

Cosmología, Estética y Educación

Henrik Zinkernagel
Departamento de Filosofía I
Universidad de Granada
zink@ugr.es

En C. Rodríguez Martín (ed.) *Arte y Naturaleza*. Granada: Comares, 2017 (en prensa).

Introducción

No es infrecuente señalar que las ideas sobre belleza, armonía y simetría han tenido, y siguen teniendo, un papel en el desarrollo de la ciencia. También es sabido que algunos avances científicos han sido inspirados por el arte, mientras otros han tenido repercusión en él. Sin embargo, en este ensayo propongo que la relación entre la estética y la cosmología, y la ciencia en general, es más estrecha que estas influencias mutuas indican. Una razón importante es que la estética no sólo se relaciona con lo bello y el arte, sino también con lo sublime y – en un sentido amplio – con la cognición sensorial implicada por ejemplo en la apasionada entrega en el proceso científico o los encuentros sensoriales con los fenómenos naturales.

En lo que sigue, daré ejemplos de las interacciones entre la cosmología y la estética a lo largo de la historia. Dado que ésta cubre más de dos mil años, sólo podré tratar unos pocos fragmentos de un relato sobre conexiones estética-cosmología. No obstante, espero que éstos puedan ofrecer una imagen de la cosmología, y de la ciencia en general, distinta de la común imagen objetivista y utilitarista. Según ésta imagen, la ciencia es una empresa algo fría y exclusivamente racional, cuya función en la sociedad es principalmente la de posibilitar el desarrollo tecnológico. La imagen común de la ciencia también puede cuestionarse cuando consideramos las relaciones entre arte y ciencia, y presentaré algunos ejemplos de estas. En particular, trataré de ilustrar cómo la cosmología ha compartido con el arte la fascinación por lo infinito.

Por último, indicaré brevemente cómo las relaciones entre ciencia y estética podrían tener repercusiones en el ámbito de la educación. El arte y las experiencias estéticas tienen normalmente poca cabida en la educación científica. Entre las causas puede estar la imagen común de la ciencia ya mencionada. Esta imagen favorece una presentación de la ciencia descontextualizada de su origen histórico, los motivos que llevaron los científicos a desarrollarla, y su posible impacto en las experiencias personales de los alumnos con el mundo. Sin embargo, creo que las relaciones entre ciencia y estética sugiere la importancia de fomentar las experiencias estéticas a través del aprendizaje. Como veamos esta idea podría ayudar para mejorar la motivación de alumnos y maestros en sus actividades y, además, enfatiza el valor de la estética también en las ciencias.

Cosmología: La ciencia de lo bello

La conexión entre cosmología y estética se revela tan pronto que nos preguntaremos por la etimología de la primera. La palabra cosmología viene del griego: 'Kosmos', que puede significar adorno, ordenado o mundo; y 'logos' que significa pensamiento racional. La referencia estética de la primera parte la conocemos de la palabra *cosmética*. Menos conocido es que 'kosmos' junto con 'logos' expresa la idea de un

universo bien ordenado y racionalmente inteligible. Esta idea, reflejada en una sola palabra, es al mismo tiempo la base de la ciencia natural, cuyos cimientos atribuimos a los griegos.

Unas de las primeras cosmologías destacables en la antigua Grecia es la de los pitagóricos (siglos VI y V a.C). La escuela pitagórica concebía el universo de forma esférico, con la Tierra igualmente esférica en el centro; la Luna, el Sol y los planetas en movimiento circular a su alrededor y con una última esfera exterior donde estaban localizadas las lejanas estrellas fijas. Los pitagóricos, además, tenían la idea de que los observables movimientos erráticos de los planetas, los llamados movimientos de retrogradación, en realidad, podrían ser descompuestos en movimientos más simples y circulares.

Lo importante aquí es que la visión pitagórica del mundo, en gran parte, se debe a un descubrimiento estético procedente del campo de la música. Cuando se divide una cuerda en dos (en proporción 2:1), se obtiene el octavo, en proporción 3:2 la quinta y en proporción 4:3 la cuarta. De esta muestra se puede apreciar que las armonías, o los tonos que suenan bien juntos, se forman combinando fracciones de números enteros. Inspirado por esta sorprendente conexión entre los intervalos musicales y los números, Pitágoras, o alguien de su escuela, pensó que el secreto del universo estaba en los números enteros. Una consecuencia de esto era la hipótesis de que las distancias relativas de los planetas, moviéndose alrededor de la Tierra con velocidades diferentes, guardan también relaciones armónicas. De allí, la idea pitagórica de 'la música de las esferas'; una música en el cielo tocado por los planetas, que no oímos porque estamos, como el herrero y el sonido del martillo, acostumbrados a escucharlo. Así, las armonías de la música, expresadas a través de los números, se extrapolan a las armonías del cosmos. A su vez, el concepto de armonía se encontraba estrechamente relacionado con los de orden, proporción y simetría. Por eso, no cabían irregularidades o asimetrías en los movimientos celestes.

Platón adoptó muchas de las posturas pitagóricas sobre la cosmología y la astronomía.¹ No obstante, Platón sustituye el papel fundamental de los números por el de la geometría. De esta forma, hay una estrecha relación entre astronomía y geometría. La primera estudia las figuras (los sólidos) en movimiento, la figura perfecta (más simétrica) es la esfera y el movimiento perfecto es el circular. Pero, Platón es también consciente de que los complejos y erráticos movimientos planetarios observados no corresponden a movimientos simples y circulares. De ahí, proclama que "...los verdaderos movimientos son perceptibles para la razón y el pensamiento, pero no para la vista" (citado de Rioja y Ordoñez 2004, p. 35). En esto podemos apreciar la estrecha relación que Platón establece entre la belleza, la perfección y la verdad. El reto de la astronomía a partir de Platón, y hasta Kepler, es entonces construir una teoría capaz de dar cuenta de los erráticos movimientos de los planetas en términos de movimientos simples e inteligibles. Como para los pitagóricos, la razón de este reto es, fundamentalmente, matemática-estética. Lo que quiere Platón es averiguar cuál es el secreto de lo que llama "el más bello de los seres generados" (*Timeo*, 29a), el mundo ordenado por el Demiurgo.

La visión del cosmos de los griegos, empezando por Pitágoras, también revela un aspecto estético más profundo de la cosmología. La belleza, no sólo sirve como guía para comprender el universo, sino también como mediador para desvelar las posibles relaciones entre hombre y universo. Para los pitagóricos, el descubrimiento de las relaciones numéricas en las armonías era, también, una revelación religiosa, en donde el placer del alma se conecta con la ley divina del universo y así contribuye a una unión entre alma humana y cosmos (Valverde 1987, p. 11). Para Platón, la contemplación de la belleza y el orden del cosmos era una vía para liberar nuestro espíritu y ponernos en contacto con el estado feliz que teníamos antes de caer presos

¹ Aunque a veces se solapan, estos dos saberes se diferencian por ejemplo en que la primera se ocupa del mundo en su conjunto, mientras la segunda estudia el movimiento de los astros individuales.

en la cárcel del cuerpo.

Desde entonces, estas conexiones entre hombre y universo han jugado un papel en la cosmología, bien en clave mística o bien en clave cristiano-religiosa. Respecto a lo primero, se puede citar un texto central del hermetismo – *La Tabla (de) Esmeralda* – que en el renacimiento fue atribuido erróneamente a un sacerdote egipcio (Hermes Trismegisto) del año 3.000 AC. En este texto, probablemente escrito por autores árabes anónimos en los siglos VI-VIII d.C, aparece el lema ‘como arriba es abajo’. Justamente, este lema fue usado por el astrónomo Tycho Brahe como inscripción encima de la puerta principal de su observatorio en la isla Hven entre Dinamarca y Suecia. Respecto a lo segundo, se puede citar la idea bíblica de que el hombre es creado en la imagen de Dios. Marsilio Ficino, filósofo neoplatónico que inspiró tanto a Copérnico como a Kepler, escribió en su *Theologia Platonica* (1482): “Puesto que el hombre ha observado el orden de los cielos, cuando se mueven, y a dónde avanzan y con qué medida, ¿quién podría negar que el hombre posee... casi el mismo genio que el Autor de los cielos?” (citado de Valverde 1987, p. 84). Estas ideas expresen algo que, también, se puede encontrar en las ideas tradicionales del oriente, por ejemplo en la meditación *Zen*: de alguna manera, estamos conectados con el universo. Por lo menos hasta el siglo XVII, estas conexiones fueron comúnmente cultivadas por los astrónomos, ya que estos – por ejemplo Brahe y Kepler – eran también astrólogos. Se entiende que es difícil concebir la historia de la astronomía y la cosmología sin la astrología.

Se puede ver en la búsqueda de relaciones entre hombre y universo, por tanto, también una búsqueda de sentido. Quizás una especie de respuesta ante nuestra condición humana frente al inmenso cielo estrellado. En esta conexión, no parece una causalidad que la palabra ‘deseo’ (o *desire* en inglés) viene del latín ‘de sidera’ que significa ‘de las estrellas’. Posiblemente, el origen viene de la astrología ya que eran las estrellas (o Dios que reside entre ellas) las que supuestamente determinan nuestro destino. En cualquier caso, la búsqueda de sentido de la vida no anda lejos de la estética; como también podemos apreciar en *El Banquete* de Platón (p. 24): “...si alguna cosa da valor a esta vida es la contemplación de la belleza absoluta”.

Estética cosmológica y la filosofía de la ciencia.

Hemos visto que la estética juega un papel en la historia de la cosmología. ¿Pero hasta qué punto? Durante el siglo XX, influyentes filósofos de la ciencia, entre ellos Karl Popper, pensaban que había una distinción nítida entre lo que llamaban el *contexto de descubrimiento* y el *contexto de justificación*. Su idea era que factores como los estéticos, psicológicos o socio-culturales podrían haber tenido una influencia en la confección (descubrimiento) de nuevas teorías científicas. Pero los únicos criterios relevantes para la aceptación (justificación) del posterior desarrollo y estatus de una teoría científica eran puramente racionales y objetivos. En concreto, el factor determinante para la aceptación de una teoría sería que ésta concuerde mejor con la evidencia empírica que las teorías rivales.

Ahora bien, una de las preguntas más interesantes respecto al desarrollo de la ciencia, es el de por qué, a veces, se producen cambios radicales en nuestras concepciones científicas sobre el mundo, las llamadas revoluciones científicas. Un ejemplo muy estudiado en la historia y filosofía de la ciencia es la transición entre el sistema ptolemaico, donde la Tierra se encuentra en el centro del universo, y el sistema copernicano, donde es el Sol que ocupa la posición privilegiada. ¿Por qué se produjo este cambio de paradigma?

En su influyente obra *La estructura de las revoluciones científicas* de 1962, Thomas Kuhn sugiere que la transición sólo fue posible debido a una sensación de crisis astronómica en el siglo XVI. Según Kuhn, había por ejemplo problemas con el

calendario juliano, que se basaba en el sistema ptolemaico y que implicaba el gradual desplazamiento en la fecha de las fiestas religiosas a lo largo de los años.² Además, la aparición irregular de cometas en el cielo minaba la confianza en el perfecto orden celeste de Platón, Aristóteles y Ptolomeo. Finalmente, y quizás como la razón más determinante para la sensación de la crisis astronómica, Kuhn cita la complejidad del sistema ptolemaico (1962, p. 116). Ésta complicaba los cálculos necesarios para predecir las posiciones de los astros.

Puede que estos factores contribuyeran al cambio de paradigma.³ En cualquier caso, O. Gingerich (1975), un historiador y astrónomo experto en la época, ha discrepado algo con Kuhn respecto al origen del cambio de paradigma: no había una sensación de crisis astronómica en el siglo XVI. Por ejemplo, según Gingerich, hubiera sido muy difícil para los astrónomos de la época distinguir entre los dos sistemas en base de su complejidad para los cálculos. Lo que realmente movió a Copérnico fueron consideraciones estéticas. En particular, arguye Gingerich, Copérnico denunció que el esquema de Ptolomeo no era suficientemente unificado y simple ya que no permite determinar los tamaños relativos de las órbitas planetarias. Lo que quería Copérnico, entonces, era una mayor unidad y orden en el universo, también expresado en su preferencia platónica por movimientos circulares y regulares. Gingerich concluye (1975, p. 90, la traducción del inglés es mía):

“La cosmología de Copérnico no empezó con nuevas observaciones. Como la revolución de Einstein cuatro siglos más tarde, era motivado por la búsqueda apasionada de simetrías y una estructura estética del universo”.

Más allá de la cuestión de crisis astronómica, Kuhn mismo dio motivos para cuestionar la distinción entre contexto de descubrimiento y contexto de justificación, ya que lo primero puede condicionar lo segundo. Anotó en su libro sobre revoluciones científicas (Kuhn 1962, p. 241):

“...la importancia de las consideraciones de estética puede ser a veces decisiva. Aunque a menudo sólo atraen a unos cuantos científicos hacia una nueva teoría, es posible que su triunfo final dependa precisamente de esos pocos. Si por fuertes razones individuales no lo hubieran tomado a su cargo rápidamente, el nuevo candidato a paradigma pudiera no desarrollarse nunca lo suficiente como para atraer a la comunidad científica como un todo”.

Para Kuhn, al igual que para Gingerich, la transición entre el sistema ptolemaico y el copernicano es, justamente, un ejemplo donde las consideraciones estéticas eran decisivas.

A pesar de Kuhn y Gingerich, la tendencia hoy entre filósofos de la ciencia es obviar el papel de la estética. E, incluso, cuando sí lo toman en cuenta, es común considerar la estética como algo que, en última instancia, es poco relevante o inofensivo para el desarrollo de la ciencia. Así, McAllister (1996) arguye que las evaluaciones estéticas de los científicos respecto a una teoría con el tiempo se determinan (y se cambian) en función del éxito empírico de esta teoría. Al igual que la distinción entre contexto de descubrimiento y contexto de justificación, lo que motiva

² El problema estriba en la duración exacto de un año. En el calendario juliano el año tiene 365,25 días, mientras que la cifra correcta es de 365,242189 días. Esta duración se aproxima mejor en el calendario gregoriano (en el cual el año tiene 365,2425 días) que se adopta en 1582 promovido por el Papa Gregorio XIII.

³ Merece la pena recordar que el cambio era gradual: Se enseñaba todavía el sistema ptolemaico en muchas universidades europeas hasta el siglo XVIII.

esta 'domesticación' de lo estético, o 'reducción de lo estético a lo empírico', es que las consideraciones estéticas de los científicos, en la medida que mueven los científicos a adoptar una teoría u otra, son considerados como una amenaza para la racionalidad de la ciencia. No obstante, si Kuhn y Gingerich están en lo cierto, difícilmente se sostiene la tesis de McAllister. La teoría de Ptolomeo había logrado muchos éxitos empíricos (p.ej. predicciones de las posiciones de los astros). Así que, según la tesis de McAllister, Copérnico y otros deberían haber cambiado sus criterios estéticos y haber apreciado la belleza de la teoría ptolemaica. Como hemos visto, sin embargo, hicieron justamente lo contrario.

En cualquier caso, no existe ninguna fórmula racional o algoritmo que puede decidir entre teorías o paradigmas rivales en un momento histórico dado. Así que podría ser que el desarrollo de la ciencia no se pueda captar exclusivamente en términos racionales y que las consideraciones estéticas son un factor ineliminable en este desarrollo. Esta posibilidad es contemplada también por Kuhn (1977).

Antes de concluir esta sección, merece la pena mencionar que la teoría de Copérnico tuvo buena acogida en el arte y, al principio, también por la Iglesia. Es cierto que su libro – *Sobre las Revoluciones de las Esferas Celestes* (1543) – fue condenado en la lista de libros prohibidos en 1616, después del famoso proceso contra Galileo. La condena de las ideas del astrónomo estaba inspirada en las doctrinas reformistas de Martín Lutero quien había afirmado que estas ideas contradecían la Biblia. Kuhn cita (1957, 253) lo que Lutero supuestamente dijo sobre Copérnico en 1539: “Este loco anhela trastocar por completo la ciencia de la astronomía; pero las Sagradas Escrituras nos enseñan que Josué ordenó al Sol, y no a la Tierra, que se parara [así que es el sol que está en movimiento]”. No obstante, la reacción inicial de la Iglesia Católica hacía Copérnico era bastante más positiva. Así que parece muy probable que Miguel Ángel – amigo del Papa e informado de la teoría heliocéntrica – se inspirara en la nueva imagen del universo cuando pinto su famoso fresco *El Juicio Final* en la Capilla Sixtina del Vaticano en Roma. Por lo menos, llama mucho la atención que Miguel Ángel representó a Jesús no como el tradicional hombre delgado con barba, sino mucho más como el fuerte Apolo – el Dios griego del sol – con nuestra estrella detrás y todas las demás figuras en movimiento circular a su alrededor (véase Shrimplin 2000).

Lo infinito (y lo sublime) en el arte y la cosmología

Para los más influyentes de los griegos, y en concreto Platón y Aristóteles, el universo es finito y tiene la forma más simétrica y, por tanto, la más bella: la esférica. Así, lo racionalmente inteligible, el cosmos ordenado y bello, coincide con lo finito. Ahora bien, Oswald Spengler anotó en *La decadencia de Occidente* (1922), respecto al descubrimiento de los números irracionales, que hay: “...un extraño mito griego, de época posterior, según el cual el primero que sacó a la luz pública la noción de lo irracional perdió la vida en un naufragio, porque lo inexpresable e inimaginable debe siempre permanecer oculto” (Spengler 1922, cap. 1.5). Sea este mito cierto o no, los griegos sabían desde muy temprano que no todo cabe en un esquema racional. En el caso de las matemáticas, la hipotenusa de un triángulo rectángulo y equilátero bastaba a los pitagóricos para descubrir que no todos los números, como la raíz cuadrada de dos, son racionales (o sea, expresable en términos de, o conmensurables con, fracciones de números enteros). El paso hacia lo irracional en la cosmología y en nuestra comprensión del universo tendría que esperar unos dos mil años. Y, en este caso, que también marca el paso desde lo finito al infinito en cosmología, el arte parece haber sido un factor fundamental.

En el Renacimiento italiano los pintores empezaban a usar la perspectiva, empleando principios que luego fueron recogidos en el manual *De pictura* (1435) de

Leon Battista Alberti. Una consecuencia directa de este desarrollo fue la posibilidad de representar lo irrepresentable; lo infinito. Un famoso ejemplo es *La última cena* (1497) de Leonardo da Vinci. En este fresco se usa la perspectiva lineal en la cual todas las líneas paralelas que se alejan hacia el horizonte, si se las extienden, convergen en el *punto de fuga* situado invisiblemente en la cabeza de Cristo. De esta forma, lo divino es a la vez tangible y milagroso.

En su fascinante historia del descubrimiento de la perspectiva, el historiador del arte Erwin Panofsky, señala que "...el descubrimiento del punto de fuga como 'imagen del punto infinitamente lejano de todas las líneas de profundidad' es al mismo tiempo el símbolo concreto del descubrimiento del infinito mismo" (Panofsky 1927, p. 39). Con la perspectiva se podría representar y conocer no sólo el espacio (Euclidiano) y las figuras en él de forma más realista que antes, sino también poner el infinito dentro del alcance de nuestro conocimiento. La perspectiva se convirtió en una 'forma simbólica', en la cual "un particular contenido espiritual se une a un signo sensible concreto y se identifica íntimamente con él" (Panofsky 1927, p. 23). Para Panofsky, el descubrimiento de la perspectiva no sólo es un momento crucial en la historia del arte, sino el comienzo de esa nueva era que llamamos la modernidad.

Aunque es difícil establecer relaciones causales directas, es innegable que esta ocupación en el arte con lo infinito – a veces símbolo de lo divino, lo místico o lo irracional – es seguida en el siglo XVI por la introducción del infinito en la cosmología. Como señala Panofsky (1927, p. 48), en los mismos años que se perfecciona la perspectiva y la nueva representación Euclidiana del espacio:

"...el pensamiento abstracto llevaba a cabo de un modo abierto la ruptura, anteriormente velada, con la visión aristotélica del mundo, renunciando a la concepción de un cosmos construido en torno al centro de la tierra, es decir, en torno a un centro absoluto y rigurosamente circunscrito por la última esfera celeste, desarrollando así el concepto de una infinitud, no sólo prefigurado en Dios, sino realizada de hecho en la realidad empírica".

Panofsky cita al filósofo Ernest Cassirer para argumentar que esta transición en nuestra visión cosmológica se ve de forma especialmente clara en Nicolás de Cusa (véase Cassirer 1975). Aunque Cusa no tenía la idea de un mundo infinito (*infinitus*) sino ilimitado (*indefinitus*), relativizó su centro espacial diciendo que cualquier punto podría ser considerado como centro. Esto es, justamente, como "...la construcción perspectiva puede elegir con absoluta libertad el 'punto de vista' en que parece 'centrado' el mundo representado" (Panofsky 1927, n. 64, p. 112).

A pesar del importante papel de Nicolás de Cusa, puede que la figura clave en esta relación entre el arte, lo infinito y la cosmología sea Giordano Bruno (1548-1600). Mientras el razonamiento de Cusa es principalmente teológico, en Bruno se reúnen los aspectos estéticos, místicos, teológicos y científicos del infinito. Además, y aunque pocos autores lo han comentado, resulta significativo que este pensador es notable tanto en la historia de la estética como en la historia de la cosmología. Se inscribe en la historia de la estética ya que es uno de los primeros en el Renacimiento que cuestiona la teoría objetivista de la belleza, o sea, la idea de que la belleza es una cualidad objetiva de las cosas, basada en la simetría y la proporción entre partes.⁴ Afirmó que nada es absolutamente bello, sino que es bello en relación a algo y que lo que es bello para uno, no lo es para otro. De esta forma, enfatizó la percepción del sujeto. Aparte de ser un cuestionamiento de la entonces dominante teoría objetivista de la belleza, creo que puede ser vista, también, como un acercamiento a lo sublime. Es cierto que lo sublime, a veces, ha sido concebido como una especie de belleza y, otras veces, como una categoría estética independiente (Tatarkiewicz 1976, p. 203).

⁴ Véase por ejemplo Tatarkiewicz 1976, p. 243.

En cualquier caso, en algunos de los primeros escritos modernos sobre lo sublime, *Los placeres de la imaginación* (1711) de Addison e *Indagación filosófica acerca del origen de nuestras ideas de la belleza y lo sublime* (1757) de Burke, un tema importante será, justamente, que lo sublime debería ser discutido en términos de su efecto en el sujeto y no en términos de las cualidades del objeto.

La idea de un acercamiento a lo sublime en Bruno se refuerza cuando consideramos sus contribuciones a la cosmología. A diferencia de Copérnico mismo, muchos astrónomos de la época tomaban la teoría heliocéntrica solamente como un instrumento para hacer cálculos, pero no como una imagen real sobre como es el universo. En esto estaban respaldados por el prólogo del libro de Copérnico, escrito por su amigo Osiander aunque no aprobado por el autor. Osiander aseguró, posiblemente para evitar problemas con la Iglesia, que la hipótesis de Copérnico era sólo un instrumento para hacer cálculos y, de ninguna manera, una teoría de cómo es el mundo en realidad. Rompiendo con la tendencia entre astrónomos de seguir a Osiander, Giordano Bruno sacó una conclusión claramente realista (por ejemplo, en su *De l'infinito universo et Mondi* de 1584) respecto a la cosmología copernicana. Desde Platón, la esfera de las estrellas fijas, como ejemplo de la forma más bella del universo, había sido usada tanto como límite del universo como para explicar por qué las distancias relativas entre las estrellas permanecen constantes cuando estas se mueven a lo largo de la noche. Pero dado que es la Tierra, y no las estrellas, la que está girando, entonces no es necesario postular una esfera que aglutine las estrellas y limite el universo.⁵ Bruno tenía, además, la idea de una relación estrecha entre Dios y el universo. Ésta implicaba que la infinitud de Dios se ve reflejada en la infinitud del universo. Así, tanto desde la teología como desde la ciencia, Bruno podría sacar la conclusión de que el universo es infinito.

De esta forma, Bruno hizo un movimiento hacia el interior en estética y un movimiento hacia lo infinito en cosmología. ¿Podría haber una relación? No se puede decir con seguridad, pero es por lo menos sugerente que lo sublime parece estar menos en las cosas y más en el efecto de quien lo percibe. Además, un referente principal para lo sublime es justamente lo infinito. A esto, podemos añadir que Bruno estaba inspirado por ideas herméticas que, entre otras cosas, ponían especial énfasis en las conexiones entre hombre y cosmos. En cualquier caso, Bruno tuvo claro que hay relaciones entre el arte y la ciencia, que en esta época era todavía indistinguible de la filosofía. Escribió: "No puede existir un filósofo a no ser que imagine y pinte. No puede haber un pintor sin que, de alguna manera, imagine y reflexione" (citado de Tatarkiewicz 1970, p. 378).

Una mañana temprano, el 17 de febrero del año 1600, en la plaza Campo de' Fiori de Roma, Bruno fue quemado vivo en la hoguera por herejía. Previamente, había pasado siete largos años en prisión, torturado por la Inquisición. Las circunstancias de su sentencia de muerte son algo oscuras ya que parte del archivo de su caso ha desaparecido del sumario. Pero con toda probabilidad, la historia de que Bruno fue quemado por sus creencias científicas (un universo copernicano e infinito), a menudo referida en la divulgación científica, es un mito. Según el experto en Bruno, Frances Yates, la sentencia final se basó en cuestiones de fe (Yates 1964, p. 354). Sabemos que Bruno simpatizaba con el hermetismo que rechazaba la dominación tanto de la racionalidad pura como de la fe doctrinal. Y se entiende que la Iglesia temía a un pensador que, entre otras cosas, intentaba reformar la cristiandad identificando el espíritu santo con un espíritu universal. Para Bruno este espíritu animaba tanto a la Tierra en su movimiento como al resto de la naturaleza y era, a la vez, sensible y racional.

⁵ Independientemente de Bruno, Thomas Digges hizo el mismo argumento en 1576, véase Rioja y Ordóñez 2004, p. 163.

La estética en la física y la cosmología contemporánea

La historia de la astronomía es una historia de horizontes retrocediendo. Así escribió el astrónomo Edwin Hubble en su libro *El Mundo de las Galaxias [Realm of the Nebulae]* de 1936. Hubble es conocido en la historia de la cosmología por su descubrimiento de que las velocidades con que las galaxias se alejan de nosotros son proporcionales a sus distancias desde la Tierra. Muchos astrónomos luego interpretaron esta relación como una evidencia clara de que el universo se está expandiendo desde un estado denso y caliente; el *Big Bang*. Hubble tenía toda la razón en que la astronomía, o la cosmología, a lo largo de los siglos, nos da a conocer el universo cada vez a escalas más grandes y que, por tanto, el horizonte de lo conocido retrocede. Pero por mucho que se aleje y por mucho que sepamos sobre el universo, siempre quedará un horizonte detrás del cual reina lo desconocido.

La cosmología contemporánea se basa en la teoría de la relatividad general de Einstein de 1915. Además, se supone que los elementos básicos ligeros, como hidrógeno y helio, fueron creados desde un estado primitivo denso y caliente. Por eso, se necesita, también, la mecánica cuántica de 1925 – la física de los átomos – en los intentos de dar cuenta de los primeros instantes después del Big Bang. Y tanto en la física de lo más grande, la teoría de la relatividad general, como en la teoría de lo más pequeño, la mecánica cuántica, se pueden encontrar consideraciones estéticas.

De hecho, a diferencia de los filósofos de la ciencia, los físicos y cosmólogos a menudo hacen referencia a la estética – y en particular a la belleza – en su trabajo.⁶ Esas referencias suelen ser explicadas en términos de *simetría*, por ejemplo, en tanto una determinada ecuación matemática de la física es lo más simétrica posible dadas las condiciones concretas.⁷ En la medida en que los físicos conciben la belleza como algo objetivo y bien definido, siguen siendo platónicos. Sin embargo, y como ya hemos visto, la estética en la ciencia puede ser más que una búsqueda de la belleza objetiva. No sólo porque la teoría subjetivista de la belleza, desde el Renacimiento, ha empezado a cobrar fuerza y que la teoría objetivista de la belleza hoy en día tiene poca credibilidad en el arte y en la estética.⁸ Pero también, y más importante, porque la estética es más amplia que una posible belleza objetiva, ya que además se relaciona, por ejemplo, con ideas de lo sublime, lo infinito y lo que está más allá de lo racionalmente comprensible.

La cosmología moderna se regocija en el infinito. No se sabe todavía, y posiblemente nunca se sabrá, si el universo es infinito en extensión o no. Y no se sabe porque, por la velocidad finita de la luz, siempre habrá límites u horizontes de lo que podemos saber acerca de las escalas más grandes en el universo. Pero esto no impide que los cosmólogos cada vez tengan especulaciones más fantásticas sobre el multiverso – una posible colección enorme o, quizás, infinita de universos. Algunos cosmólogos piensan que puede haber infinitas copias de cada uno de nosotros en estos universos lejanos e, incluso, que cualquier cosa que puede existir, existe un número infinito de veces.⁹ Sin embargo, el atractivo de lo infinito no es automático. Como indica Bersanelli (2011), si lo espacialmente infinito es una mera repetición indefinida de lo ya conocido, puede dejar de sorprendernos. Además, incluso un multiverso en el cual todo lo que puede pasar, pasa, puede ser, en última instancia, aburrido: “Realmente no ocurre nada en un mundo donde todo ocurre siempre, una infinidad de veces... Parece que el infinito espacial, para ser concebido como un concepto fascinante, tiene que retener algún elemento de variedad selecto y sorpresa

⁶ Véase, por ejemplo, Chandrasekhar (1987).

⁷ Véase, por ejemplo, Zee (2007).

⁸ Para una historia resumida de la teoría objetivista de la belleza, véase Tatarikiewicz (1976, p. 178 en adelante).

⁹ Véase Zinkernagel (2011) para referencias y un análisis crítico de estas ideas.

genuina” (Bersanelli 2011, p. 205).

En cualquier caso, no hay que desilusionarse con la cosmología contemporánea.¹⁰ Ya hemos indicado que no sabemos, y posiblemente nunca sabremos, si el universo es infinito. El horizonte del universo observable y conocido puede retroceder pero nunca desaparecerá. Además, voces muy competentes han cuestionado si realmente comprendemos siquiera el infinito matemático, como el que encontramos cuando intentamos contemplar todos los números enteros en su conjunto. Así, Hermann Weyl, uno de los más influyentes matemáticos del siglo XX, escribió: “El pecado cometido por el matemático de teoría de conjuntos es su tratamiento de la esfera de posibilidades que se abren hacia el infinito, como si fuera un todo completo.... Si el verdadero objetivo del matemático es dominar el infinito por medio finitos, él lo ha logrado sólo mediante fraude...” (Weyl 2009, p. 186, mi traducción del inglés). Desde un ámbito muy distinto, Simone de Beauvoir parece estar de acuerdo cuando escribe (1972, p. 412): “Soy incapaz de concebir el infinito, y sin embargo, no acepto la finitud.”

A pesar de las dudas respecto a nuestra comprensión de lo infinito, Weyl escribió en 1932 que “...hemos penetrado tanto en nuestro conocimiento de la naturaleza física que podemos obtener una visión de la armonía impecable que está en conformidad con la razón sublime” (Weyl 2009, p. 51, mi traducción del inglés). Puede que, efectivamente, podamos obtener una visión de armonía desde nuestro conocimiento de la naturaleza. No obstante, Niels Bohr, uno de los padres de la mecánica cuántica, puso un matiz en una visión así; un matiz con el que Weyl seguramente hubiera estado de acuerdo. En un comentario sobre el estado del conocimiento en 1928, Bohr sugirió que estamos “...sujetos a una impresión, cada vez mayor, de una eterna armonía infinita; por supuesto esta armonía sólo se percibe tenuemente y nunca es comprendida; en cualquier intento de hacerlo, se nos escapa de las manos de acuerdo con su propia naturaleza” (Bohr 1928, p. 235, mi traducción del danés). Bohr se había dado cuenta que la nueva teoría de la mecánica cuántica impone ciertos límites a nuestra comprensión del mundo (asociadas, por ejemplo, con las dificultades de visualizar el mundo cuántico y las relaciones de incertidumbre de Heisenberg). Aun así, parece sugerir que podemos gozar estéticamente o asombrarnos tanto acerca de lo que ya comprendemos, como de lo que todavía – y quizás para siempre – escapa nuestra comprensión.

Ciencia, estética e educación

La importancia de las consideraciones estéticas para los científicos no es algo que se comente a menudo. Y mucho menos en la educación de las ciencias. La razón, como sugirió Dewey (1897) hace más de un siglo, podría ser la tendencia de presentar la ciencia de forma puramente objetiva. De esta manera, se descontextualiza la ciencia y no se deja al estudiante ver y preguntar por qué los científicos actuaban como lo hicieron, ni por qué el conocimiento resultante era tan importante en su época. A menudo, la descontextualización tampoco deja ver qué diferencia ese conocimiento puede hacer en la vida personal del alumno y, en concreto, cómo puede transformar nuestras experiencias con el mundo en que vivimos (Pugh y Girod 2007). A esto podemos añadir que un afán por exponer lo objetivo y racional de la ciencia puede menospreciar la pasión con que los científicos en la historia han actuado y siguen actuando. Pero, ¿podemos comprender el porqué de su ciencia si no comprendemos sus pasiones? Obviar esta cuestión no sólo es un error desde el punto de vista de la

¹⁰ Para una breve introducción a las cuestiones filosóficas actuales en la cosmología, véase Zinkernagel (2014) y para una introducción general a la filosofía de la cosmología, Soler (2016).

historia de la ciencia. Puede que también sea un grave error didáctico.

Desde luego, la importancia de la ciencia en los sistemas educativos es ampliamente reconocida. Pero no es precisamente porque se reconozcan las cualidades estéticas que puede tener el quehacer científico. Más bien, es por la innegable *utilidad* que tiene la ciencia en nuestra sociedad. Así, es común defender una concepción de la ciencia según la cual el progreso científico induce el progreso tecnológico que a su vez impulsa el crecimiento económico. No es ninguna coincidencia que los famosos, aunque discutibles, estudios PISA – qué actualmente están influyendo en reformas educativas en todo el mundo – se lleven a cabo desde la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).¹¹

Por supuesto, la utilidad de la ciencia no es mala. Incluso si rechazamos la idoneidad o posibilidad de un crecimiento económico perpetuo, hay muchos retos en el mundo actual – p.ej. relacionados con el deterioro del medio ambiente – donde la ciencia no sólo es útil sino necesaria. El peligro está en orientar la política educativa exclusivamente hacia una utilidad ulterior, como cuando se piensa que el fin último de la educación es que los alumnos tendrán la mejor preparación posible para participar (y competir) en la economía global. Como señaló Dewey hace cien años, este tipo de estrategia descuida el valor (y la motivación) intrínseca de la educación (Dewey 1916, p. 100):

“[Los] fines externamente impuestos son responsables de la importancia asignada a la idea de la preparación para un futuro remoto y de convertir en mecánica y servil la labor del maestro tanto como la del alumno.”

Podemos suponer que una actividad educativa “mecánica y servil” es incompatible con una actividad interesante y gratificante en sí misma. Además, es comúnmente aceptada que la educación funciona mejor cuando alumnos (y maestros) están motivados por sus actividades. En este sentido las consideraciones de Dewey están respaldadas por influyentes estudios contemporáneos acerca de la motivación humana. Dentro del marco de la llamada ‘teoría de la autodeterminación’ se argumenta que la motivación intrínseca (p.ej. estudiar un tema por el deseo de saber) es más importante y más duradera que la motivación extrínseca (p.ej. estudiar para aprobar un examen). Los autores de ésta teoría dan las siguientes pistas acerca de qué factores son más relevantes para la motivación intrínseca en la educación: “...las personas estarán motivadas intrínsecamente solo para tareas por las que mantienen un interés intrínseco, actividades que tienen el atractivo de la novedad, el desafío, o valor estético.” (Ryan y Deci, 2000, p. 71, mi traducción del inglés).

Deci y Ryan no especifican lo que entienden por el valor estético de una actividad. Pero podemos quizás echar mano de la siguiente descripción de algunas de las virtudes de las experiencias estéticas con el arte, formulado por Philip Jackson desde un punto de vista Deweyano (citado de Pugh y Girod 2007, p. 11, mi traducción del inglés):

“Las artes hacen más que darnos fugaces momentos de júbilo y alegría. Expanden nuestros horizontes. Aportan sentido y valor a la experiencia futura. Modifican nuestras formas de percibir el mundo, lo que hace que nosotros y el mundo cambiemos irrevocablemente.”

No sería difícil encontrar estas virtudes también en las ciencias. Y cuando recordamos que la ciencia y el arte comparten el énfasis en la creatividad y el deseo de investigar y comprender el mundo (exterior e interior), tampoco es extraño que puedan llevarnos a tener experiencias estéticas parecidas. Esto sugiere la relevancia de promover experiencias estéticas en la educación científica.

¹¹ Sobre PISA y su contexto económico véase Sjøberg (2007) y también Pereya *et al* (2011).

Por supuesto, no pretendo que estas breves y rápidas notas sean ni remotamente definitivas acerca de los amplios y muy discutidos temas de la motivación humana y la educación (en ciencia). Pero creo que sirven al menos para hacer unas sugerencias acerca de cómo se podría mejorar la educación incorporando elementos estéticos. Ya indiqué al principio de esta sección que una posible vía para esto en la enseñanza de las ciencias sería intentar hacer los conceptos científicos más vívidos y significativos, relacionándolos con las experiencias en las que originalmente se desarrollaron y fueran debatidos como ideas. Piénsense, por ejemplo, en el probable vértigo sentido por Bruno cuando se dio cuenta que el límite del mundo – la esfera de las estrellas fijas – se desvanece con el sistema de Copérnico. Otra idea sería intentar fomentar la anticipación y relacionar la enseñanza con las experiencias personales de los alumnos. La anticipación es lo que hace que no podamos dejar un buen libro – necesitamos pasar la página para averiguar si una posibilidad imaginada se convierte en actualidad. En la enseñanza de las ciencias, esto podría traducirse en seleccionar los aspectos más vitales del contenido e intentar diseñar su presentación al estilo de como lo haría un escritor de teatro (a fin de cuentas, enseñar es un arte).¹² Por poner otra vez un ejemplo desde la cosmología, se podría presentar los enigmáticos datos de Hubble sobre las galaxias e implicar los alumnos en averiguar la proporcionalidad entre sus velocidades y distancias desde la Tierra. Luego se podría debatir y descubrir con los alumnos cómo esta proporcionalidad se puede interpretar como una expansión del universo, culminando con la idea del Big Bang.

Relacionada con la anterior, otra vía para adentrarse en la relación entre ciencia y estética se encuentra en la noción del asombro. Al igual que Platón en su diálogo *Teeteto*, Aristóteles señaló en su *Metafísica* que la filosofía – o el amor a la sabiduría – comienza con el asombro. Dos mil años más tarde Einstein afirmaba una idea parecida, que a la vez se podría ver como una defensa de una esencia compartida entre el arte y la ciencia (Einstein 1954, p. 11, mi traducción del inglés):

“Lo más bello que podemos experimentar es lo misterioso. Es la fuente de todo arte verdadero y de toda ciencia. Aquél a quien sea extraña esta emoción, aquel que no pueda detenerse a maravillarse y permanecer absorto de asombro, es tan bueno como un muerto: sus ojos están cerrados.”

El asombro se relaciona fácilmente con la motivación e implicación de los estudiantes y por ello se ha enfatizado la importancia de fomentar el sentido de asombro en las clases de ciencias.¹³ En la misma línea Wong (2007, p. 211) sostiene que los alumnos en las clases de ciencias no deben sentirse como cocineros siguiendo una receta, sino como detectives resolviendo un misterio. Dentro del contexto cosmológico, y usando los ejemplos de arriba, se podría formular estos misterios como: ¿Qué ideas científicas de Bruno podrían haber sido tan peligrosas como para contribuir a su condena de muerte? O, ¿cómo se puede llegar a contemplar que el universo nació en un Big Bang? En el proceso educativo también merece la pena señalar que los misterios de la ciencia no necesariamente tienen solución – lo cual deja espacio para que el asombro y la curiosidad pueden continuar (por ejemplo: ¿qué había antes del Big Bang?).

La educación en ciencia, desde luego, es mucho más que educación en cosmología. Y los aspectos estéticos de otras ramas de la ciencia, y otros saberes en general, pueden ser distintos a los aquí mencionados de cosmología.¹⁴ Conviene aquí

¹² Para una discusión más detallada de estas y otras ideas, véase Pugh y Girod (2007, p. 14) y Wong (2007, p. 211-212).

¹³ Véase por ejemplo Hadzigeorgiou (2012).

¹⁴ Para una colección sobre aspectos estéticos en, por ejemplo, biología, física y matemáticas, véase

recordar que estética en un sentido amplio significa ‘cognición sensorial’ o ‘perteneciente a los sentidos’. Este sentido viene del griego *aisthesis* (‘percepción sensorial’), aunque fue Alexander Baumgarten que introdujo el término estética en la época moderna, definiéndolo como la ciencia de la cognición sensible o conocimiento sensible. El potencial educativo de la estética en este sentido amplio, en que se combina lo intelectual-racional y lo sensual-emocional (como en el juego), fue ya enfatizado por Friedrich Schiller (1795). En un contexto científico y/o educativo la cognición sensorial puede estar relacionada, por ejemplo, con la alegría de perspicacia (la experiencia “eureka”), la apasionada entrega en el proceso científico, o los encuentros sensoriales con los fenómenos naturales.¹⁵

Por supuesto, un énfasis en los aspectos estéticos de la ciencia no significa obviar otros aspectos importantes de la educación científica como es el pensamiento racional y crítico. Al contrario, incluso si se empieza un tema con un misterio o una pregunta enigmática, los razonamientos, la crítica, la observación y la experimentación siguen siendo imprescindibles.¹⁶ Y, como ya hemos indicado, enfatizar la estética tampoco significa obviar la necesidad y utilidad de la educación (en ciencia) para la vida futura del alumno. Ahora bien, en la política educativa actual parece común ver la exitosa inserción en el mercado laboral como el objetivo fundamental de la educación. Pero como también indicábamos arriba, esta visión equivale a menospreciar la experiencia y la inmersión en la situación de aprendizaje como fines en sí mismos. Por otra parte, hemos visto que un énfasis en las experiencias estéticas de la ciencia tiene el potencial de incrementar la motivación de aprender. Así, éste énfasis no tiene por qué entrar en conflicto con fines educativos exteriores, como puede ser la utilidad de la educación para la sociedad. Quizás nadie ha expresado mejor esta relación entre utilidad y estética en un contexto educativo que el profesor Keating en la película *El Club de los Poetas Muertos*:

“No leemos y escribimos poesía porque es bonita. Leemos y escribimos poesía porque pertenecemos a la raza humana; y la raza humana está llena de pasión. La medicina, el derecho, el comercio, la ingeniería... son carreras nobles y necesarias para mantenernos vivos. Pero la poesía, la belleza, el romanticismo, el amor son las razones por las que vivimos.”

Seguramente, Keating no se opondría a extender la referencia a la poesía a todas las artes. Y creo que tampoco se opondría a incluir los lados poéticos o estéticos de la ciencia.

Agradecimientos:

Quiero expresar mi agradecimiento a Francisco Soler, la editora Carmen Rodríguez y dos evaluadores anónimos por sus comentarios y ayuda en la corrección del castellano.

Bibliografía:

- Beauvoir, S. (1972). *The coming of age*. New York: Norton
- Bersanelli, M. (2011). “Infinity and the Nostalgia of the Stars”. En M. Heller y W. Hugh

Tauber (1996).

¹⁵ La importancia de este tipo de experiencias por ejemplo para Darwin está descrito en Gruber (1982).

¹⁶ Cabe mencionar aquí que las metodologías en la enseñanza de las ciencias basadas en el aprendizaje activo e experiencial (actividades manipulativas o *hands-on*), defendido ya por Dewey, también pueden ser relacionados con la estética en su sentido amplio de conocimiento sensorial.

- Woodin (eds.) *Infinity: New Research Frontiers*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 193-217.
- Bohr, N. (1928). "Speech given at the 25th anniversary reunion of the student graduation class, 1928". Reimpreso en D. Favrholt, (ed.) (1999). *Niels Bohr Collected Works, Vol. 10: Complementarity Beyond Physics (1928–1962)*. Amsterdam: Elsevier, pp. 223-236.
 - Cassirer, Ernst. (1975). *Individuo y cosmos en la filosofía del Renacimiento*. Buenos Aires: Emecé.
 - Chandrasekhar, S. (1987). *Truth and Beauty: Aesthetics and Motivations in Science*. Chicago: Chicago University Press.
 - Dewey, J. "My pedagogical creed". *School Journal* vol. 54 (January 1897), pp. 77-80.
 - Dewey, J. (1916). *Democracia y educación: una introducción a la filosofía de la educación*. Ediciones Morata, 1995.
 - Einstein, A. (1954). *Ideas and Opinions*. New York: Random House.
 - Gingerich, O. (1975). "Crisis" versus aesthetic in the Copernican revolution. *Vistas in Astronomy* 17(1), pp. 85-95.
 - Gruber, H. E. (1982): "El 'Árbol de la Naturaleza' de Darwin y otras imágenes abarcadoras", en J. Wechsler (ed.), *Sobre la estética en la ciencia*. México: Fondo de cultura económica (versión original en inglés, 1978). pp. 226-256 (+ pp. 257-264
 - Hadzigeorgiou, Y. P. (2012), "Fostering a sense of wonder in the science classroom", *Research in Science Education*, Vol. 42, pp. 985-1005.
 - Hoffmann, R. y Whyte, I. B. (2011). *Beyond the finite: The Sublime in Art and Science*. Oxford: Oxford University Press.
 - Kuhn, T. S. (1957). *La revolución copernicana: La astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental*. Barcelona: Ariel, 1996.
 - Kuhn, T. S. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. México D.F.: Fondo de cultura económica (1971).
 - Kuhn, T. S. (1977). "Objectivity, Value Judgment, and Theory Choice" en T. S. Kuhn *The Essential Tension*. Chicago: University of Chicago Press, pp. 320–339.
 - Maor, E. (1987). *To Infinity and Beyond: A Cultural History of the Infinite*. Boston: Birkhäuser.
 - McAllister, J. W. (1996). *Beauty and revolution in science*. New York: Cornell University Press.
 - Panofsky, E. (1927). *La perspectiva como forma simbólica*. Barcelona: Tusquets (1973).
 - Pereya, M. Kotthoff, H.G. y Cowen, R. (eds.) (2011) *PISA Under Examination - Changing Knowledge, Changing Tests, and Changing Schools*. Rotterdam: Sense Publishing.
 - Pugh, K. J. y Girod, M. (2007). "Science, Art, and Experience: Constructing a Science Pedagogy From Dewey's Aesthetics", *Journal of Science Teacher Education* 18, pp. 9–27.
 - Rioja, A. y Ordóñez, J. (2004). *Teorías del universo: De los pitagóricos a Galileo*. Madrid: Editorial Síntesis.
 - Ryan, R. M. y Deci, E. L. (2000) "Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being", *American Psychologist*, Vol 55(1), pp. 68-78.
 - Platón (1992). *Timeo*. En Diálogos, vol VI, ed. De Ángeles Durán y Francisco Lisi, Madrid, Gredos.
 - Platón (2011). *El banquete*. Ed. de Francisco Etchelecu, Buenos Aires: Tecnibook
 - Schiller, F. (1795). *Cartas sobre la educación estética del hombre*. Barcelona: Anthropos (1990).
 - Sjøberg, S. (2007). "PISA and "Real Life Challenges": Mission Impossible?". En Hopman (ed.) *PISA according to PISA*. Vienna: Lit-Verlag, pp. 203-224.
 - Shrimplin, V. (2000), "Michelangelo and Copernicus: A note on the Sistine Last

- Judgment" *Journal for the History of Astronomy*, Vol. 31, pp. 156-160.
- Soler Gil, F. J. (2016). *El universo a debate: Una introducción a la filosofía de la cosmología*. Madrid: Biblioteca Nueva.
 - Spengler, O. (1922). *La decadencia de Occidente*. Madrid: Espasa (1966).
 - Tatarkiewicz, W. (1970). *Historia de la estética, Vol. III*. Madrid: Akal (2004).
 - Tatarkiewicz, W. (1976). *Historia de seis ideas*. Madrid: Tecnos (2001).
 - Tauber, A. I. (ed.) (1996). *The elusive synthesis: Aesthetics and science*. Amsterdam: Kluwer
 - Valverde, J. M. (1987). *Breve historia y antología de la estética*. Barcelona: Ariel
 - Yates, F. (1964). *Giordano Bruno and the Hermetic Tradition*. Chicago: University of Chicago Press.
 - Weyl, H. (2009). *Mind and nature: Selected writings on philosophy, mathematics and physics*. Princeton: Princeton University Press.
 - Wong, E. D. (2007). "Beyond control and rationality: Dewey, aesthetics, motivation, and educative experiences". *Teachers College Record*, 109(1), 192-220.
 - Zee, A. (2007). *Fearful Symmetry: The Search for Beauty in Modern Physics*. Princeton: Princeton Science Library.
 - Zinkernagel, H. (2011). "Some recent trends in the philosophy of physics". *THEORIA: An International Journal for Theory, History and Foundations of Science*, Vol. 71, pp. 215-24.
 - Zinkernagel, H. (2014). "Philosophical aspects of modern cosmology". *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, Vol. 46, pp. 1-4.