

El legado de Leonardo

António Francisco Cachapuz*

ABSTRACT (The Leonardo's inheritance)

A possible way to become more human is to bridge the gap between the world of truth and the world of emotion and beauty. In this study I am interested in new possibilities of thinking about knowledge, particularly in the epistemic fertilization between chemistry and art. Different ways of celebrating this hidden harmony are presented, including in chemical education.

KEYWORDS: epistemology, art, chemistry, education, interdisciplinary

«Ver lo que tenemos delante de nuestros ojos
requiere una lucha constante»
George Orwell

Resumen

Una de las formas de volvernos más humanos es acercarnos al mundo de la verdad al mundo de la emoción y la belleza. En este estudio, estoy interesado en nuevas posibilidades de entender el conocimiento, en particular en las fertilizaciones epistémicas entre la química y el arte. Se presentan las diferentes formas de celebrar esa armonía escondida, incluyendo en la educación en química.

Palabras clave: epistemología, arte, química, educación, interdisciplinar

El Hombre, un fabricante de símbolos

Existen muchas maneras válidas de valorar el diálogo entre la química y el arte como parte de una fertilización más vasta entre la ciencia y el arte. Sea cual sea la alternativa seguida, lo que se afirma es el potencial creador del hombre fabricante de símbolos, ya sea a través de la obra-prima *El abrazo de amor de El universo, la tierra (México), Yo, Diego y el señor Xólotl* de Frida Kahlo o a través de la ley de Lavoisier. En ambos casos, lo que estas obras revelan es la lucha del hombre para dar significado a la vida, conmemorar nuestra humanidad o corregir las limitaciones y la miopía del sentido común.

Tales aproximaciones interdisciplinarias no son nuevas (por ejemplo, la Bienal de Venecia en 1986 se dedicó íntegramente al tema del arte y la ciencia). No por ello dejan de ser pertinentes.

No faltan ejemplos del diálogo interdisciplinario entre la química y el arte. Sin pretender ser exhaustivo, cabe citar: (i) el esplendor de las vidrieras de las catedrales góticas, consideradas por muchos como la forma más translúcida de pintura monumental; (ii) la fotografía, sólo posible por una circunstancia química (el descubrimiento de la sensibilidad a la

luz de los haluros de plata) y motivo de reflexión semiológica sobre la imagen fotográfica en la última obra de Roland Barthes (1980); (iii) las aleaciones de metal que nos permiten apreciar la estética de las joyas, disfrutar las esculturas o incluso la armonía y el arrojo de las obras arquitectónicas, verdaderas esculturas públicas «que representan la voluntad de una época traducida en el espacio» (Mies van der Rohe, apud Jonathan Glancey, 2006, p. 189); (iv) modernas técnicas analíticas (radiación UV, Raman, infrarrojos, fluorescencia, rayos X...) utilizadas en la conservación y restauración de monumentos y de obras de arte (véase, por ejemplo, Kabbani, 1997); (v) la química de los pigmentos en el arte textil, cerámica de los azulejos, mosaicos y loza artística (Travis, 1993; Delamare y Guineau, 2000) en la que es justo reconocer el papel pionero de las civilizaciones amerindias (según Orna, 2001, la cochinilla de color marrón/rojizo es conocida desde el siglo XVI y hecha a partir de los cuerpos secos de los insectos hembra que parasitan un tipo de cactus, denominado nopal, que existe en México, p. 1307); (iv) la utilización de ácidos clorhídrico o nítrico (este último más conocido en el medio artístico como agua fuerte) en la producción de grabados artísticos de los que Rembrandt (s. XVII) fue un exponente (Gabriel, M., 1987, p. 26).

Es previsible, por otro lado, que en esta acertada iniciativa de la revista *Educación Química* se traten algunos de esos aspectos con mayor profundidad de la que yo les daría.

Pero ésta no es la lógica que me trajo hasta aquí.

No estoy interesado en el modo instrumental (las «aplicaciones») de cómo el arte influye en la química o la química en el arte, a pesar de reconocer su enorme relevancia social. Mi interés se centra en una etapa anterior, en los procesos epistémicos de construcción de esas dos áreas del conocimiento, es decir, en el registro epistemológico, que implica otras posibilidades de entender el conocimiento. Me mueve lo que Martin Kemp (2010) llama la «insaciable necesidad que el cerebro humano tiene de dar coherencia al mundo» (p. 4). Con más razón aún, entre dos lenguajes que el positivismo alejó equivocadamente.

La cuestión es pertinente. Para el Nobel de Biología François Jacob (1985), «hoy debería estar claro que ningún sistema de pensamiento es capaz de explicar el mundo en todos sus detalles» (p. 48). Más próximo a nosotros, basándose

* Universidad de Aveiro / CIDTFF, Portugal.

Correo electrónico: cachapuz@ua.pt

en la investigación en neurociencias, António Damásio (1995), en su *best seller El error de Descartes*, cuestiona el divorcio (que el positivismo legitimó) entre el mundo de la racionalidad y verdad y el mundo de la emoción y de la belleza, considerando que Descartes estaba equivocado sobre la dualidad razón y emoción. El autor demuestra, basándose en resultados de la neurofisiología, la importancia del *input* emocional en la decisión racional y advierte de que «considerar el papel de las emociones en los procesos de raciocinio no significa que la razón sea menos importante que las emociones, sino sólo que ahora conocemos mejor cómo funciona nuestro cerebro» (p. 252).

Es decir, desde hace mucho tiempo sabemos que el arte y la ciencia son dos aspectos diferentes de la actividad humana con identidad propia. Sin embargo, hoy en día, ésta no es una cuestión interesante. Lo interesante es profundizar en cuáles son las similitudes que pueden, a pesar de todo, existir entre ellas, y de qué modo éstas pueden abrir nuevos horizontes para el conocimiento en general (función heurística) y, en particular, para la educación en ciencia. En este estudio me centro, precisamente, en dicha función heurística.

Recorro al pensamiento de Edgar Morin y a su conocida visión sobre la complejidad del conocimiento para fundamentar teóricamente mis argumentos sobre otra posibilidad de pensar a través de retroacciones, incertidumbres y contradicciones, y no con la búsqueda de un principio unitario, que implique todos los conocimientos. Destaco en particular su argumento de que «el principio de la simplicidad impone que se separe y reduzca; el principio de la complejidad favorece el vínculo, aunque distinga» (Morin, 1996, p. 10). Éste es un argumento que, por su pluralismo y transversalidad, agradaría a Leonardo da Vinci (1452/1519), paradigma del hombre renacentista con un papel pionero en el desvelar de la armonía escondida.

Sobre el acto creativo

Plaza (1996) considera que «en el origen del acto creador, el científico no se diferencia del artista, sólo trabajan materiales diferentes del Universo» (p. 26). Es decir, el dispositivo cognitivo fundamental del que se sirven la química y el arte en su construcción es el mismo, esto es, la sinergia entre la imaginación creadora (según Bachelard, una de las fuerzas de la audacia humana) y la observación. Arthur Koestler, en su aclamado libro *The Act of Creation* (1964), se consagra durante buena parte de la obra al acto creador de artistas y científicos de renombre, defendiendo que somos más creativos cuando suspendemos el pensamiento racional y valoramos procesos inconscientes. Para él, «el acto creativo es siempre un salto al vacío, una penetración en las profundidades. La verificación sólo aparece *post factum*, una vez que el acto creativo se ha completado» (p. 330). A pesar de considerar que una teoría de la física es bastante más verificable que un trabajo artístico, el autor protesta contra la separación entre el mundo de la verdad verificable/refutable (ciencia) y el mundo del arte (experiencia estética) y defiende que la transición del primero al

segundo sigue un gradiente continuo. «La belleza es una función de la verdad y la verdad es una función de la belleza. Podemos separarlas por medio del análisis, pero en el acto creador son inseparables» (p. 331).

Es curioso verificar cómo insignes científicos y artistas tienen visiones idénticas sobre el concepto de observación en el acto creador. Como apunté en otro lugar (Cachapuz, 2007), el célebre pintor Henri Matisse afirmaba sobre la observación que ver es ya una operación creadora que exige un esfuerzo. Esta afirmación converge con la perspectiva sobre la observación del Nobel François Jacob (1985), que afirmaba que, para obtener una observación con algún valor, es necesario tener, anticipadamente, alguna idea de lo que hay para observar. Es necesario haber decidido ya lo que es posible. Es decir, tal y como afirmó acertadamente Saint-Exupéry (1946), lo esencial es casi siempre invisible a nuestros ojos (*idem*, p. 289).

A pesar de que las sinergias entre ciencia/química y arte puedan revelar formas diversas, existe, pues, una armonía entre ellas al nivel del contexto del descubrimiento. La discusión con los alumnos sobre estos argumentos relativos a la observación puede constituir un buen punto de partida para que los profesores exploren el papel decisivo de las teorías y modelos en la construcción del conocimiento (contexto del descubrimiento) científico, contexto sistemáticamente infravalorado en la educación científica debido a que no cabe en el ámbito estricto de la objetividad positivista. ¿Qué les queda entonces a los alumnos? ¿Les queda la ciencia/química como una retórica de conclusiones!

En el ámbito específico de la química, dos premios Nobel, Roald Hoffmann y Jean-Marie Lehn, llaman la atención sobre la similitud entre la química y el arte en los procesos intelectuales que llevan a la síntesis de nuevas moléculas. «Creo que la actividad creadora no es muy diferente en el arte y en la ciencia; ambas pretenden explicar una parte del universo que nos rodea, y desde ese punto de vista, la actividad científica es incluso más trivial: establecer parámetros perfectamente definidos para la interpretación del Universo es más fácil que intentar cuestionar la muerte o el fin del amor» (Roald Hoffmann, apud Monteiro, 1987, p. 7). Martin Kemp (2010) afirma que «en el caso del carbono 60, o buckminsterfulereno, Harry Kroto se inspiró en la obra de Buckminster Fuller, el arquitecto norteamericano *high-tech* que construía cúpulas geodésicas» (p. 5). El ejemplo sirve, asimismo, para corroborar el argumento defendido por Damásio (1995) de que «inventar es escoger. Entre las combinaciones escogidas, las más fértiles serán normalmente las formadas por elementos retirados de dominios muy alejados. No es que yo considere que para inventar basta con reunir los objetos más diferentes entre sí. La mayor parte de las combinaciones así formadas sería completamente estéril. Pero algunas de ellas, muy raras, son las más fructíferas de todas» (p. 200). Harry Kroto acertó.

Un marco estructural

Martin Kemp (2000, pp. 5 y 6) sugiere diversas vías estructurales del diálogo entre la ciencia y el arte. A pesar de que

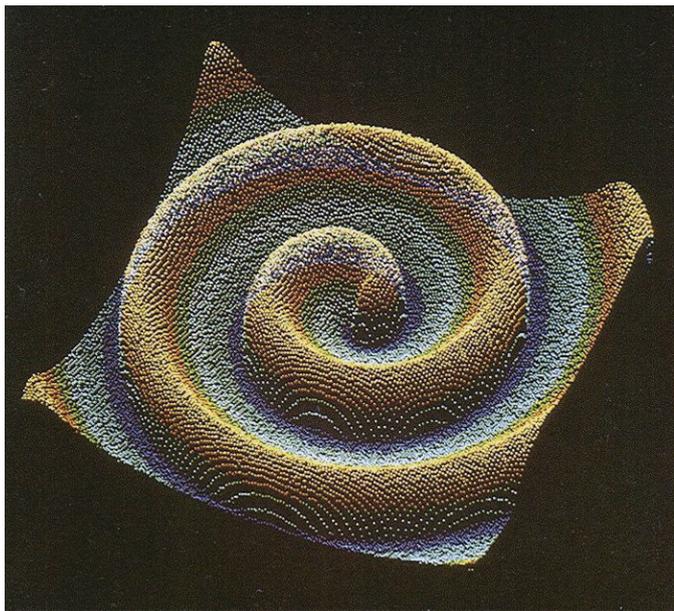


Figura 1.

Kemp sea un historiador del arte, es posible transponer al ámbito de la química su marco teórico.

(i). La primera vía, denominada Descripción Analítica (*Analytical Description*), se refiere a las «formas de representación en que los aspectos de la apariencia visual se reorganizan en base a una representación intelectualizada de la naturaleza que se observa, cómo se observa y de qué formas puede ser analizada para transformarse en explicaciones de los fenómenos. Las estrategias y herramientas asociadas a la Descripción Analítica son, por ejemplo, el modelado del color, la representación en perspectiva o el análisis de los fenómenos luz/sombra» (ídem). Cualquiera de estas situaciones tiene interés inmediato en el estudio de la química. Un caso notorio es el de la ilustración tridimensional de las estructuras moleculares en los manuales escolares de química (por ejemplo, las conformaciones en forma de bote y silla del ciclohexano).

(ii) Una segunda vía que permite estructurar el diálogo entre la ciencia y el arte es descrita por el autor como Abstracción (*Abstraction*) y hace referencia a la «exploración de parámetros sensoriales de nuestra experiencia recurriendo a equipamientos tecnológicos que abarcan nuevas realidades y perspectivas inaccesibles, capaces de ampliar el campo de investigación, ya sea para el artista o para el científico, y revolucionando las escalas de percepción» (ídem). El grafismo electrónico, holografía o *software* informático usado para ver los «nuevos mundos» de la química cuántica proporciona ejemplos de esta vertiente. «La dimensión estética de la ciencia reside en el modo en que el científico representa su objeto y no en lo que representa. Por otra parte, la dimensión científica en el arte reside en las estructuras y/o diagramas ordenadores que son su propio objeto-finalidad» (Plaza, 1996, p. 30).

La figura 1 es un ejemplo que utilizo a veces con mis alumnos universitarios para explorar las relaciones entre la química

y el arte en el marco de una visión holística del conocimiento y del papel de los marcos conceptuales en la observación. Invariablemente, la respuesta que me dan a la pregunta de qué creen que estará representando, es que se trata de una obra de arte abstracta. Sin embargo, retiré el ejemplo escogido («the rotating chemical spiral») de Müller *et al.* (1988, p. 20) y trata sobre la visualización digital de la reacción de Belousov-Zhabotinsky (oxidación del ácido malónico en presencia de compuestos de bromo).

Dichas representaciones espaciales se obtienen con una cámara de video incorporada en un espectrofotómetro y computación gráfica. Los autores afirman que la «información científica se alía así a su representación gráfica de forma que inspira creatividad e imaginación, facilitando una visión estética y, por lo tanto, más humanizada de fenómenos científicos complejos» (p. 19). Para ellos, la separación del mundo de la arte y del mundo de la ciencia es hoy uno de los mayores desafíos de la reflexión cultural. E Ilya Prigogine sostiene en el prefacio de la misma obra que «el arte y la ciencia nunca han estado divorciadas» (p. 2).

(iii) La tercera vertiente apuntada por Kemp se denomina Proceso (*Process*) y consiste en la «valoración de los procesos de construcción como campo de resultados y no de los resultados propiamente dichos» (ídem).

Una posible transposición es el «paralelismo» entre las dinámicas de construcción del conocimiento en arte y en química; en particular, la importancia de las denominadas rupturas epistemológicas en ambos campos de estudio. Por ejemplo, en la historia de la química, las rupturas relativas a los conceptos de ácido/base o a los modelos de la estructura atómica, desde Thomson al denominado modelo cuántico. También en el arte es posible identificar rupturas epistemológicas con gran significado. Es preciso destacar, en el ámbito de la música, extractos de la *Tocata y fuga en re menor*, de Johann Sebastian Bach (siglos XVII/XVIII), la obertura de la *Séptima Sinfonía* de Ludwig van Beethoven (siglos XVIII/XIX), la obertura de *La Consagración de la Primavera* de Igor Stravinsky (siglos XIX/XX) y, por ejemplo, *Freeman Etudes* (1990) de John Cage. O incluso, en el ámbito de la pintura, *La virgen de la roca* (1495) de Leonardo da Vinci, *Las señoritas de Avignon* (1907) de Pablo Picasso, *La persistencia de la memoria* (1931) de Salvador Dalí y *Composición con gris, rojo, amarillo y azul* (1927) de Piet Mondrian. En cualquiera de los casos no se trata solamente de obras de arte diferentes, sino de perspectivas estéticas, y por lo tanto filosóficas, claramente diferenciadas, del barroco de Bach al modernismo de Cage (en el caso de la música) o del arte renacentista de Leonardo al neoplasticismo de Mondrian. El «paralelismo» mencionado sobre las dinámicas de construcción del conocimiento en arte y química acaba aquí. Una diferencia distintiva es que el estudio de los antiguos conceptos de ácido/base o del modelo de estructura atómica de Thomson es hoy en día una curiosidad histórica (estudio en general indebidamente aprovechado en el ámbito de la educación en química). Por el contrario, escuchar una obra de Bach o disfrutar de un dibujo o un cuadro

de Leonardo continua arrastrando multitudes. La razón de esta diferencia fue esclarecida por Khun (1989), que considera que «la ciencia destruye su pasado» (p. 413). Y Carrilho (1991) añade que tal situación en la ciencia configura una «dialéctica de liquidación de su pasado» (p. 73).

Otro posible «paralelismo» lo constituyen los procesos de desustancialización en química y abstracción en arte. Como afirma Brock (1992, entre otros), la química fue durante mucho tiempo una ciencia sustancialista, volviéndose cada vez más abstracta, particularmente después de Dimitri Mendeleev (s. XIX) y, sobre todo, con el advenimiento de la química cuántica. De este modo, en lugar de vincular directamente al electrón propiedades sustantivas, va a vincularle números cuánticos. También en el arte es notoria una tendencia a la abstracción, sobre todo en el inicio del siglo XX, con Kandinsky, Malevitch y Mondrian, entre otros. «*Less is more*» es el grito de guerra del arte minimalista, caracterizado por la reducción de los medios de expresión. Como afirma Vallier (1980), existen ciertamente antecedentes en la abstracción bastante antes del siglo XX, incluyendo la actividad artística del Paleolítico y Neolítico. Sólo que esa abstracción es un punto de llegada y no un punto de partida, es decir, «la conciencia de estar pintando o esculpiendo en abstracto no existe» (p. 10). Y Vallier añade, en referencia a las tangencias ciencia/arte en el inicio del siglo XX que, «durante los años 20, cuando los pintores luchan por encontrar un absoluto geométrico que pueda expresar el mundo visual, los físicos creen firmemente que podrán alcanzar el último constituyente de la materia y encerrar así, de lo infinitamente pequeño a lo infinitamente grande, en una ley única» (p. 246).

Sería posible identificar aquí otros ejemplos de dinámicas comunes en el arte y en la química, tal como el papel de la interdisciplinariedad en la construcción de *cada una* de ellas (y no sólo entre ellas).

Enseñar la condición humana

Ya fueron presentadas arriba varias sugerencias de cómo explorar en la educación en química el diálogo interdisciplinario entre la química y el arte. Como principio orientador de cualquier propuesta educativa en este dominio, se aboga por que la educación debe promover un diálogo innovador entre diversas áreas del saber que ayude a los jóvenes a reinventar su relación con el conocimiento, permitiéndoles dar sentido, unidad y coherencia a la diversidad de sus representaciones y experiencias con el mundo.

A través del teatro o de las dramatizaciones, es fácil encontrar ejemplos de relaciones dialógicas entre el arte y la ciencia. Por ejemplo: Lerman (2003) explota el teatro, la danza y el cómic en una perspectiva de enseñanza de la química para todos. Con respecto a la controversia surgida entorno al descubrimiento del oxígeno por Lavoisier, Priestley y Scheele en el siglo XVIII, los químicos Roalf Hoffman (premio Nobel) y Carl Djerassi escribieron la obra de teatro *Oxígeno*, llevada a escena en Portugal en 2006.

Cunha y Giordan (2009) exploran la imagen de la ciencia

en el cine a través de películas seleccionadas que se presentan en el aula, con temas como la ciencia y la ciencia ficción, la ciencia y el poder, la ciencia y el medio ambiente, la ciencia fantástica y divertida, etc.

Otra estrategia de trabajo es la exploración interdisciplinaria de obras pictóricas cuyo objeto artístico tiene que ver con la química, por ejemplo la pintura de Joseph Wright of Derby (s. XVIII) existente en la National Gallery de Londres titulada *Experimento con un pájaro en una bomba de aire*, sobre la denominada química de los gases y de la que Gorri y Filho (2009) presentan un interesante estudio educacional (curiosamente, ese mismo cuadro aparece en 2005 como portada de *Educación Química*, vol. 16, núm. 4).

Cachapuz y Ferreira (2010) describen otro ejemplo de exploración educativa de una obra pictórica. Los autores describen un estudio de caso con una profesora y sus veintitrés jóvenes alumnos sobre la concepción, planificación, estrategias de enseñanza y evaluación de la práctica pedagógica en la exploración hecha del conocido cuadro puntillista *Tarde de domingo en la isla de la Grande Jatte (Un dimanche après-midi à l'Île de la Grande Jatte)* del pintor Georges Seurat, s. XIX. La historia de ese cuadro aporta mucha información sobre las relaciones entre el arte, la química y la física, ya que Seurat aprendió con el químico Chevreul y con el físico Rood que los colores llegan a nuestros ojos en forma de luz con diferente ancho de onda y que se mezclan en la retina (una novedad para la época). El pintor debió llegar a la conclusión de que no debía mezclar los pigmentos en su paleta (como hacía habitualmente), sino yuxtaponer los colores primarios en el lienzo, punto a punto. De ahí la designación de puntillismo. Una de las claves para la lectura de la pintura impresionista es que no siempre se ve mejor cuando se mira más de cerca (y por eso cuando nos ponemos enfrente de ese cuadro, retrocedemos un poco para apreciarlo mejor). El estudio también permite valorar la importancia de mejorar la interdisciplinariedad en la formación de profesores, sin la cual cualquier innovación educativa difícilmente tendrá resultados positivos.

En la poesía, es frecuente la presencia del tema de la química y de la ciencia. El poeta António Gedeão (pseudónimo de Rómulo de Carvalho, respetado profesor de química y científico portugués) tiene varios, como, por ejemplo, *A lição sobre a água* (La lección sobre el agua), de 1990.

*«Este líquido es agua/Cuando es pura/Es inodora, insípida e incolora/Reducida a vapor,
Bajo tensión y altas temperaturas/Mueve los émbolos de las máquinas que, por eso,
/Se denominan máquinas de vapor/Es un buen disolvente/
Aunque con excepciones pero de forma general/Disuelve todo bien, ácidos, bases y sales/Congela a cero grados centesimales/Y hierve a 100, a presión normal/Fue en este líquido donde en una noche cálida de verano/Bajo la luz de la luna gomosa y blanca de camelia/Apareció flotando el cadáver de Ofélia/
Con un nenúfar en la mano».*

Cualquiera de estos ejemplos permite a los profesores y a los encargados de decidir el currículo no sólo fomentar otra visión epistémica del conocimiento, sino también estudiar la historia de la química en contexto y profundizar en el estudio de la cultura de una época. O, lo que es lo mismo, que ya estamos en el terreno de la educación y no sólo de la instrucción, o en las palabras de Morin (1999) que escogí para dar título al párrafo, enseñar la condición humana.

Para finalizar

Tenemos que aprender de nuevo a hacer las preguntas adecuadas sobre el sentido del futuro de la educación. La cuestión no es sólo hacer que el proceso educativo sea más eficiente de acuerdo con la agenda neoliberal. No es eso. Las nuevas cuestiones ineludibles son del dominio de la ética, de los valores y de la ciudadanía. «El ser humano tiene, probablemente, tanta necesidad de sueño como de realidad. La esperanza es lo que da sentido a la vida» (Jacob, 1985, p. 137). Palabras de un científico.

Un siglo antes, John Dewey defendió que el criterio de valorización de la educación escolar es en qué medida es capaz de crear en los jóvenes el deseo de continuo crecimiento (*growth*) y de proporcionar los medios para que esto se haga efectivo. Más próximos a nosotros, Postman y Wiengartner (1981) consideran que la nueva educación tiene como finalidad desarrollar a alguien con mentalidad curiosa, flexible, creativa, tolerante y democrática; alguien capaz de hacer frente a la incertidumbre y la ambigüedad sin desorientarse; alguien capaz de formular nuevos significados viables para cada situación a la que se enfrenta que pueda amenazar la supervivencia individual y del grupo (p. 53). Sigo pensando que estos argumentos son válidos y que la educación en química/ciencia puede contribuir llevarlos a cabo.

También cada uno de nosotros puede contribuir.

Agradecimiento

Este trabajo fue realizado con el apoyo financiero de la Fundación Portuguesa para la Ciencia y la Tecnología y el CIDTFF/Universidad de Aveiro, Portugal.

Bibliografía

- Barthes, R., *A Câmara Clara*, Edições 70, Lisboa, 1980.
- Brock, W., *Chemistry*. London: Fontana Press, 1992.
- Cachapuz, A., Arte y Ciência: que papel juegan en la educación en ciencias?, *Eureka*, 4(2), 287-294, 2007.
- Cachapuz, A. and Ferreira, P., Bridging art and science in science education, *Journal of Science Education*, 11(2), 60-63, 2010.
- Carrilho, M., *Epistemologia: Posição e Críticas*. Lisboa: Fundação Gulbenkian, 1991.
- Cunha, M. e Giordan, M., A imagem da ciência no cinema, *Química Nova na Escola*, 31(1), 9-17, 2009.
- Damáso, A., *O erro de Descartes*. Portugal: Publicações Europa América, 1995.
- Delamare, F. and Guineau, B., *Colors: the story of dyes and pigments*. New York: Discoveries, H. A. Publishers, 2000.
- Gabriel, M., A utilização dos ácidos na gravura artística, *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*, 28, 26-28, 1987.
- Gedeão, A., *Linhas de Força*. Coimbra: Atlântida, 1967.
- Glancey, J., *Arquitectura*. Porto: Civilização Editores, 2006.
- Gorri, A. e Filho, O., Representação de temas científicos em pintura do século XVIII: um estudo interdisciplinar, *Química Nova na Escola*, 31(3), 184-189, 2009.
- Hoffman, R. & Djrassi, C., *Oxigénio*. Porto, Portugal: Teatro do Campo Alegre, 2006.
- Jacob, F., *O jogo dos possíveis*. Lisboa: Gradiva, 1985.
- Kabbani, R., Conservation: a collaboration between art and science, *The Chemical Educator*, 2(1), 1-18, 1997.
- Kemp, M., *Visualisations - the nature book of art and science*. Oxford: Oxford Univ. Press, 2000.
- Kemp, M., Entrevista ao jornal, *Público*, 26 de Novembro, 4-6, 2010.
- Koestler, A., *The act of Creation*. London: Arkana Penguin Books, 1964.
- Khun, T., *A tensão essencial*, Lisboa: Edições 70, 1989.
- Lerman, Z., Using the art to make chemistry accessible to everybody, *J. Chemical Education*, 80(11), 1234-1243, 2003.
- Monteiro, J. S., Criatividade em arte, criatividade em ciência, *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*, 28, 2-8, 1987.
- Morin, E., Pour une réforme de la pensée. Paris: *Le Courier de l'UNESCO*, UNESCO, 10-14, 1996.
- Morin, E., *Os sete saberes necessários à educação*. S. Paulo: Cortez, 1999.
- Muller, S., Markus, M., Plessner, T., & Hess, B., *Dynamic pattern formation in Chemistry and Mathematics-aesthetics in the sciences*, Max Planck, Dortmund, 1988.
- Orna, M., Chemistry, Color and Art, *J. Chemical Education*, 78(10), 1305-1311, 2001.
- Plaza, J., Arte/Ciência, uma consciência, *Comunicações e Artes*, 19(29), 24-33, 1996.
- Postman, N. & Weingartner, C., *Teaching as a Subversive Activity*. London: Penguin Education, 1983.
- Saint-Exupéry, A., *Le petit Prince*. Paris: Gallimard, 1946.
- Travis, A.S., *The rainbow makers. The origin of the synthetic dyestuffs industry in western Europe*. Bethlehem: Lehigh Univ. Press, 1993.
- Vallier, D., *A arte abstracta*. Lisboa: Edições 70, 1980.