



O. Val-Castillo

I.E.S. Lluís Simarro Lacabra
46800 Xativa, (Valencia)
E-mail: o.valcastillo@edu.gva.es
ORCID: [0000-0003-0335-3162](https://orcid.org/0000-0003-0335-3162)

Recibido: 14/01//2024
Aceptado: 19/02/2024
DOI: [10.62534/rseq.aq.1963](https://doi.org/10.62534/rseq.aq.1963)

El sentido del momento dipolar

Otilia Val-Castillo 

Resumen: "Explicar y razonar los conceptos fundamentales que se encuentran en la base de la química aplicando los conceptos, leyes y teorías de otras disciplinas científicas, especialmente de la física", es la competencia número 6.1 en la asignatura de Química, recogida en el Real Decreto 243/2022. El sentido del momento dipolar difiere según se consulten textos de Química o de Física. En este artículo se hace una breve reflexión al respecto.

Palabras clave: Sentido del momento dipolar, momento dipolar, polaridad, dipolo, Debye.

Abstract: "Explain and reason the fundamental concepts that are at the base of chemistry by applying the concepts, laws and theories of other scientific disciplines, especially physics", is the competence number 6.1 of the Chemistry subject, included in Royal Decree 243/2022. The direction of the dipole moment differs depending on whether one consults Chemistry or Physics texts. This article briefly reflects on this.

Keywords: Direction of the dipole moment, dipole moment, polarity, dipole, Debye.

1. Introducción

La determinación, representación o justificación de la polaridad de moléculas es pregunta habitual en las pruebas de acceso a la universidad.^[1,2] El apartado: *Polaridad de enlaces y moléculas*, aparece específicamente en los contenidos de los currículos de la asignatura de Química del segundo curso de Bachillerato de varias Comunidades Autónomas (Andalucía, Comunidad de Madrid, Comunidad Valenciana y Extremadura),^[3-6] desarrollados a partir del *Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato*.^[7]

El apartado: *Fuerzas intermoleculares a partir de las características del enlace químico y la geometría de las moléculas* aparece en todas las comunidades autónomas, y puesto que estas interacciones están relacionadas con la presencia de dipolos, ya sean permanentes o inducidos, la polaridad seguirá siendo un contenido a tratar.^[8]

2. El momento dipolar

Gran cantidad de información sobre la estructura de las moléculas puede ser obtenida por el estudio de las propiedades eléctricas de las sustancias. Una sustancia introducida en un campo eléctrico experimenta una polarización eléctrica, relacionada con las propiedades de los átomos, iones o moléculas que componen la sustancia.^[9] El momento dipolar de una molécula es la propiedad más importante, relacionada con la distribución de carga de dicha molécula, que puede ser medida experimentalmente.^[10]

La polaridad surge como consecuencia de una asimétrica distribución de los electrones que intervienen en un enlace, resultando una parte con cierta densidad de carga negativa y, en consecuencia, otra parte con densidad de carga positiva. Decimos que están polarizadas, poseen un momento dipolar permanente y en presencia de un campo eléctrico exterior se encontrarán sometidas a un par de fuerzas que tenderá a orientarlas en la dirección del campo.^[11]

La importancia del efecto de la polarización para la interpretación de las fuerzas moleculares fue mencionada por primera vez por Peter Debye en 1920,^[12] cuya contribución en el tema data de 1912-1913.^[13] Otros investigadores empezaron a realizar conexiones cuantitativas entre la disposición geométrica de los átomos en una sustancia química y la asimetría debida a la medida del momento eléctrico,^[14,15] así como el propio Debye,^[10] a quien le fue otorgado el Premio Nobel de Química de 1936 por su contribución al conocimiento de la estructura de las moléculas.

Para medir la polaridad de un enlace se define el momento dipolar, o momento dipolar eléctrico, como el producto de dicha carga parcial por la distancia entre los átomos. La unidad práctica en la que se mide el momento dipolar es $1 \cdot 10^{-18}$ u.e.e.-cm (unidad electrostática de carga, o franklin o statcoulomb, por centímetro),^[9] a la que en su honor se le dio el nombre de Debye,^[13] que en unidades del Sistema Internacional equivale a $3,336 \cdot 10^{-30}$ culombios-metro.^[16,17] El estudio de los momentos dipolares permitió a Linus Pauling confeccionar su escala de electronegatividades.^[9] justificándose el momento dipolar por la diferente electronegatividad de los átomos que forman enlace en dicha molécula, creándose la carga parcial positiva en el elemento menos electronegativo, y la carga parcial negativa en el más electronegativo.

3. El sentido del momento dipolar en los libros de texto

De las medidas del momento dipolar, colocando la sustancia entre las placas de un condensador y midiendo el efecto que tiene sobre la capacidad del mismo, pueden deducirse datos acerca de la geometría molecular, como se ha comentado anteriormente.^[10,14,15] El hecho de que determinadas moléculas con enlaces polares den lugar a moléculas sin polaridad, apolares, muestra que esta propiedad es vectorial, dependiendo entonces del carácter polar de cada uno de los enlaces que forman la molécula, de forma que la geometría molecular puede anular dicha polaridad. Por tanto, en una molécula poliatómica, el momento dipolar resultante de la molécula es la suma vectorial de los momentos dipolares de sus distintos enlaces,^[18]

$$\vec{\mu}_{\text{molécula}} = \sum \vec{\mu}_{\text{enlace}}$$

lo que hace útil conocer el sentido de dicho vector. Esta información sirve para comprender ciertas propiedades macroscópicas como la solubilidad, el punto de ebullición, las fuerzas intermoleculares y otras propiedades físicas y químicas.

Cuando el concepto del momento dipolar se aborda en los libros de texto, de la asignatura de Química, nos encontramos con varias posibilidades:

- Hay libros que, aunque incluyen la fórmula e indican que el momento dipolar es una magnitud vectorial, no especifican el sentido del vector ni dan ejemplos.^[18-25]
- Otros libros exponen que, el momento dipolar es una magnitud vectorial pero no definen el sentido, aunque luego aparece representado en figuras y ejemplos, con sentido de la carga positiva a la negativa.^[26-32]
- Según Barrow,^[33] de ordinario es adecuado representar esquemáticamente el momento dipolar con una flecha que señala la dirección desde la carga positiva a la negativa, y su magnitud por la longitud de la flecha. Siguen este mismo criterio, un vector orientado del átomo menos electronegativo al átomo más electronegativo, los libros de texto de las editoriales Bruño,^[34,35] McGraw-Hill,^[36] Ecir,^[37] SM,^[38] Santillana,^[39,40] Anaya,^[41] Oxford,^[42,43] Casals^[44] ...
- y, aunque escasos, hay libros de texto que explican que los vectores que representan los momentos dipolares se orientan de los polos negativos hacia los positivos, como el de la editorial McGraw-Hill^[45] o el de la editorial Oxford,^[46] ambos del año 2023, es decir que, el momento dipolar tiene como origen la carga parcial negativa y como extremo la carga parcial positiva. Vidal y Peña^[46] explican en este texto que:

“Para evaluar la polaridad de un enlace y la de las moléculas, resulta más ilustrativo representar el campo eléctrico entre las cargas que el vector momento dipolar. De este modo, (*el campo eléctrico*), apunta a la parte del enlace o de la molécula donde se acumulan los electrones”.

4. El sentido del momento dipolar en física

Las líneas de campo, curvas que representan el vector fuerza ejercida sobre una carga positiva unidad de prueba, de dos cargas de igual magnitud pero de sentido opuesto, dipolo eléctrico, empiezan en las cargas positivas y terminan en las negativas.

Cuando se aplica el principio de superposición al cálculo del campo eléctrico debido a un dipolo eléctrico, en un punto que se encuentra a una distancia “r” fuera de la línea que une las cargas, se obtiene que este campo es

$$\vec{E} = \frac{kdQ}{r^3} \vec{i}$$

(donde el vector \vec{i} va de la carga positiva a la negativa). (Figura 1.a). En el caso de un dipolo molecular, el producto $d \cdot Q$ (longitud de enlace por carga) representa el valor del llamado momento dipolar μ .^[47,48]

En Física el momento dipolar eléctrico, \vec{p} , se define como una magnitud vectorial igual al producto de las cargas, q , por la distancia que las separa, d , cuya dirección va de la carga negativa a la positiva,^[49] por tanto el campo generado por el dipolo eléctrico tiene sentido contrario al del momento dipolar eléctrico (Figura 1.b).

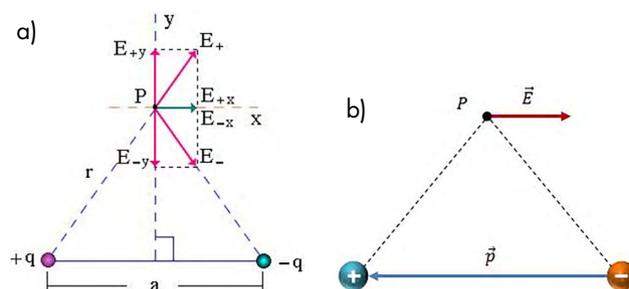


Figura 1.a) Campo eléctrico debido a un dipolo eléctrico, en un punto que se encuentra a una distancia “r” fuera de la línea que une las cargas. (Fuente: problemas de electromagnetismo. Xunta de Galicia.
b) Sentido del momento dipolar y del campo eléctrico creado por dos cargas de igual magnitud pero de sentido opuesto. Fuente: <https://www.calculista.com/topics/electricidad/331>

En el libro de Física de Alonso y Finn, *Vol II*^[50] (1971), se pueden observar dibujos de algunas moléculas dipolares como el cloruro de hidrógeno, HCl, “... y la molécula presenta un momento dipolar dirigido del átomo de Cl al átomo de H”, que se acompaña de la correspondiente representación (Fig. 14.34 Pág. 494 de su libro) en la que se puede ver el vector en la dirección desde el Cl⁻ hacia el H⁺. De la misma forma también aparecen representados los momentos dipolares de las moléculas de monóxido de carbono, de agua y de dióxido de carbono. (Figura 2)

Uno de los criterios de evaluación de la competencia específica C4 de la asignatura de Química, recogida en el Decreto 108/2022, de 5 de agosto, del Consell, es “Interpretar los códigos y lenguaje de la química de forma adecuada y rigurosa, en la descripción de procesos experimentales y teóricos”.^[5] Con lo expuesto hasta ahora, ¿cuál es el sentido del momento dipolar de forma rigurosa?

494 Interacción eléctrica

(14.11)

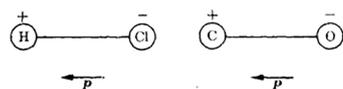


Fig. 14-84. Moléculas diatómicas polares.

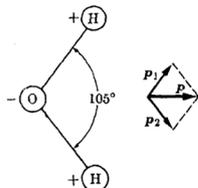


Fig. 14-85. Dipolo eléctrico de la molécula H₂O.

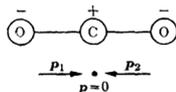


Fig. 14-86. La molécula de CO₂ no tiene dipolo eléctrico.

Figura 2. Momento dipolar de las moléculas de HCl, CO, H₂O y de CO₂. Sacado de M. Alonso, E. Finn, *Física*, Vol II. Página 494. Fondo Educativo Interamericano (1971).

Hovick y Poler^[51] en el artículo titulado: *Misconceptions in Sign Conventions: Flipping the Electric Dipole Moment*, ya abordan este tema:

“No es un secreto que los químicos obtienen la dirección del dipolo al revés... Peter J. W. Debye define correctamente la polaridad de las moléculas en 1929.^[10] Linus Pauling utilizó el sentido contrario de la convención en su famoso libro de texto de 1939, *La naturaleza del enlace químico*^[9] que continúa en su libro de texto de química general (Pauling, L. *General Chemistry*; W. H. Freeman: San Francisco, 1947; p 129). Pauling afirma que “... los símbolos de enlace A—B se escriben con el elemento menos electronegativo precediendo al elemento más electronegativo, de modo que el momento eléctrico tiene la orientación



... Este es exactamente el símbolo que utilizan los textos modernos de química general. Esta convención está al revés, y conduce a conceptos erróneos cuando se aplica a un análisis más cuantitativo de las interacciones moleculares.”

Figura 3. Momento dipolar eléctrico según la IUPAC, revisado en febrero de 2014, y ya en el libro de 2006. DOI: 10.1351/goldbook

Fuente: <https://goldbook.iupac.org/terms/view/E01929>

Si consultamos el término “Electric Dipole Moment” en el *Gold Book Terms*^[52] (Compendio de Terminología Química publicado por la International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC, y disponible on line en <https://goldbook.iupac.org/terms/index/all>) encontramos que el sentido del momento dipolar o momento dipolar eléctrico es de la carga negativa a la positiva (Figura 3).

Los artículos de Química sobre el momento dipolar también siguen este criterio,^[53] así como la definición de la Enciclopedia Britannica.^[54]

Conclusión

En Física se asigna al momento dipolar el sentido que va de la carga negativa a la positiva. La IUPAC asigna al momento dipolar el mismo sentido que le asignan los físicos.

Sin embargo, en la mayoría de los libros de texto de la asignatura de Química, el momento dipolar está orientado del elemento más electropositivo hacia el más electronegativo. Hovick y Poler ya se hicieron eco de esta contradicción en 2005.

En algunos de los libros de texto publicados más recientemente aparece el criterio correcto.

No es lógico que la comunidad científica no aplique el mismo criterio en el sentido del momento dipolar, y sería conveniente que todos los libros de texto de química aplicaran el mismo criterio que aplican los físicos.

Bibliografía

- [1] S. Menargues Irlas, A. Gomez Siurana, *37 años de problemas y cuestiones de química en las Pruebas de Acceso a las Universidades Públicas de la Comunidad Valenciana (1987-2023)*, 2023. Disponible on-line https://colegioquimicos.com/wp-content/uploads/2023/09/QUI_EBAU_23JUL_compressed.pdf [consultado el 01/12/2023].
- [2] J.M. Teijón, J.A. García, *Química. Pruebas de Acceso a la Universidad "Selectividad"*. 2000. Ed. Tébar. Albacete. España.
- [3] Orden de 30 de mayo de 2023, por la que se desarrolla el currículo correspondiente a la etapa de Bachillerato en la Comunidad Autónoma de Andalucía, se regulan determinados aspectos de la atención a la diversidad y a las diferencias individuales y se establece la ordenación de la evaluación del proceso de aprendizaje del alumnado. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, 104, 2 de junio de 2023, pp. 9728/402 - 9728/410. https://www.juntadeandalucia.es/boja/2023/104/BOJA23-104-00297-9728-02_00284744.pdf.
- [4] DECRETO 64/2022, de 20 de julio, del Consejo de Gobierno, por el que se establecen para la Comunidad de Madrid la ordenación y el currículo del Bachillerato. Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid, 176, de 26 de julio de 2022 pp. 365-372. https://www.bocm.es/boletin/CM_Orden_BOCM/2022/07/26/BOCM-20220726-1.PDF.
- [5] DECRETO 108/2022, de 5 de agosto, del Consell, por el que se establecen la ordenación y el currículo de Bachillerato. Diario Oficial de la Generalitat Valenciana, 9404, de 12 de

- agosto de 2022, pp. 44034-44040. https://dogv.gva.es/datos/2022/08/12/pdf/2022_7578.pdf.
- [6] DECRETO 109/2022, de 22 de agosto, por el que se establecen la ordenación y el currículo del Bachillerato para la Comunidad Autónoma de Extremadura, Diario Oficial de Extremadura, 164, de 25 de Agosto de 2022, 42418-42437. <https://doe.juntaex.es/pdfs/doe/2022/1640o/22040164.pdf>.
- [7] Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato. Boletín Oficial del Estado, 82, de 6 de abril de 2022, pp. 298-305. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/04/05/243/con>.
- [8] Educagob. Portal del sistema educativo español. Currículos en las Comunidades Autónomas: <https://educagob.educacionyfp.gob.es/curriculo/curriculo-lomloe/curriculos-ccaa.html> [consultado el 06/12/2023].
- [9] L. Pauling, *The nature of the chemical bond 3ª ed.*, Cornell Univ., New York, 1960. p. 605.
- [10] P. J. W. Debye, *Polar Molecules*, Dover Publications, New York, 1945.
- [11] J.A. Fidalgo, M.R. Fernández, *Física General*. 7ª ed. Everest. 1997, pp.433-488.
- [12] P. J. W. Debye, Die van der Waalschen Kohasionskräfte. *Phys. Z.* **1920**, 21, 178.
- [13] J.W. Williams, *Peter Josseph Wilhelm Debye 1884-1966. A Biographical Memoir*, National Academy of Sciences. Washington D.C., 1975, 31.
- [14] C.P. Smyth, S.O. Morgan, *J. Am. Chem. Soc.*, **1927**, 49, 1030.
- [15] K. Højendahl, *Nature*, **1926**, 117, 892.
- [16] M. Sauret Hernández, *Química 2 Bachillerato*. Bruño. 2003, pp. 90-92.
- [17] C. Guardia Villarroel, A.I. Menéndez Hurtado, *Química 2 Bachillerato, Serie Investiga*. Santillana. 2016, pp. 114-117.
- [18] J.A. Babor, J. Ibarz Arnárez. *Química General Moderna*, Ed. Marín 8ª ed. 1979, p. 212.
- [19] M.D. Masjuan, J.M. Dou, J. Pelegrín, *Química 2 Bachillerato*, Casals, Barcelona, 2000, pp. 68-69.
- [20] Gray, H.B., Haight G.P.Jr., *Principios básicos de Química*, Ed. Reverte. Barcelona, 1969, p. 11.27.
- [21] H. R. Christen. *Química 2ª ed.* Ed. Reverté, Barcelona, 1972. pp. 82-117.
- [22] C. Guillem Monzons, *Química COU 2ª ed.* Ed. Marfil, Alcoy, 1979, p. 69.
- [23] P. Alonso García, R. Cebeira Mateos, M.J. García Acebes, *Curso de Química 2 Bachillerato*. Mc Graw Hill. Madrid, 1999, p. 74.
- [24] S. Zubiaurre Cortés, J. M. Arsuaga Ferreras, B. Garzón Sánchez, *2 Química Bachillerato*, Anaya, 2003, p. 79.
- [25] A. Pozas Magariños, R. Martín Sánchez, Á. Rodríguez Cardona, A. Ruiz Sáenz de Miera, A.J. Vasco Merino, *Química 2 Bachillerato*, Mc Graw Hill. Madrid, 2016, p. 51.
- [26] M.C. Arróspide Román, M.I. Piñar Gallardo, *Química C.O.U.*, Ed. Luis Vives. Zaragoza, 1992, p. 118.
- [27] J. Morcillo Rubio, M. Fernández González, *Química COU*, Grupo Anaya, Barcelona, 1995. pp. 137-139.
- [28] A. Pozas Margariño, J. Illana Rubio, A. Garrido, A. Romero Salvador, J.M. Teijón Rivera. *Curso de Química COU*. McGraw-Hill. Madrid. 1993.
- [29] Viché Berga, J. *Química C.O.U.* 1996. Ed Librería Mora. Valencia, p. 89.
- [30] J.I. del Barrio Barrero, C. Montejo Cristóbal, *Química 2 Bachillerato*, Ediciones sm, Madrid, 1997, p. 105.
- [31] P. Alonso García, R. Cebeira Mateos, M.J. García Acebes *Curso de Química 2 Bachillerato*. McGraw Hill. Madrid, 1999, p. 74.
- [32] J. Peña Tresancos, M.C. Vidal Fernández, *Química 2 Bachillerato Proyecto Exedra*, Oxford Educación, Navarra 2005, p. 97.
- [33] G.M. Barrow, *Química Física Vol I*. 2ª ed. Ed. Reverte. Barcelona, 1976, pp. 290-291.
- [34] M. Sauret. *Química COU*. Bruño, Madrid, 1991, pp.129-130
- [35] M. Sauret Hernández, *Química Bachillerato 2*. Bruño. 2009. pp. 89-91.
- [36] J.L. Ganuza Fernández, M.P. Casas González, M.P. Queipo Alejandro, *Schaum QUIMICA Estequiometría· Estructuras·Termoquímica·Equilibrios·Química Orgánica*. McGraw-Hill, Madrid, 1991, 104.
- [37] J. Quiles Pardo, S. Lorente Carbonell, F. Sánchez Bañuls, F. Chorro Guardiola, E. Enciso Orellana, *Química 2 Bachillerato*, Ecir, Valencia, 1998, 104-105.
- [38] J.I. del Barrio Barrero, A.I. Barcena Martín, A. Sánchez Sobrón, A. Caamaño Ros, *Química 2 Bachillerato*. Ediciones SM. Madrid, 2009, 85.
- [39] L.A. Oro, J.L. Andreu, M.C. Fernández, J. J Pérez-Torrente, *Química 2 Bachillerato*. Santillana, 1997. 214-215.
- [40] C. Guardia Villarroel, A.I. Menéndez Hurtado, *Química 2 Bachillerato, Serie Investiga*. Santillana, 2016. 114-117.
- [41] J.A. Illana Rubio, J.A. Araque Guerrero, A. Liebana Collado, J.M. Tejón Rivera. *Bachillerato Química 2*. Anaya. Madrid, 2016, p. 103.
- [42] J. Peña Tresancos, M.C. Vidal Fernández, *Química 2 Bachillerato. Tesela*. Oxford Educación, Vizcaya, 2009, pp.112-113.
- [43] M.C. Vidal Fernández, J. Peña Tresancos, *Química 2 Bachillerato. Inicia Dual*. Oxford Educación, Madrid, 2016, pp. 124-125.
- [44] P. Compte Vila, E. Contra Carné, X, Moyá Toran. *Química 2*, Casals, Barcelona, 2023, p. 21.
- [45] A. Pozas Magariños, R. Martín Sánchez, Á. Rodríguez Cardona, A. Ruiz Sáenz de Miera, Vasco Merino, A.J. *2 Bachillerato Química*. Mc Graw Hill. Madrid, 2023, p. 58.
- [46] M.C. Vidal Fernández, J. Peña Tresancos, *Química 2 Bachillerato. GenioxPro*. Oxford Educación, Madrid, 2023, p.104.
- [47] J. Barrio Gómez de Agüero, *Física 2 Bachillerato*, Oxford, Navarra, 2000, p. 110.
- [48] E. Caturla, F. Vidal, *Física 1 Batxillerat*. Castellnou, 1997, Barcelona, pp. 286-287.
- [49] H.D. Young, R.A. Freedman, *Física universitaria con física moderna*, Vol. 2, 12ed., Pearson Educación. México, 2009, pp.735-736.
- [50] M. Alonso, E. Finn, *Física, Vol. II*, 1971, p. 494.
- [51] J.W. Hovick, J.C. Poler. Misconceptions in Sign Conventions; Flipping the Electric Dipole Moment. *J.Chem Edu*, **2005**, 82, 6, 889. <https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/ed082p889>
- [52] IUPAC, *Gold Book*. Disponible on line <https://goldbook.iupac.org/terms/index/all> [consultado el 02/01/2024].
- [53] V.I. Minkin, O.A. Osipov, Y.A. Zhdanov, W.E. Vaughan, Nature of the Dipole Moment and Methods for Its Determination. In: Vaughan, W.E. (eds) *Dipole Moments in Organic Chemistry. Physical Methods in Organic Chemistry*. Springer, Boston, MA. 1970. 41 https://doi.org/10.1007/978-1-4684-1770-8_2.
- [54] <https://www.britannica.com/science/electric-dipole> [consultado el 13/01/2024].