

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XI JORNADAS

VOLUMEN 7 (2001), Nº 7

Ricardo Caracciolo

Diego Letzen

Editores



ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



Pluralismo lógico y relativismo

Gladys Palau*

1. Introducción al tema

En el ámbito de la filosofía de la lógica no cabe duda alguna de que fue Susan Haack quien, en su libro *Deviant Logic* (1977), ofreció una de las primeras respuestas al tema proponiendo un criterio que permitiera decidir si un sistema lógico es o no divergente de la lógica clásica (LC).¹ Hoy en día, la existencia de una multiplicidad de sistemas lógicos que serían considerados por S. Haack divergentes de la lógica clásica, ha hecho recrudescer esta problemática y permite brindar respuestas nuevas a problemas filosóficos viejos. En el presente trabajo nos proponemos en primer lugar realizar un análisis crítico de los supuestos metalógicos y semántico filosóficos supuestos en el criterio de divergencia propuesto por Susan Haack, según los resultados que se desprenden de la investigación lógica actual y, en segundo lugar, mostrar que la aceptación de sistemas divergentes de la lógica clásica como lógicas genuinas no conduce ni al rechazo de la rivalidad entre sistemas lógicos ni a un relativismo lógico.

Desde la sintaxis, el criterio propuesto por Susan Haack se basa en los tres siguientes supuestos implícitos: (S1) Todo sistema lógico, en tanto formulado al estilo Hilbert, queda caracterizada por el conjunto de sus teoremas/inferencias válidas (t/iv); (S2) En todo sistema lógico, el conjunto de sus teoremas no se diferencia del conjunto de sus inferencias válidas;² y (S3) Es posible que existan sistemas lógicos a) que coincidan en el conjunto de sus fórmulas bien formadas (fbf) pero difieran en el conjunto t/iv ; y b) que difieran respecto del conjunto fbf y que también difieran respecto del conjunto t/iv , aún en los/las que involucren el vocabulario común.³ En el plano semántico-filosófico nos interesa destacar las siguientes tres tesis: (F1) Hay o puede haber sistemas lógicos divergentes (i.e., caracterizados por conjuntos t/iv distintos) que pueden ser considerados rivales genuinos de la lógica clásica; (F2) Hay buenas razones para un cambio de lógica real e interesante; y (F3) La reforma de la lógica ha de ser global si el cambio es por una lógica divergente, lo cual implica el rechazo de la posición que sostiene la aplicabilidad limitada de los principios lógicos). Pese a los años transcurridos, el criterio expuesto y las consideraciones filosóficas que le hicieron adoptar las posiciones anteriormente mencionadas, en la reedición ampliada del año 1996, titulada *Deviant Logic, Fuzzy Logic*, no se han modificado y por ello creemos de interés retomar algunas de ellas, con el propósito de mostrar, a la luz de los resultados actuales de la lógica, la no vigencia de las mismas y la posibilidad de abordarlos desde una perspectiva diferente.

2. Sobre la divergencia entre sistemas lógicos

Comenzaremos por realizar unas breves observaciones en relación con la caracterización sintáctica de los sistemas lógicos, referidos en los supuestos sintácticos (S1-S3). Más brevemente, que es posible caracterizar los sistemas lógicos por el conjunto de sus t/iv , ya que en lógica clásica ambos conjuntos coinciden.

* Universidad de Buenos Aires. SADAF.

Originada en Frege, institucionalizada por Hilbert y defendida por Quine, esta era la posición "oficialmente" aceptada en la comunidad lógica hasta mediados de los años 70 del siglo XX. Incluso las relaciones entre la lógica clásica y la lógica intuicionista (LJ) se estudiaban desde esa perspectiva. En tanto conjunto de teoremas, pueden demostrarse resultados a primera vista sorprendentes. Por ejemplo, en 1933⁴ Gödel demuestra mediante un teorema que LC es definible en LJ, de acuerdo a la siguiente argumentación intuitiva: puesto que todas las tesis (o teoremas) de la lógica clásica proposicional (LC_p) formuladas con \neg y \wedge son tesis de LJ, y todas las tesis de LC son expresables en términos de \neg e \wedge , entonces el conjunto de todas las tesis de LC_p está incluido en el conjunto de las tesis de LJ. En 1959 A. Anderson y N. Belnap también demuestran un teorema similar y por el cual es posible interpretar la lógica proposicional clásica LC_p como un fragmento (i.e., como incluida) en la lógica relevante (LR), según el cual las fórmulas de grado 0 de LR, es decir aquellas que son expresables sólo mediante las constantes lógicas \wedge , \vee y \neg son precisamente los teoremas de LC_p . Tan es así que, en 1978, Robert Wolf⁵ afirma categóricamente que técnicamente LR es una extensión de LC, pero que desde un punto de vista semántico y filosófico deben ser considerados sistemas rivales, propiedades obviamente incompatibles desde la clasificación de Susan Haack.

La tradición que permitió la elucidación definitiva de lo que realmente dicen los teoremas antes citados se origina en el *Cálculo de Secuentes* de Gentzen de 1934 creado con el propósito de caracterizar desde un lenguaje objeto la noción de consecuencia de la lógica clásica e intuicionista no ya mediante un conjunto de teoremas sino mediante un conjunto de reglas estructurales, es decir de reglas que no contienen signos lógicos. Ya en 1930 Tarski⁶ había dado una caracterización metalingüística abstracta de la noción de consecuencia lógica a los efectos de definir el significado y establecer las propiedades elementales de las ciencias deductivas, pero sin llegar a establecer una presentación de la lógica en base a reglas. También en la llamada lógica positiva de Hilbert y Bernays en 1934⁷ (sistema axiomático para la lógica intuicionista con \rightarrow , \vee e \wedge) puede observarse una anticipación a la lógica de secuentes de Gentzen, ya que los axiomas dados se corresponden con reglas estructurales, pero en su presentación se evidencia claramente su concepción de que todo sistema lógico se identifica por el conjunto de los teoremas.

Esta perspectiva inferencial de la lógica es tomada en 1975 por A. Anderson y N. Belnap⁸ sobre la lógica de la relevancia y profundizada por lógicos como Michael Dunn y Robert Meyer, pero sin llegar a constituir un marco general en el cual expresar las diferencias inferenciales entre las distintas lógicas divergentes ya existentes, que por ese entonces ya eran bastantes.

Por lo que he podido investigar, y según lo afirmado por R. Wójcicki,⁹ la idea de construir una teoría sobre la noción de consecuencia de la lógica proposicional se originó en un *workshop* en 1976, llevado a cabo en la Sección de Lógica de la Polish Academy of Sciences, pero la consolidación de la misma se gestó sorprendentemente muy cerca nuestro, en la Universidad de Campinas, durante el curso dado por R. Wójcicki en el verano de 1981 y repetido luego en la Universidad de San Pablo y que diera origen a su primera obra *Lectures on Propositional Calculi* de 1984, posteriormente ampliada en su segunda obra *Theory of Logical Calculi. Basic Theory or Consequence Operations*, 1988.¹⁰ Más recientemente, el análisis de las propiedades de las lógicas que no cumplen con algunas de las reglas estructurales de Gentzen ha dado lugar a importantes estudios sobre esta familia de lógicas,

llamadas *subestructurales*, y entre las cuales se cuentan la lógica intuicionista y la lógica de la relevancia.¹¹ Desde esta perspectiva, todo sistema lógico se construye sobre una operación de consecuencia caracterizada por un conjunto particular de reglas de inferencia y a su vez cada conectiva lógica está definida por las reglas de inferencia que les son propias. Se desprenden así los siguientes resultados: R1) Dos conectivas son la misma conectiva *si y sólo si* se definen por las mismas reglas de inferencia y R2) Dados dos sistemas lógicos L1 y L2, si sus operaciones de consecuencia están caracterizadas por conjuntos distintos de reglas de inferencia, entonces tales sistemas expresan lógicas diferentes. Si L1 fuera la lógica clásica, entonces L2 posiblemente podría ser un sistema divergente (o desviado) de ella. Sobre esta base, se pudo llegar a demostrar que los sistemas lógicos pueden coincidir en su conjunto de teoremas y diferir en su conjunto de inferencias válidas. Tal el caso de la lógica clásica LC y la intuicionista LJ y la de la relevancia LR. LC y LJ pueden tener los mismos teoremas y no las mismas inferencias, ya que LJ carece de reglas que LC posee (por ejemplo, la regla de *Doble Negación*: $\neg\neg A \vdash A$) y asimismo LC y LR pueden tener los mismos teoremas, y no las mismas reglas de inferencia, ya que LR carece por ejemplo del *Silogismo Disyuntivo* ($A \vee B, \neg A \vdash B$) como regla. Por ello, las nociones de consecuencia de LJ y LR son más débiles que las de LC. Esto sucede porque la noción de consecuencia de la lógica intuicionista como la de la lógica de la Relevancia no satisfacen o satisfacen parcialmente las reglas estructurales del Cálculo de Secuentes de Gentzen. En general, la satisfacibilidad o satisfacibilidad parcial de las reglas estructurales de Gentzen permite agrupar a los sistemas lógicos en familias de sistemas con propiedades específicas comunes.

A la luz de los resultados anteriormente expuestos, se hace evidente que los supuestos sintácticos (S1) y (S2) de Haack caen inexorablemente. Mostraremos ahora que tanto el caso a) como el b) de (S3) son también insostenibles a partir de los resultados (R1) y (R2). El caso a) decía: *es posible que existan sistemas lógicos que coincidan en el conjunto de sus fórmulas bien formadas (fbf) pero difieran en el conjunto de sus t/iv*. Puede observarse que este caso de divergencia lógica sólo podría darse entre sistemas cuyo vocabulario lógico fuera sólo *tipográficamente* el mismo, ya que si cada conectiva está definida por reglas de inferencias distintas, entonces, aunque representadas por el mismo signo tipográfico, serían significativamente conectivas distintas. El caso b) resulta más interesante. Este permite la existencia de sistemas lógicos que difieran respecto del conjunto de *fbf* y que también difieran respecto del conjunto t/iv, aún en los teoremas o las inferencias que involucren el vocabulario común.

En efecto, la primer parte coincide parcialmente con nuestros resultados, ya que a distinto vocabulario lógico corresponden distintos conjuntos de inferencias válidas. Pero, por el mismo motivo que el expresado en a), no existen sistemas lógicos que tengan un vocabulario común (i.e., definido por el mismo conjunto de reglas de inferencia) y que difieran en el conjunto de inferencias válidas.

Sin embargo debemos ser sinceros y reconocer que los resultados expuestos, si bien han elucidado el concepto y el criterio de divergencia lógica a nivel sintáctico, no son suficientes para determinar si la divergencia lógica entre dos sistemas lógicos implica rivalidad genuina entre ellos y si en ese caso sería todavía posible sostener el carácter universal de los principios lógicos. Lamentablemente, las semánticas elaboradas para todos los sistemas divergentes existentes, no han producido resultados que eluciden en forma directa estos

problemas. En efecto, a propósito de las lógicas subestructurales, Kosta Došen¹² afirma que, por haber sido muchas de ellas motivadas por la teoría de la prueba, la sintaxis de estas lógicas se entiende mejor que su semántica, ya que tanto sus modelos en términos de estructuras algebraicas intensionales como los estilo Kripke basados en mundos posibles, han arrojado poca o casi ninguna luz para el análisis filosófico. De ahí que, a fin de abordar los problemas semántico-filosóficos planteados deberemos elegir otra estrategia y que consistirá en tomar las tesis filosóficas sostenidas por Susan Haack ya mencionadas, a fin de analizar su compatibilidad con los resultados sintácticos R1) y R2).

3. Sobre la universalidad de los principios lógicos

La primera consecuencia filosófica de los resultados explicitados hasta aquí se refleja en la naturaleza de la lógica misma, tal como se infiere de lo expresado por George Restall en la introducción de su obra *An Introduction to Substructural Logics*, que creo es la más reciente sobre el tema:¹³

Logic is about consequences. Take a body of propositions. The job of a logic is to tell you what follows from that body of propositions. Sometimes we are interested in consequences relations on propositions "in general". That is, we pay no attention to the *subject matter* of the propositions, we pay attention only to the logical relationship between them. This is the traditional scope of philosophical logic. But logic is pursued in other ways too. Sometimes we are interested in particular sort of propositions – those which have to do with particular structures. *Logic can be particular.* (...) This is what makes formal logic useful in computer science (we can reason about process, functions or actions), theoretical linguistic (we can reason about grammatical structures), mathematics (we can reason about mathematical structures), and other fields.

Desde el marco general brindado por Restall, comentemos ahora la tesis (F1) de Susan Haack, es decir la que sostiene la posibilidad de rivalidad genuina entre sistemas lógicos. Susan Haack argumenta contra la tesis de Quine según la cual no existe la rivalidad genuina entre diferentes sistemas lógicos (tesis a)) porque, según Quine todo cambio de significado en las constantes lógicas implica un cambio de lógica. Además está decir que R1) y R2) han dado la razón a Quine sólo en lo que atañe a la divergencia entre dos sistemas lógicos: si dos conectivas lógicas están caracterizadas por bases inferenciales distintas, entonces tienen distinto significado y los sistemas lógicos a los que pertenecen serán sistemas divergentes uno respecto del otro. Pero, de esto no se sigue que entre ellos no pueda existir una rivalidad genuina. Sin embargo, Susan Haack en (F1) sostiene que hay (o puede haber) sistemas lógicos divergentes que puedan ser considerados rivales genuinos de la lógica clásica. Cabe preguntarse entonces cuándo dos sistemas deben considerarse sistemas rivales entre sí, y en particular cuándo un sistema es un sistema alternativo para la lógica clásica. Coincidimos con S. Haack en que si dos sistemas lógicos son considerados divergentes entre sí y se aplican a dominios de discurso distintos, entonces no hay rivalidad alguna y en que dos sistemas divergentes son rivales entre sí, si y sólo pretenden aplicarse al mismo universo de discurso, es decir, son sistemas alternativos respecto del mismo universo de discurso. *Prima facie*, la lógica intuicionista y la lógica de la relevancia aparecen así como sistemas genuinamente rivales de la lógica clásica, ya que ambas se han propuesto a sí mismas como sistemas alternativos de ella, en tanto proponen cambios en la idea clásica de deducción. Sin embargo, creemos que hay buenas razones epistemológicas para sostener que las verdades

de la matemática intuicionista constituyen un subconjunto de la matemática clásica, precisamente el subconjunto formado por las verdades del fragmento constructivo de la matemática, y por lo tanto LJ y LC no formalizan el mismo dominio de discurso. Similarmente podría decirse que la lógica de la relevancia sólo formaliza las inferencias deductivas que además de necesidad lógica implican relevancia y que éstas sólo constituyen el fragmento relevante del conjunto de las inferencias clásicas. Aceptar lo afirmado nos permitiría por un lado, coincidir con los resultados sintácticos que afirman que toda regla de inferencia válida tanto de LJ como de LR son también reglas válidas de LC y por el otro sostener que toda lógica se refiere a universos de discurso específicos y que por lo tanto *no hay rivalidad genuina* entre dichos sistemas. La aplicabilidad limitada de los principios lógicos podría entonces extenderse aún más. En primer lugar, si consideramos como Lógica clásica la Lógica de Orden uno con o sin Identidad, es posible decir que ella también se aplica sólo a los dominios de discurso donde vale el Principio de Extensionalidad de Frege, como lo es el caso paradigmático de la matemática. Y en segundo lugar, que aún en las llamadas extensiones de la lógica clásica y respecto de las cuales generalmente no se presentan objeciones, también han surgido sistemas que pueden considerarse genuinamente rivales, como lo son los sistemas de R. Stalnaker y el de D. Lewis para el universo de los condicionales contrafácticos, ya que en el primero es válido el principio del tercero excluido contrafáctico mientras que en el segundo no lo es. En conclusión y por los argumentos dados, la divergencia lógica entre sistemas y el correspondiente cambio en el significado de las constantes lógicas específicas, no implica la negación de una posible rivalidad entre ellos, tal como lo sostenía Quine.

Finalmente, aceptar la posición de que cada sistema lógico responde a dominios de discurso distintos, lleva directamente a rechazar las tesis (F2) y (F3) de Susan Haack respecto de un cambio global e interesante de la lógica clásica.

Sin embargo, todavía podríamos preguntarnos ¿por qué rechaza Susan Haack las reformas locales? Las rechaza porque aceptarlas significaría aceptar también la aplicabilidad limitada de los principios lógicos y los principios lógicos deben ser válidos en todo dominio, independientemente de su contenido y aunque estas razones no estén explícitamente fundadas en el libro que nos ocupa, en otro de sus libros, sobre ellas Susan Haack afirma: *Esta es la idea con la que yo simpatizo...*¹⁴

El tratamiento que hemos expuesto sobre los distintos sistemas lógicos en la literatura lógica actual, conduce a la aceptación del actualmente llamado *pluralismo lógico*. Tal como puede intuirse a partir de mis argumentaciones, esta es la idea con la que yo simpatizo.

4. Acerca del pluralismo lógico y el relativismo

A fin de caracterizar lo que se entiende por pluralismo lógico, citaré un párrafo también de G. Restall:¹⁵

We are pluralist about logical consequences. We hold that there is more than one sense in which arguments may be deductively valid, that these senses are equally and equally deserving of the name of deductive validity.

Sin embargo debemos reconocer que el pluralismo lógico presenta ciertas dificultades de carácter filosófico. En este trabajo, mencionaremos solamente una la cual se refleja en la siguiente pregunta: ¿Cuál de entre todas las lógicas es la lógica desde la cual razonamos acerca de cuántas lógicas hay o cuán adecuadas son para cada campo de conocimiento? En

el artículo mencionado Restall y Beall responden apelando a la estrecha relación que existe entre *lógica* y *razonamiento* pero respetando la independencia de la *lógica*. Toda *lógica* – afirman– constituye un modelo de consecuencia *lógica* y con ello provee *modelos* con los cuales analizar o evaluar razonamientos. Así, *toda lógica modeliza un tipo de razonamiento, pero no todo razonamiento necesita ser modelizado por una lógica* y nuestro razonamiento sobre la *lógica* no necesariamente constituye una *lógica*. Sin embargo, no podemos acordar con esta respuesta hasta no analizar si ella no nos conduce a aceptar consecuencias no deseadas, como por ejemplo, que la adopción del pluralismo *lógico* nos condujera necesariamente a algún tipo de relativismo de los principios *lógicos*.

En efecto, la estrecha relación postulada entre *lógica* y *razonamiento* sostenida por Restall y Beall conduce naturalmente a relacionar la *lógica* con las ciencias cognitivas. En ellas, el llamado *pluralismo cognitivo* sostiene que diferentes sujetos o sujetos en diferentes culturas desarrollan sistemas de razonamientos diferentes y todos ellos igualmente “buenos”. Más aún, algunos han llegado a sostener que la diversidad en las estrategias de razonamiento puede deberse a diferencias genéticas entre individuos o grupos de individuos. Pero sin necesidad de estas posiciones extremas, igual resulta claro que la aceptación de un pluralismo cognitivo nos pone a las puertas de un relativismo cognitivo y por ende frente a un relativismo *lógico*, según el cual no existe una racionalidad transcultural expresada por principios *lógicos* universales. Esta posición fue sostenido en la década de los años 70, entre otros por el filósofo inglés B. Wilson¹⁶ y por el máximo representante del programa fuerte de la sociología del conocimiento David Bloor, quien en su libro *Conocimiento e Imaginario social*, publicado en 1971 y reeditado sin modificación alguna en 1991, afirma que la reconocida objetividad que Frege atribuye a la matemática (e incluso a la *lógica*) proviene específicamente de la institucionalización social de determinadas creencias.¹⁷

Somos de la opinión de que la tesis sostenida por Susan Haack acerca de que las creencias *lógicas* no son inmunes a la revisión a la luz de la experiencia, difícilmente pueda escapar a algún tipo de relativismo *lógico*. Sus afirmaciones de que los principios *lógicos*, si bien son vulnerables a la revisión, no lo son como cualquier otra creencia, debido a su generalidad y que ellos lo serían nada más que por razones de *simplicidad* y *economía*, parecen demasiado débiles. Porque, ¿qué otra cosa que la práctica (social) científica determinaría que hasta ahora la *lógica* clásica haya resultado la más simple y económica?

Para bien, dentro mismo del pluralismo cognitivo se ofrece una salida para evitar el relativismo, ya que algunos de sus enfoques sostienen que *diferentes sistemas de razonamiento son igualmente buenos para todo sujeto racional*.¹⁸ Aunque no quede muy en claro qué se quiere decir con “igualmente buenos” y “sujeto racional”, lo dicho basta para mostrar que desde un punto de vista cognoscitivo, pluralismo *lógico* no implica relativismo. Pero, defender esta idea nos llevaría directamente a argumentar a favor de la existencia de invariantes *lógicos* en todo proceso cognitivo. Esta tesis conforma el núcleo duro de cualquier teoría bio-funcionalista del conocimiento, cuyo desarrollo no sólo excede los límites de este trabajo sino también de la filosofía.

Notas

¹ El tema de la existencia de una pluralidad de sistemas *lógicos* y la relación de cada uno de ellos con la *lógica* clásica me preocupa desde hace ya muchos años. He volcado varias de mis reflexiones al respecto en los artículos “*Lógicas divergentes y principios lógicos*” (*Revista Latinoamericana de Filosofía*, vol. XVI, 1, 1990) y “Una

crítica al criterio de divergencia de Susan Haack”, presentado al VIII Congreso Nacional de Filosofía, Mar del Plata, 1995, e incluso en mi tesis doctoral.

² Este supuesto se evidencia en la forma de representar al conjunto de los teoremas y al conjunto de las inferencias válidas como un solo conjunto, a saber, la clase (*t/iv*), no explicitándose ninguna diferencia entre los respectivos conjuntos.

³ Estas dos alternativas constituyen los dos casos de divergencia propuestos en su criterio.

⁴ “Zur intuitionistischen Arithmetik und Zahlentheorie”, en *Ergebnisse eines mathematischen Kolloquiums* 3.

⁵ “Are relevant logic deviant?”, en *Philosophia, Philosophical quarterly of Israel*, vol. 7.

⁶ “On Some Fundamental Concepts of Metamathematics” y “Fundamentals Concepts of the Methodology of the Deductive Sciences”, en *Logic, Semantics and Metamathematics*, ed. por Corcoran, Hackett Publishing Company, 1983.

⁷ *Grundlagen der Mathematik*, vol. 1, Springer, Berlin.

⁸ *Entailment. The Logic of Relevance and Necessity*, Princeton, University Press.

⁹ *Lectures on Propositional Calculi*, The Publishing House of the Polish Academy of Sciences.

¹⁰ Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.

¹¹ Ver *Substructural logics*, ed. por K. Došen y P. Schroeder-Heister, Clarendon Press, 1994; y G. Restall, *An Introduction to Substructural Logics*, Routledge, London, New York, 2000.

¹² “A Historical Introduction to Substructural Logics”, en *Substructural Logics*, pp. 1-30.

¹³ Routledge, London and New York, 2000.

¹⁴ *Philosophy of Logic*, Cambridge University Press, 1978, p. 5.

¹⁵ Artículo (*on line*) titulado “Defending Logical Pluralism”, escrito junto con J. Beall, versión de fecha mayo 17, 1999.

¹⁶ Este autor ha editado una compilación titulada *Rationality*, Oxford, Basil Blackwell, 1970, que incluye trabajos de filósofos y antropólogos que comparten su posición. Para una versión más reciente debe citarse libro de S. Stich: *The Fragmentation of Reason*, MIT Press, 1990, autor además del artículo sobre el tema de la *Routledge Encyclopedia of Philosophy*.

¹⁷ Gedisa, Barcelona, España, 1998, pp. 156-157.

¹⁸ Stephen Stich, en “Cognitive Pluralism”, *Routledge Encyclopedia of Philosophy*

Algoritmos genéticos y heurísticas: hacia una arquitectura de la adaptación

Marzio Pantalone*

Contempla de continuo que todo nace por transformación, y habitúate a pensar que nada ama tanto la naturaleza del conjunto como cambiar las cosas existentes y crear nuevos seres semejantes. Todo ser, en cierto modo, es semilla del que de él surgirá. Pero tú sólo te imaginas las semillas que se echan en tierra o en una matriz. Y eso es ignorancia excesiva.

Marco Aurelio, *Meditaciones*, Libro IV, 36.

I

Durante el siglo pasado, en los '50, la idea de adaptación trasciende el ámbito biológico y es utilizada como armazón para un nuevo estilo de teorías que formalizan el proceso por el que una estructura se adecua gradualmente a su medio ambiente. A pesar que el lenguaje biológico se mantiene (la bibliografía disponible se limita a hablar de analogías o uso metafórico de la biología), estas teorías aluden a todo un abanico de disciplinas, planteando una perspectiva en común para materias disímiles a primera vista como economía, psicología fisiológica, teoría de juegos, el sistema inmunológico o la en aquellos tiempos naciente IA.¹ En todas ellas hay una estructura o grupo de estructuras sobre las que intervienen procesos selectivos y operadores que inducen modificaciones que inciden sobre su desarrollo en sus medio ambientes. Ese desarrollo, en todos los casos, produce un resultado que es evaluado. Estas ideas reciben un marco formal donde explícitamente se anula toda referencia a características específicas de sistemas particulares. En primera instancia se determina:²

E , el medio ambiente bajo el que se adapta el sistema.

τ , el plan adaptativo que determina las modificaciones estructurales producidas por los operadores Ω como respuesta al medio ambiente.

μ , la medida de la performance de las distintas estructuras en el medio ambiente.

La idea central en torno al estudio de sistemas evolutivos por parte de estos científicos es que la evolución natural puede utilizarse como herramienta de optimización³ en ámbitos que incluyen y trascienden a la biología. Sus modelos tienen en cuenta que:

1. El desempeño de una estructura en un medio ambiente tiende a consolidar o a aminorar su presencia en el tiempo.
2. Una estructura es exitosa cuando cuenta con mejores estrategias que sus competidores para lograr objetivos en común.
3. A través de un proceso de selección se tiende a conservar las mejores estrategias.
4. Las estrategias que observamos en un medio ambiente son generadas por la adaptación.

La formalización no significa que el biólogo evolutivo, el economista y el psicólogo utilicen la misma herramienta para tratar con sus respectivos campos; dice, mas bien, que

* Universidad Nacional de Córdoba.

desde su marco formal, comparten una estructura dinámica que se puede someter a un estudio unificado, viendo en la adaptación un proceso fundamental. Esto posibilita plantear preguntas generales a las que el estudio en común⁴ puede aportar interesantes respuestas:⁵

¿A qué partes de su medio ambiente está el organismo o sistema u organización adaptándose?

¿Cómo influye el medio ambiente en la adaptación del sistema u organización u organismo?

¿Qué estructuras están bajo adaptación?

¿Cuáles son los mecanismos de la adaptación?

¿Qué parte de su interacción con el medio ambiente retiene el organismo o sistema u organización?

¿Qué límites hay a un proceso adaptativo?

¿Cómo pueden diferentes (hipótesis sobre) estructuras adaptativas ser comparadas?

El plan adaptativo es el conjunto de factores que controla los cambios y determina las estructuras que se originan como respuesta al medio ambiente. Si consiste en un conjunto finito de pasos definidos con precisión, y podemos especificar de modo no ambiguo las acciones que lleva a cabo en cada paso que lo llevan a producir modificaciones (output) sobre las estructuras, entonces podemos entenderlo como a un algoritmo.⁶

II

A principio de los sesenta, la computadora digital es utilizada como *herramienta de trabajo* para instanciar inquietudes teóricas de los grupos de investigación dedicados —desde una década atrás—⁷ al trato con modelos de simulación de procesos evolutivos y resolución de problemas. La mixtura hace fuerte a tres líneas de investigación, todas con un parecido de familia.⁸ Son a) las estrategias evolutivas,⁹ b) la programación evolutiva,¹⁰ y c) los algoritmos genéticos (AG).¹¹ Todas pretenden, con distintos estilos, constreñir en sus sistematizaciones los elementos esenciales de la evolución natural. Para nuestros propósitos, prestaremos particular atención a los AG, porque son la base de las implementaciones computacionales en las que nos interesa analizar el rol de las nociones de heurística y adaptación.¹²

III. ¿Qué son los AG?

- AG como simulación: Un AG simula el proceso evolutivo darwiniano al nivel de aplicación de operaciones genéticas sobre el cromosoma. En la naturaleza los cromosomas son cadenas de caracteres con un alfabeto de base 4. La secuencia de estas bases nucleótidas constituye el genoma del individuo biológico. Las moléculas de ADN dan lugar a las proteínas y enzimas necesarias para crear la estructura y el comportamiento de células biológicas que permiten al individuo —en distintos grados, según su genoma— desarrollar tareas en su medio ambiente para sobrevivir y reproducirse. Como los cromosomas de la descendencia contienen cadenas de bases nucleótidas heredadas de sus parientes, podemos concluir que *las cadenas que conducen a las mejores performances tienden a conservarse en el tiempo* sufriendo, dado el caso, las modificaciones introducidas por la mutación.
- AG como algoritmo: Un AG es un algoritmo que trabaja en paralelo y *transforma* a un conjunto de cromosomas —o sea, a una población inicial, en otro conjunto de cromoso-

mas.¹³ Utilizando los operadores genéticos y el principio darwiniano de la supervivencia del más apto, da origen a la próxima generación. El procedimiento se repite una y otra vez hasta alcanzar el criterio de terminación establecido.

- AG y adaptación. El primer paso estratégico en el campo de los AG para tratar con la adaptación consiste en determinar las variables que intervienen en dicho proceso y darles una representación conveniente. Las variables claves son *medio ambiente* (espacio de búsqueda), *tarea* (objetivo-problema-estado deseado en el espacio de búsqueda), *cromosoma* (individuo-agente-estrategia-heurística), *medida de ajuste* del cromosoma al medio (grado en que resuelve el problema, reducción del espacio de búsqueda, *fitness*, diferencia entre su desarrollo y el objetivo, medida de performance, diferencia entre su estado y el estado deseado, grado de adecuación de su estrategia para la resolución del problema, efectividad de su heurística), mecanismos de selección entre cromosomas (atendiendo a procesos selectivos), mecanismos de reproducción y mutación, y criterio de terminación (finalización de la tarea, resolución del problema, adaptación, heurística exitosa, aprendizaje). Cada una de estas variables y sus sutilezas, son representadas en un marco formal. Gran parte de los esfuerzos hasta mediados de los sesenta se abocan a esta tarea.
- Nótese que el algoritmo propiamente dicho incumbe a una parte del procedimiento total, porque él ni genera la población inicial ni dictamina el criterio para la medida de *fitness* ni determina el peso del vínculo entre las variables. La denominación AG se aplica en dos sentidos, por un lado designa al algoritmo propiamente dicho que forma parte del proceso de modelización de sistemas evolutivos; se lo llama algoritmo genético porque las reglas que aplica a cada paso se entienden como analogías de los procesos que suceden en la evolución natural. Y por otro lado, con AG se designa a una línea de investigación que excede a todas luces la cuestión algorítmica.
- *AG y computadoras*: la incursión de las computadoras en esta disciplina no produce un fuerte impacto sobre su base teórica; fue entendida más bien como una herramienta, potentísima sin duda, con toda una gama de usos útiles. Cautivaba, recuerda De Jong, "por el potencial que ofrecía de llevar a los primeros modelos de simulación de la evolución un paso más allá, e instanciar estos procesos evolutivos en formas computacionales que puedan ser utilizadas para resolver problemas complejos basados en cómputos"¹⁴
- *AG y representación*. el impacto más fuerte de la máquina recae sobre las posibilidades que ofrece para la *representación del proceso*. Dio lugar a una rama dentro de los AG llamada *Programación Genética* (PG). Los AG crean una cadena de números o símbolos matemáticos como solución al problema, la PG, crea un programa de computación. A partir de aquel momento las investigaciones sobre AG toman una nueva perspectiva, con una fuerte impronta experimental; se comienzan a desarrollar simulaciones de casi todo lo que se cruzara en el camino y mostrara algún rasgo adaptativo. Surgieron cuestiones interesantes; la tarea no era tan simple. ¿Con qué criterio elegimos el tamaño de una población de hormigas? ¿En qué grado implementamos la mutación? ¿Cómo se mide la eficacia de los anticuerpos en la simulación de un sistema inmunológico? ¿Cuales son las acciones que representan la conducta de una firma comercial? ¿Cuánto tiempo debe sobrevivir un individuo y qué tipo de tareas podrá realizar? ¿Qué relevan-

cia otorgar a las interacciones de subgrupos de variables y cuáles deben ser esas interacciones?. Las simulaciones de sistemas concretos dejaron aún más en claro que la relevancia y la sutileza para con el trato de cada variable inmiscuida afectaba el resultado total del proceso. Esto llevó a otra cuestión tampoco trivial: ¿Para qué queremos usar la computadora? La máquina había mostrado capacidades múltiples. Era posible acondicionarla para intentar reproducir los principios naturales con la mayor exactitud posible, es decir, *simular la naturaleza*; o bien utilizar los principios evolutivos como inspiración, modificándolos del modo que sea preciso para obtener *sistemas eficientes* en el desempeño de la tarea propuesta.¹⁵

- Las preguntas fundamentales de Holland¹⁶ reciben en las instanciaciones computacionales otra vuelta de tuerca. Las respuestas comienzan a construirse sobre bases experimentales. Si uno analiza la literatura sobre AG y PG, esto es bastante claro. Los trabajos consisten en pormenores de las grandes cuestiones, describiendo el proceder de un sistema, un nuevo método de representación de alguna variable, estudiando la relación particular entre un subgrupo de parámetros, proponiendo extrapolar una técnica que resultó útil para solucionar alguna dicotomía, etc. En definitiva, los *artículos* son el resultado de la manipulación de los parámetros y representaciones inmiscuidas en las modelizaciones, con el objetivo de clarificar o mejorar su entendimiento y el de los procesos que le incumben. En este sentido, las investigaciones consisten en explorar consecuencias experimentales del paradigma en boga. Las críticas conceptuales son posteriores y aluden a las restricciones operativas de los algoritmos para tratar con problemas específicos. En todos los casos es difícil encontrar trabajos generales o grandes sistematizaciones ya sea en defensa o en tono crítico del paradigma actual. El desarrollo de la disciplina está dado por trabajos acotados, estrictamente situacionales, con fuertes intereses aplicados a problemas puntuales. Siendo este el estado de la investigación, las interacciones con la epistemología pueden plantearse desde distintas perspectivas, según los objetivos. Nuestra postura consiste en seguir la metodología de las investigaciones, no para analizarla en sí misma, sino para intentar colaborar en el entendimiento, dentro de los trabajos en AG clásicos, de la poco tratada noción de heurística. Para ello prestaremos particular atención a la simulación de una colonia de hormigas que debe desarrollar estrategias satisfactorias para ingerir el alimento que se encuentra en el medio ambiente.
- *Estudio de Programación Genética (EPG)*: Este programa se encuadra dentro de aquellos que pretenden simular fenómenos naturales. El medio ambiente está representado por una cuadrícula de 32 x 32, que funciona como el espacio de búsqueda del problema. Sobre él, de modo ni recto ni continuo hay esparcidos 89 trozos de alimento. El programa genera una población inicial de hormigas que surge de la combinación aleatoria de preguntas sobre el medio y acciones a emprender como respuesta. Estas reglas de estímulo respuesta son simples: si el estímulo *e* ocurre entonces de la respuesta *f*. Definimos los estímulos que puede recibir (0, o 1 –sí o no) ante la indagación (¿hay comida enfrente?) y las respuestas que puede dar (girar a la derecha, girar a la izquierda, moverse hacia delante, o no hacer nada). Los sensores de la hormiga le permiten reconocer el estado de una parte muy pequeña del medio ambiente, es decir, es incierto, no puede hacerse una idea general, no puede listar todos los senderos posibles en que haya alimento, debe cambiar o adaptar su estructura ante las nuevas informaciones, y para ello,

no debe adoptar nunca una configuración fija. Esta es la voz de la idea de adaptación implementada.

- De a una a la vez, se enfrenta a cada hormiga de la población al medio. Cada hormiga *desarrolla su estrategia*; como resultado ingiere un número de trozos de alimento entre 0 y 89. Ese número es su *medida de ajuste*. Por alguna técnica de selección se escogen los individuos que se reproducirán para dar origen a la próxima generación y se implementan criterios de mutación en algún grado. Se da lugar así a la próxima generación que es a su vez enfrentada al medio. La búsqueda de una estrategia para ingerir todos los trozos de alimento concluirá cuando se arrije a una hormiga que efectivamente lo haga.
- Dentro de este esquema se puede hablar de heurística en dos sentidos estrechamente vinculados. Por un lado atendiendo a los criterios del programa para buscar las hormigas de la generación futura, y por otro, considerando a cada hormiga una heurística, es decir, una hipótesis para resolver un problema que puede recibir una medida de acercamiento a la solución.
- El programa actúa como un plan adaptativo, y este es quizás su rasgo más importante; es un generador de hipótesis, es en él en quien recae la función de restringir gradualmente el espacio de búsqueda. Según su estructura y las interacciones internas de sus parámetros (*decisiones ambas del investigador*), producimos distintas heurísticas. Por eso hay que saber para qué queremos usar el programa. Las estructuras e interacciones están dadas por los intereses del investigador en función de qué desea analizar. El diseño es el culpable de los resultados.
- La metodología del programa es fija, no se producen cambios en el valor de los parámetros una vez que comienza a desarrollarse. En este sentido las hormigas individuales tampoco cambian, no hay un proceso de aprendizaje del individuo *on line*, no sufre modificaciones estructurales producto del contacto con el medio. Lo que hay, para el segundo caso, es una selección a nivel de población entre estrategias. El programa entiende al individuo como a un momento de una estructura temporal más amplia y sobre la que efectivamente pueden producirse modificaciones, es decir, su cromosoma.
- El programa, en tanto heurística, consiste en un conjunto de reglas que serán aplicadas sobre las hipótesis (hormigas). El criterio de adaptación está fijado de antemano, pero no determina la estructura interna de las hipótesis;¹⁷ plantea simplemente que deben lograr cierto objetivo, no restringe el modo en que deben hacerlo. La selección de hipótesis está en función de sus desempeños.
- Conclusión: No contamos con estrategias para predecir la incidencia de los cambios que ocurren de continuo en un sistema adaptativo complejo. Al simularlo, determinamos los operadores de control que se entrelazan para dar lugar al proceso y establecen —junto a las reglas que configuran a los agentes— el éxito de la simulación. Por eso es fundamental analizar a los operadores, porque de ellos emerge la *forma de la dinámica* del sistema. Ese análisis lo realizan los investigadores en varias disciplinas y desde sus propias perspectivas. Enmarcados en esta línea, creemos que el análisis epistemológico de los operadores y reglas del agente se *suma* de hecho a los esfuerzos por una mayor comprensión de los sistemas adaptativos complejos. Aporta mayor precisión sobre el uso y estructura interna de conceptos como *fitness*, mutación, heurística, etc., que inciden di-

rectamente sobre el resultado de la simulación. Pero esto es el anhelo de todas las disciplinas que investigan. ¿Que puede aportar efectivamente la epistemología? Puede, por ejemplo, hacer más claro el vínculo entre la biología evolucionista y la simulación de procesos adaptativos biológicos, y esto desde varias perspectivas. Aquí hemos dado relevancia al marco en que una noción de heurística es implementada luego en una simulación; de donde se desprenden similitudes y diferencias con el marco biológico. Hacerlas notar, es el primer paso sobre el que se puede trabajar para enriquecer luego el diálogo, con eventuales réditos mutuos. Esto no implica ubicar la epistemología en un lugar de arbitraje metodológico; la ambición es mucho menor: pretende sumar, ser una más de un grupo de perspectivas que intentan entender a los sistemas adaptativos complejos.¹⁸

Notas

¹ La Inteligencia Artificial (IA) misma nace de un *clima* intelectual interdisciplinario; léase la lista de investigadores que recibirán los resultados de la reunión de Dartmouth, *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*, firmado por J. McCarthy, M.L. Minsky, N. Rochester y C. Shannon; disponible en <<http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html>>

² John Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, pág. 20.

³ M. Mitchell y S. Forrest, *Genetic Algorithm and Artificial Life*, Santa Fe Institute Working Paper 93-11-072, december 1993. Apareció luego en *Artificial Life, An Overview*, pp. 267-290, editado por Christopher G. Langton, MIT Press, 1997. Dice explícitamente (pág. 2): "[AG] could be used as an optimization tool for engineering problems." Pero existen estrategias que pueden no buscar necesariamente maximizar sino más bien alcanzar criterios de búsqueda intermedios, como la satisfactoriedad. En todo caso depende de la selección de la función de *fitness*, del criterio de terminación y de qué deseamos simular.

⁴ Cuando a finales de los '80 la *Alife (Artificial Life)* plantee que un único ejemplo de estructuras vivientes no es suficiente para comprender principios generales de cómo está organizada la vida, y proponga la creación de sistemas vivos alternativos a los derivados de la cadena de carbono, está solicitando un marco formal similar al que se origina para dar respuesta a estas preguntas.

⁵ John Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, pág. 2.

⁶ Donald E. Knuth, *Fundamental Algorithms. The Art of Computer Programming*, Vol. 1, Addison-Wesley Publishing Company, 2ª ed., 1973, pp. 5-9.

⁷ D.E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, And Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1989. Véase en particular el Capítulo 4. Para una breve historia de los trabajos con algoritmos genéticos ver Kenneth De Jong, "Genetic Algorithms: A 30 Year Perspective", presentado en el *Workshop* en homenaje a Holland. Todos los trabajos disponibles en <<http://www.pscs.umich.edu/jhhfest/schedule-closed.html>>.

⁸ M. Mitchell y S. Forrest, *op. cit.*

⁹ Metodología desarrollada y trabajada por Rechenberg y Schwefel en la Universidad Técnica de Berlín, a principio de la década de 1970.

¹⁰ L.J. Fogel, A.J. Owens and M.J. Walsh (1966), *Artificial Intelligence through Simulated Evolution*, New York, John Wiley.

¹¹ Herederos de la idea de planes reproductivos de Holland, los AG son descriptos a comienzos de los '60 del pasado siglo por Holland y sus estudiantes en la Universidad de Michigan en Ann Arbor.

¹² Para un análisis similar pero limitado en torno al concepto de 'búsqueda' véase Terry Jones y Stephanie Forrest, "Genetic Algorithm and Heuristic Search", *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 1995, y N. J. Nilsson y D. Rumelhart, "Approaches to Artificial Intelligence", Technical Report 93-08-052, Santa Fe Institute, Santa Fe, NM, 1993, recopilado en el *Workshop* mantenido del 6 al 9 de noviembre de 1992. Disponible en <<ftp://sa.ntlfe.edu/pub/Users/mm/approaches/approaches.ps>>

¹³ John Koza, *Genetic Programming. On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*, MIT Press, 1996, pág. 18.

¹⁴ K. De Jong, *op. cit.*

¹⁵ Cada postura diseña distintos programas. Jugar ajedrez o como los humanos, o explotando las capacidades de cómputo de la máquina. Simular vida o como en la Tierra, o nuevas formas que no se aten a esa arquitectura.

¹⁶ Cfr. pág. 2.

¹⁷ Cualquier grupo de preguntas, respuestas o combinación de ambas es una hormiga. Otro tema es su eficacia en el medio; y es en función de esto que se seleccionan.

¹⁸ Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto de investigación "El descubrimiento científico desde las perspectiva de las reglas heurísticas" dirigido por el Prof. Victor Rodriguez y subsidiado por FONCYT, Proyecto PICT 98, N° 04-04353.

Bibliografía

Adami, Ch.; Belew, R.; Kitano, H.; Taylor, Ch. (eds.) (1998), *Proceedings of the Sixth International Conference on Artificial Life*, MIT Press.

Boden, Margaret (ed.) (1996), *The Philosophy of Artificial Life*, Oxford University Press, New York.

Del Campo Novales, Andrés (1998), *Estudio de Programación Genética: Manual del Usuario*, Universidad de Córdoba, Escuela Universitaria Politécnica, España.

De Jong, Kenneth (1999), "Genetic Algorithms: A 30 Year Perspective", <<http://www.pscs.umich.edu/jhhfest/abstracts.html#KenDeJong>>, resentado en *Festschrift Conference in honor of John H. Holland*, 16-18 de mayo 1999.

Holland, John (1998), *Hidden Order. How Adaptation Builds Complexity*, Perseus Books, Massachusetts.

Holland, John (1995), *Adaptation in Natural and Artificial Systems: an Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*, MIT Press.

Jones, Terry (1995), "One Operator, One Landscape", Technical Report #95-02-025, Santa Fe Institute.

Jones, T.; Forrest, S. (1995), "Genetic Algorithms and Heuristic Search", *International Joint Conference on Artificial Intelligence*.

Koza, John (1996), *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*, MIT Press.

Koza, John (1998), *Genetic Programming II. Automatic Discovery of Reusable Programs*, MIT Press.

Langton, Christopher (ed.) (1998), *Artificial Life: An Overview*, MIT Press.

Langley, Pat (1996), *Elements of Machine Learning*, Morgan Kaufmann Publishers.

Poli, R.; Logan, B. (1996), "On the Relations Between Search and evolutionary Algorithms", School of Computer Science University of Birmingham, Technical Report CSRP-96-7, march 1996.

Simon, Herbert (1978), *Sciences of the Artificial*, MIT Press.

Toffoli, Tommaso, "What you always wanted to know about genetic algorithms but were afraid to hear", <<http://citeseer.nj.nec.com/265456.html>>, presentado en *Festschrift Conference in honor of John H. Holland*, 16-18 de Mayo 1999.