

# INNOVACIÓN TEÓRICA COMPUTACIONAL:

## Una cuestión insoslayable

**Encuentro Ciencia-Filosofía  
Real Academia de Ciencias  
Madrid, 13 de Mayo de 2019**

**Andrés Rivadulla**, a.H. Prof.  
Departamento de Lógica y Filosofía Teórica  
Universidad Complutense de Madrid

Grupo de Investigación Complutense 930174  
<https://andresrivadulla.academia.edu>  
[arivadul@ucm.es](mailto:arivadul@ucm.es)

# ¿ES POSIBLE QUE LA INTELIGENCIA GENERE TEORÍAS CIENTÍFICAS?

Desde la perspectiva del filósofo, y desde la curiosidad del científico, la primera cuestión es:

*¿Por qué debe interesarse la Filosofía por esta cuestión? ¿Qué pinta la Filosofía en este asunto?*

La respuesta no puede ser otra que:

*Porque con ella, la Filosofía, empezó todo.*

# MI CUESTIÓN CLAVE

- **¿TIENE SENTIDO PLANTEARSE EL DESCUBRIMIENTO CIENTÍFICO AUTOMÁTICO *A PARTIR DE RESULTADOS TEÓRICOS DISPONIBLES?***
- **¿ES CAPAZ LA IA DE DESARROLLAR MODELOS COMPUTACIONALES PARA LA INNOVACIÓN TEÓRICA *A PARTIR DE RESULTADOS TEÓRICOS ACEPTADOS?***

# LA CUESTIÓN CLAVE

**PERO:**

**¿HAY JUSTIFICACIÓN PARA ESTA PREGUNTA?**

**¿ES SENSATA?**

**ADEMÁS:**

**¿ES SOSLAYABLE, O ESTÁ LA CIENCIA COMPUTACIONAL OBLIGADA A HACERLE FRENTE?**

# LA PREGUNTA ESTÁ JUSTIFICADA Y ES SENSATA POR UN DOBLE MOTIVO

## ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ

1. La ciencia teórica es una práctica de descubrimiento y, hasta donde es posible, de explicación. Y el descubrimiento científico sigue unas reglas que la metodología de la ciencia revela.
2. A partir de la segunda mitad del siglo XX una nueva *Ciencia Computacional de la Ciencia*, aplicando IA, desarrolla programas informáticos para implementar en ordenadores la vieja metodología de descubrimiento científico a partir de datos.

La consecuencia que vamos a obtener es que la cuestión no es baladí.

Pero, obviamente las obligaciones que asume cada ciencia son de su incumbencia.

Veámoslo por partes.

# PARTE A: METODOLOGÍA DEL DESCUBRIMIENTO EN CIENCIA (1)

## A.I. DESCUBRIMIENTOS CIENTÍFICOS A PARTIR DE DATOS EMPÍRICOS

I.1. Por *inducción*, e. d. por inferencia a partir de un número finito de datos

### - La valoración metodológica de la inducción por Newton

Una de las normas de la física matemática, las *Regulae philosophandi*, que Newton incluye en el Libro III de su *Philosophiae naturalis principia mathematica*, 1687, es la siguiente:

“En filosofía experimental las proposiciones obtenidas por inducción a partir de los fenómenos han de ser tenidas, pese a las hipótesis contrarias, por verdaderas o muy aproximadas hasta que otros fenómenos las hagan más exactas o sujetas a excepciones.”

Y en su *Óptica*, 1706 (Libro III, Parte I, pp. 349-350) insiste:

“aunque los argumentos a partir de observaciones y experimentos por inducción no constituyan una demostración de las conclusiones generales, con todo, es el mejor modo de argumentar que admite la naturaleza de las cosas y ha de considerarse tanto más fuerte cuanto más general sea la inducción.”

# PARTE A: METODOLOGÍA DEL DESCUBRIMIENTO EN CIENCIA (1)

## A.I. DESCUBRIMIENTOS CIENTÍFICOS A PARTIR DE DATOS EMPÍRICOS

I.1. Por *inducción*, e. d. por inferencia a partir de un número finito de datos

### – Descubrimientos por inducción, según Newton

En el Escolio General de su *Principia* consagra a la inducción:

“dentro de la *Filosofía experimental* (La Física, A.R.) [...] las proposiciones se deducen de los fenómenos, y se convierten en generales por inducción. Así llegaron a ser establecidas la impenetrabilidad, la movilidad, el ímpetu de los cuerpos y las leyes de los movimientos y de la gravedad.”

# PARTE A: METODOLOGÍA DEL DESCUBRIMIENTO EN CIENCIA (1)

## A.1. DESCUBRIMIENTOS CIENTÍFICOS A PARTIR DE DATOS EMPÍRICOS

I.2. Por *abducción*, inferencia de la mejor explicación sin atención al número de datos

- Ejemplo: el descubrimiento de Sirio B



## PARTE A: METODOLOGÍA DEL DESCUBRIMIENTO EN CIENCIA (1)

### A.I. DESCUBRIMIENTOS CIENTÍFICOS A PARTIR DE DATOS EMPÍRICOS

I.2. Por *abducción*, o sea inferencia de la mejor explicación sin atención al número de datos

– Ejemplo: el descubrimiento de Sirio B

En 1844 el astrónomo alemán Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) reconocía con sorpresa: “que observaciones disponibles nos autorizan a afirmar sin género de dudas que los movimientos propios de *Procyon* en declinación y de *Sirio* en ascensión recta no son constantes, sino que, por el contrario, se han modificado claramente desde 1755.” (Bessel 1844: 136)

Tras considerar cuatro hipótesis posibles, entre ellas la de la existencia de una estrella atractiva  $S_n$  situada a una distancia  $r_n$  de la estrella  $S$  que muestra el comportamiento anómalo, Bessel (1844: 141) argumenta del modo siguiente:

## EL ARGUMENTO DE BESSEL SOBRE SIRIO (*ALFA CANIS MAIORIS*)

- Se observan cambios notables y sorprendentes en el movimiento de *Sirio*.
- Pero si consideráramos a *Sirio* una estrella doble, el cambio en sus movimientos no nos sorprendería, sería algo natural.
- Por tanto hay razones para sospechar que *Sirio* es una estrella doble.

# EL ARGUMENTO DE BESSEL SOBRE SIRIO

Bueno, así es como Bessel podría haber argumentado.

Pero lo que Bessel (1844:141) realmente dice es:

“Las estrellas cuyos movimientos desde 1755 han mostrado cambios notables, si no se puede probar que el cambio es independiente de la gravitación, deben formar parte de sistemas menores. Si consideráramos a *Sirio* y a *Procyon* como estrellas dobles, el cambio en sus movimientos no nos sorprendería; los aceptaríamos como necesarios, y solo tendríamos que investigarlos observacionalmente.”

Pero es lo mismo. O sea, ¡un ejemplo excelente de razonamiento abductivo peirceano!

Un razonamiento similar fue usado unos decenios después por Urbain Le Verrier para el descubrimiento de Neptuno y está siendo usado en nuestros días para el descubrimiento del noveno planeta del Sistema solar.

## EL DESCUBRIMIENTO REAL DE SIRIO B

Sin pretenderlo Alvan Graham Clark (1832-1897) descubrió en 1862 la estrella compañera de *Sirio*, a la que dió el nombre de *Sirio B*.

O sea, que tal como había sospechado Bessel veinte años antes, *Sirio* no es realmente una estrella, sino un sistema binario formado por *Sirio A* y *Sirio B*, cuyas masas respectivas son  $M_A=2,3M_{\odot}$  y  $M_B=1,053M_{\odot}$ .

Posteriormente, Walter Sidney Adams (1876-1956) descubrió que *Sirio B*, tiene un radio de sólo  $5.5 \times 10^8$  cm y una temperatura en superficie de 27.000K, mucho mayor que la de *Sirio A*, que es de 9.910K.

O sea, ¡*Sirio B* es una enana blanca, un tipo de estrellas con aproximadamente la masa del Sol y el tamaño de la Tierra!

# PARTE A: METODOLOGÍA DEL DESCUBRIMIENTO EN CIENCIA (1)

## A.I. DESCUBRIMIENTOS CIENTÍFICOS A PARTIR DE DATOS EMPÍRICOS

I.2. Por *abducción*, o sea inferencia de la mejor explicación sin atención al número de datos

Ejemplo 2: La existencia de *materia oscura*, mejor explicación posible

- Jan Hendrik Oort (1900-1992) examinando en 1932 el *efecto Doppler* de los espectros de estrellas de la Vía Láctea encontró que éstas se movían más rápidamente de lo que se esperaba. Un año después el suizo Fritz Zwicky (1898-1974), midiendo las velocidades de galaxias del Cúmulo de Coma observó el mismo fenómeno. La mejor explicación que encontraron para estas observaciones es que debería haber más masa de la observada, *materia oculta* pues, o como Zwicky, la llamó, y así es conocida desde entonces, *materia oscura*.
- Pero si recurrimos a la Tercera Ley de Kepler, la velocidad orbital de las estrellas alejadas del núcleo de la Galaxia debe comportarse como  $v_{orb} \propto d^{-1}$ , o sea, decrece con la distancia.
- Ahora bien, en lugar de concluir que la mecánica newtoniana es falsa, los astrofísicos argumentan como hace Vicent J. Martínez (2004: 225-227):

“una curva de rotación plana  $V(R) = \text{constante}$ , corresponde a un crecimiento lineal de la masa con el radio,  $M(R) \propto R$ . Es decir, la masa en el interior de una esfera de radio  $R$  tiene que seguir creciendo para distancias grandes del núcleo, pero esta masa no se observa. Por este motivo, el descubrimiento de que las curvas de rotación son planas implica que tiene que existir *materia oscura* en los halos de las galaxias espirales (...) La acción gravitatoria de esta materia es la responsable de que las curvas de rotación se tornen planas.”

## A.II. MODELOS DE DESCUBRIMIENTO COMPUTACIONAL

- Herbert Simon (1995: 171-172) proclama la existencia de una *teoría computacional del descubrimiento científico* (a computational theory of the processes of scientific discovery)
- Pat Langley *et al.* (1987: Preface) mantienen que los programas de ordenadores “simulate human thought processes to make scientific discoveries.”

Un número importante de descripciones han sido acuñadas para referirnos al campo del descubrimiento científico computacional: machine discovery, automated discovery, computer-made discovery, computacional discovery, computer-aided discovery, etc.

Paul Thagard (1988:15) presenta su programa PI –abreviatura de ‘processes of induction’– el cual “implements in the programming language LISP a general model of problem solving and inductive inference.”

Raúl Valdés Pérez (1995: 220): “Scientific discovery by machine exists, hence it is possible.”

Jan M. Zytkow (1996:299-300): “One of the main research directions in machine discovery has been the automation of scientific discovery.” Donde “Machine discoverers can be defined as computer systems that autonomously pursue knowledge.”

Saso Dzeroski (2007, Preface): “Computational scientific discovery focuses on applying computational methods to automate scientific activities, such as finding laws from observational data.” La máxima a que se deben ajustar es la de que “Computational methods for scientific discovery should be able to infer knowledge from small data sets.” (Dzeroski 2007:10)

Thagard y Nowak (1990:28): “el programa BACON toma valores numéricos como entradas y genera ecuaciones que se ajustan a esos valores.”

Herbert Simon (1992: 8): “Una serie de programas computacionales, llamados colectivamente BACON, ha simulado exitosamente el proceso por el que un número sustancial de leyes importantes de la química de los siglos dieciocho y diecinueve fueron inducidas a partir de datos.”

Así, a partir de datos puramente observacionales BACON ‘descubre’ inductivamente la Tercera Ley de Kepler. Pero también las leyes de Black de la temperatura de equilibrio, la ley de conservación del momento y otras.

**PARTE B. METODOLOGÍA DEL DESCUBRIMIENTO EN CIENCIA (2)**  
**B.I. DESCUBRIMIENTOS A PARTIR DE *RESULTADOS TEÓRICOS***  
**LA *PREDUCCIÓN* TEÓRICA**

La *preducción* es la forma de razonamiento que consiste en combinar matemáticamente resultados teóricos disponibles, procedentes de teorías y/o disciplinas distintas –si bien no asumidos necesariamente como verdaderos– a fin de anticipar resultados teóricos nuevos, hasta entonces no disponibles, y que, en el mejor de los casos puedan constituir una novedad teórica interesante y, en casos excepcionales, incluso revolucionaria.

La *preducción* sirve a dos objetivos fundamentales: la *explicación* y la *innovación*.

**PARTE B. METODOLOGÍA DEL DESCUBRIMIENTO EN CIENCIA (2)**  
**B.I. DESCUBRIMIENTOS A PARTIR DE RESULTADOS TEÓRICOS**  
**LA PREDUCCIÓN TEÓRICA**

1. *Explicación teórica **preductiva** de las enanas blancas.*

Enfrentados los astrofísicos a la tarea dar una explicación teórica de la existencia de las *enanas blancas*, la respuesta sólo podía venir de la construcción de un *modelo teórico de enana blanca* irrenunciablemente compatible con las observaciones.

La construcción de tal modelo es producto de un proceso *preductivo de razonamiento*, que tiene lugar por la combinación de resultados teóricos procedentes de:

- La Mecánica Newtoniana: Ecuación de equilibrio hidrostático.
- La Mecánica Cuántica: Principio de Exclusión de Pauli, Energía de Fermi de un gas de electrones completamente degenerado, y Principio de Indeterminación de Heisenberg.
- La Teoría Especial de la Relatividad: Velocidad límite  $c$  para los electrones degenerados.

**PARTE B. METODOLOGÍA DEL DESCUBRIMIENTO EN CIENCIA (2)**  
**B.I. DESCUBRIMIENTOS A PARTIR DE RESULTADOS TEÓRICOS**  
**LA PREDUCCIÓN TEÓRICA**

2. *Anticipación predictiva –Innovación teórica– del doble comportamiento de la materia.*

1. Supongamos una onda monocromática  $y(x,t) = A(\sin kx - \omega t)$  con frecuencia angular  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  y número de onda  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  que se propaga con *velocidad de fase*  $u_\phi = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k}$
2. La interferencia de ondas monocromáticas con diferente longitud de onda deja de ser monocromática y se propaga con *velocidad de grupo*  $v_g = \frac{d\omega}{dk}$
3. Supongamos ahora una partícula material que se mueve con velocidad  $v = v_g$ . Su energía relativista total es  $E = \gamma mc^2$
4. Si asumimos *hipotéticamente* que el comportamiento ondulatorio-corpúscular de la radiación postulado por Einstein es extensible a las partículas materiales, entonces, según la física cuántica de Planck, la energía de la partícula sería  $E = h\nu$
5. Igualando ambas expresiones obtenemos  $\nu = \frac{\gamma mc^2}{h}$ , y aplicando la definición de velocidad de fase resulta  $\lambda = u_\phi T = \frac{u_\phi}{\nu} = \frac{u_\phi h}{\gamma mc^2}$
6. Ahora bien, como  $u_\phi \cdot v_g = c^2$ , sustituyendo en  $\lambda = \frac{u_\phi h}{\gamma mc^2}$  la fórmula  $u_\phi = \frac{c^2}{v}$  obtenemos  $\lambda = \frac{h}{p}$  que es la expresión del comportamiento dual de la materia.

## ***B.II. LA IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL DE LA PREDUCCIÓN***

### **LA GRAN CUESTIÓN**

He aquí la gran cuestión:

¿Debe la IA limitarse al desarrollo de programas para el descubrimiento computacional de leyes científicas a partir de datos empíricos u observacionales?

O, *¿Es sensato dar un paso adelante y pensar en la construcción de modelos computacionales que produzcan conocimiento científico (output) a partir de resultados teóricos consolidados (input)?*

Si esto fuera posible no sólo la *inducción* y la *abducción*, sino también la *preducción* serían susceptibles de tratamiento computacional.

## **B.II. LA IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL DE LA PREDUCCIÓN**

### **LA GRAN CUESTIÓN**

Esto no tiene por qué suponer que el científico tradicional, las universidades y escuelas tal como conocemos, en una palabra, nosotros mismos, tengamos que dar un paso al lado y dejar que sean las máquinas las que se encargan del *ars inveniendi* en adelante.

Por cierto, una forma de mantener el *status quo* es negarse en redondo a aceptar la implementación computacional de la preducción.

(O sea, negarle el pan y la sal)

# Referencias bibliográficas

- Bessel, F. W. (1844): “On the Variations of the Proper Motions of *Procyon* and *Sirius*”. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 6: 136-141
- Dzeroski, S., Langley, P. and Todorovski, L. (2007): “Computational Discovery of Scientific Knowledge”. In Sazo Dzeroski and Ljupco Todorovski (eds.), *Computational Discovery of Scientific Knowledge. Introduction, Techniques, and Applications in Environmental and Life Sciences*. LNAI 4660, Berlin-Heidelberg: Springer
- Langley, P., Simon, H., Bradshaw, G. L., and Zytkow, J. M. (1987), *Scientific Discovery. Computational explorations of the Creative Processes*, Cambridge, MA: The MIT Press
- Martínez, V. J. et. al. (2004), *Astronomía Fundamental*, Valencia, Universidad de Valencia
- Newton, I. (1687) *Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Versión española, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Alianza Universidad, Madrid
- Newton, I. (1706), *Óptica*, Alfaguara, Madrid 1977
- Simon, H. A. (1992): “Scientific Discovery as Problem Solving”. *International Studies in the Philosophy of Science* 6, No. 1, 1992: 3-14
- Simon, H. A. (1995): “Machine Discovery”, *Foundations of Science* 2, 171-200. Reprinted in Jan Zytkow (ed.), *Machine Discovery*, Dordrecht: Kluwer Academic Press 1997
- Thagard, P. (1988), *Computational Philosophy of Science*, Cambridge, MA: The MIT Press
- Thagard, P. y Nowak, G., 1990, “The Conceptual Structure of the Geological Revolution”, en Shrager and Langley, *Shrager, J. and Langley, P., 1990, ‘Computational Approaches to Scientific Discovery’, en Shrager and Langley, Computational Models of Scientific Discovery and Theory Decision, San Mateo, California, Morgan Kaufmann Publishers*
- Valdés-Pérez, R. E. (1995): “Machine Discovery Praxis. Comments on Herbert Simon’s Paper”, *Foundations of Science* 2, 219-224. Reprinted in Jan Zytkow (ed.), *Machine Discovery*, Dordrecht: Kluwer Academic Press 1997
- Zytkow, J. M., (1995): “Creating a Discoverer: Autonomous Knowledge Seeking Agent”. *Foundations of Science* 2, 253-283. Reprinted in Jan Zytkow (ed.), *Machine Discovery*, Dordrecht: Kluwer Academic Press 1997
- Zytkow, J. M., (1996): “Automated Discovery of Empirical Laws”. *Fundamenta Informaticae* 27: 299-318