



Revista Científica Guillermo de Ockham
ISSN: 1794-192X
investigaciones@ubscali.edu.co
Universidad de San Buenaventura Cali
Colombia

Lombardi, Olimpia; López, Cristian
Los Múltiples Rostros de la Filosofía de la Información
Revista Científica Guillermo de Ockham, vol. 14, núm. 2, 2016
Universidad de San Buenaventura Cali
Cali, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=105346890005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

Los Múltiples Rostros de la Filosofía de la Información

Olimpia Lombardi¹

Universidad de Buenos Aires (Argentina)

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Theiss Research (EEUU)

Cristian López²

Universidad de Buenos Aires (Argentina)

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Recibido: Mayo 17 de 2016 Revisado: Mayo 27 de 2016 Publicado In PRESS: Mayo 31 de 2016

Referencia formato APA: Lombardi, O. & López, C. (2016). Los múltiples rostros de la filosofía de la información (in press). *Rev. Guillermo de Ockham*, 14(2), in print .



This work is licensed under CC BY-NC-ND

Resumen

La filosofía de la información ha experimentado un enorme auge en los últimos años, consolidándose como un ámbito de indagación filosófica autónomo. Su tema de estudio, el concepto de información, es uno de los términos más comunes y extendidos en nuestros días, abarcando ámbitos tan disímiles como el lenguaje cotidiano y la mecánica cuántica. Esta presencia ubicua y universal del término es lo que conduce a que su análisis y abordaje filosófico sea una empresa sumamente compleja y desafiante. El presente artículo pretende ofrecer algunas líneas generales que permitan distinguir diferentes tipos de información, diferentes enfoques, diferentes contextos donde el concepto es utilizado y diferentes interpretaciones. De esta manera, se muestra que la filosofía de la información es un ámbito sumamente diverso y plural, donde el concepto de información tiene tantos significados, como usos y contextos.

Palabras clave: Información, filosofía, conocimiento, significado

Multiple Faces of the Philosophy of Information

Abstract

The philosophy of information is at its height nowadays. During the last years, it has grown stronger as an autonomous field of philosophical analysis, mainly concerned with the concept of information. ‘Information’ is currently one of the most common and spread out terms, one that is present across several domains, from everyday language to quantum mechanics. Due to its ubiquitous presence and wide extension, addressing the concept of information philosophically constitutes a challenging and thorny enterprise. This paper is aimed at providing some guidelines so as to distinguish different kinds, approaches, contexts and interpretations of

¹ Universidad de Buenos Aires, CONICET y Theiss Research. Doctora en Filosofía e ingeniera en electrónica. Directora del Grupo de Filosofía de las Ciencias de la Universidad de Buenos Aires. E-mail: olimpifilo@arnet.com.ar. Dirección postal: Crisólogo Larralde 3340, 6° D (1430), Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina.

² Universidad de Buenos Aires y becario doctoral de CONICET. Licenciado en Filosofía. Miembro del Grupo de Filosofía de las Ciencias de la Universidad de Buenos Aires. E-mail: lopez.cristian1987@gmail.com.

information. Thereby, it is shown that philosophy of information is a highly diverse and plural field, in which information meets as many meanings as uses or contexts.

Keywords: Information, philosophy, knowledge, meaning

Introducción

En los últimos años, una importante rama *sui generis* de la filosofía ha surgido y se ha consolidado, creciendo en interés e influencia en la comunidad filosófica: la *filosofía de la información*. En nuestras sociedades modernas, fuertemente influenciadas por las tecnologías comunicacionales, aparatos digitales y medios masivos de comunicación, el concepto de información se ha vuelto central en diferentes esferas de nuestras vidas, permeando tanto el discurso cotidiano como el discurso científico. La filosofía de la información ha desembarcado en la comunidad filosófica como un campo autónomo de indagación y análisis del concepto de información, ya sea en general, tratando de abarcar su ubicua presencia, o elucidando su uso en ámbitos más específicos, fundamentalmente científicos.

Presente en la mayoría de las ciencias naturales y sociales, es en el ámbito científico donde el concepto ha ganado mayor precisión, riqueza y diversificación: en mecánica cuántica el concepto de “información cuántica” no sólo ha revolucionado el campo tecnológico sino también ha reavivado viejos problemas teóricos, ahora vistos desde una nueva óptica (Jozsa 1998); en ecología el concepto se ha popularizado en las mediciones de la diversidad ecológica de un ecosistema (Burnham y Anderson 1998); en genética es el concepto fundamental cuando se habla de “información genética”, aparentemente esencial para todo proceso de herencia (Godfrey-Smith y Sterelny 2016). En consonancia con esta diversificación y enriquecimiento del concepto, la filosofía de la información ha extendido su ámbito de influencia a otras sub-disciplinas filosóficas como la filosofía de la física, la filosofía de la biología, la filosofía de las ciencias cognitivas, la ética, la lógica, etc.

La diversificación, precisión y extensión del concepto a través de campos tan disímiles (como la vida cotidiana y la teoría cuántica de la información) condujo a que una elucidación unívoca del concepto sea cada vez más compleja y ardua. La primera pregunta filosófica relevante es la socrática: ¿qué es la información? ¿Cuál es su naturaleza? ¿Refiere a alguna entidad o sustancia en el mundo; o por el contrario es un mero *flatus vocis* sin referencia? Haciendo hincapié en la diversidad y especificidad de sus diferentes usos y definiciones, ¿cómo vincular las diferentes “informaciones” presentes a lo largo y ancho del espectro científico y no científico?; ¿todas ellas refieren a lo mismo, o cada una es irreconocible frente a la otra? A primera vista, la empresa de analizar filosóficamente el concepto de información e intentar responder estas preguntas puede no sólo parecer agobiante sino

también inasible: ¿cómo abarcar de manera sistemática un concepto tan polimórfico y polisemántico? La ubiquidad del concepto parece conllevar su intangibilidad, y con ella su inaprehensibilidad.

Sin embargo, la evidente pluralidad de sentidos del término ‘información’ que se obtienen al enfrentar el panorama completo no es usualmente reconocida en la bibliografía, fundamentalmente, en la bibliografía abocada a elucidar el concepto de información en ámbitos específicos y que luego se extrae a otros ámbitos. Algunos autores, como John Wheeler (1990) y Paul Davies (2014), han hecho de la información “la sustancia fundamental a partir de la cual toda la realidad es construida” (Davies 2014, p. 75), sosteniendo una suerte de *spinozismo informacional* donde se privilegia una interpretación física fuerte del concepto de información; otros autores han utilizado la información algorítmica como base de la realidad, donde “el universo es una computadora que computa” (Lloyd 2014, p. 96). Por otra parte, prácticamente de manera unívoca, la Teoría Matemática de la Comunicación de Shannon (formulada por Claude Shannon en 1948) ha sido el formalismo privilegiado a la hora de lidiar con problemas que involucren transmisión de información. Si bien diseñado especialmente para problemas ingenieriles en el ámbito de la comunicación, la teoría de Shannon ofreció un formalismo tan poderoso que no sólo fue rápidamente extrapolado a otros ámbitos, sino que se convirtió en “la” teoría a utilizar para resolver problemas conceptuales concretos: por ejemplo, en el ámbito de la genética, se buscó utilizar la información de Shannon para elucidar y definir el concepto de información genética (Bergstrom y Rosvall 2011).

El objetivo de este artículo es ofrecer un primer ordenamiento del vasto y variado campo de la filosofía de la información. Para ello, articularemos una serie de distinciones de enfoques, contextos e interpretaciones que resultarán útiles no sólo para recoger los diferentes sentidos en los cuales se habla de información, sino también para delimitar el alcance y límites de definiciones y teorizaciones específicas. Particularmente, mostraremos que las teorías formales de la información, en especial la teoría de Shannon, no son capaces de ofrecer una definición unívoca del concepto de información sino que, por el contrario, encierran una variedad de sentidos y matices que deben ser distinguidos.

1. Primeros acercamientos al concepto de información: información cotidiana vs. información técnica

Como señala Luciano Floridi (2016), la información es un fenómeno polimórfico y polisemántico. En la Antigüedad, fundamentalmente en los textos de Aristóteles y Platón, el concepto de información estaba fuertemente vinculado a categorías epistémicas y ontológicas derivadas del concepto helénico de “*eidos*” (para un abordaje más completo de los aspectos históricos del concepto de información, ver

Adriaans y van Benthem 2008, Adriaans 2013). Sin embargo, el concepto sólo tuvo un uso técnico y marginal hasta mediados del siglo XX, donde experimentó un abrupto crecimiento tanto en el discurso científico como en el cotidiano. Probablemente la revolución digital, el vertiginoso desarrollo de las comunicaciones y la hegemonía de los medios de comunicación sean responsables de la masificación y universalización del término.

En un primer acercamiento intuitivo, el concepto de información parece estar fuertemente relacionado con la transmisión y el almacenamiento de *datos*: la información está *constituida* por datos que son transmitidos y almacenados. Por ejemplo, cuando hacemos una compra por internet, intuitivamente entendemos a qué se refiere una página cuando nos pide que ingresemos información acerca de nuestra dirección, fecha de nacimiento o tarjeta de crédito: brindamos los *datos* correspondientes a cada campo, datos que serán transmitidos al servicio de venta para finalizar la compra. Sin embargo, el concepto mismo de dato es filosóficamente oscuro, ya que también tiene un enorme rango de aplicaciones posibles, variando su significado de contexto a contexto: por un lado, puede ser interpretado epistémicamente como los datos que nos brindan los sentidos a partir de los cuales es posible el conocimiento (asumiendo una interpretación moderna y empirista de la noción de dato), o bien puede ser interpretado computacionalmente como una mera secuencia de símbolos no interpretados (para una definición de información basada en la noción de dato, ver Floridi 2016).

Otra manera de aproximarnos de manera general e intuitiva a la noción de información es mediante el concepto de *conocimiento*: información es algo que brinda, que genera conocimiento. Si bien más adelante desarrollaremos interpretaciones técnicas particulares que recurren a la idea de conocimiento para elucidar el concepto de información, nuestro uso cotidiano del término parece revelar este intuitivo vínculo. En sociedades altamente tecnificadas como las nuestras, donde el acceso al conocimiento está fundamentalmente dado por el acceso a diversos medios de comunicación (Internet, televisión, diarios, revistas, etc.), un concepto abstracto de masa que designe ese flujo de datos, capaz de transmitir y producir conocimiento, parece ser sumamente útil (Adriaans 2013).

Christopher Timpson (2004, 2013) denomina “everyday information” o “information_e” al tipo de información que utilizamos cotidianamente, el cual involucra nociones como significado, conocimiento o representación. Sin embargo, de acuerdo con Timpson, existe otro tipo de información, “technical information” o “information_t”, que no involucra ningún tipo de dimensión semántica y epistémica, y es la información usualmente utilizada en disciplinas formales o científicas. El propósito de Timpson es prevenir cualquier tipo de confusión entre ambos tipos de información, y evitar elucidar un concepto mediante el otro. Sin embargo, más allá de este motivo que puede o no ser compartido, una primera

manera de ordenar el campo de la filosofía de la información bien puede basarse en distinguir un tipo de información primariamente asociada a nociones como significado, verdad/falsedad o conocimiento, y generalmente basado en nuestro uso del término en el lenguaje natural, y un tipo de información no-semántica o matemática, que ha experimentado una extraordinaria diversificación y precisión en el ámbito científico. Esta distinción estaría dada por dos tipos de enfoques respecto del concepto de información: un *enfoque semántico* y un *enfoque no-semántico o formal*.

Ambos enfoques han tenido y tienen un desarrollo sumamente relevante en la filosofía en general, aunque en direcciones muy diferentes: mientras que el enfoque semántico busca esclarecer el concepto de información semántica involucrado en el lenguaje natural mediante la lógica y la filosofía del lenguaje (Bar-Hillel 1964, Devlin 1991), o en sus influencias éticas (Floridi 2015), el enfoque no-semántico o formal atiende a cómo el concepto de información matemática es utilizado y conceptualizado en las diferentes teorías formales de la información, siendo el enfoque más utilizado en el ámbito científico y de las filosofías especiales de las ciencias, como la filosofía de la física, la filosofía de la computación o la filosofía de la biología.

A pesar de ser significativa y útil a la hora de especificar dos tipos distintos de información, no ha de pensarse que los enfoques suponen una separación absoluta entre ambos: el enfoque matemático de la información, si bien primariamente interesado por los aspectos y las propiedades formales del concepto de información, no excluye por completo toda dimensión semántica; y, por supuesto, el enfoque semántico tampoco excluye todo tratamiento formal. La distinción tiene que leerse como un primer punto de bifurcación en dos direcciones distintas de aquella aproximación intuitiva ofrecida al inicio de esta sección. En la sección siguiente seguiremos una de esas direcciones, el concepto de información semántica, presentando de manera general algunas de sus características principales y problemas.

2. Información semántica: significado, representación y verdad

El concepto de información semántica es cada vez más central en ámbitos como la lógica, la filosofía del lenguaje, la filosofía de la mente o la ética. Probablemente sean Rudolf Carnap, Joshua Bar-Hillel y Luciano Floridi los principales representantes que más han impulsado y desarrollado el enfoque semántico.

Uno de los primeros trabajos sistemáticos sobre el concepto de información semántica es el artículo de Joshua Bar-Hillel y Rudolf Carnap de 1953 donde se busca delimitar el campo de aplicación y el estudio de la información semántica desde un punto de vista lingüístico y lógico. Luego de

reconocer el éxito práctico de la Teoría Matemática de la Comunicación de Claude Shannon (1948), de la cual hablaremos en la siguiente sección, los autores rápidamente denuncian el paso en falso dado por “científicos impacientes de varios campos [que] aplicaron la terminología y los teoremas de la Teoría de la Comunicación a campos en los cuales el término ‘información’ fue usado, de manera presistemática, en un sentido semántico, es decir, involucrando el contenido de símbolos e, incluso, su uso pragmático” (1953, p. 147). El punto de inflexión, de acuerdo a Bar-Hillel y Carnap, entre dos “sentidos” de información es que mientras la información utilizada en diversas teorías formales sólo se ocupa de mediciones de cadenas de símbolos o su frecuencia de ocurrencia, la información semántica está principalmente interesada en el contenido mismo de los símbolos. En su célebre artículo de 1948, el propio Shannon afirmaba:

“Frecuentemente los mensajes tienen *significado*; es decir, ellos refieren o están correlacionados con algún sistema conformado por ciertas entidades físicas o conceptuales. Estos aspectos semánticos de la comunicación son irrelevantes para los problemas de ingeniería” (1948, p. 379, cursivas en el original)

Parece claro que, a simple vista, un abordaje sistemático del concepto de información semántica busca analizar esta dimensión, que involucra nociones como significado, verdad y falsedad, representación, etc., dimensión que no es considerada, al menos *prima facie*, por un enfoque estadístico o formal de la información.

Luciano Floridi (2016) parte de elucidar el concepto de información semántica mediante la noción de *dato*: según el autor, *x* es una instancia de información semántica si y sólo si *x* consiste en uno o más datos, los datos en *x* están bien formados y los datos bien formados en *x* son significativos. En esta definición, la noción de dato es entendida en términos de falta o pérdida de uniformidad en algún contexto, ya sea en el mundo real o en el mundo simbólico. Sin embargo, esta definición basada en la noción de dato no es universalmente aceptada: otros autores han preferido adoptar una concepción semiótica de la información (Nauta 1972), o una concepción pragmática (Fetzer 1990).

El punto de partida para un análisis del concepto semántico de información son las oraciones del lenguaje natural: son estas oraciones las que *llevan* información, las que pueden (o no) ser informativas. De manera general, cuando decimos que “‘*x*’ tiene información *acerca* de ‘*y*’”, decimos que “‘*x*’ *representa* o *significa* ‘*y*’”. Cuando decimos que una oración es informativa, pretendemos decir que esa oración tiene información *respecto de* algo, ya sea acerca de un estado de cosas en el mundo, acerca de algún ítem lingüístico o acerca de algún estado mental que queremos comunicar. Un aspecto central de la información semántica es su “*aboutness*”, es decir, su “referencia a algo”, su

carácter intencional. De esta manera, cuando decimos “está lloviendo a cántaros afuera”, mediante esa oración bien formada del español estamos tratando de *informar* a nuestro interlocutor acerca de un estado del mundo, en particular, que afuera está lloviendo. Sin embargo, cuando leemos una receta de cocina y *obtenemos información acerca de* cómo hacer un *carrot cake*, no parece que estuviésemos lidiando con el mismo tipo de información, ¿cuál es la diferencia entre ambas?

La información semántica parece susceptible de ser interpretada como *información factual* o *información instruccional*. La información semántica *factual* generalmente está involucrada en oraciones declarativas del lenguaje y puede ser verdadera o falsa. “Está lloviendo afuera” es una oración que será verdadera si efectivamente llueve afuera, o falsa si el sol está brillando y el tiempo es seco. Por el contrario, la información semántica *instruccional* es la clase de información que encontramos en recetas de cocinas, instructivos, oraciones imperativas del lenguaje, etc. En este caso, la información semántica implicada no representa ni significa ningún estado de cosas, sino que busca producirlo: “¡no pisar el pasto!” o “agregue 500 cm³ de leche y luego mezcle lentamente” son oraciones que contienen información semántica de tipo *instruccional* que persiguen obtener un resultado concreto: mantenernos fuera del pasto en el primer caso, instruirnos acerca de cómo hacer una comida en el segundo. La información semántico-instruccional no es verdadera ni falsa, ya que sería absurdo preguntarse por el valor de verdad del imperativo “¡no pisar el pasto!”; sin embargo, califica como información semántica ya que es una oración interpretable y significativa del lenguaje natural. Como en el caso de los poemas o la música, la información semántico-instruccional “aun cuando esté compuesta en el lenguaje de la información, no es usada en el juego del lenguaje de dar información” (*Zettel*, §160, ver Wittgenstein 1981).

Dentro de la información semántica, es la información semántica factual la que ha recibido mayor atención y análisis, en particular, por su estrecho vínculo con el concepto de verdad. Obviamente, existen oraciones del lenguaje natural que son verdaderas y otras que son falsas, aunque no hay claridad al respecto de cómo considerarlas desde un punto de vista informacional. Cuando afirmamos que el testigo brindó información *verdadera* acerca del escondite del secuestrador, es porque el testigo declaró que el secuestrador se encontraba en el lugar *x* y efectivamente el secuestrador estaba allí: en virtud de que las oraciones del testigo eran verdaderas, la información brindada acerca de un hecho (en este caso el escondite del secuestrador) es verdadera.

El problema surge cuando el problema es interpretar informacionalmente oraciones falsas. Por ejemplo: “el testigo dio información *falsa* acerca del escondite del secuestrador”, supone que las oraciones que el testigo pronunció resultaron falsas en función de no representar cuál era el escondite

del secuestrador. Pero, ¿en qué sentido oraciones falsas de este tipo resultan informativas? El testigo, ¿nos dio algún tipo de información? Dicho de otra manera, ¿sólo la información verdadera puede calificar como información? James Fetzer (2004), sosteniendo un enfoque *débil* de información semántica, argumenta que no necesariamente toda información tiene que ser verdadera para contar como tal: de ser así, no deberíamos considerar como informacional cualquier oración imperativa del lenguaje, desecharlo por completo la noción misma de información instruccional; por otro lado, el concepto mismo de “información falsa” parece ser significativo y pragmáticamente exitoso a la hora de hacer distinciones relevantes (2004, p. 228). Por su parte, Floridi (2003) sostiene un enfoque fuerte de información semántica, según el cual sólo la información verdadera debe ser considerada como información, ya que la información “encapsula la verdad”. En consonancia con Floridi, Fred Dretske afirma que “la información falsa y la información errónea no son clases de información –no más que los patos ornamentales y los patos de goma son clases de patos” (1981, p. 45). Por lo tanto, un enfoque débil de la información semántica (como el sostenido por Fetzer) sostendría que existe cierta “neutralidad *aléthica*” respecto de la información semántica donde datos significativos y bien formados ya califican como información; por el contrario, defensores de un enfoque fuerte semántico de la información (como Floridi o Dretske), sostendría que la información no sólo consiste de datos significativos y bien formados, sino que además deben ser datos *verídicos*.

Otro de los problemas centrales de la información semántica es elucidar su relación con la noción de conocimiento. Intuitivamente, consideramos que “si obtengo información acerca de *p*, entonces *conozco* algo acerca de *p*”. Esta intuición probablemente se funde en dos ideas detrás de la noción de información: por un lado, en un resabio de la metodología y la teoría del conocimiento empírista, donde los conceptos (y el conocimiento mismo) son construidos *a posteriori* en la mente a partir de impresiones o *datos sensibles* (ver Adriaans 2013); y por otro lado, en la idea de que la información es “reducción de incertezza”. Esta idea ha sido desarrollada tanto formalmente en el ámbito la información matemática, así como en el ámbito de la información semántica: la intuición es que mientras más información obtenemos sobre algo, aumentamos nuestro conocimiento y reducimos la incertezza acerca de ese algo. Como sostiene Adriaans (2013), cuando tenemos absoluta certeza sobre un estado de cosas, no podemos recibir nueva información acerca de él.

El vínculo entre información semántica y conocimiento también ha sido abordado en término de *información ambiental*. Algunas teorías filosóficas de la información pretenden fundamentar contenidos factuales semánticos en términos de la información que el ambiente proporciona a un agente

que interactúa con él (Dretske 1981, Barwise y Seligman 1997). De esta manera, existen relaciones epistémicas entre el observador (que obtiene información a partir de lo observado) y el ambiente.

3. Información matemática: teorías formales de la información, contextos e interpretaciones.

La distinción entre información semántica e información matemática es sumamente útil, pero es sólo el primer paso en vistas a ofrecer significados más específicos del concepto de información. El concepto de información matemática, a diferencia de lo que podría suponerse, despliega un campo de estudio sumamente variado y polimórfico: distintas teorías formales se han desarrollado en las últimas décadas, y han sido utilizadas en diferentes contextos proponiendo diferentes definiciones del concepto de información. Por lo tanto, la mera asunción de un enfoque no-semántico sólo permite establecer algunos límites y alcances de la información matemática, sin lograr una definición clara y precisa del concepto. Para ello, es necesario llevar a cabo ulteriores distinciones dentro del concepto de información matemática.

Para mostrar las variedades y matices que conviven dentro del concepto de información matemática, primero distinguiremos dos contextos donde el concepto es empleado: un *contexto computacional* y un *contexto comunicacional*. Si bien ambos contextos utilizan una noción matemática y no-semántica de información, el tipo de información matemática que se obtiene de ellos no es equivalente; ulteriormente, señalaremos que incluso dentro de cada contexto, el concepto de información sigue siendo vago e impreciso hasta no ser interpretado; de esta manera, distinguiremos al menos tres interpretaciones que pueden asumirse de la información matemática, centrándonos fundamentalmente en el contexto de la comunicación, donde la célebre teoría de Shannon ha sido desarrollada.

3.1 Información algorítmica en contextos computacionales

En un contexto computacional, la información es fundamentalmente algo que puede ser computado y almacenado, y las diferentes teorías de la información en contextos computacionales buscan hacer esto de una manera eficiente. La teoría de la complejidad algorítmica de Solomoff (1964), Chaitin (1966) y Kolmogorov (1965, 1968) utiliza la noción de complejidad algorítmica o de Kolmogorov como una medida de los recursos necesarios para reconstruir eficientemente un mensaje individual. En este sentido, la teoría provee una medida de la información que cada mensaje individual posee, independientemente de la fuente que lo produce o de cómo sea transmitida. La teoría de la complejidad algorítmica, por lo tanto, se preocupa por cuál es la tasa máxima de compresión de mensajes

individuales, donde esa compresión puede ser vista como conteniendo información de cierto tipo. La idea básica es que algunos mensajes pueden ser comprimidos de manera considerable si presentan suficiente regularidad. Por lo tanto, la información algorítmica de un mensaje particular se define como el largo del programa más corto posible que produce el mensaje en una máquina de Turing.

Vale la pena remarcar un aspecto característico de la información algorítmica o computacional: es una propiedad predicable de mensajes individuales, es decir, se la puede definir en relación a un único mensaje. La información algorítmica no requiere de una fuente que la produzca, ni de un canal de transmisión ni siquiera de estar involucrada en un proceso comunicacional para ser definida. Probablemente, éste sea el motivo por el cual algunos teóricos de la información, especialmente científicos de la computación, consideran que la información o complejidad algorítmica es más fundamental que otros tipos de información, como la definida por Shannon (Cover y Thomas 1991, p. 3), en la medida en que la complejidad kolmogoroviana asigna complejidad asintótica a un mensaje individual prescindiendo de la noción de probabilidad (para una discusión de la relación entre la entropía de Shannon y la complejidad de Kolmogorov, ver Cover y Thomas 1991, capítulo 7; Lombardi, Holik y Vanni 2015).

3.2 Información comunicacional: teorías matemáticas de la comunicación.

Cuando consideramos contextos comunicacionales, la información es entendida como algo que puede ser transmitido entre dos puntos del espacio con fines comunicativos. Por ejemplo, la Teoría Matemática de la Comunicación de Claude Shannon (1948) es el ejemplo paradigmático de una teoría formal que asume un enfoque puramente no-semántico o estadístico de la información en un contexto comunicacional, donde, en palabras del mismo Shannon, “el problema fundamental de la comunicación es reproducir en un punto exacta o aproximadamente un mensaje seleccionado en otro punto” (Shannon 1948, p. 379).

Una situación comunicacional puede ser muy compleja y disponer de una gran variedad de elementos. No está entre las pretensiones de este trabajo ofrecer una definición de qué es la comunicación ni un análisis filosófico de ella. Si bien la teoría formal de Shannon es el formalismo clásico que se utiliza en contextos comunicacionales, existen otros formalismos que intentan capturar el concepto de información comunicacional desde diferentes perspectivas, por ejemplo, la información de Fisher (1925) o la entropía de von Neumann (Schumacher 1995).

En términos generales, en toda situación comunicacional pueden identificarse tres elementos: una fuente, un canal y un destinatario. De manera muy abstracta, la fuente S produce una cantidad de

información $I(S)$ que será transmitida al destinatario D , el cual recibe una cantidad de información determinada, $I(D)$; la información es transmitida por un canal C que vincula fuente y destinatario. Tanto S como D son sistemas con un rango de estados posibles, cada uno con su propia probabilidad, y es en estos términos cómo se calcula la cantidad de información producida y recibida. Usualmente, la cantidad de información calculada es medida en *bits*, aunque puede utilizarse alguna otra unidad de medida (*nats*, por ejemplo). El canal C se caracteriza por medio de probabilidades condicionales que vinculan la aparición de los estados de la fuente con la aparición de los estados del destinatario. Además, otras cantidades pueden definirse a partir de estos elementos, como la equivocidad (información generada en la fuente pero no recibida en el receptor), ruido (información recibida por la fuente pero que no proviene de la fuente), la información mutua (información generada en la fuente y recibida en el receptor), entre otras. Todas estas cantidades refieren, de alguna u otra manera, al éxito comunicativo.

La información comunicacional parece exhibir dos propiedades que la distinguen sustancialmente de la información algorítmica: por un lado, la información comunicacional no es predicable de mensajes individuales sino que lo es de la fuente y el destinatario en una estructura comunicacional; el concepto de información comunicacional no parece definible sin apelar a los estados de la fuente, el destinatario y las correlaciones entre ellos. Por otro lado, si bien no explícito en las teorías formales de la comunicación, parece haber una cierta noción causal involucrada en toda situación comunicacional: toda situación comunicacional parece requerir que cierta acción llevada a cabo en la fuente modifique el estado del destinatario, de manera que el estado de la fuente pueda ser identificado en el destinatario.

3.3 Diferentes interpretaciones: física, epistémica y deflacionista.

Mediante la distinción de contextos donde el término ‘información’ es usado de diferentes maneras, hemos especificado al menos dos sentidos del concepto información. Conceptualmente, la información algorítmica y la información comunicacional sólo delimitan diferentes campos de aplicación y diferentes usos del concepto técnico de información matemática; la pregunta acerca de qué es la información, a qué refiere o cuál es su naturaleza y cuáles son sus propiedades sigue siendo tan válida como antes.

Por el contrario a lo que suele suponerse, las teorías formales por sí mismas no son suficientes para fijar un significado unívoco y conceptualmente rico del concepto de información, eludiendo cualquier tipo de respuesta filosófica respecto de cuál es su naturaleza. Por lo tanto, la tarea de interpretar el concepto se vuelve sumamente necesaria. Es posible distinguir, al menos, tres

interpretaciones: una *interpretación epistémica*, una *interpretación física* y una *interpretación deflacionista*. Mediante una interpretación del concepto de información no sólo es posible expedirse acerca de qué es la información, cuáles son sus propiedades, cuál es su referente, etc., sino que además las diferentes interpretaciones enfrentan o superan algunos problemas que no existen en las otras: por ejemplo, ciertas situaciones podrían ser consideradas comunicacionales o informacionales bajo una interpretación, mientras que bajo otra no lo serían.

(a) Interpretación epistémica

En la segunda sección del artículo, especificamos en qué consiste la información semántica. Allí, mencionamos que usualmente ésta era asociada a contenido epistémico y a cambios en el estado de las creencias de las personas de acuerdo a la información disponible. La información matemática también es susceptible de una interpretación epistémica, aunque en este caso está fuertemente vinculada a las teorías formales de la información, y no al uso y las influencias que el término ‘información’ tiene en el lenguaje natural.

De acuerdo con la *interpretación epistémica*, la información “es un bien que, dado el receptor adecuado, es capaz de producir conocimiento” (Dretske 1981, p. 47). Uno de los exponentes de la interpretación epistémica con soporte en la teoría formal de Shannon (con algunas modificaciones, ver Lombardi 2005) es Fred Dretske, quien sostiene que “un estado de hechos contiene información acerca de X sólo en la medida en que un observador adecuado pueda aprender algo acerca de X consultándolo” (Dretske 1981, p. 45). Desde este punto de vista, la información está siempre vinculada a un incremento en el conocimiento de la persona que la recibe. Otros autores, como Donald MacKay (1969), buscaron desarrollar una interpretación epistémica de la información matemática pero desvinculada de la teoría formal de Shannon. MacKay propuso una teoría cuantitativa de la información cualitativa que tiene conexiones interesantes con la *lógica de situación*. De acuerdo con el autor: “supongamos que comenzamos preguntándonos qué queremos decir por información. En términos generales, decimos que hemos ganado información cuando ahora sabemos algo que no sabíamos previamente; es decir, cuando ‘lo que sabemos’ ha cambiado” (Mackay 1969, p. 10).

La interpretación epistémica se ha extendido también en el ámbito de las ciencias físicas. En un libro de texto tradicional acerca de la teoría de Shannon aplicada a la ingeniería, se dice que la información “se mide como una diferencia entre el estado de conocimiento del receptor antes y después de la comunicación de la información” (Bell 1957, p. 7). Entre los intentos de dar un fundamento informational a la mecánica cuántica, Anton Zeilinger sostuvo la igualdad entre información y

conocimiento: “tenemos conocimiento, *i.e.* información, de un objeto sólo a través de la observación” (Zeilinger 1999, p. 633).

Es importante subrayar que, cuando se considera a la información bajo una interpretación epistémica, su transmisión no requiere de una conexión física entre fuente y receptor: podría haber transmisión de información incluso sin la existencia de una señal portadora o de un canal físico. Sin embargo, lógicamente, las probabilidades que vinculan fuente y receptor no pueden ser meras correlaciones accidentales: las probabilidades involucradas en el contexto comunicacional no son correlaciones *de facto*, sino manifestaciones de regularidades legaliformes subyacentes.

(b) Interpretación física.

A diferencia de la interpretación epistémica, la interpretación física de la información no vincula información con conocimiento. De acuerdo a esta interpretación, la información es una magnitud física, *algo* que puede ser generado en un punto del espacio físico y transmitido a otro punto; que puede ser acumulado, almacenado y convertido de una forma a otra (Rovelli 1996). Uno de los exponentes que con más vehemencia ha defendido la interpretación física de la información es Rolf Landauer, quien afirma que “información no es una entidad abstracta descorporizada; está siempre ligada a una representación física. Se representa grabando sobre una tabla de piedra, un espín, una carga, un agujero en una tarjeta, una marca sobre un papel o sobre alguna otra cosa equivalente” (1996, p. 88).

Usualmente, la interpretación física de la información se vincula con un conocido *dictum*: “no hay información sin representación”, lo que significa que la transmisión de información entre dos puntos del espacio físico siempre requiere una señal portadora, es decir, un proceso físico que se propague de un punto al otro del espacio. En virtud de la naturaleza física de la información, su dinámica está regida por las leyes de la física y los hechos: “el manejo de información está limitado por las leyes de la física y por la materia disponible en el universo” (Landauer 1991, p. 29).

La interpretación física de la información se apoya en las intuiciones y el punto de vista usual de los físicos e ingenieros en comunicación: tradicionalmente, el principal interés de la ingeniería en comunicaciones es optimizar la transmisión de información por medio de señales físicas, cuya energía y ancho de banda está restringido por limitaciones tecnológicas y económicas. Para ello, los canales han de ser diseñados de modo tal que la transmisión de información tenga el mayor rendimiento posible. Es destacable que la capacidad del canal es medida en bits por segundo, y en la medida en que la unidad de medida del flujo de información está fuertemente vinculada, mano a mano, con las magnitudes físicas tradicionales, la tentación de considerar a la información como una magnitud física

es difícil de evitar. Otros autores, resaltando el carácter físico de la información, han trazado su vínculo con el concepto de energía, argumentando que ambas magnitudes tienen el mismo estatus ontológico (Stonier 1990, 1996).

c) Interpretación deflacionista

Si bien, como mencionamos más arriba, la interpretación física de la información es la usual en la comunidad de físicos e ingenieros, y es la interpretación generalmente asumida en los libros de texto, una interpretación deflacionista del concepto de información parece estar imponiéndose hoy en día: algunos manuales técnicos actuales explican la teoría de la información de una manera absolutamente formal, sin referencia a fuentes, receptores, señales o canales; en su lugar, los conceptos básicos son introducidos mediante términos como variables aleatorias, distribuciones de probabilidad sobre valores posibles y correlaciones entre ellos (ver, *e.g.*, Cover y Thomas). Desde esta interpretación deflacionista, la información no sólo no tiene relación alguna con algún ítem físico del mundo, sino tampoco con nociones como conocimiento o significado: la información sólo tiene una dimensión sintáctica y la teoría de la información es solamente un capítulo más de la teoría de la probabilidad (Reza 1961).

En la comunidad filosófica, la interpretación deflacionista del concepto de información también parece estar fuertemente motivada por algunos problemas que se siguen de adoptar una interpretación física o epistémica de la información. Christopher Timpson (2004, 2008, 2013) y Armond Duwell (2008) parecen seguir esta línea. De acuerdo con Timpson, ‘información’ es meramente un término de masa abstracto que no tiene referencia. Asumida esta postura, ciertos problemas involucrados en cómo la información es transmitida en ciertas situaciones comunicacionales se desvanecen automáticamente, ya que “información no es una sustancia o entidad que se transporte, ni ‘información’ es un término con referencia” (2008, p. 599).

Los argumentos que presenta Timpson para sostener su punto de vista deflacionista se basan en asumir que la teoría de la información de Shannon (sobre la que él centra su trabajo) permite establecer un concepto preciso de información. El punto de partida consiste en sostener que “información es lo que produce una fuente de información” (2013, p. 22), y en distinguir entre la secuencia concreta de estados que la fuente produce y el tipo de secuencia que se está instanciando. Esta distinción apela a la vieja distinción metafísica entre tipos y casos: si una fuente de información produce una secuencia de estados “a, b, c, f, a, d, c, f”, lo que se quiere transmitir y reproducir en el destinatario no es *esa* misma secuencia de estados sino otro caso del mismo tipo. Por lo tanto, lo que una fuente de información produce y lo que se quiere transmitir al destinatario es un *tipo* de secuencia de estados.

Metafísicamente, los tipos son entidades abstractas. Por lo tanto, la información también es una entidad abstracta.

Bajo la interpretación deflacionista, el éxito comunicativo es definido en términos de un mapeo una-a-uno entre los estados de la fuente y los estados del destinatario (Duwell 2008) o en términos de similaridad estructural (Timpson 2013). De esta manera, la transmisión de información parece ser algo que solamente depende de las características formales de la situación comunicacional, independientemente de cómo esa situación y características son implementadas físicamente.

3.4 Virtudes y limitaciones de las diferentes interpretaciones

Si bien todas estas interpretaciones son igualmente compatibles con la teoría matemática de Shannon u otras teorías formales de la información, cuál de ellas asumir desde un punto de vista filosófico no es trivial: al adoptar una de ellas no sólo estamos identificando información con entidades de diferente naturaleza, sino que diferentes situaciones formalmente manejables desde una teoría matemática de la información podrían tener diferentes consecuencias conceptuales. De esta manera, cada interpretación no sólo presenta ciertos beneficios o nos permite lidiar con ciertas situaciones informacionales de manera más natural y eficaz, sino que también enfrenta diferentes problemas, insuperables en algunos casos. Ninguna de estas interpretaciones está libre de problemas, y todas ellas ofrecen algún tipo de ventaja en algún punto. Veamos esto con más detalle.

La ventaja más inmediata que ofrece la interpretación epistémica de la información es que permite recoger, de una manera formal y sistemática, nuestras primeras intuiciones acerca del carácter epistémico y semántico de la información, fundamentándose en teorías matemáticas bien establecidas y confiables. Esta interpretación permite un tratamiento cuantitativo y preciso de situaciones comunicacionales que involucran agentes que intercambian información y cambian sus creencias en función de ella, analizando cómo la información se transmite, se almacena y modifica nuestro estado de conocimiento. Sin embargo, otras situaciones parecen poner a la interpretación epistémica en aprietos, ya que considera como comunicacionales situaciones que intuitivamente no lo son. Analicemos el siguiente ejemplo.

Supongamos una antena de televisión T que emite señales electromagnéticas y dos televisores (TV_1 y TV_2) que reciben esas señales. Considerando a la antena como una fuente de información y a los dos televisores como receptores, es posible definir los estados de cada uno, con sus respectivas probabilidades y las correlaciones entre ellos; además de identificar la señal portadora de la información (las ondas electromagnéticas). En esta situación comunicacional, podemos establecer

algunos vínculos y correlaciones de manera clara: por un lado, existe una correlación entre los estados de TV_1 y TV_2 con los estados de la antena de transmisión T , de manera que podemos conocer el estado de cualquiera de los dos televisores con sólo conocer cuál es el estado de la antena (por ejemplo, sabiendo qué señal está emitiendo la antena T). Pero además, podemos identificar una correlación fuerte entre TV_1 y TV_2 : mirando el estado de uno de los televisores podemos conocer, inmediatamente, cuál es el estado del otro. A pesar de no existir ninguna relación física entre ellos, nada nos impide, desde el punto de vista formal, considerar a uno como una fuente y al otro como un receptor. Ahora bien, ¿existe genuina transmisión de información entre TV_1 y TV_2 ? Apelar al mero formalismo no facilita las cosas ya que, como mencionamos, utilizando por ejemplo la teoría formal de Shannon, nada nos impediría tratar esta relación como informacional. En este punto, resulta necesario recurrir a las interpretaciones.

Intuitivamente, pensaríamos que no hay transmisión de información entre TV_1 y TV_2 , y esta intuición es recogida por la interpretación física de la información: la ausencia de un vínculo físico (un canal o señal portadora de la información) entre ambos televisores no nos permite hablar con sentido de transmisión de información en este caso. Sin embargo, si asumimos una interpretación epistémica de la información, la inexistencia de un vínculo físico no es un argumento que permita negar la transmisión de información: en efecto, es posible *aprender* algo acerca de TV_1 con sólo mirar TV_2 y viceversa. Por lo tanto, deberíamos admitir que sí existe transmisión de información. En palabras de Dretske: “si las relaciones estadísticas que definen equivocidad y ruido entre S y R son apropiadas, entonces hay un canal entre esos dos puntos, y hay información entre ellos, aunque no haya un vínculo físico directo entre S y R ” (Dretske, 1981, p. 38). Un problema similar enfrenta la interpretación deflacionista de la información.

Un punto central a la hora de hablar de comunicación parece fundarse en cómo diferenciar genuinas situaciones comunicacionales de meras correlaciones: tanto la interpretación epistémica como la interpretación deflacionista no disponen de los recursos conceptuales para establecer esta distinción con claridad. Por su parte, la interpretación física sí permite llevar a cabo la distinción ya que la existencia de un canal físico y una señal portadora es central para ello: no hay transmisión de información sin canal ni señal portadora de la información.

Sin embargo, la interpretación física de la información no está exenta de problemas y, curiosamente, estos aparecen en el ámbito de las ciencias físicas, en particular, la mecánica cuántica. En las últimas décadas, la emergencia de un nuevo tipo de información, la *información cuántica*, ha revolucionado el campo. Usualmente, se considera que el trabajo de Benjamin Schumacher, “Quantum

Coding" (1995), es la formulación precisa de una teoría de la información cuántica. Una de las ventajas de la información cuántica es la posibilidad de transmitir información sin la necesidad de un canal físico, mediante el llamado protocolo de teleportación cuántica. En esencia, la teleportación consiste en transmitir cierta cantidad de información cuántica haciendo uso del fenómeno cuántico de entrelazamiento (la descripción del protocolo puede encontrarse en cualquier texto sobre el tema, v.g., Nielsen y Chuang 2010). La idea es que una cantidad muy grande información (estrictamente infinita) puede transferirse de Alice a Bob enviando solamente dos bits mediante un canal clásico. Sin embargo, es claro que no existe un canal cuántico mediante el cual la información contenida en el estado cuántico pueda transmitirse.

Si la interpretación física de la información resultaba adecuada para lidiar con casos que involucran antenas de transmisión y televisores, y era capaz de distinguir meras correlaciones de situaciones comunicacionales genuinas, el requerimiento de un canal físico puede ser una exigencia demasiado fuerte para lidiar con casos como la teleportación cuántica. Desde el punto de vista de la física y la ingeniería, intuitivamente parece haber genuina transmisión de información en el protocolo de teleportación; sin embargo, la ausencia de un canal físico mediante el cual la información cuántica se transmita, no permite identificarlo como un caso genuino de comunicación y transmisión de información desde una interpretación física. Desde un punto de vista deflacionista, el problema se disuelve de manera automática en tanto y en cuanto, como afirma Timpson, no hay nada (ninguna sustancia) que sea transmitida en el protocolo de teleportación. Tampoco hay ningún problema respecto del protocolo de teleportación cuando es abordado desde una interpretación epistémica: lo único que interesa desde este punto de vista es cómo los estados de conocimiento de Alice y Bob cambian en una situación comunicacional donde algún tipo de información es enviada, transmitida y recibida; sin considerar si existe o no un canal físico involucrado.

Comentarios finales

La filosofía de la información está en pleno desarrollo en todas sus ramificaciones y extensiones. El presente artículo ha buscado lograr un poco de sistematicidad al abordar los principales problemas conceptuales, ontológicos y epistémicos que presenta el concepto de información cuando es indagado filosóficamente. En general, se ha mostrado que a lo largo de todas sus diversificaciones, usos, contextos e interpretaciones, no existe un único concepto de información sino que varios de ellos conviven, todos útiles y efectivos bajo diferentes enfoques o diversos contextos. En primera instancia, el trabajo buscó mostrar como existen dos tipos generales de información cuando el concepto es

analizado desde diferentes enfoques: una información semántica y una información matemática. En un segundo paso, centrándonos en la información matemática, distinguimos al menos dos contextos donde el término es utilizado: un contexto computacional y un contexto comunicacional. Sin embargo, la generalidad, vaguedad y aplicabilidad del concepto todavía es muy amplia en este nivel. Se gana riqueza y robustez conceptual una vez que el concepto es interpretado y, tal como mostramos y expusimos, existen al menos tres interpretaciones del concepto de información; todas con sus virtudes y problemas para dar cuenta del amplio abanico de situaciones y usos en los que el concepto está involucrado.

Desde el lenguaje cotidiano hasta la mecánica cuántica, el concepto de información ha ganado riqueza, precisión y variedad, a la vez que –visto desde un punto de vista general– se ha vuelto más y más universal e inasible al análisis filosófico y la elucidación conceptual. Obtener una única definición, filosóficamente rica y sustancial, a la cual los más variados y disimiles sentidos se refieran, parece una meta cada vez más lejana y cada vez más inútil. Esperamos que el trabajo haya sugerido al lector que el primer paso acertado a la hora de pensar el concepto de información sea el de aceptar su pluralidad y plurivocidad.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido realizado gracias al apoyo del subsidio PICT-2014-2812 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (Argentina).

Referencias

- Adriaans, P. (2013). “Information.” En E. N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, URL = <http://plato.stanford.edu/archives/fall2013/entries/information/>
- Adriaans, P. and van Benthem, J. (2008). *Handbook of Philosophy of Information*. Amsterdam, Oxford: Elsevier.
- Bar-Hillel, Y. (1964). *Language and Information: Selected Essays on Their Theory and Application*. Reading, Mass: Addison-Wesley.
- Bar-Hillel, Y. and Carnap, R. (1953). “Semantic Information.” *The British Journal for the Philosophy of Science*, 4:147-57.
- Barwise, J. and Seligman, J. (1997). *Information Flow: The Logic of Distributed Systems*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bell, David (1957). *Information Theory and its Engineering Applications*. London: Pitman & Sons.
- Bergstrom, C. y Rosvall, M. (2011). “The transmission sense of information”. *Biology & Philosophy*, 26: 159-176.

- Burnham, K. y Anderson, D. (1998). *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. New York: Springer.
- Chaitin, G. (1966). "On the Length of Programs for Computing Binary Sequences." *Journal of the Association for Computing Machinery*, 13: 547-569.
- Cover, T. and Thomas, J. (1991). *Elements of Information Theory*. New York: John Wiley & Sons.
- Davies, P. (2014). "Universe from bit". En *Information and the Nature of Reality*, Paul Davies y Niels Gregersen (eds), Cambridge: Cambridge University Press, 65-91.
- Devlin, K. J. (1991). *Logic and Information*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dretske, F. (1981). *Knowledge & the Flow of Information*. Cambridge MA: MIT Press.Dodig-Crnkovi 2005
- Duwell, A. (2008). "Quantum Information Does Exist." *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 39: 195-216.
- Fetzer, J. H. (1990), *Artificial Intelligence: Its Scope and Limits*, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Fetzer, J. H. (2004). "Information: Does It Have to Be True?" *Minds and Machines*, 14(2): 223–229.
- Fisher, R. (1925). "Theory of Statistical Estimation." *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 22: 700-725.
- Floridi, L. (2003). "Two Approaches to the Philosophy of Information". *Minds and Machines*, 13(4): 459–469.
- Floridi, L. (2015). *The Ethics of Information*. Oxford: Oxford University Press
- Floridi, L. (2016). "Semantic Conceptions of Information". En *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.), URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/spr2016/entries/information-semantic/>>.
- Godfrey-Smith, P. y Sterelny, K. (2016). "Biological Information". Em *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.), URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/sum2016/entries/information-biological/>>.
- Jozsa, R. (1998). "Quantum information and its properties". En *Introduction to Quantum Computation and Information*, H.-K. Lo, S. Popescu, y T. Spiller (eds.) Singapore: World Scientific, pp. 49-75.
- Kolmogorov, A. (1965). "Three Approaches to the Quantitative Definition of Information." *Problems of Information Transmission*, 1: 4-7
- Kolmogorov, A. (1968). "Logical Basis for Information Theory and Probability Theory." *Transactions on Information Theory*, 14: 662-664.
- Landauer, R. (1991). "Information is Physical." *Physics Today*, 44: 23-29.
- Landauer, R. (1996). "The Physical Nature of Information." *Physics Letters A*, 217: 188-193.
- Lloyd, S. (2014). "The computational universe". En *Information and the Nature of Reality*, Paul Davies y Niels Gregersen (eds), Cambridge: Cambridge University Press, 92-103.
- Lombardi, O. (2005). "Dretske, Shannon's Theory and the Interpretation of Information." *Synthese*, 144: 23-39
- MacKay, D. (1969). *Information, Mechanism and Meaning*. Cambridge MA: MIT Press.
- Lombardi, O., Holik, F. and Vanni, L. (2014). "What Is Quantum Information?", *PhilSci Archive*, #11159.
- Nauta, D. (1972). *The Meaning of Information*. The Hague: Mouton.

- Nielsen, M. and Chuang, I. (2010). *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Reza, F. (1961). *Introduction to Information Theory*. New York: McGraw-Hill
- Rovelli, C. (1996). “Relational Quantum Mechanics.” *International Journal of Theoretical Physics*, 35: 1637-1678.
- Schumacher, B. (1995). “Quantum coding”. *Physical Review A*, 51: 2738-2747.
- Shannon, C. (1948). “The mathematical theory of communication”. *Bell System Technical Journal*, 27: 379-423.
- Solomonoff, R. (1964). “A Formal Theory of Inductive Inference.” *Information and Control*, 7: 1-22, 224-254.
- Stonier, T. (1990). *Information and the Internal Structure of the Universe: An Exploration into Information Physics*. New York-London: Springer.
- Stonier, T. (1996). “Information as a Basic Property of the Universe.” *Biosystems*, 38: 135-140.
- Timpson, C. (2004). *Quantum Information Theory and the Foundations of Quantum Mechanics*. PhD diss., University of Oxford (quant-ph/0412063).
- Timpson, C. (2008). “Philosophical Aspects of Quantum Information Theory.” En *The Ashgate Companion to the New Philosophy of Physics*, Dean Rickles (ed.), Aldershot: Ashgate Publishing, pp. 197-261
- Timpson, C. (2013). *Quantum Information Theory and the Foundations of Quantum Mechanics*. Oxford: Oxford University Press.
- Wheeler , J. A. (1989). “Information, physics, quantum: The search for links” . *Proceedings of the Third International Symposium on the Foundations of Quantum Mechanics* (Tokyo), 354.
- Wittgenstein, L. (1981). *Zettel*. Oxford: Blackwell.
- Zeilinger, A. (1999). “A Foundational Principle for Quantum Mechanics.” *Foundations of Physics*, 29: 631-643.