2] B. Burbridge, ed. *Revelations*, Mack, Londres, **2015**.
- [3] T. Mulligan, D. Woollins, eds. *Historia de la fotografía. De 1839 a la actualidad*, Taschen, Colonia, **2012**.
- [4] H. M. Smith; *Torchbeares of Chemistry*; Academic Press: New York, **1949**.
- [5] Emilio Segré Visual Archives: <http://photos.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/photos>.
- [6] Edgar Fahs Smith Memorial Collection: <http://sceti.library.upenn.edu/sceti/smith/index.cfm>.
- [7] Science History Institute: <https://www.sciencehistory.org/photographs>.
- [8] Solvay Institutes Photo Gallery: http://www.solvayinstitutes.be/html/photo_gallery_so_lvayconf_chemistry.html.
- [9] Societé Chimique de France; *Cinquantenaire de la Societé Chimique de France*, Gauthier-Villars: París, **1908**.
- [10] L. Lestel, ed. *Itinéraires de chimistes. 1857-2007, 150 ans de chimie en France avec les présidents de la SFC*, EDP Sciences, París, **2007**.
- [11] U. Elorriaga; *El pelo de Van't Hoff*, Alfaguara: Madrid, **2003**; 208.
- [12] C. W. Foulk, *J. Chem. Educ.* **1934**, *11*, 355-359.
- [13] F. Lambert, correo electrónico, **2018**.
- [14] E. Homburg, D. Fauque, P. J. T. Morris, F. Calascibetta, S. Alvarez, *Chem. Int.*, en prensa.
- [15] Schött; Jenaer Glas für Laboratorien; Jena, **1937**.
- [16] I. F. Walther, ed. *Arte del siglo XX*, Taschen, Colonia, **2012**, vol. 2.
- [17] Fundación-Mapfre; *Albert Renger-Patzsch*; Editions Xavier Barral: París, **2017**.
- [18] D. B. Kuspit, ed. *Albert Renger-Patzsch. Joy Before the Object*, Paul Getty Museum, Los Angeles, **1993**.
- [19] E. S. Johnson, *J. Am. Chem. Soc.* **1897**, *19*, 281.
- [20] F. B. Forbes, *J. Am. Chem. Soc.* **1904**, *26*, 382-388.
- [21] E. Frémy, M. Carnot, M. Jungfleisch, M. Terreil; *Les laboratoires de Chimie*; Dunod: París, **1881**.

- [22] Secretary of State; *Reports of the United States Commissioners to the Universal Exposition of 1889 at Paris*; Government Printing Office: Washington, **1891**; vol. 2.
- [23] T. Goreau, P. Goreau, S. Goreau; *On the Nature of Things. The Scientific Photography of Fritz Goro*; Aperture: New York, **1993**.
- [24] R. Campbell, F. Goro, *Life* **1949**, May 16, 68-88.
- [25] D. Birnbaum, *Popular Photography* **1949**, octubre, 18.
- [26] H. Grandmontagne, H. Grandmontagne; *Cours expérimental de Chimie*, 3 ed.; Librairie Larousse: París, **1915**.
- [27] W. C. Morgan, J. A. Lyman; *Chemistry. An Elementary Text-Book*; MacMillan: New York, **1913**.
- [28] N. N. Greenwood, A. Earnshaw; *Chemistry of the Elements*; Pergamon Press: New York, **1984**.
- [29] G. C. Pimentel, ed. *Química: una ciencia experimental*, Reverté, Barcelona, **1982**.
- [30] R. J. Gillespie, D. A. Humphreys, N. C. Baird, E. Robinson; *Química*; Reverté: Barcelona, **1990**.
- [31] T. Bochsler, correo electrónico, **2018**.
- [32] T. Bochsler; *The Art of Industry: 50 Years of Photography*; Heart Publishing: Hamilton, Ontario, **2010**.
- [33] D. A. McQuarrie, P. A. Rock; *General Chemistry*; 1a ed.; W. H. Freeman: New York, **1984**.
- [34] P. Atkins, L. Jones, L. Laverman; *Chemical Principles. The Quest for Insight*; 7a ed.; W. H. Freeman: New York, **2016**.
- [35] J. C. Kotz, K. F. Purcell; *Chemistry and Chemical Reactivity*; Saunders: Philadelphia, **1987**.
- [36] C. D. Winters, correo electrónico, **2018**.
- [37] B. Earl, D. Wilford; *Chemistry*; Hodder Education: Londres, **1996**.
- [38] H. W. Roesky; *Spectacular Chemical Experiments*; Wiley-VCH: Weinheim, **2007**; H. W. Roesky, K. Möckel; *Chemical Curiosities*; VCH: Weinheim, **1996**; H. W. Roesky; *Chemie en miniature*; Wiley-VCH: Weinheim, **1998**.
- [39] T. Gray, N. Mann; *Elements: A Visual Exploration of Every Known Atom in the Universe*; Black Dog & Leventhal: New York, **2009**.
- [40] T. Gray; *Moléculas*; Vox: Barcelona, **2015**.
- [41] T. Gray; *Reactions: An Illustrated Exploration of Elements, Molecules, and Change in the Universe*; Black Dog & Leventhal: New York, **2017**.
- [42] B. Halford, *Chem. Eng. News* **2017**, 95, 26-27.
- [43] G. T. Seaborg, E. G. Valens; *Elements of the Universe*; E. P. Dutton and Company: New York, **1958**.
- [44] V. Finlay, N. Khandekar, K. Trinder; *An Atlas of Rare & Familiar Colour*; Atelier Éditions: Los Angeles, **2017**.
- [45] J. Calado; *INGenuidades. Fotografia e Engenharia 1846-2006*; Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa, **2004**.
- [46] Archivos de la *Library of Congress*: <http://www.loc.gov/exhibits/empire/index.html>.
- [47] J. Van Haften, ed. *Berenice Abbott. Photographer: A Modern Vision*, The New York Public Library, New York, **1989**.
- [48] Physical Science Study Committee; *Física*; Reverté: Barcelona, **1962**.
- [49] R. Kurtz, ed. *Berenice Abbott: Documenting Science*, Steidl, Göttingen, **2012**.
- [50] F. Frankel; *Envisioning Science. The Design and Craft of the Science Image*; MIT Press: Cambridge, Massachusetts, **2002**.
- [51] G. T. Seaborg, W. D. Loveland; *The Elements Beyond Uranium*; Wiley: New York, **1990**.
- [52] T. J. Abercrombie, *National Geographic* **1961**, 119, 214.
- [53] *Chemistry in Pictures*: <http://cenm.ag/chemistryinpictures>.



EuChemS
European Chemical Society

IYPT2019

**International Year of the Periodic Table
of Chemical Elements**

IUPAC
INTERNATIONAL UNION OF
PURE AND APPLIED CHEMISTRY

UNESCO
United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization

2019
International Year
of the Periodic Table
of Chemical Elements