

# Breve estudio histórico sobre el sentido del momento dipolar eléctrico en química

## A brief historical study on the direction of the electric dipole moment in chemistry

Juan Quílez\*

Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Química y de la Física. RSEQ - RSEF. Valencia, España

### PALABRAS CLAVE:

Momento dipolar eléctrico  
Sentido vectorial  
Criterio histórico en química  
Libros de texto de química

### RESUMEN:

Se realiza un breve análisis histórico acerca de la representación vectorial que se realiza del momento dipolar eléctrico en química. Este criterio, que es el opuesto al adoptado en física, tiene como origen los trabajos que Sidgwick publicó a principios de los años treinta del siglo pasado y que se consolidó a lo largo de las siguientes décadas. Específicamente, los autores de libros de texto de química adoptaron de forma mayoritaria el sentido químico de este vector. A finales del siglo pasado, algunos autores de libros de química física empezaron a usar el criterio físico, pero en los libros de química orgánica y de química general todavía se sigue mayoritariamente la tradición histórica.

### KEYWORDS:

Electric dipole moment  
Vector direction  
Historical convention in chemistry  
Chemistry textbooks

### ABSTRACT:

A brief historical analysis is carried out concerning the vectorial representation of the electric dipolar moment in chemistry. This convention, which is the opposite of the one adopted in physics, has its origin in the works that Sidgwick published in the early 1930s and was consolidated in the following decades. Specifically, authors of chemistry textbooks mostly adopted the chemical direction of this vector. At the end of the last century some authors of physical chemistry textbooks started to use the physical convention, but organic chemistry and general chemistry textbooks still mainly follow the historical tradition.

### Introducción

Un artículo reciente de esta revista<sup>[1]</sup> critica que en los libros de texto de química general se emplee una representación para el momento dipolar eléctrico con el sentido opuesto al establecido en física. En ese trabajo se cita otro estudio previo sobre el error conceptual que,<sup>[2]</sup> según sus autores, supone la forma en la que habitualmente se representa vectorialmente el momento dipolar en química. En otras publicaciones se apoya esta visión,<sup>[3]</sup> señalando que esta orientación causa confusión o que resulta una creencia errónea sin fundamento.<sup>[4]</sup>

El artículo referido cita algunos trabajos de autores que iniciaron el estudio del momento dipolar en química.<sup>[1]</sup> Sin embargo, no presenta un análisis histórico completo, lo que impide conocer específicamente cómo se originó su estudio dentro de esta disciplina. Tampoco aporta una visión amplia acerca de cómo se desarrolló en los estudios de química centrados en este concepto. Además, la muestra de libros empleada se compone en su mayoría de libros de texto recientes de química de segundo de bachillerato, lo que no permite entender cómo se ha perpetuado en el tiempo este criterio químico.

Por todo ello, este trabajo se plantea como propósito establecer el contexto en el que se inició esta representación química. En particular, tiene como objetivo clarificar y aumentar la perspectiva histórica referida a la orientación del momento dipolar de enlace y molecular, en la que el sentido del vector

apunta de la carga parcial positiva a la negativa. También se ampliará la muestra de libros de texto, con el fin de analizar si los autores de libros de texto de distintas áreas de la química han mantenido a lo largo del tiempo este criterio.

### Origen del momento dipolar de enlace y molecular

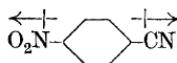
Para explicar el cambio de la polarizabilidad con la temperatura de sustancias como el agua o el cloruro de hidrógeno, Debye conjeturó que ciertas moléculas poseían un momento dipolar eléctrico permanente.<sup>[5]</sup> De forma análoga, dos años más tarde, Thomson,<sup>[6]</sup> en su estudio del comportamiento eléctrico de sustancias moleculares en estado gaseoso, estableció que existían dos tipos de moléculas: a) polares, que poseían un momento dipolar determinado ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ); b) apolares, que eran eléctricamente simétricas y, por tanto, esta magnitud física tomaba un valor nulo ( $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$ ).

La existencia de un momento dipolar eléctrico asociado a un enlace químico fue una idea introducida en 1923 por Thomson.<sup>[7]</sup> Según este autor, el momento dipolar de una molécula era la suma vectorial de todos los momentos de enlace existentes en su estructura. Esta concepción la aplicó teóricamente al caso de bencenos sustituidos, particularizada a las situaciones que se pueden presentar cuando dos sustituyentes iguales ocupan las posiciones *orto*, *meta* y *para*, respectivamente. Cuando los dos sustituyentes idénticos se encontraban en posiciones *para*, la

molécula era *apolar*; en los otros dos casos, estableció sencillas fórmulas matemáticas a partir de los ángulos de un hexágono que corresponden a cada posición. Este método aproximado de determinación del momento dipolar molecular de distintas sustancias derivadas del benceno tenía como ventaja que no presentaba dificultades geométricas de cálculo, por estar circunscrito a un plano. Esta idea fue desarrollada posteriormente por diferentes autores para varios compuestos aromáticos.<sup>[8-11]</sup>

Conocido el momento dipolar de una molécula, con dos sustituyentes diferentes en posición *para*, y determinado el momento dipolar cuando en el anillo bencénico sólo existe uno de estos dos grupos, el cálculo del momento dipolar que corresponde al segundo grupo se obtiene a partir de la escritura de la correspondiente suma de valores vectoriales. Para realizar esta suma vectorial de momentos dipolares de enlace, Sidgwick estableció el criterio de representar el correspondiente vector tomando como origen el átomo que soporta la carga parcial positiva, apuntando hacia el átomo con la carga parcial negativa.<sup>[12,13]</sup> Este criterio también lo aplicó cuando, en lugar de un átomo, debía considerar un grupo de átomos (-NO<sub>2</sub>, -CH<sub>3</sub>, -OH, -CN). En su artículo de 1930, razonó de la siguiente forma:

Se sabe que los momentos de los grupos -NO<sub>2</sub> y -CN en compuestos aromáticos son 3,9 y 3,84 respectivamente. El bajo valor de 0,66 del *p*-nitrobenzonitrilo muestra que en esta molécula los momentos de los dos grupos se oponen entre sí, es decir, se dirigen de manera similar con respecto al anillo; por lo tanto, dado que en -NO<sub>2</sub> el polo negativo se dirige hacia fuera del anillo, lo mismo debe ser cierto para el grupo -CN,



(Este símbolo  $\rightarrow$  para el dipolo evita la ambigüedad de la simple flecha, que los físicos escriben con la cabeza apuntando hacia el lado positivo y los químicos hacia el lado negativo del dipolo) (p. 1880).<sup>[12]</sup>

Posteriormente, este razonamiento lo aplicó para determinar el momento dipolar del grupo isonitrilo, -NC:

En las dos isocianidas examinadas, el grupo -NC se encuentra en la posición *para* respecto al CH<sub>3</sub> y Cl, respectivamente, y el momento en el primer caso es 4,0 y en el segundo 2,07. El momento de CH<sub>3</sub>-C (<math>\rightarrow</math>) es 0,5 y el de Cl-C (<math>\leftarrow</math>) 1,55. Por lo tanto, si el polo negativo del grupo >C-NC se orienta hacia afuera del anillo, su momento se verá incrementado por el de un grupo *para*-metilo, y disminuido por el del *para*-cloro:



Esto es lo que encontramos que ocurre. El momento de >C-NC calculado del compuesto *p*-tolil es 4,0 - 0,5 = 3,5; del compuesto *p*-cloro es 2,07 + 1,55 = 3,62; valor medio 3,6 (<math>\rightarrow</math>) (p. 1880).<sup>[12]</sup>

Más tarde, Sidgwick, en su libro *Some physical properties of covalent link in chemistry*<sup>[14]</sup> eligió el mismo ejemplo (con algunos valores ligeramente diferentes), realizando las representaciones que se presentan en la figura 1.

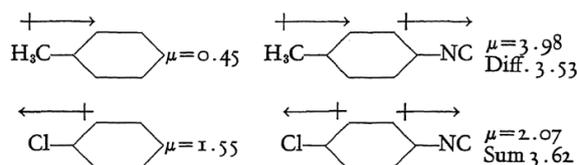


Figura 1. Representaciones de momentos dipolares correspondientes a grupos unidos al anillo de benceno, según Sidgwick (Figura extraída de la ref. [14]).

En esta ocasión, Sidgwick proporcionó una explicación más detallada para el sentido del momento dipolar:

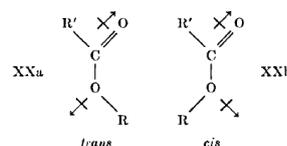
Es natural considerar que los momentos se deben a un desplazamiento de los electrones compartidos desde la posición media del momento cero, y representar el sentido del momento mediante una flecha que apunta en la dirección en la que se puede imaginar que se produce este desplazamiento, es decir, hacia el extremo negativo del dipolo. Esta norma se adopta aquí. Algunos físicos, sin embargo, consideran que la electricidad positiva debe considerarse, por el hecho de su nombre, de mayor dignidad y, por lo tanto, adoptan el criterio opuesto, con la flecha apuntando hacia el extremo positivo. Para evitar confusiones, la flecha se escribe aquí con un + en su cola para que quede claro cuál es el extremo positivo (p. 139).<sup>[14]</sup>

El criterio del sentido del momento dipolar de Sidgwick encontró aceptación explícita en el área de la química orgánica.<sup>[15,16]</sup> Por ejemplo, Ingold se pronunció de la siguiente forma:

El empleo de los signos + y - en los átomos, con otro significado que el de marcar los centros iónicos, tiende a causar confusión. Se puede utilizar la notación  $\delta+$  y  $\delta-$  sin ambigüedad para representar la adquisición de polaridad a través del desplazamiento de electrones, y el signo de N. V. Sidgwick (<math>\rightarrow</math>) para un dipolo molecular (el extremo cruzado es el extremo positivo) también es útil (p. 231).<sup>[15]</sup>

En la década de los años cincuenta del siglo pasado, diferentes trabajos revisaron cómo el conocimiento del momento dipolar de los enlaces de una molécula permitía dilucidar la estructura de un compuesto orgánico. En todos los casos, se siguió empleando el criterio químico para señalar el sentido del vector que representa el momento dipolar.<sup>[17-19]</sup> Por ejemplo, Sutton señaló:

Los momentos observados de los ésteres carboxílicos alifáticos, que varían de 1,6 a 1,9 D, concuerdan aproximadamente con el momento 1,5 D calculado para la configuración *trans* (XXa), con los grupos alquilo alejados entre sí (p. 405).<sup>[19]</sup>



En los años 70 del siglo pasado, dos nuevos estudios específicos se publicaron sobre el momento dipolar en química

orgánica (*Dipole Moments in Organic Chemistry*),<sup>[20]</sup> y en química inorgánica (*Dipole Moments in Inorganic Chemistry*).<sup>[21]</sup> En el primero de ellos, se define el momento dipolar:

Como se mencionó anteriormente, el momento dipolar eléctrico queda definido por la relación

$$\vec{\mu} = q \vec{l}$$

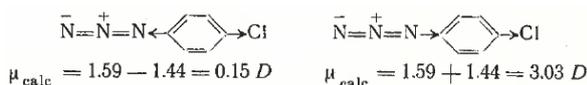
donde  $\vec{l}$  es el radio vector dirigido desde el centro de gravedad de la carga eléctrica negativa al centro de gravedad de la carga eléctrica positiva (p. 41).<sup>[20]</sup>

Pero en la nota del pie de la página, se aclara:

Se debe señalar que en la literatura química y en el presente libro se toma la dirección opuesta del vector del momento dipolar (p. 41).<sup>[20]</sup>

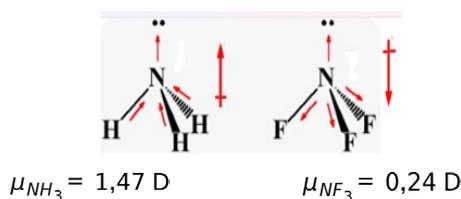
En este punto, se debe mencionar que esta aclaración no está recogida en el artículo referido,<sup>[1]</sup> ni los ejemplos que emplean estos autores, en los que el criterio del sentido del momento dipolar es el que corresponde al criterio químico, como a continuación se ejemplifica. Por ello, resultaría erróneo referirse a esta monografía para concluir que los artículos de química sobre el momento dipolar han seguido el criterio físico. Particularmente, veamos cómo se razona en este libro para determinar el sentido del grupo azida en un anillo bencénico:

El valor del momento del grupo en la serie aromática se toma como el valor del momento dipolar del benceno mono sustituido. La dirección del vector del momento del grupo se puede establecer comparando los valores experimentales del *p*-cloro- o nitrobenzénico con los valores calculados para las dos posibles orientaciones del vector del momento dipolar del otro grupo presente. Así, a partir de una comparación del valor experimental del momento dipolar de la *p*-clorofenilazida de 0,30 D con el calculado a partir de los momentos dipolares del clorobenceno (1,59 D) y la fenilazida (1,44 D),



queda claro que el vector del momento del grupo azido está dirigido del anillo al grupo azido (p. 90).<sup>[20]</sup>

Como ejemplo de la segunda publicación,<sup>[21]</sup> centrada en el estudio de los momentos dipolares de moléculas inorgánicas, en la figura 2 se justifica la diferente polaridad de dos moléculas con la misma geometría ( $\text{NH}_3$  y  $\text{NF}_3$ ) en las que el sentido del momento dipolar del enlace  $\text{N}^{\delta-} - \text{H}^{\delta+}$  ( $\leftarrow \text{---} \rightarrow$ ) es el opuesto al del enlace  $\text{N}^{\delta+} - \text{F}^{\delta-}$  ( $\text{---} \rightarrow$ ).



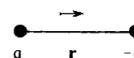
**Figura 2.** Representaciones en las que se muestra la diferente polaridad de dos moléculas con la misma geometría,  $\text{NH}_3$  y  $\text{NF}_3$  (Figura adaptada de la ref. [21]).

En concreto, en este libro se indica que:

Suponiendo la posición de carga del enlace como se muestra, el vector neto de  $3(\text{N} \leftarrow \text{H})$  momentos refuerza el dipolo del átomo, mientras que los momentos  $3(\text{N} \rightarrow \text{F})$  actúan en el sentido opuesto al dipolo del átomo, lo que ocasiona un momento bajo (p. 62).<sup>[21]</sup>

Un ejemplo más reciente, en el que también se emplea el criterio químico para el sentido del momento dipolar, es libro titulado *Theoretical Organic Chemistry*.<sup>[22]</sup> Inicialmente, define el momento dipolar de la siguiente forma:

El momento dipolar eléctrico  $\mu$  es un vector y se define como  $\mu = q r$ , donde  $q$  es la magnitud de la carga y  $r$  es la distancia vectorial entre los centros de la carga positiva y la carga negativa



En este capítulo, la dirección positiva del momento dipolar se define como la dirección desde el centro de la carga positiva hacia el centro de la carga negativa (p. 234).<sup>[22]</sup>

Sin embargo, más adelante matiza lo siguiente:

Como se mencionó en la introducción, en química orgánica la dirección positiva del momento dipolar normalmente se define como la dirección desde el centro de la carga positiva hacia el centro de la carga negativa. Este criterio también prevalece en química orgánica física y en química inorgánica. Sin embargo, en química física la dirección positiva del momento dipolar se define de manera opuesta, es decir, en la dirección de la carga negativa a la carga positiva (p. 239).<sup>[22]</sup>

### Libros de texto

Libros de química orgánica, como el citado de Waters,<sup>[16]</sup> publicados en los inicios de los años cuarenta del siglo pasado,<sup>[23,24]</sup> adoptaron el criterio químico establecido la década anterior. Como ejemplo, Branch y Calvin razonaron de la siguiente forma:



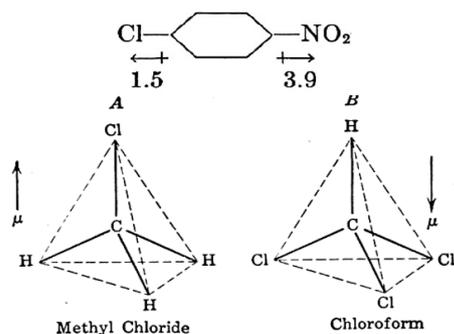
Es bastante seguro que la dirección del dipolo en  $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$  es la misma que en  $\text{HCl}$  y que las flechas dibujadas representan la dirección de desplazamiento de los electrones; es decir, que la punta de la flecha sea negativa. A partir de los datos disponibles es posible colocar un gran número de elementos y grupos en una serie según su tendencia a atraer electrones hacia ellos; es decir, según su electronegatividad (p.133).<sup>[23]</sup>

En el campo de la química física, Glasstone se adhirió explícitamente al criterio establecido por Sidgwick, realizando representaciones como las que se presentan en la figura 3.<sup>[25]</sup>

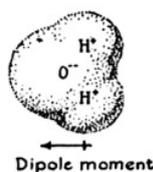
Por su parte, Pauling, en sus dos libros de Química (*General Chemistry* y *College Chemistry*),<sup>[26,27]</sup> representó el momento dipolar de la molécula de agua de la forma que se indica en la figura 4.

Además, en su libro *The Nature of Chemical Bond*,<sup>[28]</sup> empleó la misma simbología que Sidgwick ( $\leftarrow \text{---} \rightarrow$ ) para representar el sentido del vector.

Nuevos ejemplos del criterio químico para el sentido del vector que representa el momento dipolar se pueden encontrar



**Figura 3.** Representaciones de Glasstone de los momentos dipolares de enlace en el *p*-cloronitrobenzénico y de la diferente polaridad del  $\text{CH}_3\text{Cl}$  y  $\text{CHCl}_3$  (Figura extraída de la ref. [25]).



**Figura 4.** Representación del momento dipolar de la molécula de agua, según Pauling (Figura extraída de las ref. [26,27]).

en libros de texto de finales del siglo XX, tanto de química física<sup>[29-32]</sup> como de química orgánica.<sup>[33-35]</sup> Sin embargo, en este tiempo algunos autores del área química física no emplearon el criterio químico.<sup>[36,37]</sup>

Los autores de libros de texto de química orgánica publicados a lo largo de este siglo siguen manteniendo el criterio químico.<sup>[38-43]</sup> Sin embargo, no se han encontrado en este periodo libros de texto de química física que sigan esta norma, por lo que cuando este concepto se trata, se emplea el criterio físico.<sup>[44-46]</sup> En concreto, Atkins y de Paula señalan lo siguiente:

Representamos los momentos dipolares mediante una flecha con una longitud proporcional a  $\mu$  y que apunta desde la carga negativa a la carga positiva. (Tenga cuidado con esta convención: por razones históricas, todavía se adopta ampliamente la convención opuesta) (p. 353).<sup>[45]</sup>

Estos autores detallan esta precaución en otra publicación de la siguiente forma:

En química elemental, un momento dipolar eléctrico está representado por la flecha  $\rightarrow\leftarrow$  añadida a la estructura de Lewis de la molécula, con el + marcando el extremo positivo (p. 621).<sup>[44]</sup>

Efectivamente, uno de estos dos autores, en su libro de química general emplea el criterio químico,<sup>[47]</sup> al igual que ocurre en otros libros de química general preuniversitaria<sup>[1]</sup> y de primer curso universitario,<sup>[48-51]</sup> aunque en algún caso,<sup>[51]</sup> también se advierte de que el sentido que se otorga al vector es el opuesto al que corresponde a la representación en física.

## Conclusiones

El breve recorrido histórico realizado en este estudio sobre el sentido del vector que representa el momento dipolar eléctrico que se ha otorgado tradicionalmente en química ha permitido conocer el origen del criterio adoptado, así como comprender cómo se fue consolidando a lo largo del siglo XX. Su represen-

tación en un enlace covalente con una fecha apuntando hacia el átomo más electronegativo da idea del sentido del desplazamiento electrónico; el signo + de la cola de esta flecha refuerza esta visión cualitativa, lo que resulta particularmente intuitivo para entender propiedades de sustancias, explicadas a escala molecular.

La mayor parte de los trabajos iniciales sobre la determinación del momento dipolar molecular y de enlace se centraron en el estudio de moléculas y de grupos orgánicos. Los avances experimentados en este terreno pronto se incorporaron a los libros de texto de esta área de la química. Esta práctica de enseñanza ha continuado hasta nuestros días, ya que ninguno de los libros consultados de esta especialidad de la química emplea el criterio físico. Esta situación también se produce de forma muy amplia en el caso de libros de texto de química general tanto de nivel universitario como de segundo de bachillerato.

Sin embargo, en el campo de la química física, si bien inicialmente los autores de libros de texto adoptaron el criterio químico, a finales del siglo XX ya varios autores de esta área empezaron a utilizar el criterio físico, lo que parece que se ha consolidado a lo largo de este siglo.

En varias publicaciones a lo largo del siglo pasado se fue advirtiendo explícitamente de que en química y en física el vector que representa el momento dipolar eléctrico se simboliza con sentidos opuestos.<sup>[12-14,20,22]</sup> En este siglo, varios autores de libros de texto también han realizado esta aclaración.<sup>[44,45,51]</sup>

Esta disparidad también se recogió en las ediciones segunda y tercera del *Green Book* de la IUPAC.<sup>[52,53]</sup> Una vez establecido el criterio de su sentido, se realizaba la siguiente recomendación:

Cuando un dipolo está compuesto por dos cargas puntuales  $Q$  y  $-Q$  separadas por una distancia  $r$ , se considera que la dirección del vector dipolo es de la carga negativa a la positiva. A veces se utiliza el criterio opuesto, pero no se recomienda (p. 14).<sup>[52]</sup>

En la edición electrónica actual, correspondiente al *Gold Book*,<sup>[54]</sup> ese consejo ya no está presente. Si bien proporciona como referencia la segunda edición del *Green Book* (p. 24),<sup>[52]</sup> omite la definición matemática previa ( $\mu = \sum Q_i r_i$ ) (p. 14),<sup>[52]</sup> así como la nota explicativa referida.

El único criterio admitido por la IUPAC para el sentido del momento dipolar es el que tiene como origen la carga negativa en la dirección de la carga positiva. Por tanto, su utilización con sentido opuesto en el campo de la química, aunque justificada suficientemente desde su representación inicial y utilizada durante mucho tiempo tanto en trabajos de investigación como en su enseñanza, no está avalada por este organismo regulador. En la actualidad, la comunidad educativa de la química, con la excepción del área de la química física, sigue respetando ampliamente la extensa tradición histórica existente, por lo que la adopción de este criterio unificador con la física está lejos de producirse en la práctica docente.

## Bibliografía

- [1] O. Val-Castillo, *An. Quim. RSEQ* **2024**, 120(1), 32-35, <https://doi.org/10.62534/rseq.aq.1963>.
- [2] J.W. Hovick, J.C. Poler, *J. Chem. Educ.* **2005**, 82(6), 889, <https://doi.org/10.1021/ed082p889>.
- [3] A. Stone, *The Theory of Intermolecular Forces*, Oxford, 2013.
- [4] J.M. Herbert, *J. Phys. Chem. A* **2021**, 125, 7125-7137, <https://doi.org/10.1021/acs.jpca.1c05962>.
- [5] P. Debye, *Physik. Z.* **2012**, 13, 97-100, [https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1000-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1000-0_13).

- [org/10.1002/andp.19123441404](https://doi.org/10.1002/andp.19123441404)
- [6] J.J. Thomson, *Philos. Mag.* **1914**, 27, 757-789, <https://doi.org/10.1080/14786440508635150>.
- [7] J.J. Thomson, *Philos. Mag.* **1923**, 46, 497-514, <https://doi.org/10.1080/14786442308634273>.
- [8] C.P. Smyth, S.O. Morgan, *J. Am. Chem. Soc.* **1927**, 49(4), 1030-1038, <https://doi.org/10.1021/ja01403a022>.
- [9] J.W. Williams, *J. Am. Chem. Soc.* **1928**, 50(9), 2350-2357, <https://doi.org/10.1021/ja01396a005>.
- [10] J.W. Williams, *Chem. Rev.* **1930**, 6(4), 589-619, <https://doi.org/10.1021/cr60024a008>.
- [11] L.E. Sutton, *Trans. Faraday Soc.* **1934**, 30, 789-801, <https://doi.org/10.1039/TF9343000789>.
- [12] D. I. Hammick, R.C.A. New, N.V. Sidgwick, L.E. Sutton, *J. Chem. Soc.* **1930**, 1876-1887, <https://doi.org/10.1039/JR300001876>.
- [13] N.V. Sidgwick, *Chem. Rev.* **1931**, 9(1), 77-88, <https://doi.org/10.1021/cr60032a003>.
- [14] N.V. Sidgwick, *Some Physical Properties of the Covalent Link in Chemistry*, Cornell University Press, **1933**.
- [15] C.K. Ingold, *Chem. Rev.* **1934**, 15(2), 225-274, <https://doi.org/10.1021/cr60051a003>.
- [16] W.A. Waters, *Physical Aspects of Organic Chemistry*, Routledge, **1935**.
- [17] H.R. Davidson, *J. Chem. Educ.* **1950**, 27, 598-603, <https://doi.org/10.1021/ed027p598>.
- [18] H. Lumbroso, *Annales de la faculté des sciences de Toulouse 4e série*, **1950**, 14, 7-130.
- [19] L.E. Sutton, en *Determination of Organic Structures by Physical Methods* (Eds.: E.A. Brande, F.C. Nachod), Academic Press, **1955**, pp. 373-425.
- [20] V.I. Minkin, O.A. Osipov, Y.A. Zhsanov, *Dipole moments in organic chemistry*, Plenum Press, **1970**.
- [21] G.J. Moody, J.D.R. Thomas, *Dipole moments in inorganic chemistry*, Edward Arnold, **1971**.
- [22] C. Párkányi, *Theoretical Organic Chemistry*, Elsevier, **1998**.
- [23] G.E.K. Branch, M. Calvin. *The Theory of Organic Chemistry*, Prentice-Hall, **1941**.
- [24] A. Bernthsen, J.J. Sudborough. *A Textbook of Organic Chemistry*, Blackie & Son, **1941**.
- [25] S. Glasstone, *Physical Chemistry*, MacMillan, **1946**.
- [26] L. Pauling. *General Chemistry*, Allied Pacific, **1953**.
- [27] L. Pauling. *College Chemistry*, Freeman, **1957**.
- [28] L. Pauling, *The Nature of Chemical Bond*, Cornell University, **1960**.
- [29] G.M. Barrow, *Química Física*, Reverté, **1975**.
- [30] M. Díaz, A. Roig, *Química Física*, Alhambra, **1978**.
- [31] A.W. Adamson, *A Textbook Physical Chemistry*, Academic Press, **1979**.
- [32] K.J. Laidler, J.M. Meiser, *Physical Chemistry*, Benjamin, **1982**.
- [33] J. Levisalles, B. Castro, *Química Orgánica*, Dossat, **1980**.
- [34] T.W.G. Solomons, *Química Orgánica*, Limusa, **1982**.
- [35] K.P.C. Vollhardt, N.E. Shore, *Química Orgánica*, Omega, **1996**.
- [36] G.W. Castellan, *Physical Chemistry*, Addison-Wesley, **1971**.
- [37] J. Casabó, *Estructura Atómica y Enlace Químico*, Reverté, **1996**.
- [38] L.G. Wade, *Química Orgánica*, Pearson, **2004**.
- [39] J. Clayden, N. Greeves, S. Warren, *Organic Chemistry*, Oxford, **2012**.
- [40] R.J. Ouellette, J.D. Rawn, *Organic Chemistry. Structure, Mechanisms and Synthesis*, Elsevier, **2014**.
- [41] F.A. Carey, R.M. Giuliano, *Química Orgánica*, McGrawHill, **2014**.
- [42] P. Yukanis, *Fundamentos de Química Orgánica*, Pearson, **2015**.
- [43] J. McMurry, *Organic Chemistry*, Cengage, **2016**.
- [44] P. Atkins, J. de Paula. *Atkins' Physical Chemistry*, Oxford University Press, **2006**.
- [45] P. Atkins, J. de Paula. *Elements of Physical Chemistry*, Oxford University Press, **2009**.
- [46] R.G. Mortimer, *Physical Chemistry*, Elsevier, **2008**.
- [47] P. Atkins, L. Jones. *Principios de Química. Los caminos del descubrimiento*, Panamericana, **2006**.
- [48] R.H. Petrucci, F.G. Herring, J.D. Madura, C. Bissonette, *Química General. Principios y aplicaciones modernas*, **2011**.
- [49] T.L. Brown, H.E. LeMay, B.E. Bursten, C.J. Murphy, P.M. Woodward, *Chemistry. The central science*, Pearson, **2012**.
- [50] R. Chang, J. Overby. *Química*, McGrawHill, **2020**.
- [51] W. Whitten, R. Davis, M.L. Peck, G.G. Stanley. *Química*, Cengage, **2015**.
- [52] I. Mills, T. Cvitaš, K. Homann, n. Kallay, K. Kuchitsu. *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*, Blackwell, **1993**.
- [53] E.R. Cohen, T. Cvitaš, J.G. Frey, B. Holmström, K. Kuchitsu, R. Marquart, I. Mills, F. Pavese, M. Quack, J. Stohner, H.L. Strauss, M. Takami, A.J. Thor. *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*, Blackwell, **2007**.
- [54] IUPAC *Compendium of Chemical Terminology - the Gold Book*, disponible en <https://old.goldbook.iupac.org/html/E/E01929.html>, **2014** (consultado 16/11/2024).



### Juan Quílez

Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Química y la Física – RSEQ – RSEF

E-mail: [jquilez@uji.es](mailto:jquilez@uji.es)

ORCID: 0000-0001-5428-4617

Juan Quílez es doctor en Ciencias Químicas. Ha sido catedrático de Física y Química, director de instituto, asesor en centros de formación permanente y profesor de formación inicial del profesorado (primaria y secundaria) en las universidades de Valencia y Jaume I. Sus principales líneas de investigación educativa son el lenguaje de la química, la historia de la química (y su inclusión en el currículo de química de secundaria), el estudio didáctico del equilibrio químico y el análisis crítico del enfoque STEM integrado. También ha publicado libros de texto y complementarios de Física y de Química de bachillerato.