

CAPÍTULO III

Pensar la complejidad con ayuda de las lógicas no-clásicas

Carlos Eduardo Maldonado*

1. Introducción

En el corpus normal del trabajo en ciencias de la complejidad y, a fortiori, del trabajo con, y la investigación sobre, complejidad no aparece un espacio para las lógicas no-clásicas. La bibliografía en general en complejidad, de un lado, tanto como aquella especializada en lógicas no-clásicas, no hace ninguna referencia en el otro sentido. Mejor aún, si se echa una mirada cuidadosa a algunos de los principales centros e institutos de complejidad en el mundo -por ejemplo a las páginas web de SFI, NECSI, ISCPIF-, o algunas de las principales revistas como *Complexity*, *Journal of Complexity*, *Complexity International*, *Journal of Systems Science and Complexity*, *Journal of Complexity and Education*, *The Complexity Revolution*, *Journal of Social Complexity*, por ejemplo, aparecen numerosos campos de trabajo, problemas significativos, pero ninguna alusión a las relaciones entre complejidad y lógicas no-clásicas. Ahora bien, si se estudian con cuidado algunas de las más prestigiosas revistas de lógica en el mundo, como, por ejemplo, *Studia Logica*, *Australasian Journal of Logic*, *Journal of Philosophical Logic*, *Notre Dame Journal of Formal Logic*, tampoco aparece ninguna referencia que desde la lógica se dirija de manera directa a las ciencias de la complejidad. Quizás la mejor aproximación que trata de encontrar o de integrar ambas perspectivas -complejidad y lógica (s no clásicas)- sea la de Van Benthem (2008).

Pues bien, con este texto me propongo llenar este vacío.

* Professor Titular, Universidad del Rosario. Datos de contacto: Universidad del Rosario, Calle 12 No. 6-25, Edificio Santa Fé, oficina 420, Bogotá, Colombia. Teléfono: +57 (1) 2970200. Correo electrónico: carlos.maldonado@urosario.edu.co

El carácter exploratorio de este texto, sin embargo, se limitará, por razones específicamente de espacio, a mostrar diversas puertas comunicantes entre complejidad y lógicas no-clásicas (LNC), quedando pendiente, para otro momento y espacio, el trabajo -bastante más especializado- relativo a las relaciones internas entre las lógicas no-clásicas¹. Lo que aquí me interesa es mostrar las opciones que las lógicas no-clásicas ofrecen para todos aquellos interesados en el trabajo y el estudio con los sistemas, fenómenos y comportamientos de complejidad creciente.

2. La lógica como ciencia

La historia de la modernidad hasta nuestros días se caracteriza por una magnífica eclosión de ciencias, disciplinas, prácticas y saberes que nacen de la filosofía pero que se independizan de ella. El nacimiento de la lógica formal se inscribe en la misma tradición de la inmensa mayoría de ciencias, disciplinas, prácticas y saberes que nacen a partir de la modernidad hasta nuestros días. Es decir, se trata de conocimientos que: a) dan cuenta del mundo, o bien: b) se ocupan de una porción del mundo – sin necesidad de filosofía, independientemente del “tronco de la filosofía” y la metafísica (para retomar la metáfora famosa desde Descartes), y se asumen como epistemes con derecho propio. Desde la economía y la física hasta la psicología y la antropología, desde la administración y la política hasta la historia y la estética, por mencionar tan sólo algunos pocos ejemplos.

La lógica formal clásica nace desde la obra de Boole y Morgan hasta Tarski (Alchourrón *et al.* 1995), e incluye nombres, entre otros, de la altura de Frege, Dedekind, Peano, Zermelo, Skolem, Hilbert, Kolmogorov y Gödel (van Heijenoort, (1967). Una historia más breve acerca del nacimiento de la lógica formal clásica se encuentra en Nidditch (1983). Pues bien, la lógica formal clásica es, sin más ni más, la lógica matemática o la lógica simbólica. Como lo sostiene de manera puntual Nagel (1974), es la “lógica sin metafísica”.

Con seguridad, es gracias a que hubo surgido y se consolidó como una ciencia por sí misma, independientemente de la filosofía, esto es, de la metafísica, que la lógica clásica –es decir, la lógica simbólica o la lógica matemática- sirve como condición de posibilidad, por así decirlo para el surgimiento, paulatino al comienzo y luego en una verdadera eclosión, de las lógicas no-clásicas (LNCs).

¹ Dicho espacio se reserva, por lo demás, para una investigación que adelanto actualmente sobre el sentido y la posibilidad de una teoría general sobre la complejidad. Unos avances de esta investigación son: “Teoría de la historia, filosofía de la historia y complejidad”, en: Maldonado, C. E., (Editor académico), *Fronteras de la ciencia y complejidad*, Bogotá, Ed. Universidad del Rosario, 2010, págs. 17-48; “Exploración de una teoría general de la complejidad”, en: Maldonado, C. E., *Complejidad: Revolución científica y teoría* (Editor Académico), Bogotá, Editorial Universidad del Rosario, 2009, págs. 113-143; “El problema de una teoría general de la complejidad”, en: Maldonado, C. E., (Editor), *Complejidad: Ciencia, pensamiento y aplicaciones*, Bogotá: Universidad Externado de Colombia, 2007, págs. 101-132; “El problema de una teoría general de la complejidad de fractales”, en: F. López Aguilar y F. Branbila Paz (compiladores), *Antropología fractal.*, México, D.F.: Centro de Investigación en Matemáticas, 2007, págs. 9-24.

Las LNCs surgen debido a una doble circunstancia: de un lado, porque los procesos de formalización de la lógica clásica eran muy rígidos, o bien porque eran demasiado laxos. Dicho de manera puntual, se trata del famoso problema relativo al falibilismo de la lógica planteado originariamente por Ch. S., Peirce y expuesto por Quine (1984), (Quine, 1992), (Haack, 1991); es decir, el falibilismo de la lógica formal clásica.

3. Lógicas no-clásicas: rasgos o aires de familia

Con seguridad, el rasgo más radical que representan las LNCs es el hecho mismo de un pluralismo lógico. Por tanto, es perfectamente posible afirmar que ya no existe una única forma ni una canónica del pensar, por tanto de decir el mundo y, en consecuencia, tampoco existe una única forma de vivir. Aquí se establece una ruptura fuerte con la historia de la lógica formal –por ejemplo en las versiones de Kneale and Kneale (1984) o de Bochenski (1985)-.

En efecto, la presunción de que hay una sola lógica se traduce, en dominios como la ética, la política y la cultura, tomadas en el sentido más amplio, como la imposibilidad de pensar y de vivir por fuera de los cánones del pensamiento – sostenidos por, o iluminados desde, “la” lógica. Esta fue exactamente la historia de Occidente, notablemente a partir del primer verso del Proemio del Poema de Parménides (frag. 3 D-K – 6): *tò gàr autò noeîn estin te kaì eînai*.

Pensar la complejidad consiste exactamente en pensar sistemas de complejidad *creciente*, y por tanto, sistemas de complejidad *irreductible*. Estos es, los sistemas complejos no se explican a partir de lo inferior, de lo anterior o de lo básico, sino, mejor aún, en función de las emergencias que producen o que contienen. La forma clásica de presentar esta idea consiste en el reconocimiento de que los sistemas complejos son adaptativos y, por consiguiente, abiertos. Así, lo que define radicalmente a un sistema complejo son las posibilidades que tiene, que contiene o que avizora, antes que la historia de causalidades. En una palabra, la complejidad de un sistema estriba exactamente en las posibilidades que tiene o que anticipa. Una expresión puntual de este rasgo es el concepto mismo de posibles adyacentes. De esta suerte, la irreductibilidad coincide con la noción misma de pluralidad o diversidad, que es, sin duda, la marca de familia de la complejidad. Con ello, la idea misma de lógicas no-clásicas, en contraste con *la* lógica (formal clásica) permite abordar el estudio de multiplicidades caracterizadas por diversos atributos. El pluralismo lógico se refiere a la existencia de más de una relación genuina en el estudio de las consecuencias deductivas (Beall and Restall, 2006).

Más exactamente, no existe una única verdad lógica (*there is no one true logic*). Esto significa que decir verdad (o en caso contrario, falsedad) resulta menos evidente de lo que aparecía a la luz de la lógica formal clásica. Asistimos a la co-existencia de sistemas alternativos de notación y de estudio y comprensión de lo que sea (o pueda ser) “verdad” o verdadero (Herrick, 2000).

La semántica de las lógicas no-clásicas es la de noción de semántica de mundos posibles (en tanto que la semántica de la lógica formal clásica es la semántica del mundo real o, lo que es equivalente, del mundo en general (*überhaupt*)). (Existen, sin embargo, también varias lógicas no-clásicas que tienen una semántica algebraica). La semántica de mundos posibles es, en otras palabras, el encuentro, el trabajo y las experiencias con fenómenos modales.

A la luz de la semántica de mundos posibles, lo plural se contrapone a lo singular, tanto como lo real se abre a lo posible. Este giro tiene consecuencias maravillosas que, sin embargo, no se han terminado de explorar plenamente ni en el campo de la lógica en general ni en el de la complejidad misma. Sin embargo, existe un sólido eslabón que une lógicas no-clásicas y complejidad en este punto: las ciencias de la complejidad son ciencias de fenómenos, sistemas y comportamientos que se encuentran en crisis. Esto se expresa claramente en la terminología que se emplea cuando se habla de *puntos críticos*, *estados críticos*, *criticalidad*, *subcriticalidad* y *supracriticalidad*, *estados de transición* y *transiciones de fase*. Sólo que se trata de estudiar la(s) crisis: a) porque son inminentes, o bien b) porque las crisis no están presentes, pero *podrían* llegar a tener lugar. Exactamente en este sentido, las ciencias de la complejidad son ciencias para tiempos de crisis. Pues bien, la(s) crisis se comprenden y se explican idóneamente mediante la semántica de mundos posibles; es decir, justamente, de estados posibles.

Pues bien, entre las lógicas no-clásicas más destacadas tenemos:

- La(s) lógica(s) paraconsistente(s)
- Lógica de la relevancia
- Lógica epistémica
- Lógica intuicionista
- Lógica no-monotónica
- Lógica modal
- Lógica dinámica
- Lógica del tiempo (o lógica temporal)
- Lógicas polivalentes
- Lógica difusa
- Lógica cuántica
- Lógica libre
- Lógica de fábrica (o fabricación)

La lista, sin embargo, no pretende aquí ser exhaustiva. Antes bien, mi interés se concentra en la forma como los fenómenos, sistemas y comportamientos caracterizados por complejidad creciente pueden ser estudiados –esto es, explicados y comprendidos– con la ayuda de las lógicas no-clásicas.

Gracias al desarrollo de las lógicas no-clásicas, las verdades lógicas lo son de cualquier cosa o aspecto del mundo (Alchourrón *et al.* 1995); así, las verdades lógicas dejan de serlo única o principalmente de juicios, razonamientos e inferencias. Con ello, en realidad, al estudio de la consecuencia como patrimonio de la lógica formal clásica (desde y gracias a Tarski)², la lógica en general accede igualmente al reconocimiento de que el lenguaje tiene una fuerza expresiva bien determinada y que, en síntesis, “hacemos cosas con palabras” (Austin). De esta suerte, al estudio de las inferencias válidas se suma el estudio de la fuerza o capacidad expresiva del lenguaje. Con ello, la lógica se abre hacia o incorpora o desarrolla desde sí misma –tres formas distintas de apuntar a un mismo foco- la teoría de modelos. La teoría de modelos se ocupa, en el sentido más amplio, del estudio de la interpretación de cualquier lenguaje –ya sea formal o natural- y lo hace por medio de estructuras de teorías de conjuntos. Exactamente en este sentido, la teoría de modelos y con ella las LNC abordan importantes problemas de tipo filosófico.

La lógica, en su sentido originario, trata de la consecuencia. Y el pluralismo lógico trata de las diversas formas como se dice la consecuencia en distintos lenguajes, o también de la pluralidad de maneras como pueden decirse en un solo y mismo lenguaje. Ahora bien, las ciencias de la complejidad se articulan en una multiplicidad de teorías (teoría de las fluctuaciones, teoría de las bifurcaciones, teoría de la autoorganización, teoría de la autocriticalidad autoorganizada, y muchas más), diversidad de ciencias, diversidad de modelos, etc. A fortiori, las LNCs pueden y deben tratar con esta multiplicidad. Sólo que ya no se trata única y exclusivamente de la multiplicidad de inferencias o consecuencias sino, además, de la diversidad de definiciones y modos expresión del lenguaje. Así, una de las lógicas más destacadas y que sirve a la vez como tránsito entre la lógica formal clásica, propiamente dicha, y las lógicas no-clásicas es la lógica modal (Garson, 2006).

En efecto, la lógica ha reconocido la importancia del lenguaje, su capacidad expresiva (y. en caso contrario, su capacidad oclusiva). Con ello, la teoría de modelos, que se ocupa de los temas y problema de definibilidad (*definability*) (Gabbay, Maksimova, 2005); notablemente, se trata de los temas relativos a las definiciones

² De manera puntal, las inferencias son implicaciones o consecuencias. Estas son, de un lado, *inferencias transductivas*, que son aquellas en las que la conclusión tiene el mismo grado de generalidad o de particularidad que las premisas. Así, la novedad del conocimiento obtenido consiste en transferir las relaciones establecidas entre el término medio y los extremos, formulándola como relación entre los términos extremos. Éstas comprenden a las inferencias por igualdad, inferencias por simetría, inferencias por homología, inferencias por desigualdad, inferencias por vinculación, inferencias por referencia, inferencias por analogía.

De otro lado, las *inferencias inductivas* se caracterizan por que las conclusiones obtenidas tienen mayor grado de generalidad que las premisas. Estas pueden ser: inferencia por enumeración completa, por coligación, por inducción matemática, por recurrencia, por reconstrucción, por inducción amplificadora, por muestreo, por estadística, por concordancia, por diferencia, por concordancia y diferencia, por residuo, por variaciones concomitantes.

Como quiera que sea, la forma más general y al mismo tiempo consistente y desprevenida de acercarnos al problema de las inferencias es el de las inferencias probables. Inducción y probabilidad son los títulos genéricos que abren y fundan a la vez a la investigación científica. Exactamente en este sentido, se ha afirmado que la columna vertebral de la ciencia (investigación científica) es la (teoría de la) probabilidad.

mismas (de un tema, un objeto, un problema, un campo o un sistema, por ejemplo). Para decirlo desde otra perspectiva, se trata del hecho de que *construimos, tanto como destruimos cosas con palabras* (Austin). Gracias a la incorporación de la teoría de modelos la lógica clásica se ve magníficamente ampliada, si no superada.

A la vez, conjuntamente con el estudio de las inferencias válidas y los problemas de definibilidad, el pensar lógico se compone o se articula en o como teoría de la recursividad. Esta teoría trata de los problemas de computación –computación, decidibilidad e indecidibilidad, (Rosenberg, 2010), hipercomputación (Syropoulos, 2008), el dúplice problema importante de los problemas **P** versus **NP** (Carlson *et al.* 2006) y el problema de la completud (*completeness*), Kaye, 2007); ulteriormente, se trata incluso de los problemas de computación biológica. – Al fin y al cabo, pensar lógicamente (*legein*) no es otra cosa que computar. La computación, en otras palabras, es la expresión actual de lo que clásicamente fue la lógica. La diferencia, sostengo, es que por primera vez aparecen explícitamente la lógica y la teoría recursiva formuladas y concebidas, si no en paralelo, sí por lo menos en términos de una doble implicación recíproca. Exactamente en este sentido se ha señalado a la lógica como el “cálculo de la ciencia de la computación” (d’Avila Garcez *et al.* 2009).

Resumiendo: la lógica en general –esto quiere decir, en particular, las lógicas no-clásicas-, se compone de tres niveles, así:

- Teoría de las demostraciones (es decir, las inferencias válidas; esto es, el estudio de la consecuencia)
- Teoría de modelos (que trata de la definibilidad; es decir, los temas relativos a la interpretación del lenguaje – natural o artificial)
- Teoría recursiva (o también teoría de la recursividad; es llamada incluso teoría de la recurrencia) (es decir, todos los problemas de computación; por consiguiente, necesariamente, los problemas relativos a la complejidad algorítmica y a la complejidad computacional)³.

Son, afirmo, los entrelazamientos, las combinaciones y las implicaciones recíprocas entre sí entre las tres teorías mencionadas las que constituyen a las lógicas no-clásicas y son precisamente ellas las que sirven de eslabón sólido para el estudio de los sistemas complejos no-lineales.

En este sentido, es importante observar que es perfectamente posible asimilar el *legein* clásico a, en términos contemporáneos, la computación sin reducir con ello la lógica a un computacionalismo ni nada semejante (en el sentido como en la historia se ha caído y se ha hecho la crítica a un fisicalismo, logicismo, matematicismo,

³ La complejidad algorítmica hace referencia a la longitud más breve de un algoritmo para resolver un problema, en tanto que la complejidad computacional se refiere al tiempo necesario para resolver un problema.

biologismo, economicismo y demás). En este sentido, se ha producido un cambio en la concepción misma de lo que es computable (Barry Cooper *et al.* 2008). De acuerdo con este cambio, dentro de los nuevos paradigmas computacionales se encuentran: i) las conversaciones; ii) los temas y problemas de numeración; iii) las demostraciones; iv) el tiempo finito; v) el tiempo infinito; vi) el tiempo continuo; vi) el tiempo discreto.

En otras palabras, las lógicas no-clásicas constituyen la forma más adecuada para estudiar y explicar sistemas con propiedades como diversidad, no-linealidad, difusividad (*fuziness*), paralelismo, ausencia de un control rígido o, equivalentemente, la presencia de múltiples sistemas deductivos, cambio, probabilidad, no-determinismo.

La siguiente Tabla compendia las nuevas relaciones biunívocas entre lógica en general y computación, y más exactamente entre lógicas no-clásicas y complejidad:

COMPUTACIÓN	PENSAMIENTO (LÓGICA)
Computación	Pompas de intuición
Problema P y NP	Experimentos mentales
Computación no convencional	Lógica Paraconsistente
Complejidad Computacional	Lógica de la Relevancia
Complejidad Algorítmica	Lógica Cuántica
Computación Bioinspirada	Lógica del Tiempo
	Lógica no-monotónica
	Lógica Epistémica
	Lógica Dinámica
	Lógica Modal
	Lógica Difusa
	Lógicas Polivalentes
	Lógica Libre
	Lógica Intuicionista

Tabla 3.1. Relaciones biunívocas entre complejidad y lógicas no clásicas.

4. Algunos ejemplos conspicuos

Por razones de espacio, a riesgo de simplificación, quisiera a continuación destacar algunos ejemplos de cada una de las lógicas mencionadas, que pueden servir para posteriores elaboraciones más sistemáticas⁴. El orden de la presentación a continuación es caprichoso:

⁴ He trabajado estos aspectos puntuales en varios textos: Maldonado, C. E., (2005) “¿Por qué hay múltiples lógicas?”, en: *Zero. Quince*, Universidad Externado de Colombia, segundo semestre, págs. 112-117; (2006a) “Lógicas no clásicas (2): la lógica del tiempo”, en: *Zero. Dieciséis*, Universidad Externado de Colombia, primer semestre, págs. 124-128; (2006b) “Lógicas no clásicas (3): Lógicas paraconsistentes”, en: *Zero. Diecisiete*, Universidad Externado de Colombia, segundo semestre, págs. 148-152; (2007a) “Comprensión positiva de las lógicas no-clásicas (4)”, en: *Zero. Dieciocho*, Universidad Externado de Colombia, primer semestre, págs. 160-163; (2007b) “lógicas no-clásicas (5): la lógica cuántica”, en: *Zero Diecinueve*, Universidad Externado de Colombia, segundo semestre, págs. 164-168, y son el objeto constante de referencia en mis clases y conferencias.

La lógica libre procede con libertad acerca de la asunción de existencias. No necesita asumir que algo existe para hablar al respecto, ni tampoco necesita demostrar la existencia de algo para hacer lógica de aquello de que se ocupa. Sus procesos de cuantificación son vacíos.

La lógica del tiempo (o lógica temporal) destaca aquello que hace falta notablemente en la lógica formal: el tiempo. Mientras que el lenguaje proposicional de la lógica clásica es atemporal –coincidiendo así con una premisa metafísica: “verdad no está en el tiempo”–, la lógica del tiempo pone de manifiesto, a partir de la obra seminal de Prior (2003), que el tiempo altera el valor de verdad o de falsedad de una proposición. En otras palabras, no solamente hay verdad en la historia, sino que, más radicalmente, hay una historia de (la) verdad. De este modo, la lógica en general gana en vitalidad, mundaneidad e historia.

La lógica dinámica pone en primer plano, por vía de contraste, el hecho de que la lógica formal clásica trata de verdades o falsedades estáticas (con lo cual, por lo demás, se traza un puente que une a la lógica dinámica con la lógica temporal⁵). La lógica dinámica se ocupa de fenómenos, comportamientos y sistemas esencialmente variables, poniendo claramente, sobre la mesa, a plena luz del día, el reconocimiento explícito de que dentro de la dinámica el aspecto más interesante es el de las posibilidades abiertas, hacia futuro, de un sistema dado. Los procesos de cuantificación de esta lógica permiten otra clase de formalizaciones distintas tanto a las que tradicionalmente había tenido la matemática como la lógica, en general.

La lógica no-monotónica se aplica a razonamientos por defecto o también a razonamientos inciertos. Se trata de aquellos casos en los que se extraen conclusiones que pueden ser revisadas debido a la inclusión de nuevos datos, o también ante la presencia de premisas no consideradas anteriormente. Así, las consecuencias extraídas previamente resultan cuestionables o inválidas. Esta clase de lógica es la de todos aquellos sistemas que son parcialmente ordenados y que implican, por consiguiente, el trabajo con sistemas discretos.

La lógica modal es, sencillamente, la lógica de la posibilidad y de la necesidad; esto es, de las cosas que deben o deberían ser y de las que pueden o podrían ser. La lógica modal se articula a su vez como lógica modal alética, lógica deóntica y como la lógica epistémica. La introducción de determinados símbolos permite distinguir entre lo que es necesario, lo que es verdadero y lo que es posible (Garson, 2006). Estas distinciones implican serias cuestiones de orden filosófico.

La lógica paraconsistente logra superar la dificultad de la lógica a partir de Aristóteles y, de hecho, la racionalidad fundante de la humanidad occidental: las contradicciones. Las lógicas paraconsistentes trabajan con contradicciones a condición de que sean no-triviales; esto es, el reto estriba en la trivialización de la consistencia o la inconstancia. En este plano se elaboran distinciones más finas, tales como

⁵ Pero este puente no ha sido objeto de tematizaciones o elaboraciones explícitas hasta la fecha; no por lo menos en el plano lógico, algo que sí puede decirse (intuitivamente) del lado de las ciencias de la complejidad.

proposiciones consistentes, inconsistentes y paraconsistentes (Bobenrieth, 1996). El motivo central de trabajo de esta lógica son las inconsistencias y los conjuntos no satisfechos, incompletos, digamos.

La lógica de la relevancia es una lógica esencialmente relativa –muy en la línea de la teoría de la relatividad de Einstein-. Es exactamente la lógica de la relevancia la que pone de manifiesto que no existe una lógica única de una verdad (*the One True Logic does not exist*), algo que es válido, por lo demás, también para o a partir de la lógica modal. Gracias a la lógica de la relevancia aprendemos que la implicación (*implication*) es más débil que la consecuencia fuerte (*entailment*)⁶. Existe una discusión –no enteramente dirimida hasta la fecha- acerca de si la lógica de la relevancia forma parte o no de las lógicas paraconsistentes. Omitimos aquí este tema.

La lógica intuicionista se inspira en la obra del filósofo y matemático L. E. Brouwer a partir de sus ideas acerca de la naturaleza de las matemáticas. La matemática es, de acuerdo con este autor, una actividad, antes que una teoría. Construimos objetos con nuestra mente, con lo cual, un objeto matemático cualquiera, tanto como una operación o relación matemáticas no tienen ninguna solidez en el mundo empírico, sino, tan sólo, en función del rigor interno de nuestra construcción. Un elemento importante es el reconocimiento explícito de que los fragmentos matemáticos son decidibles, pero la lógica predicativa intuicionista es indecidible.

La lógica epistémica tiene el mérito de que considera el conocimiento no solamente en términos individuales sino además, y muy significativamente, en términos sociales o colectivos, esto es, como el resultado de interacciones entre agentes en un grupo. El contraste con la lógica clásica no puede ser mayor. Lo que un agente sabe acerca del conocimiento o la ignorancia de otro agente es determinante para la propia comprensión del primer agente tanto como para sus acciones.

Las lógicas polivalentes se articulan en lógicas tri, tetra, penta, exa, y así hasta infinivalentes. Estas lógicas nacen al rechazar el principio de bivalencia de la lógica formal clásica que sostiene que una proposición es verdadera o falsa. Pero surgen igualmente al introducir otras conexiones funcionales de no verdad, y las más evidentes son las de modalidad; es decir, la posibilidad y la necesidad. La lógica trivalente, por ejemplo trabaja con tres valores: verdadero, falso e incierto o indeterminado. Los análisis acerca de vaguedad e inexactitud juegan un papel importante aquí. La semántica de las lógicas polivalentes no se restringe a la semántica de mundos posibles, y se abre a la semántica algebraica.

La lógica cuántica tiene como antecedente o fundamento la mecánica cuántica. Esta es la más radical de todas las críticas al lenguaje binario, booleano, de la lógica formal clásica. Adopta dos formas principales: la lógica cuántica abstracta (también llamada ortomodular) y la lógica cuántica concreta (llamada también de Hilbert) (Engesser *et al.* 2009). El problema básico consiste en estudiar si lo que sabemos del

⁶ Existe en inglés una distinción que es difícil de traducir al español. Se trata de las diferencias entre *imply* – *implication*, *entail* – *entailment*, y *infer* – *inference*. En español sólo tenemos implicación e inferencia.

universo microscópico se corresponde o no y cómo con lo que sabemos del universo macroscópico. La lógica cuántica es a todas luces una lógica no-monotónica.

La lógica de fábrica se emparenta con la lógica cuántica y también con programación. Abarca desde la fábrica de significado hasta la fábrica de la realidad o de la sociedad. Cubre temas combinatorios y hace referencia esencialmente a los bloques lógicos con los que justamente construimos significados.

La lógica difusa es la única que ha logrado ser ampliamente implementada en términos tecnológicos, pues es la base lógica de todas las nuevas tecnologías. Este hecho permite un amplio optimismo con respecto a las implementaciones prácticas de las demás lógicas no-clásicas.

Finalmente, en el capítulo de la metateoría de la lógica –un capítulo apasionante que se ocupa de los modos como puede ser efectivamente posible una teoría científica y/o lógica contemporánea- las LNCs ponen al descubierto el hecho de que son efectivamente posibles distintas clases de teoría, así: teorías consistentes, teorías inconsistentes, teorías paraconsistentes, teorías subdeterminadas (Peña, 1993; Urquhart, 2007; Wolenski, 2007).

Una presentación sucinta de las teorías científicas adopta, a mi modo de ver, la siguiente expresión:

{teorías subdeterminadas{teorías paraconsistentes{teorías inconsistentes{teorías consistentes }}}} }

Y de manera formal:

{ts{tp{ti{tc}}}}

El bucle se cierra del lado de las teorías consistentes. En general, una teoría se dice que es consistente cuando se pueden aún *hacer* cosas con ella, pero no se le puede hacer decir más de lo que ya ha dicho; es decir, su capacidad de explicación ya está cerrada, o agotada.

Debe quedar aquí de lado, por razones de espacio, la caracterización de cada una de estas teorías.

En este mismo plano, es fundamental atender a las distinciones entre lo trivial y lo no-trivial de una teoría, una explicación o una proposición. La Tabla 2 suministra un esquema de criterios para distinguir lo trivial de lo no-trivial. El valor de esta tabla es puramente indicativo, y no pretende aquí ser exhaustiva.

TRIVIAL	NO-TRIVIAL
Proposiciones o afirmaciones universales. Extensionales, justamente	Afirmaciones o proposiciones particulares o singulares
Implicaciones directas	Implicaciones indirectas, paralelas, libres y otras semejantes
Herramientas de uso común	Creación de nuevas herramientas y aproximaciones

Tabla 3.2. Relaciones entre principios triviales y no-triviales.

5. Lógica, tecnología, mundo

La complejidad implica, manifiestamente, una filosofía del movimiento, a saber: no ya el movimiento lineal, cíclico, periódico, regular y controlado que es el que caracteriza precisamente a la mecánica clásica, desde Galileo hasta Newton. Por el contrario, el tipo de movimiento que concierne a la complejidad son los movimientos súbitos, inesperados, no predecibles, incontrolables e irreversibles. Estos movimientos se expresan en el lenguaje de las ciencias de la complejidad como caos, catástrofes, equilibrios puntuados, redes libres de escala, leyes de potencia, y otros semejantes.

Mientras que la lógica formal clásica se corresponde con un mundo lineal – causal, por tanto-, jerárquico, centralizado, rígido y cerrado o aislado –si no de forma abierta sí de modo implícito-, las LNCs corresponden al desarrollo de las nuevas tecnologías, así: inicialmente, las tecnologías TICs (tecnologías de la información y la comunicación)⁷ y luego igual y más radicalmente, las tecnologías NBICs -esto es, las nanotecnologías, la biotecnología, las tecnologías de la información, y las tecnologías aplicadas a procesos cognitivos-⁸, o tecnologías convergentes. A estas últimas hay que agregar la dimensión social de la tecnología.

6. Los rasgos de la complejidad

Con seguridad, uno de los rasgos específicos de los sistemas complejos es el hecho de que están (por lo menos parcialmente) marcados por incertidumbre. Huynh *et al.* (2008) han llamado expresamente la atención acerca de la conveniencia de combinar análisis de incertidumbre conjuntamente con las lógicas no-clásicas.

La complejidad no es un objeto o un campo de estudio. Por el contrario, es el título que comprende una serie de problemas de máxima importancia, envergadura y alcance (Maldonado, 2009). El estudio sistemático de la complejidad da lugar a las ciencias de la complejidad.

Paralela, pero independientemente de la noción de pluralismo lógico, en biología en general y en la filosofía de la biología en particular, la noción de pluralismo juega un papel fundamental (Mitchell, 2003). Dicho brevemente, en palabras de Mitchell, “el pluralismo refleja complejidad”, y el pluralismo no es tanto de variedad de explicaciones cuanto que un pluralismo integrativo. En otras palabras, se trata del

⁷ Las TICs son el resultado del surgimiento y desarrollo de internet, los GPS, las redes inalámbricas, la microrobótica, la fibra óptica, la nanotecnología y los sistemas micro-electromecánicos (*MEMS*, en inglés), principalmente. Véase, por lo demás, McNeill y Freiburger 1993.

Hay que decir que, en rigor, que las LNCs *se corresponden* con las nuevas tecnologías, pero no pretendo establecer ninguna relación de causalidad o de dependencia.

⁸ En contraste con las TICs, las tecnologías convergentes se fundan particularmente en la capacidad de *procesamiento* de información y de comunicación. De esta forma, la mirada gira de la mera acumulación e interpretación de datos e información, hacia la transformación de la información y del conocimiento por parte de sí mismos. Exactamente en este sentido el fundamento de estas tecnologías son los sistemas vivos en general y la tecnología –como la ciencia- se da a la tarea no ya de conocer el mundo y la naturaleza sino, mejor aún, de crear una nueva (o segunda) naturaleza.

reconocimiento y el trabajo mismos con la diversidad de la contingencia. Precisamente por ello aparecen y son necesarias diversas explicaciones, metodologías, técnicas y enfoques – que es lo que caracteriza, en general, a la ciencia y a la lógica contemporáneas.

Cada época, se ha dicho, posee su propia metáfora. Pues bien, la metáfora de la ciencia contemporánea en general, y a fortiori de las ciencias de la complejidad, procede de la biología y la ecología. En verdad, los sistemas de máxima complejidad conocida –en cualquier acepción de la palabra- son los sistemas vivos. La naturaleza en general opera en paralelo, se caracteriza por pluralidad (diversidad, exactamente)⁹, y el modo de trabajo es la abducción. Hay que decirlo: la diversidad es tanto el resultado de contingencias como la generación misma de contingencias en los sistemas vivos, en la evolución a todos los niveles de la naturaleza y la sociedad.

Las ciencias de la complejidad no parten de una definición de complejidad sino, mejor aún, a partir de la identificación de una serie de propiedades que exhiben los sistemas, fenómenos y comportamientos que no pueden ser ya comprendidos o estudiados como sistemas clásicos. Las propiedades o atributos más generalmente reconocidos son: emergencia, no-linealidad, autoorganización, sistemas abiertos, fluctuaciones, turbulencias, incertidumbre, pluralidad irreductible, en fin, complejidad creciente, ausencia de jerarquías rígidas, no centralidad, adaptación, no determinismo (o indeterminación), dinámicas no-lineales.

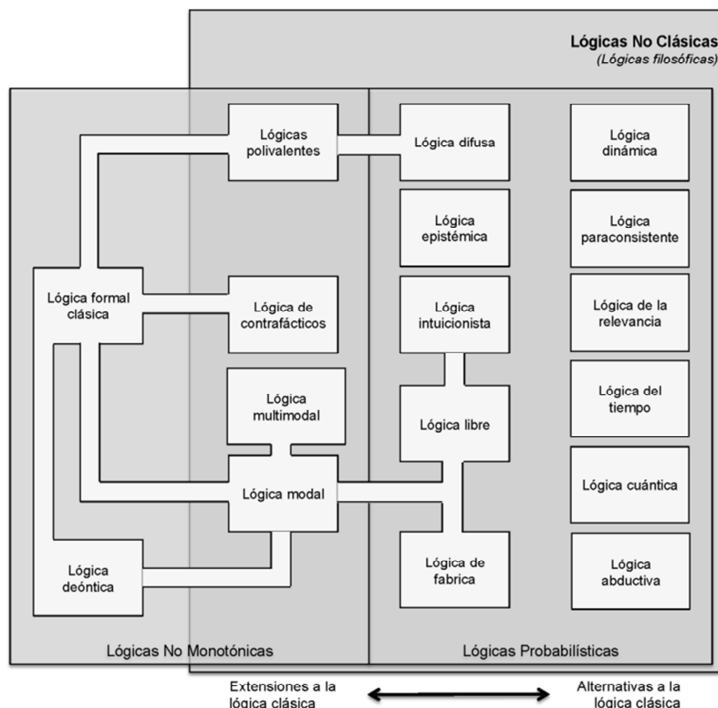


Figura 3.1. Relación entre la lógica formal clásica y lógicas no-clásicas.

⁹ La diversidad de la vida se dice de tres maneras pero es una sola: diversidad biológica o natural, genética y cultural. Los países que tienen los tres tipos de diversidad se dicen megadiversos (*hotspots*).

La Figura 1 ilustra la idea central según la cual una vez que se hubo constituido como ciencia, la lógica formal clásica permite desde sí misma algunos vasos comunicantes con lógicas no-clásicas. Con seguridad, los nexos más próximos y fuertes son con la lógica deóntica, la lógica modal y la lógica de contrafácticos¹⁰. En cualquier caso, las lógicas no-clásicas se dividen entre las que son extensiones de la lógica formal clásica y aquellas que son alternativas a la misma. Este gráfico no incluye todas y cada una de las lógicas no-clásicas tratadas en este texto, pues sólo quiere dar una idea general acerca de un territorio. Este territorio, sostenemos, puede contribuir de manera significativa, como es efectivamente el caso expresamente con varias de las LNCs, a pensar la complejidad.

En la Figura 1, las que aparecen en azul son extensiones y no constituyen rupturas fuertes con la lógica clásica, aunque sí introducen nuevos elementos a la vez que toman distancias del modo canónico de trabajo en la lógica clásica. Las lógicas que aparecen en naranja/café constituyen alternativas a la lógica clásica. Son ellas las lógicas filosóficas propiamente dichas.

Es maravilloso observar que las LNCs se desarrollan particularmente a partir de 1950s y continúan naciendo y desarrollándose hasta la fecha. Basta mirar a la bibliografía especializada para hacerse a una idea acerca de los lugares, autores, países y circunstancias que han dado lugar a estas lógicas. Así, se trata de un continente de trabajo por explorar promisorio, amplio y rico.

7. A manera de conclusión

Las ciencias de la complejidad pueden contar con la ayuda de las lógicas no-clásicas, análogamente a como han contado con la contribución del caos, la teoría de catástrofes, la termodinámica del no-equilibrio, los fractales o la ciencia de redes. En este sentido, cabe decir que las lógicas no-clásicas constituyen una de las ciencias de la complejidad.

Esta afirmación, sin embargo, pudiera generar algún resquemor debido a que podría interpretarse como una cierta pérdida de estatuto (epistemológico) propio de las LNCs. No se trata, en absoluto, de que las LNCs formen parte de las ciencias de la complejidad a la manera como, al decir de Aristóteles y de la tradición aristotélica, la lógica era concebida como un *organon* del conocimiento. No solamente aquella era lógica al servicio de la metafísica –supuesta la “contribución” de Andrónico de Rodas–, sino que, a la postre, la lógica misma abandonó los dominios de la metafísica y se hizo ciencia: fue la lógica formal clásica.

Que las LNCs formen parte de las ciencias de la complejidad no menoscaba, para nada, su independencia y ciudadanía; su “mayoría de edad”, digamos, a la manera de Kant. Pero sí indica la dirección en la cual miran y/o pueden mirar las LNCs, a saber: en la dirección de una magnífica revolución científica (Kuhn) y cultural.

¹⁰ En este texto se ha hecho deliberadamente omisión a la lógica de contrafácticos que no es, strictu sensu, una lógica no-clásica.

En síntesis: no solamente es posible pensar, estudiar, comprender y explicar la complejidad con la ayuda de las lógicas no-clásicas. Mejor aún, cabe pensar plausiblemente, que el abanico (*cluster*) de las LNCs entran a formar parte de las ciencias de la complejidad; lo cual no es poca cosa¹¹.

El lenguaje de las ciencias de la complejidad está fuertemente permeado por la física, las matemáticas, la biología, la química y las ciencias de la computación, si bien es cierto que existen numerosos conceptos provenientes, cada vez más, de la filosofía y las ciencias sociales y humanas. El diálogo –es una metáfora- entre ciencias de la complejidad y las lógicas no-clásicas permitirá dos cosas: de un lado, la incorporación del lenguaje de las LNCs en el estudio de la complejidad y, de otra parte, el aprendizaje de lenguajes de la complejidad en el ámbito de la lógica en general.

Finalmente, hay que decir que las lógicas no-clásicas también son lógicas formales, y la formalidad hace referencia al rigor –rigor sintáctico, semántico, conceptual-. De forma positiva han llegado a ser reconocidas igualmente como lógicas filosóficas, puesto que los problemas de que se ocupan son esencialmente filosóficos, en el más preciso sentido de la palabra “filosofía”. Esta es, por lo demás, otra de las vinculaciones sólidas con la complejidad. Al fin y al cabo, las ciencias de la complejidad se ha dicho que se ocupan de los problemas filosóficos que la ciencia clásica no vio o no podía o sabía atender. Con lo cual, justamente, se produce un quiebre; para decirlo en términos de Kuhn o de Serres, una revolución, una bifurcación.

Bibliografía

- Alchourrón, C. E., Méndez, J. M., Orayen, R., (Eds.). 1995. *Lógica*. Madrid: Trotta-CSIC
- Aguzzoli, S., Ciabattini, A., Gerla, B., Corrado M., Marra, V., (Eds.). 2007. *Algebraic and Proof-Theoretic Aspects of Non-classical Logics. Papers in Honor of Daniele Mundici on the Occasion of His 60th Birthday*. Springer Verlag
- Arló Acosta, H. 2005. “Non-Adjunctive Inference and Classical Modalities”, en: *Journal of Philosophical Logic* 34: 581-605
- Barry Cooper, S., Löwe, B., Sorbi, A., (Eds.), (2008). *New Computational Paradigms. Changing Conceptions of What is Computable*. New York: Springer Verlag
- Beal, J. C., and Restall, G. 2006. *Logical Pluralism*. Oxford: Clarendon Press
- Bobenrieth, A. 1996. *Inconsistencias ¿Por qué no? Un estudio filosófico sobre la lógica paraconsistente*. Bogotá: Colcultura
- Bochenski, I. M., (1985). *Historia de la lógica formal*. Madrid: Gredos
- Bonnay, D., et Cozic, M., (Textes réunis par), (2009). *Philosophie de la Logique. Conséquence, preuve et vérité*. Paris: J. Vrin
- Calabrese, P. G. 2005. “Toward a More Natural Expression of Quantum Logic with Boolean Fractions”, en: *Journal of Philosophical Logic* 34: 363-401
- Carlson, J., Jaffe, A., and Wiles, A., (Eds.), (2006). *The Millenium Prize Problems*. Providence, RI: American Mathematical Society

¹¹ La *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, con R. A. Meyers como Editorin-Chief, New York, Springer Verlag, 2009, no considera en ninguna parte de los diez tomos y numerosas entradas, no digamos la inclusión de las LNCs en las ciencias de la complejidad, ni tampoco, más moderadamente, la posibilidad de un diálogo abierto, cruzado y mutuamente nutritivo entre complejidad y lógica (= LNCs). He aquí un motivo adicional para el estudio que precede.

- Carnielli, W., Coniglio, M., Gabbay, D. M., Gouveia, P., Sernadas, C. 2008. *Analysis and Synthesis of Logics. How to Cut and Paste Reasoning Systems*. Springer Verlag
- Cook, S., Nguyen, P., (2010). *Logical Foundations of Proof Complexity*. Cambridge: Cambridge University Press
- D'Avila Garcez, A. S., Lamb, L. C., Gabbay, D. M., (2009). *Neural Symbolic Cognitive Reasoning*. Heidelberg: Springer Verlag
- D'Ottaviano, I., (2010). "Non-Classical Logics and Applications", en: Maldonado, C. E., (Ed.), *Fronteras de la ciencia y complejidad*, págs. 79-98
- Engesser, K., Gabbay, D. M., Lehmann, D., (Eds.), (2009). *Handbook of Quantum Logic and Quantum Structures. Quantum Logic*. Elsevier
- Gabbay, D. M., Shetman, V., and Skvortsov, D., (2009). *Quantification in Nonclassical Logic*. Vol. 1. Elsevier
- Gabbay, D. M., and Woods, J., (Eds.). 2007. *Handbook of the History of Logic. Volume 8 The Many Valued and Nonmonotonic Turn in Logic*: Elsevier/North Holland
- Gabbay, D. M., Goncharov, S. S., and Zakharyashev, M., (Eds.), (2006). *Mathematical Problems from Applied Logic I. Logics for the XXIst Century*. New York: Springer Verlag
- Gabbay, D. M., Maksimova, L., (2005). *Interpolation and Definability. Modal and Intuitionistic Logics*. Oxford: Clarendon Press
- Gardies, J.L. 1979. *Lógica del tiempo*. Madrid: Paraninfo
- Garson, J. W. 2006. *Modal Logic for Philosophers*. Cambridge: Cambridge University Press
- Goble, L., (Ed.). 2005. *The Blackwell Guide to Philosophical Logic*. Blackwell Publishing
- Haack, S. 1991. *Filosofía de las lógicas*. Madrid: Cátedra
- Haack, S. 1996. *Deviant Logic, Fuzzy Logic. Beyond the Formalism*. Chicado and London: The University of Chicago Press
- Hanna, R. 2006. *Rationality and Logic*. Cambridge, M. A./London: The MIT Press
- Harel, D., Kozen, D., Tiuryn J., (2000). *Dynamic Logic*. Cambridge, MA and London: The MIT Press
- Hedman, S., (2004). *A First Course in Logic. An Introduction to Model Theory, Proof Theory, Computability, and Complexity*. Oxford: Oxford University Press
- Herrick, P. 2000. *The Many Worlds of Logic*. Harcourt Brace & Co.
- Hintikka, J. 2007. *Socratic Epistemology. Explorations of Knowledge-Seeking by Questioning*. Cambridge: Cambridge University Press
- Hintikka, J., and Sandu, G. 1996. "A Revolution in Logic?", *Nordic Journal of Philosophical Logic*, Vol. 1, No. 2, pp. 169–183
- Huynh, V.-N., Nakamori, Y., Ono, H., Lawry, J., Kreinovich, V., Nguyen, H. T., (Eds.), (2008). *Interval/Probabilistic Uncertainty and Non-classical Logics*. Berlin: Springer Verlag
- Jacquette, D., (Ed.). 2006. *A Companion to Philosophical Logic*. Blackwell Publishing
- Kaye, R., (2007). *The Mathematics of Logic. A Guide to Completeness and their Applications*. Cambridge: Cambridge University Press
- Kneale, W., and Kneale, M., (1984). *The Development of Logic*. Oxford: Clarendon Press
- Kneebon, G. T., (2001). *Mathematical Logic and the Foundations of Mathematics*. New York: Dover
- Kyburg, Jr., H. E., and Teng, Ch. M. 2001. *Uncertain Inference*. Cambridge: Cambridge University Press
- Maldonado, C. E., (Ed.), (2010). *Fronteras de la ciencia y complejidad*. Bogotá: Ed. Universidad del Rosario
- Maldonado, C. E., (2009). "La complejidad es un problema, no una cosmovisión", en: *UCM Revista de Investigación*, No 13, Mayo, págs. 42-54
- Mares, E. D., (2007). *Relevant Logic. A Philosophical Application*. Cambridge: Cambridge University Press
- McNeill, D., and P. Freiberger, (1993). *Fuzzy Logic. The Revolutionary Computer Technology That Is Changing Our World*. New York: Touchstone
- Mitchell, S. 2003. *Biological Complexity and Integrative Pluralism*. Cambridge: Cambridge University
- Nagel, T. 1974. *La lógica sin metafísica*. Madrid: Tecnos
- Nidditch, P. H. 1983. *El desarrollo de la lógica matemática*. Madrid: Cátedra
- Palau, G., (2002). *Introducción filosófica a las lógicas no clásicas*. Buenos Aires: Gedisa-UBA
- Peña, L., (1993). *Introducción a las lógicas no clásicas*. México: UNAM
- Priest, G. 2008. *An Introduction to Non-Classical Logic* (2nd Edition). Cambridge: Cambridge University
- Prior, A. N., (2003). *Papers on Time and Tense*. Oxford: Oxford University Press
- Proudfoot, D. 2006. "Possible Worlds Semantics and Fiction", en: *Journal of Philosophical Logic* 35: 9-40

- Rosenberg, A. L., (2010). *The Pillars of Computation Theory. State, Encoding, Nondeterminism*. New York: Springer Verlag
- Quine, W. V. 1984. *Filosofía de la lógica*. Madrid: Alianza Editorial
- Quine, W. V. 1992. *La búsqueda de la verdad*. Barcelona: Crítica
- Smith, N. J., J. 2004. “Vagueness and Blurry Sets”, en: *Journal of Philosophical Logic* 33: 165-235
- Syropoulos, A., (2008). *Hypercomputation. Computing Beyond the Church-Turing Barrier*. New York: Springer Verlag
- Tarski, A., (1961). *Introduction to Logic and the Methodology of Deductive Sciences*. New York: Dover
- Urquhart, A., (2007). “Metatheory”, en: D. Jaquette, *A Companion to Philosophical Logic*, págs. 307- 318
- Van Benthem, J., (2006). “Open Problems of Logical Dynamics”, en: Gabbay, D. M., Goncharov, S. S., and Zakharyashev, M., (Eds.), (2006). *Mathematical Problems from Applied Logic I. Logics for the XXIst Century*, págs. 137-192
- Van Benthem, J., (2008). “Logical dynamics meets logical pluralism?”, *Australasian Journal of Logic* (6), 182-209
- Van Heijenoort, J., 1967. *From Frege to Gödel. A Source Book in Mathematical Logic, 1879-1931*. Cambridge, MA/London: Harvard University Press
- Weinstein, S., (2007). “Logic in Finite Structures: Definability, Complexity, and Randomness”, in: D. Jaquette, *A Companion to Philosophical Logic*, págs. 332-348
- Wolenski, J., (2007). “Metatheory of Logics and the Characterization Problem”, en: D. Jaquette, *A Companion to Philosophical Logic*, págs. 319-331