

# La presencia de la Química en los billetes bancarios

Óscar Rodríguez Montoro

**Resumen:** La presencia de la Química en todo lo relacionado con la impresión de papel moneda, es muy significativa. Desde los pigmentos utilizados, tintas magnéticas de seguridad impresa, falsificaciones, microorganismos,... hasta las ilustraciones y los grandes científicos retratados. En el presente trabajo se hace una recopilación de todas ellas a la vez.

**Palabras clave:** historia de la Química, billetes, seguridad impresa, tintas, falsificaciones.

**Abstract:** The presence of Chemistry in everything related to the printing of paper money is very significant. From the pigments used, magnetic inks as security marks, counterfeits, microorganisms... to illustrations and the great scientists portrayed. In the present work a compilation of all of them is made at the same time in the same manuscript.

**Keywords:** history of Chemistry, banknotes, security printing, inks, counterfeits.

## INTRODUCCIÓN

Los billetes, esas pequeñas piezas de papel moneda que nos acompañan doblados en nuestros bolsillos y carteras, normalmente de manera efímera. Compañeros de viaje que dejamos olvidados en abrigo y que al año siguiente, al reencontrarnos con ellos accidentalmente, nos arrancan una sonrisa. Trozos de papel de todos los colores, capaces de hablar en todos los idiomas del mundo y que guardan cada uno, una pequeña historia dentro. Piezas de coleccionista que en secreto son pequeños laboratorios en sí mismo, guardando clases magistrales de Química, Biología, Física, Arte, Historia de la Ciencia, etc.

En el presente manuscrito se hará una recopilación de los detalles más característicos de los billetes en los que está presente la Química; centrándonos, posteriormente, en detalles impresos en los billetes mundiales, en relación con grandes científicos que han protagonizado estas pequeñas obras de arte.



Ó. Rodríguez  
Montoro

Dpto. Química-Física.  
Universidad Complutense de Madrid  
Avda. Complutense s/n. 28040. Madrid. España  
C-e: ormontoro@ucm.es

Recibido: 13/08/2020. Aceptado: 05/10/2020.

## ¡TENGO VIDA!

Los billetes por tener, tienen literalmente vida propia, tal y como el artista estadounidense Ken Rinaldo expuso recientemente su obra *Borderless Bacteria/Colonialist Cash* en el Laboratorio de Arte de Berlín.<sup>[1]</sup> En dicha exposición se mostró la vida que existe sobre los trozos de papel moneda que se manejan a diario. Las obras consisten en placas petri con agar, para solidificar el medio, y en su interior los billetes como superficie de cultivo (véase Figura 1). Hasta 3.000 tipos de microbios puede llegar a albergar un billete, la mayoría de ellos provenientes de la piel, la boca y la vagina humanas.<sup>[2]</sup>



**Figura 1.** Billetes cultivados con agar en placas transparentes durante varios días, repletos de colonias de bacterianas y hongos (Exposición *Borderless Bacteria/Colonialist Cash* en el Laboratorio de Arte de Berlín)<sup>[1]</sup>

## ¡ENSÉÑAME LA PASTA!

Esta proliferación de vida se debe a la propia composición orgánica de la base de los billetes,<sup>[3]</sup> que están hechos generalmente de papel de algodón. Generalmente, el algodón es usado en su forma transgénica, mezclándose con lino u otro tipo de fibras para aumentar su vida útil.

En China en el año 118 a.C., durante la dinastía Han, aparecieron los primeros pagarés hechos de pieles curtidas de los gamos sagrados que moraban en el Palacio Real. Pero los primeros billetes con base de papel, que también tienen sus orígenes en China, no aparecieron hasta la Dinastía Tang (618-907 d.C.). Comenzando a ser usados en los recibos de depósitos de los comerciantes, para evitar desplazar gran cantidad de monedas de cobre en sus viajes y grandes transacciones comerciales.

Los primeros billetes (véase Figura 2) estaban fabricados en papel elaborado a partir de la corteza de la morera del papel o mora turca (*Broussonetia papyrifera*). Curiosamente, esta planta en francés recibe el nombre de *le mûrier d'Espagne*.

El uso de las pastas de papel para la elaboración del dinero fue evolucionando con la sociedad.<sup>[5]</sup> Actualmente están hechos de mezcla de fibras naturales, como lino y algodón, por lo que estrictamente no están elaborados de pasta de papel, sino de tela. Para los billetes de euro, la Unión Europea permite el uso de algodón transgénico,<sup>[6]</sup> conllevando un descenso de uso de plaguicidas a nivel mundial (pero supone un daño económico, ya que todo este material es importado, al no permitirse la plantación de algodón transgénico en la Unión Europea...).



**Figura 2.** Billete "Yi Guan" de la dinastía Ming (1368-1644 d.C.) descubierto en el año 2016 en el interior de una escultura de madera de un Luohan (individuo que ha alcanzado el Nirvana)<sup>[4]</sup>

Actualmente, la tendencia es abandonar el uso de la pasta de papel y recurrir a polímeros para rebajar los costes de producción y el impacto medioambiental, o recurrir a la combinación de ambas materias primas. Costa Rica y Haití en 1983, emitieron los primeros billetes de plástico de fibras de polietileno, material comercializado como Tyvek™ y desarrollados por DuPont Corporation.<sup>[7]</sup> Estas piezas dejaron de utilizarse porque eran resbaladizas y su tinta se desvanecía. Pero en 1988, después de años de investigación científica, Australia<sup>[3]</sup> produjo el primer billete de polímero hecho de polipropileno (plástico) biaxialmente orientado y, en 1996 se convirtió en el primer país en reemplazar completamente sus billetes de papel. Posteriormente, muchos países, entre ellos los hispanoamericanos Brasil, Chile, Guatemala, República Dominicana, México y Paraguay, adoptaron este polímero como base de sus billetes.

## ¡LLAMEN A SEGURIDAD!

El proceso de elaboración de billetes de banco mediante moldes, en el que se incorporan marcas de agua e hilos de seguridad durante el proceso de formación del papel,<sup>[8]</sup> es el más utilizado. La marca de agua se consigue durante el proceso de creación de las láminas de papel, dejando reposar la pasta de papel en planchas sobre diferentes espesores inapreciables, que terminan dejando la filigrana característica. Entre las capas de esta pasta, se suelen incluir hilos con marcas específicas de seguridad (véase Figura 3). Existiendo dos tipos: El primero, un delgado hilo de poliéster recubierto de aluminio con microimpresión que está incrustado en el papel del billete. Y el segundo, un hilo de seguridad de coser simple



**Figura 3.** Marca de agua (o filigrana), e hilo de seguridad en el billete de 20 euros<sup>[4]</sup>

o multicolor hecho de algodón o fibras sintéticas, en su mayoría fluorescentes a la radiación ultravioleta, UV.

Aunque el hilo es la característica de seguridad más utilizada en billetes de todo el mundo, cada día se incorporan nuevos sistemas de seguridad,<sup>[9]</sup> que incluyen elementos holográficos, iridiscentes, magnéticos, fluorescentes e incluso *upconversion* (conversión ascendente de fotones), y microimpresión.

Los hologramas (véase Figura 4) que se incorporan a los billetes son etiquetas de seguridad complicadas de falsificar, porque se reproducen a partir de un holograma maestro que requiere equipos costosos y tecnológicamente avanzados.<sup>[9]</sup>

Los hologramas e hilos de seguridad, con el avance de la tecnología, han conseguido incorporar la técnica de ventana (Figura 5), haciendo que en estos elementos se incorporen elementos transparentes y que incluso, solo aparezcan en una de las caras del billete. Estas características dificultan en gran medida la falsificación.

También resulta útil la utilización de la marca sobre los billetes de papel,<sup>[5,8]</sup> con rotulador especial a base de lugol (yodo molecular  $I_2$  y yoduro de potasio KI en agua destilada). Que consiste en la formación o no, de cadenas de iones  $I_3^-$  entre el almidón del papel (véase Figura 5). Al pasar el rotulador por los billetes falsos, fabricados con papel normal que contiene almidón, éstos se “manchan” debido a la reacción de formación del complejo oscuro del triyoduro con las hélices de amilosa. Mientras, que los billetes legales fabricados de algodón transgénico, que poseen amilopectina (en lugar de amilosa) y las moléculas de triyoduro, son incapaces de reaccionar, no produciéndose complejo coloreado.

Las impresoras modernas utilizadas en la impresión de papel moneda permiten que se incorporen nuevas

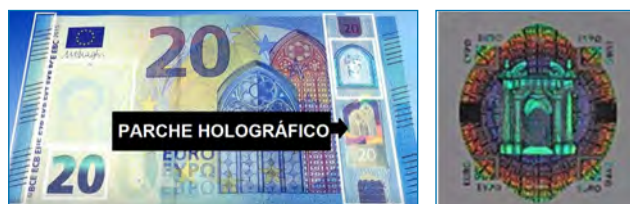


Figura 4. Parches holográficos reflectantes en billetes de 20 euros y 100 euros, respectivamente



Figura 5. Izquierda: Ventana holográfica transparente incorporada en las tiras reflectantes (billete de 20 euros), mostrando el retrato del personaje mitológico Europa, que puede verse en ambos caras del billete. Derecha: Marca realizada con rotulador con base de lugol, sobre papel rico en amilopectina (no deja marca coloreada) y sobre papel normal de amilosa (deja marca oscura)



Figura 6. Arriba: marcas en los laterales en relieve reconocibles al tacto y halos de pequeñas dimensiones impresos en los billetes de euro. Abajo: marcas anti-copia: Patrones geométricos incorporados en el papel moneda, para que las impresoras modernas rehúsen realizar su copia al ser detectados

medidas de seguridad (véase Figura 6), como son la impresión en relieve, halos impresos de muy pequeño tamaño ocultos a simple vista y la inclusión de patrones de símbolos anti-copia. Para estos últimos, los billetes de euro incorporan un patrón de símbolos verde amarillentos (representando la constelación de Eurión) en forma de “donuts”, que al ser escaneados o fotocopiados por impresoras homologadas, reconocen que se trata de un billete y rehúsan a fotocopiarlo.<sup>[10]</sup>

En los billetes realizados sobre una base polimérica, se adaptan los elementos de seguridad existentes obteniendo novedosos diseños. En la Figura 7 y en la referencia mostrada para el billete de 100 dólares neozelandés,<sup>[11]</sup> al que nos referiremos más adelante por la imagen que aparece en él, se pueden observar estos novedosos diseños.



Figura 7. Billete de 100 dólares neozelandés de base polimérica, que adapta las medidas de seguridad del papel moneda a este material<sup>[11]</sup>

## LA PALETA DEL PINTOR

Para toda obra maestra, se requiere de una materia prima. Para las pequeñas obras de arte que encarnan los billetes, se necesita de los pigmentos y tinturas. La gran variedad de pigmentos utilizados en la elaboración de los billetes no guardan grandes secretos, respecto a los usados en otras actividades.<sup>[12]</sup> En esencia, y a excepción de los pigmentos artificiales creados en tiempos más contemporáneos, no difieren mucho de los utilizados en su momento por Rafael Sanzio (1483-1520)<sup>[13]</sup> para pintar por ejemplo, la pintura al fresco de “la Escuela de Atenas” de las estancias del Palacio apostólico del Vaticano. Véase la Figura 8, con el billete conmemorativo de dicha obra, de 500.000 antiguas liras, en la que aparecen los grandes pensadores clásicos y los primeros “científicos” de la historia.

Otro gran genio renacentista que se introdujo en el manejo de las bases de la Alquimia y la Metalurgia durante su aprendizaje en los talleres de su mentor Verrocchio, fue Leonardo da Vinci (1452-1519)<sup>[14]</sup>; homenajeado en el billete de 500.000 de las antigua liras, fuera ya de circulación de la Figura 9.

Una clara evidencia de que la receta de los pigmentos utilizados, por ejemplo, en los billetes de euro es bastante común, está en el detalle de las licitaciones que la Casa de Moneda y Timbre<sup>[15]</sup> saca para contratar proveedores de cartuchos de tinta de impresora de la marca Epson<sup>TM</sup>, algo accesible al público en general.

Las medidas de seguridad también pueden ser incorporadas a través del uso de tintas con características específicas.



Figura 8. Escuela de Atenas. Billete de 500.000 liras italianas (1997)

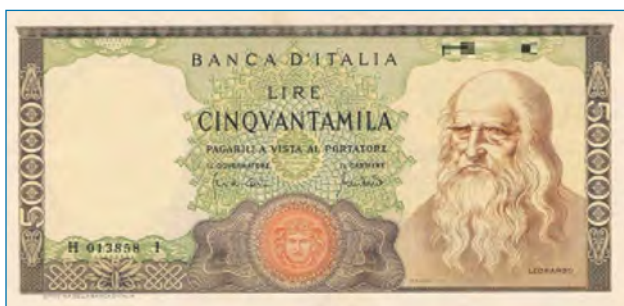


Figura 9. Leonardo da Vinci. Billete de 50.000 liras italianas (1970)

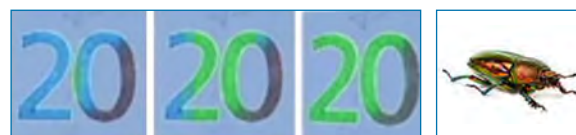


Figura 10. Uso de la tinta iridiscente en los billetes de euro. Fenómeno que hace cambiar de color gradualmente a medida que cambia el ángulo de visión o el ángulo de iluminación. Este fenómeno se da en la naturaleza, entre otros, en el exoesqueleto iridiscente del escarabajo ciervo dorado

Una característica típica de los billetes de euro es el uso de tintas ópticamente variables (*Optically variable ink*, OV) que cambian de color según el ángulo del observador (véase Figura 10) y la incidencia de la luz (iridescencia o *Pearlescent coating* referido a la tinta).<sup>[16]</sup>

Otra posibilidad que ofrecen los pigmentos, es el uso de tintas magnéticas<sup>[17]</sup> (véase Figura 11), usadas en los números de serie de los billetes y/o en otras zonas deseadas, que son capaces de ser detectados por máquinas al uso.

El uso de compuestos fluorescentes<sup>[18]</sup> bajo la luz ultravioleta (véase Figura 12), es otro recurso muy utilizado como medida de seguridad en los billetes. En los billetes de euros se usan complejos fluorescentes rojos de europio, complejos fluorescentes verdes de terbio y mezclas de ellos para obtener el amarillo-anaranjado.

Recientemente en algunos países, se ha incorporado como medida de seguridad el uso de tintas con nanopartículas de conversión ascendente de fotones (*upconversion*, véase Figura 13) y materiales de lantánidos capaces de emitir luz, por radiación previa de infrarrojo cercano,<sup>[19]</sup> para mostrar la autenticidad de los billetes.



Figura 11. Número de serie impreso con tinta magnética, detectable con pequeñas máquinas que manifiestan campos electromagnéticos



Figura 12. Billete de 50 euros bajo radiación ultravioleta, donde se aprecia el rojo, verde y anaranjado, fruto de los complejos de europio, terbio y mezcla de ambos, respectivamente



**Figura 13.** Billeto de 100 yuan o remimbi, impreso en zonas estratégicas con tintas de conversión ascendente de fotones (*upconversion*), capaces de emitir radiación bajo excitación infrarroja

La utilización de técnicas espectroscópicas para la labor forense de detección de pigmentos falsos o distintos a los utilizados en la impresión del papel moneda son: la técnica Mößbauer para pigmentos ricos en hierro y la fluorescencia de rayos X para conocer la composición atómica;<sup>[20]</sup> y la espectroscopia Raman<sup>[21]</sup> para el resto de pigmentos, al ser una técnica que no destruye las muestras de los billetes. Pero el fácil acceso a los pigmentos utilizados en los billetes a través de consumibles comerciales de cartuchos de tinta, hace de todas ellas casi más unas técnicas de apoyo para los propios defraudadores, brindando en bandeja las herramientas para conocer composiciones de tintas, que herramientas antifraude.

## PODEROSO CABALLERO ES DON DINERO

El escritor Francisco de Quevedo y Villegas (1580-1645), en la poesía “Poderoso caballero es don Dinero” criticó el contexto social de su época por la búsqueda de dinero, con razón. Pero los maravillosos especímenes de billetes que a continuación enumeraremos, repletos de referencias e ilustres científicos, ni el mismo Quevedo se hubiera atrevido a criticarlos.

La aparición de científicos y grandes pensadores en los billetes ha sido utilizada en numerosas ocasiones por diferentes países. En el presente epígrafe nos centraremos en científicos que marcaron hitos en aspectos relacionados con la Química. Se recopilan en tres bloques de billetes: con detalles químicos impresos, con combinaciones de detalles y la imagen de personajes ilustres en el campo de la Química, y billetes con solo figuras de ilustres en relación con logros en Química. Presentándolos todos ellos, por orden cronológico referente a su fecha de emisión. Lamentablemente, los billetes de euro todavía no se han apuntado a tan magnífica iniciativa.

### Detalles químicos en billetes

El uso de detalles alegóricos a la Química de forma aislada, no ha sido un recurso muy utilizado en el papel moneda. Pero aun así, se encuentra algún ejemplo, como los mostrados a continuación:

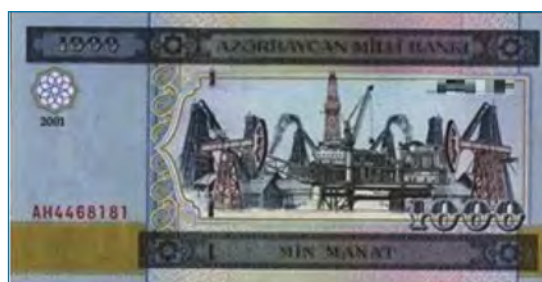


**Figura 14.** Cristal de hierro. Billeto de 20 francos belgas (1964)

En el billete de 20 francos belgas de 1964 (véase Figura 14), aparece representada la celda unidad del hierro (cúbica centrada en el cuerpo), en clara alusión al monumento “Atomium” situado en el parque de Heysel en Bruselas (Bélgica), formado por una estructura de 102 metros de altura construida para la Exposición de Bruselas de 1958.

La familia de Alfred Nobel, allá por el año 1873, comenzó a involucrarse en el negocio de la explotación del petróleo de Azerbaiyán, (conocido como “la tierra del fuego” debido a sus ricas reservas de petróleo y gas). Los tres hermanos (Ludvig, Robert y Alfred Nobel) fundaron la Compañía Petrolera “Branobel” en 1879. A principios del siglo XX era la segunda empresa petrolera más grande del mundo, lo que les permitió amasar una gran fortuna, entregado una buena parte a obras de caridad, subvenciones, becas, escuelas y hospitales. En la Figura 15, se muestra el anverso del billete de 1.000 manats de la República de Azerbaiyán, haciendo alusión a la enorme actividad económica del país en torno la industria petrolífera.

En la misma línea de la industria petrolífera de Azerbaiyán, nos encontramos el billete de 50 manats (véase Figura 16), en el que aparecen las conocidas como “estructuras de Kekulé” resonantes de la molécula de benceno.<sup>[22]</sup>



**Figura 15.** Industria petrolífera. Billeto de 1.000 manats azeríes (2001)



**Figura 16.** Estructura de Kekulé. Billeto de 50 manats azeríes (2014)

Imágenes de científicos junto con detalles químicos

En la Figura 17, aparece el anverso del billete de 5 francos franceses de 1966, con la imagen de Louis Pasteur (1822-1895)<sup>[23]</sup> en primer plano, y en el fondo, utensilios de laboratorio, junto con un microscopio. Pasteur es considerado el padre de la Microbiología y de la técnica conocida como “pasteurización” (eliminación de parte o todos los gérmenes de un producto elevando su temperatura durante un corto tiempo), que permitió desarrollar la esterilización por autoclave.



Figura 17. Louis Pasteur. Billeto de 5 francos franceses (1966)

En la Figura 18, se presenta el billete de 100 dracmas griegos de 1967, donde además del busto de Demócrito (460-370 a.C.),<sup>[24]</sup> aparece dibujado la estructura de un átomo. En clara alusión a la idea del filósofo, que teorizó cortando piedras, de que la materia estaba formada por trozos infinitesimales indivisibles (átomos), únicos y diferentes de los átomos de otros materiales, como la piel. La imagen de Demócrito también fue usada en otros billetes más antiguos de dracmas, como el de 20 dracmas griegos de 1955.



Figura 18. Demócrito. Billeto de 100 dracmas griegos (1967)

Hans Christian Ørsted (1777-1851),<sup>[25]</sup> físico y químico danés, conocido por haber descubierto de forma experimental la relación física entre la electricidad y el magnetismo, (además de aislar el aluminio), aparece en el billete de la Figura 19, junto con una brújula aparentemente magnetizada.

El ganador del premio Nobel de Medicina en 1908, Paul Ehrlich (1854-1915),<sup>[26]</sup> eminente médico y bacteriólogo alemán, aparece en el billete de 200 marcos de 1970.

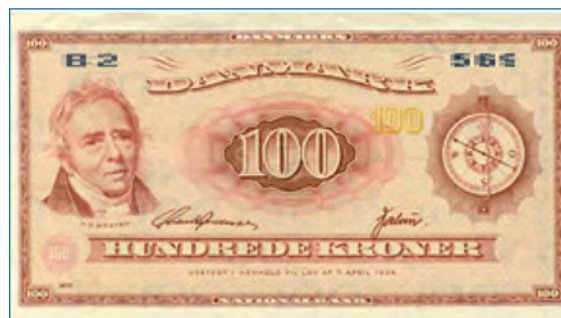


Figura 19. Hans Christian Ørsted. Billeto de 100 coronas danesas (1970)

En la Figura 20, aparece la molécula de arsfenamina descubierta por él, siendo uno de los primeros fármacos que curó la enfermedad infecciosa con una alta tasa de mortalidad: la sífilis.



Figura 20. Paul Ehrlich. Billeto de 200 marcos alemanes (1970)

La Figura 21 honra la imagen de Alessandro Volta (1745-1827)<sup>[27]</sup> y su descubrimiento más famoso: la pila o columna, que inicialmente llamó “órgano eléctrico artificial”, estudiando los efectos del galvanismo sobre las ancas de rana, de forma alterna; logrando que se generara un flujo eléctrico conectando con un alambre los discos situados en los extremos.



Figura 21. Alessandro Volta. Billeto de 10.000 liras italianas (1984)

Recurrir a la imagen icónica de Marie Skłodowska Curie (1867-1934),<sup>[28]</sup> ha sido habitual en la impresión del papel moneda. Pionera en la investigación sobre la



Figura 22. Marie Curie. Billeto de 20.000 esloties polacos (1989)

radiactividad, y primera persona en recibir dos premios Nobel en distintas modalidades, Física y Química.

El país natal de Marie Curie, Polonia, utilizó su imagen en el billete de 20.000 esloties (Figura 22) polacos en el anverso, y en el reverso del mismo, la ilustración de las barras de grafito de un reactor nuclear.

En la Figura 23, tenemos el billete con la imagen de Carl Friedrich Gauss (1777-1855),<sup>[29]</sup> conocido en el campo de la Química principalmente por sus trabajos con las ecuaciones del magnetismo que llevan su nombre, y por la función gaussiana, representada en el billete.

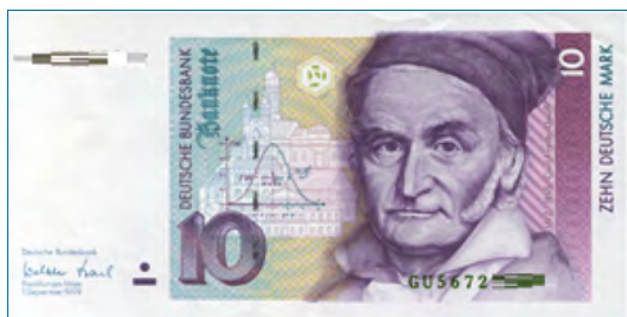


Figura 23. Carl Gauss. Billeto de 10 marcos alemanes (1991)

En la Figura 24 se muestra la imagen de Michael Faraday, (1791-1867),<sup>[30]</sup> junto con alguno de sus experimentos más famosos de fondo. Estudió el electromagnetismo y la electroquímica. Sus principales logros fueron el descubrimiento de la inducción electromagnética, el diamagnetismo y la electrólisis.

El billete de 10 francos suizos de 1997 (Figura 25), recurrió al matemático Leonhard P. Euler (1707-1783),<sup>[31]</sup> que popularizó el uso de la letra "e" (número de Euler o constante de Napier), para la constante irracional



Figura 24. Michael Faraday. Billeto de 20 libras esterlinas (1993)

más importante, cuyo valor es aproximadamente igual a 2,71828, base de los logaritmos naturales, tan utilizados en el cálculo en Química. En el reverso de este mismo billete, se hace alusión a sus estudios en astronomía.



Figura 25. Leonhard Euler. Billeto de 10 francos suizos (1997)

Francia, país de adopción de Marie Curie,<sup>[28]</sup> usó la imagen del matrimonio Curie, para los billetes de 500 francos de 1998 (Figura 26). Pierre Curie (1859-1906),<sup>[32]</sup> fue un físico francés, pionero en el estudio de la radiactividad y descubridor de la piezoelectricidad, que fue galardonado con el premio Nobel de Física en 1903 junto con Marie Curie y Antoine Henri Becquerel. Además, en el anverso del billete, aparecen representadas las partículas alfa y en el reverso, una estructura atómica y utensilios de laboratorio.

En las extintas República Federativa Socialista de Yugoslavia (1936-1991, RFSY) y República Federal de Yugoslavia (1991-2003, actuales Serbia y Montenegro), se recurrió a la fotografía del gran inventor en el campo del electromagnetismo, Nikola Tesla (1856-1943).<sup>[33]</sup> Su imagen<sup>[34]</sup>



Figura 26. Matrimonio Curie. Billeto de 500 francos franceses (1998)

fue usada en los billetes de 5 dinares de 1994; 100 dinares de 1994 y del año 2000; 500 dinares de 1981; 1.000 dinares de 1990, 1991 y 1992; 5.000 dinares de 1993; 5.000.000 dinares de 1993; 10.000.000.000 dinares de 1993. Destaca el billete de curso actual de Serbia de 100 dinares (Figura 27), donde aparece su imagen en el anverso y la definición de la unidad tesla igual al Weber/m<sup>2</sup>.



Figura 27. Nikola Tesla; arriba: Billeto de 100 dinares serbios (2003); abajo: dinares de la extinta Yugoslavia de 1994

Recientemente en 2011, Polonia volvió a utilizar la imagen de la científica Marie Curie,<sup>[28]</sup> para el billete 20 eslotis (véase Figura 28), pero devaluado respecto al emitido en 1989. En el anverso aparece la imagen de la científica y en el reverso, la medalla que reciben los laureados con el premio Nobel, con la imagen acuñada del propio Alfred Nobel.



Figura 28. Marie Curie. Billeto actual de 20 eslotis polacos (2011)

El billete de 50 libras esterlinas de 2011 (véase Figura 29), introdujo en su reverso, la imagen de dos retratos: el ingeniero y científico escocés James Watt (1736-1819)<sup>[35]</sup> y, el industrial y empresario Matthew Boulton (1728-1809),<sup>[36]</sup> junto con la Whitbread Engine y la Soho Manufactory, de Birmingham, donde mejoraron el primer prototipo de máquina de vapor.<sup>[16]</sup>



Figura 29. Matthew Boulton y James Watt. Reverso del billete de 50 libras esterlinas (2011)

### Billetes solo con la imagen del científico

En Alemania, durante la República de Weimar (1918-1933), se emitió un billete de 20 reichmarks (véase Figura



ra 30), con la imagen de Ernst Werner M. von Siemens (1816-1892).<sup>[37]</sup> Inventor alemán, pionero de la electro-  
tecnia e industrial fundador de la actual conglomerado  
de compañías Siemens AG. En 1841, desarrolló un pro-  
ceso de galvanización (proceso electroquímico para re-  
cubrir un metal con otro distinto); en 1846 un telégrafo  
de aguja y presión, y un sistema de aislamiento de cables  
eléctricos mediante gutapercha (tipo de goma parecida  
al caucho, translúcida, sólida y flexible, que resultó un  
ser termoplástico natural), lo que permitió en la práctica,  
la construcción y el tendido de cables submarinos.



Figura 30. Ernst Werner M. von Siemens. Billeto de 20 reichmarks de 1929

De nuevo Francia rindió culto a dos de sus grandes  
pensadores y científicos en diferentes áreas: a Voltaire  
(François-Marie Arouet, 1694-1778),<sup>[38]</sup> con el billete  
de 10 francos franceses de 1964 y a Blaise Pascal (1623-  
1662),<sup>[39]</sup> en el de 500 francos franceses de 1977 (Figu-  
ra 31). Entre otras muchas cosas, el primero de ellos  
destacó, por la creación del laboratorio en el castillo de



Figura 31. Arriba: Billeto de 10 francos franceses de 1964 de Voltaire; abajo: billete de 500 francos franceses de 1977 de Blaise Pascal

la marquesa de Chatêlet, en Cirey. El segundo realizó in-  
vestigaciones concluyente sobre fluidos y la aclaración de  
conceptos tales como la presión y el vacío.

Albert Einstein (1879-1955),<sup>[40]</sup> icono mundial de la  
ciencia y premio Nobel de Física en 1921 aportó en el  
campo de la Química-Física numerosos trabajos: teoría  
especial de la relatividad, mecánica estadística, efecto fo-  
toeléctrico (por el que recibió el Nobel), entre otros. Fue  
homenajado por Israel en el billete de 5 libras israelíes de  
1968 (véase Figura 32).



Figura 32. Albert Einstein, billete de 5 libras israelíes (1968)

Erwin Schrödinger (1887-1961),<sup>[41]</sup> realizó importan-  
tes contribuciones en mecánica cuántica y termodinám-  
ica. Recibió el premio Nobel de Física en 1933 por el desa-  
rrollo de la ecuación que lleva su nombre (Schrödinger),  
compartido con Paul Dirac. Lo que mereció su aparición  
como homenaje en el billete austriaco de 1.000 chelines  
de 1983 (véase Figura 33).



Figura 33. Erwin Schrödinger. Billeto de 1.000 chelines austriacos (1983)

Cristian Bikerland (1867-1917),<sup>[42]</sup> inventor de la pro-  
ducción de fertilizantes artificiales para la agricultura  
mediante un proceso industrial, denominado Birkeland-  
Eyde, que permite fijar el nitrógeno del aire, aparece re-  
tratado en los billetes de 200 coronas noruegas de 1994  
(véase Figura 34).

En 1991, durante la disolución de la Unión Soviética y  
la fundación de la Federación Rusa, provocando una cri-  
sis financiera que afectó a sus gobiernos locales y regio-  
nales, se emitió el franco de los Urales, unidad monetaria  
emitida en Sverdlovsk (Ekaterinburgo, Rusia) a modo de  
vales. Se imprimió un billete de 100 de estos francos con



Figura 34. C. Bikerland. Billeto de 200 coronas noruegas (1994)



Figura 37. Niels H. D. Bohr. Billeto de 500 coronas danesas (1997)

la imagen de Dimitri Mendeléiev (1834-1907),<sup>[43]</sup> mostrado en la Figura 35. Científico de renombre, tras haber descubierto el patrón subyacente en lo que ahora se conoce como la tabla periódica de los elementos.



Figura 35. Dimitri Mendeléiev. Billeto de 100 francos de los Urales. Federación Rusa (1991)



Figura 38. Karl Landsteiner. Billeto de 1.000 chelines austriacos (1997)

El billete de 100 libras esterlinas del Banco escocés Clydesdale (Figura 36), rinde homenaje a William Thomson, conocido como Lord Kelvin, (1824-1907).<sup>[44]</sup> Científico que destacó por sus importantes trabajos en el campo de la termodinámica, desarrollando la escala de temperaturas del cero absoluto.



Figura 36. Lord Kelvin. Billeto de 100 libras esterlinas, banco Clydesdale (1996)

A Alexander Fleming (1881-1955),<sup>[47]</sup> premio Nobel de Medicina en 1945 por ser el descubridor de la penicilina, también se le atribuye el descubrimiento de la enzima antimicrobiana lisozima. Aparece en el billete de 5 libras esterlinas del Banco escocés Clydesdale de 1997 (véase Figura 39).



Figura 39. Alexander Fleming. Billeto de 5 libras esterlinas del Banco Clydesdale (1997)

Niels H. D. Bohr (1885-1962),<sup>[45]</sup> fue un físico-químico danés que contribuyó a la comprensión de la composición del átomo y la mecánica cuántica. Galardonado con el premio Nobel de Física en 1922, aparece en el billete de 500 coronas danesas de curso actual (véase Figura 37).

Lord Ernest Rutherford (1871-1937),<sup>[48]</sup> premio Nobel de Química en 1908, tras su dedicación al estudio de las partículas radiactivas, clasificarlas en alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) y gamma ( $\gamma$ ), y hallar que la radiactividad iba acompañada por una desintegración de los elementos. Presentó un modelo atómico que lleva su nombre con el que probó la exis-

tencia del núcleo en el átomo, en el que se reúne toda la carga positiva y prácticamente, casi la totalidad de la masa del mismo. Británico nacido en la actual Nueva Zelanda, aparece honrado en los billetes actuales de 100 dólares neozelandeses (véase Figura 40, para la base de pasta de papel y la Figura 7, para la nueva versión del billete sobre base polimérica).



**Figura 40.** Lord Ernest Rutherford. Billete de 100 dólares neozelandés en pasta de papel (2016). En la figura 7, se puede ver en la nueva versión fabricado sobre base polimérica

## CONCLUSIONES

El tópico recurrente de que “la química está en todas partes”, se hace patente en los billetes de papel moneda. La Química está presente en la propia historia del uso del dinero a lo largo de la humanidad, tanto en el material con el que se elabora, en las medidas de seguridad con las que se marcan, como sobre todo, en las imágenes que decoran a estos trozos de papel, para convertirlos en obras de arte de cualquier coleccionista amante de la Ciencia que se precie.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://www.kenrinaldo.com/portfolio/borderless-bacteria-colonialist-cash/>, visitada el 01/08/2020.
- [2] J. M. Maritz *et al.* Filthy lucre: A metagenomic pilot study of microbes found on circulating currency in New York City. *PLoS ONE*, **2017**, *12* (4): e0175527-e0175539. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175527>
- [3] J. Williams y C. Eagleton. *Historia del dinero*. Paidós, 2009. ISBN 978-84-493-2294-5.
- [4] <https://www.ancient-origins.es/noticias-historia-arqueologia/descubierta-antiguo-papel-moneda-chino-la-dinasti-ming-oculto-dentro-una-escultura-003875>, visitada el 01/08/2020.
- [5] Fábrica Nacional de Moneda y Timbre, <https://bit.ly/2EMGHsp>, visitada 01/08/2020.
- [6] Fundación Antama, <https://bit.ly/33dkoFM>, visitada 01/08/2020.
- [7] DuPont™-Tyvek®, <https://bit.ly/3l5gXqz>, visitada 01/08/2020.
- [8] European Central Bank, <https://bit.ly/3n7XORO>, visitada 01/08/2020.
- [9] G. Ruffato *et al.* Design, fabrication and characterization of Computer Generated Holograms for anti-counterfeiting applications using OAM beams as light decoders. *Sci. Rep.*, **2017**, *7* (1), 18011-18024. doi:10.1038/s41598-017-18147-7. PMC 5740128.
- [10] University of Cambridge, <https://bit.ly/34gXD2S>, visitada 01/08/2020.
- [11] Reserve bank of Australia, <https://bit.ly/3jmMNig>, visitada 01/08/2020.
- [12] A. Palet-Casas. Tratado de pintura: color, pigmentos y ensayo, Antoni Palet i Casas (2002). Ediciones de la Universidad de Barcelona. ISBN: 84-8338-313-6.
- [13] “Raffaello Sanzio da Urbino”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2EKuEvE>, visitada 01/08/2020.
- [14] “Leonardo da Vinci”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/36gVmYh>, visitada 01/08/2020.
- [15] Fábrica Nacional de Moneda y Timbre, <https://bit.ly/3n2nOTz>, visitada 01/08/2020.
- [16] M. G. Meadows *et al.* Iridescence: views from many angles. *Journal of the Royal Society, Interface*, **2009**, *6*, 107-113. doi:10.1098/rsif.2009.0013.focus.
- [17] Fábrica Nacional de Moneda y Timbre, <https://bit.ly/3n8mH4L>, visitada 01/08/2020.
- [18] International Chemistry Olympiad, <https://bit.ly/2Ge83s3>, visitada 01/08/2020.
- [19] W. J. Gee. Review: Recent Trends Concerning Upconversion Nanoparticles and Near-IR Emissive Lanthanide Materials in the Context of Forensic Applications. *Aust. J. Chem.*, **2019**, *72*(3), 164-181. <https://doi.org/10.1071/CH18502>
- [20] V. Rusanov *et al.* Mössbauer and X-ray fluorescence measurements of authentic and counterfeited banknote pigments. *Dyes and Pigm.*, **2009**, *81* (3) 254-258. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2008.07.020>
- [21] A. Guedes *et al.* Raman Microspectroscopy of Genuine and Fake Euro Banknotes. *Spectrosc. Lett.*, **2013**, *46* (8), 569-576. <https://doi.org/10.1080/00387010.2013.769007>.
- [22] Kekulé, Untersuchungen uber Aromatische Verbindungen. *Liebigs Annalen der Chemie*, **1866**, *137*, 129-36.
- [23] “Louis Pasteur”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3ihSflc>, visitada 01/08/2020.
- [24] “Democritus”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3jl4ui4>, visitada 01/08/2020.
- [25] “Hans Christian Ørsted”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/30ne4tn>, visitada 01/08/2020.
- [26] “Paul Ehrlich”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/36mpoKm>, visitada 01/08/2020.
- [27] “Alessandro Volta”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2GdTON5>, visitada 01/08/2020.
- [28] “Marie Curie”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2G5me2V>, visitada 01/08/2020.
- [29] “Carl Friedrich Gauss”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3jcVuvs>, visitada 01/08/2020.
- [30] “Michael Faraday”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2GcKP5L>, visitada 01/08/2020.
- [31] “Leonhard Euler”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2GcKTm1>, visitada 01/08/2020.
- [32] “Pierre Curie”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/33i73Mm>, visitada 01/08/2020.
- [33] “Nikola Tesla”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3l6LBQJ>, visitada 01/08/2020.

- [34] El billete, arte e historia viva, <https://bit.ly/315x6MM>, visitada 01/08/2020.
- [35] “James Watt”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3cOwCHZ>, visitada 01/08/2020.
- [36] “Matthew Boulton”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3iiYnK3>, visitada 01/08/2020.
- [37] “Werner von Siemens”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3cK1BF0>, visitada 01/08/2020.
- [38] “Voltaire”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3479Abu>, visitada 01/08/2020.
- [39] “Blaise Pascal”. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/biography/Blaise-Pascal>, visitada 01/08/2020.
- [40] “Albert Einstein”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/36luBBS>, visitada 01/08/2020.
- [41] “Erwin Schrödinger”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2Sf8aX0>, visitada 01/08/2020.
- [42] “Kristian Bikerland”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2Gc5GpO>, visitada 01/08/2020.
- [43] “Dmitri Mendeleev”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2GlgwJO>, visitada 01/08/2020.
- [44] “William Thompson, Lord Kelvin”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2G6KO3o>, visitada 01/08/2020.
- [45] “Niels Bohr”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/34aB8g9>, visitada 01/08/2020.
- [46] “Karl Landsteiner”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2SeQ4Eg>, visitada 01/08/2020.
- [47] “Alexander Fleming”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2HJIsb4>, visitada 01/08/2020.
- [48] “Ernest Rutherford”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2SfiEp4>, visitada 01/08/2020.

¿Quieres ser socio de una de las  
sociedades científicas más  
importantes de España?



  
Real Sociedad Española de Química  
[www.rseq.org](http://www.rseq.org)