

La Neguentropía

¿Cómo sabe una planta que llega la primavera?

Clara Janés

Recibido: 10.02.2021 — Aceptado: 15.03.2021

Titre / Title / Titolo

Negentropy. Comment une plante sait-elle que le printemps arrive ?
The Negentropy. How does a plant know that Spring is coming?
Negentropy. Come fa una pianta a sapere che arriva la primavera?

Resumen / Résumé / Abstract / Riassunto

La vida contiene un fenómeno irreversible, la entropía, tendencia hacia el desorden, fruto del intercambio de energía y materia con el entorno, vinculado con la segunda ley de la termodinámica. Un elemento que contribuye a ello es el azar, «el acaso comprensible», para Schrödinger, y según Prigogine comporta la autonomía del tiempo. Schrödinger se pregunta cómo un organismo vivo logra «evitar la degradación al equilibrio termodinámico (muerte)», y responde: «con cierto nivel de entropía negativa», es decir, «Extrayendo ‘orden’ del entorno».

La vie contient un phénomène irréversible, l'entropie, une tendance au désordre, résultat de l'échange d'énergie et de matière avec l'environnement, lié à la deuxième loi de la thermodynamique. Un élément qui y contribue est le hasard, «le hasard compréhensible», pour Schrödinger, et qui, selon Prigogine, implique l'autonomie du temps. Schrödinger demande comment un organisme vivant parvient à «éviter la dégradation vers l'équilibre thermodynamique (la mort)», et répond : «avec un certain niveau d'entropie négative», c'est-à-dire «en extrayant ‘un ordre’ de l'environnement».

Life contains an irreversible phenomenon, entropy, a tendency towards disorder, result of the interchange of energy and matter with the environment, linked to the second law of Thermodynamics. One element that contributes such process is chance, «the understandable perhaps», for Schrödinger, involving the autonomy of time according to Prigogine.

Schrödinger wonders how a living organism manages to «prevent thermodynamic equilibrium from degrading (death)», and answers: «with a certain level of negative entropy», that is, «By extracting ‘order’ from the environment».

La vita contiene un fenomeno irreversibile, l'entropia, una tendenza al disordine, risultato dello scambio di energia e materia con l'ambiente, legato alla seconda legge della termodinamica. Un elemento che contribuisce a tale processo è il caso, «il caso comprensibile», per Schrödinger, e secondo Prigogine comporta l'autonomia del tempo. Schrödinger si chiede come un organismo vivente riesce a «evitare la degradazione all'equilibrio termodinamico (morte)», e risponde: «con un certo livello di entropia negativa», cioè «estraendo ‘ordine’ dall'ambiente».

Palabras clave / Mots-clé / Key words / Parole chiave

Schrödinger, Prigogine, entropía, termodinámica, tiempo, azar, desorden, materia, energía.

Schrödinger, Prigogine, entropie, thermodynamique, temps, caractère aléatoire, désordre, matière, énergie.

Schrödinger, Prigogine, entropy, thermodynamics, time, randomness, disorder, matter, energy.

Schrödinger, Prigogine, entropia, termodinamica, tempo, casualità, disordine, materia, energia.

Ilya Prigogine, al iniciar su texto *El nacimiento del tiempo*, recuerda que lo escribió tras haber leído en *¿Qué es la vida?*, de Erwin Schrödinger, la frase: «Tiene que haber algo en el mecanismo de la vida que impide que la vida se degrade, debe haber algún fenómeno irreversible». Esta frase fue, para él, el punto de partida de una profunda reflexión que dejó escrita en el mencionado libro *El nacimiento del tiempo*, y le llevaría al estudio de toda «situación de no-equilibrio» (Citado por Prigogine, 34). Una situación tal se hallaba acaso en el origen mismo de la «organización biológica» pues la vida, expresó con lúcida precisión: «no es solamente química. La vida tiene que haber incorporado todas las otras propiedades físicas, es decir, la gravitación, los campos electromagnéticos, la luz, el clima. De alguna manera se requiere una química abierta al mundo externo, y solo la materia alejada de las condiciones de equilibrio tiene esta flexibilidad» (ib. 33).

...la gravitación, los campos electromagnéticos, la luz, el clima...

Si un hombre corriente no detecta la gravitación o el campo electromagnético, sí detecta, en cambio, la luz y el clima, y puede reconocer fácilmente su vinculación con la hora o la estación del año, y, por otra parte, bien sabemos que la luz y el calor entrañan una forma de energía.

Las leyes de la Termodinámica

Primero, tras la teoría de Maxwell, se creyó que la luz era una onda electromagnética, es decir, continua. Después, con Planck, quedó establecido que acontece en «paquetes», los cuanta, que Einstein identificó como fotones... El calor es igualmente una energía, y ésta se transmite de tres modos distintos: conducción, convección y radiación. Tanto luz como calor interactúan con el medio. Dichas interacciones quedan descritas en las dos leyes de la termodinámica, la primera de las cuales, llamada también de la conservación de la energía, sostiene que, en un sistema aislado, ésta permanece invariable pero puede transformarse, mientras que la segunda afirma que, en tal

tipo de sistema, una parte de energía utilizable se pierde, lo cual se expresa diciendo que su movimiento va del orden al desorden. Prigogine insiste en ese intercambio de «energía y materia con el mundo externo» (302) que se produce en un sistema vivo, y considera pionero en su estudio a Boltzmann, físico austriaco que se entregó a las investigaciones sobre termodinámica.

Ludwig Boltzmann (1844-1906), cuyas reflexiones epistemológicas le llevaron a sostener que el conocimiento científico tiene carácter hipotético, propuso, en relación con el segundo principio, una interpretación probabilista.

La entropía

En el libro *La nueva alianza*, de Prigogine y Stengers (161-162), respecto al paso entre los niveles microscópico y macroscópico, leemos que fue Boltzmann

el primero en afrontar este reto: pensaba que había que encontrar nuevos conceptos físicos para ampliar la física de las trayectorias a las situaciones descritas por la termodinámica. Esta innovación conceptual, Boltzmann, después de Maxwell, la fue a buscar en el concepto de probabilidad. [...] La innovación consistía en introducir la probabilidad en física, y no a título de instrumento de aproximación, sino de principio explicativo ...

Schrödinger (109), la lectura de cuya obra, como hemos visto, había estimulado a Prigogine, en su peculiar estilo, nos acerca así al tema:

El que no es físico encuentra difícil de creer que las leyes comunes de la Física que él considera como un prototipo de precisión inviolable, estén basadas realmente en la tendencia estadística de la materia a ir hacia el desorden. [...] El principio general que interviene es la famosa segunda ley de la termodinámica (principio de la entropía) y su igualmente famoso fundamento estadístico.

La entropía, que es aquello que mide el grado de desorden, queda, pues, vinculada a la segunda ley de la termodinámica. Por su parte, Rupert Riedl, en su estudio sobre Schrödinger, empieza por informarnos de



Ludwig Boltzmann



Erwin Schrödinger



Ilya Prigogine

un interesante hecho de la vida de éste. Relata que, en la primera semana de septiembre de 1906 Boltzmann se ha suicidado y Erwin Schrödinger, de 19 años, entra a estudiar física en la misma universidad en la que él enseñaba. Riedl considera que el joven ya nunca podrá liberarse de su influencia. Acto seguido se centra en el tema de la entropía, diciendo que para hablar de ello hay que remontarse a Clausius (1850-1888), según el cual es «la medida relativa de esa parte de energía que no puede convertirse en trabajo mecánico, se pierde y da como resultado la irreversibilidad de un proceso» (Riedl, 59).

Y volviendo por un momento a Boltzmann, éste insistió en que la entropía es una medida del desorden molecular, cuyo aumento lleva consigo una desorganización progresiva, que consiste en el alejamiento de unas condiciones iniciales determinadas.

La palabra griega *ἐντροπία* significa evolución o transformación. Y tanto la evolución como la transformación comportan en sí el factor tiempo. Por ello dice Prigogine: «La vida es el reino de lo no-lineal, la vida es el reino de la autonomía del tiempo, es el reino de la multiplicidad de las estructuras. Y esto no se ve fácilmente en el universo no viviente. [...]// la vida se caracteriza por esta inestabilidad» (35). Unos párrafos después añade: «¿Cómo se imprime el tiempo en la materia? En definitiva esto es la vida, es el tiempo que se inscribe en la materia» (40). Y en *¿Tan solo una ilusión?* matiza: «Lo

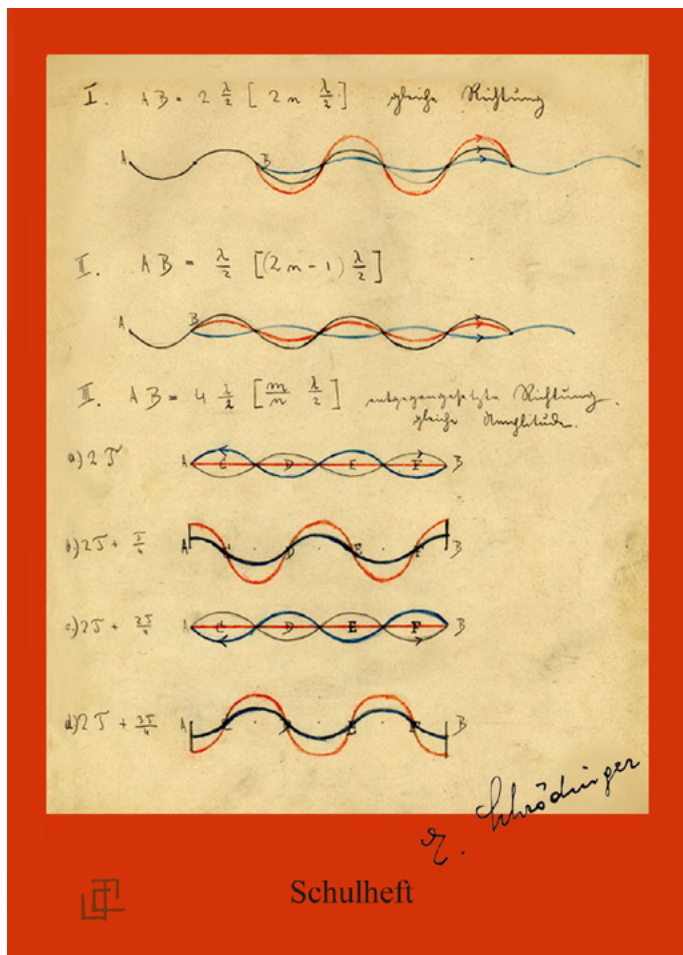
artificial es determinista y reversible. Lo *natural* contiene elementos esenciales de azar e irreversibilidad» (23).

El azar

También para Schrödinger el azar tiene un peso. Herbert Hörzt, autor de un interesante estudio sobre dicha cuestión, destaca que su virtud fue poner de relieve el azar en el entendimiento teórico de la realidad en un momento en que la física estaba bajo el influjo del determinismo mecánico. Dice concretamente:

Según Schrödinger el macrocosmos es un sistema de elementos ambiguos que interactúan a amplia escala sobre la base de leyes ambiguas, el comportamiento de los elementos (microcosmos) es azaroso. Solo esta interpretación permite el principio de comportamiento macroscópico y la individualidad de organismos vivos, de modo que ambas, la interpretación estadística de la segunda ley fundamental de la termodinámica, y la estabilidad de los organismos vivos pueden ser explicadas. Así Schrödinger pertenece a los teóricos que entendieron la interrelación del determinismo y la auto-organización en términos de una noción filosófica del azar» (Hörzt, 72).

Y más adelante: «Schrödinger era consciente de que el hecho de la teoría cuántica había dado origen a una nueva situación en la cual la relación entre azar y ley adquiriría nuevas dimensiones» (ibid. 76).



Falta pie

¿Qué se entiende por azar? Esta pregunta parece convocar de modo indirecto la persistente frase de Einstein «Dios no juega a los dados», como si para él existiera una suerte de armonía preestablecida, como si se tratara de un Dios «que se revela en la armonía de todo lo que existe» (Sánchez, 383), el cual es, como creía Spinoza, única sustancia, de la que el hombre es parte, y que se divide en infinitos modos todos ellos en perfecto orden matemático. Esta idea de Dios, sin embargo, no es concorde con el interés de Einstein por Hume, precisamente porque «Hume rechazaba la noción de ‘sustancia’, que reemplazaba por ‘conjuntos’ (o grupos) de ideas y también rechazaba el concepto ‘causalidad’, que para él solo significaba que un objeto o suceso *había*

ocurrido siempre en conjunción con otro objeto o suceso, sin que esto implicase relación necesaria o lógica» (Sánchez, 124-125).

«Estás sin contradicciones, estás sin posibilidades», escribió Vladimír Holan en su obra *Lemuria*. «Casualidad», «caso fortuito» son las dos primeras acepciones que da el diccionario de la RAE respecto a la palabra «azar». Y curiosamente sigue «desgracia imprevista», y, al final, «en los juegos de naipes o de dados, carta o dado que tiene el punto con que se pierde». Hörz, en cambio, dice citando a Exner: «Los sucesos fortuitos son sucesos que pueden acontecer en condiciones específicas con cierta posibilidad. En otras palabras: el azar es una relación objetiva entre las propiedades infinitas de un objeto, de un proceso, de una persona (grupo), y entre las relaciones infinitas de diferentes sucesos. Esta relación no está basada en las relaciones internas esenciales de esos componentes interrelacionados» (Hörtz, 75).

También destaca Hörz que, en sus observaciones respecto a la relación entre la ley y el azar, Schrödinger sigue la postura de Exner, y considera el azar «intrínseco a la ley». Añade, además, que el físico hizo varias declaraciones sobre la cuestión, así por ejemplo: «El ordenado curso de los fenómenos, tal como lo vemos, surge de una manera que nos parece natural y que podemos entender perfectamente. Puede decirse: mediante el *acaso* [cursiva mía] comprensible» (Schrödinger, 68, cursiva mía). Schröter, el prologuista de la obra de Schrödinger *¿Qué es una ley de la naturaleza?*, observa por su parte que para él «La discontinuidad surge solamente como estructura, a partir de las leyes que gobiernan el acontecer» (Schrödinger, 12).

El tiempo

La vida, veíamos, dice Prigogine, es «el tiempo que se inscribe en la materia». ¿Y el tiempo? Ese era, sin duda, para él un tema claro. En el año 1984, en la bienal de Lieja titulada *Poesía año 2000*, presentó un comunicado, *Ciencia y literatura, ¿una misma cuestión?*, donde se extendía tratando de un tiempo interior y un tiempo exterior, re-

chazando la idea anticuada según la cual el tiempo está en nosotros. Dijo:

«En la concepción clásica, el presente era como un punto perdido entre el infinito del pasado y el infinito del futuro, mientras hoy consideramos el presente como una duración finita, incomprensible, que mide esencialmente la manera en que el tiempo es necesario para que el pasado desaparezca en el objeto y dé paso al futuro. [...] empezamos a comprender la historia de la materia y de la vida como una adquisición de la autonomía del tiempo, una adquisición progresiva de esta autonomía»¹.

¿En qué consiste la autonomía del tiempo? ¿Cómo influye éste directamente en la vida? En *El nacimiento del tiempo*, Prigogine afirma que es la irreversibilidad la que conduce a la autonomía; que débiles cambios en el medio pueden llevar a comportamientos distintos, y menciona la reacción de una planta. Dice: «Tomemos un ejemplo: ¿cómo hace una planta para conocer la llegada de la primavera? La verdad es que la temperatura, como la luz, varía mucho de la mañana a la tarde o del día a la noche; pero de todo este ruido, emerge una pequeña señal que la planta es capaz de captar. Así comenzamos a entender cómo esta señal puede ser amplificada» (Prigogine, 87-88).

Positivo desequilibrio

Schrödinger da un paso más. Observa que la materia viva elude la degradación hacia el equilibrio, pues el equilibrio termodinámico es la muerte. «¿Cuándo puede decirse que un pedazo de materia está vivo? Cuando sigue «haciendo algo»...» (Schrödinger, 109). Antes de llegar a esta frase ha dicho ya: «La vida parece ser el comportamiento ordenado y reglamentado de la materia que no está asentado exclusivamente en su tendencia de pasar del orden al desorden, sino basado en parte en un orden existente que es mantenido» (ibid. 108). Y he aquí que él mismo se pregunta:

¿Cómo podríamos expresar, con términos de la teoría estadística, la maravillosa facultad de un organismo vivo de retener la degradación al equilibrio termodinámico (muerte)? Hemos dicho anteriormente que «se alimenta de entropía negativa», como si el organismo atrajera hacia sí una corriente de entropía negativa para compensar el aumento de entropía que produce viviendo, manteniendo así un nivel estacionario y suficientemente bajo de entropía (ibid. 114),

claro que siempre a expensas del crecimiento de la entropía del medio. El apartado donde figura esta pregunta se titula: «Organización mantenida extrayendo «orden» del entorno», y queda acuñada ya la expresión «entropía negativa» que, más tarde, Léon Brillouin modificó en «neguentropía».

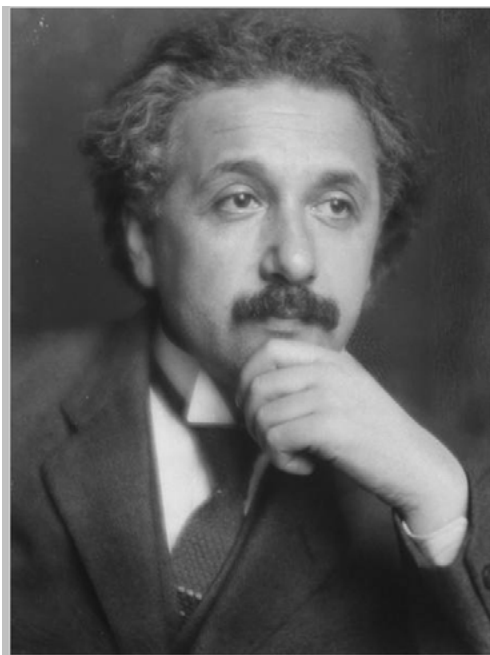
Prigogine (87) no fue tan lejos pero profundizando en esa entropía que «acelera la carrera hacia el reino de la muerte»², esa peligrosidad del futuro, esa inestabilidad coherente del desequilibrio, fijándose en un péndulo y en las innumerables precauciones que se necesitarían para que se mantuviera «su estado de movimiento reversible y determinista sin disipación de energía»³. En todo este trayecto, dio con una interesantísima salida esperanzadora, no tan alejada del hallazgo de Schrödinger: las estructuras disipativas. Éstas, dice, se producen, cuando, dentro de un sistema, una fluctuación aumenta superando el umbral de estabilidad. En tal situación, el sistema «adopta un modo de funcionamiento completamente distinto, estructurado en el tiempo y en el espacio, funcionalmente organizado. Lo que entonces surge es un proceso de auto-organización, lo que hemos denominado «estructura disipativa» (ibid. 89).

A través de ese concepto, Prigogine llega al punto álgido, la relación de una estructura con el mundo a través del desequilibrio. Un cristal, observa, es una estructura en equilibrio —está exento de necesitar intercambio de energía con el mundo—, por el contrario una estructura disipativa «no puede existir al margen del mundo externo. Aislada de este mundo, es decir, de los aportes de energía y materia que mantienen los procesos disi-

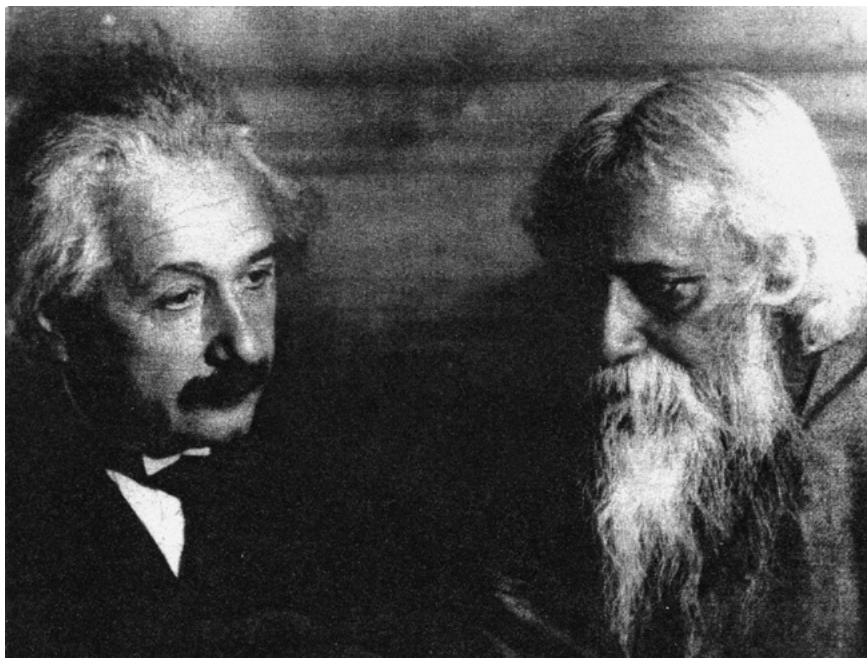
¹ *Poésie an 2000. Quatorzième biennale de poésie*. Palais des Congres, Liege, du 30 aut au 3 septembre, 1984, Maison Internationale de la Poésie, pp. 51-60 ; p. 57.

² *¿Tan solo una ilusión?*, op. cit. p.87.

³ Ibid. p.51.



Albert Einstein



Albert Einstein y Rabindranath Tagore

pativos, desaparece, y el sistema alcanza el estado de equilibrio» (ibid. 104).

La ecuación de Einstein

¿*Tan solo una ilusión?* Este título, dado por Prigogine a su libro, comporta, de hecho, un homenaje a Einstein, para el cual la irreversibilidad del tiempo era una ilusión, y cita unas palabras de la carta enviada por éste a la hermana de su amigo Michèle Besso, con motivo de su fallecimiento: «Para nosotros, físicos convencidos, la distinción entre pasado, presente y futuro es sólo una ilusión, por persistente que sea» (ibid.145). Todo este libro de Prigogine encierra ese homenaje; incluye, por ejemplo, un «Anexo. La naturaleza de la realidad», que es una conversación entre Rabindranath Tagore y Einstein acontecida en julio de 1930; una conferencia escrita con ocasión del centenario del nacimiento de éste y pronunciada en la Académie Royal de Belgique en 1981: «Einstein: triunfos y conflictos». También en

El nacimiento del tiempo, sigue esta línea. En el capítulo «La irreversibilidad en cosmología», comenta que «la ecuación fundamental de Einstein relaciona la curvatura del espacio-tiempo a la presión y a la densidad o, para expresarlo de manera más precisa, al tensor energía-impulso de la materia» (Prigogine, 66). Este planteamiento lo lleva a la pregunta capital: «¿Qué significa un «inicio del tiempo»?» (ibid., 67). Y concluye que el universo empieza con una inestabilidad, partiendo, tal vez como proponen algunos, de un vacío, un «vacío fluctuante, que produce masas ligeras o pesadas. Cuando la masa producida alcanza un valor del orden de cincuenta veces la *masa de Plank*, el vacío se vuelve inestable y se transforma en un sistema materia-gravitación, es decir, en un universo» (ibid., 69). Inevitable es no dar el salto siguiente: «Podemos también imaginar la historia del universo como una reacción química explosiva que queda bloqueada por sus propios productos de desecho, hasta el momento en que éstos son eliminados, y una nueva explosión vuelve a ser posible» (ibid., 73-74).

Y llegados este punto, me permito también yo un anexo:

Anexo

Escribe Schrödinger en *Mente y materia*: «Galeno nos ha dejado un pasaje en que Demócrito introduce el intelecto (διάνοια) mediante una discusión que éste tiene con los sentidos (αἰσθήσεις) sobre qué es lo ‘real’. El primero dice: ‘Aparentemente, existe el color, la dulzura, lo amargo; en realidad, sólo existen átomos y vacío’. A lo que los sentidos replican: ‘Pobre intelecto, nosotros te hemos prestado la evidencia de ti mismo, ¿y tú quieres derrotarnos? Tu victoria es tu derrota’ ». Y sigue Schrödinger: «En este capítulo he intentado contrastar (con ejemplos sencillos tomados de la más humilde de las ciencias, de la Física) dos hechos generales: a) que todo el conocimiento científico se basa en los sentidos, y b) que, a pesar de todo, las descripciones científicas de los procesos naturales así elaborados carecen de todas las cualidades sensoriales, por lo que no pueden dar cuenta de ellas, no pueden explicarlas» (Schrödinger, 94-95).

Decir que «solo existen átomos y vacío» es un segundo paso en esta discusión entre el intelecto y los sentidos. ¿Pero qué captan en realidad los sentidos? ¿Saben intuitivamente los nombres de las cosas? ¿Saben, por ejemplo, respecto a la luz, que ésta es materia⁴?

«La ciencia es un diálogo entre el hombre y la naturaleza», afirmó Ilia Prigogine (64). El lenguaje común entre ambos –el hombre y la naturaleza– acaso esté en el aire, como él afirmaba respecto a la flor, como algo que actúa a modo de envoltura.

Riedl (68) nos impulsa así a cerrar este círculo mágico:

«Nuestra innata forma de percepción, resulta clara, no nos proporciona una reflexión de la realidad extra-subjetiva, sino más bien las guías de comportamiento usadas por nuestros ancestros para resolver los problemas básicos de la vida. [...]

Estamos tratando con ventanas sensoriales al mundo exterior». Y destaca la necesidad del hombre de destruir orden, hasta destruir, dice, «nuestro capital» y la tierra misma. Para concluir: «Deberíamos haber tomado más en serio a Boltzmann y a Schrödinger».

Bibliografía

- Götschl, Johann (ed.). *Erwin Schrödinger's World wien. The Dynamics of knowledge and Reality*. Dordrecht, Boston y Londres: Kluwer Academic Publishers, 1992.
- Hörz, Herbert. «Determination and self organisation: Erwin Schrödinger's views on chance», en Götschl, Johann (ed.). *Erwin Schrödinger's World wien. The Dynamics of knowledge and Reality*. Dordrecht, Boston y Londres: Kluwer Academic Publishers, 1992.
- Prigogine, Ilia. Poésie an 2000. *Quatorzième biennale de poésie*. Palais des Congres, Liege, du 30 aut au 3 septembre, 1984, Maison Internationale de la Poésie.
- *El nacimiento del tiempo*. Barcelona: Tusquets, 1993.
- *¿Tan solo una ilusión?*. Barcelona: Tusquets, 2004.
- Prigogine, Ilia y Stengers, Isabelle. *La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia*. Madrid: Alianza Editorial, 1994.
- Rupert Riedl. «Schrödinger's negentropy concept and biology» en Götschl, Johann (ed.). *Erwin Schrödinger's World wien. The Dynamics of knowledge and Reality*. Dordrecht, Boston y Londres: Kluwer Academic Publishers, 1992.
- Sánchez Ron, José Manuel. *Albert Einstein. Su vida y su obra*. Madrid: Crítica y Fundación BBVA, 2015.
- Schrödinger, Erwin. *¿Qué es una ley de la naturaleza?* México: Fondo de Cultura Económica, 1975.
- *Mente y Materia*, traducción de Jorge Wagensberg, Barcelona: Tusquets, 1990.
- *¿Qué es la vida?*, traducción de Ricarrdo Guerrero, Barcelona: Tusquets, 2011.
- *Was ist Materie?*, Originaltonaufnahmen, 86 minuten, c+p 2002/2007 supposedé Köln ISBN 978-3-932513-30-5 LC 10439.

⁴ Dicho por Schrödinger en el disco *Was ist Materie?*, Originaltonaufnahmen, 86 minuten, c+p 2002/2007 supposedé Köln ISBN 978-3-932513-30-5 LC 10439.