

ADIÓS A LA SOLEDAD: MODAS DINÁMICAS EN LA LÓGICA ACTUAL

Farewell to Loneliness: dynamic trends in today's Logic

Johan VAN BENTHEM*

University of Amsterdam & Stanford University, johan@science.uva.nl

BIBLID [(0213-356)8,2006,21-33]

Fecha de aceptación definitiva: 19 de marzo de 2006

RESUMEN

Retornando al modelo dialógico del discurso racional de la antigüedad, describimos a la lógica como el estudio del flujo general de la información: inferencia, observación y comunicación. Mostramos cómo esta perspectiva aúna ideas de la lógica estándar, la filosofía, la lingüística, la informática y la teoría de juegos.

Palabras clave: Lógica dinámica, convesación, comunicación, actualización de la información, computación, juego.

ABSTRACT

Going back to the dialogical model of rational discourse in Antiquity, we describe logic as a study of general information flow: in inference, observation, and communication. We show how this perspective brings together ideas from standard logic, philosophy, linguistics, computer science, and game theory.

Key words: Dynamic logic, Conversation, Communication, Information update, Computation, Game.

* Traducción del inglés a cargo de José Tindón, revisada por Julio Ostalé y María Manzano.

LOS PASOS DE LA DEMOSTRACIÓN LÓGICA

Cuando se trata de lógica, la mayoría de la gente imagina inferencias ineludibles que obligan a todos, poderosos y humildes, a aceptar sus conclusiones. Con frecuencia éstas incluyen implicaciones de la forma «si A , entonces B » o, en notación lógica, una flecha $A \rightarrow B$. Un ejemplo archiconocido es el de la siguiente regla, que se remonta a la antigüedad griega:

Modus Ponens dadas las premisas A y $A \rightarrow B$, concluye B

Además de esta regla, hay otras. Un pariente célebre del Modus Ponens es:

Modus Tollens de $A \rightarrow B$ y $no-B$, se concluye $no-A$

Esta última permite refutar el argumento de un oponente que sostiene A , deduciendo a partir de A un B que es falso. Las inferencias lógicas comportan una serie de pasos que se establecen de modo obligado sobre la información de la que disponemos. Y a pesar de que cada paso por sí mismo pueda resultar trivial e incluso un poco aburrido, la conjunción de todos ellos adquiere la fuerza de un torrente. Este cálculo de enunciados subyace al razonamiento cotidiano. Supongamos que queremos organizar una fiesta, respetando los deseos de todos los asistentes. Sabemos que:

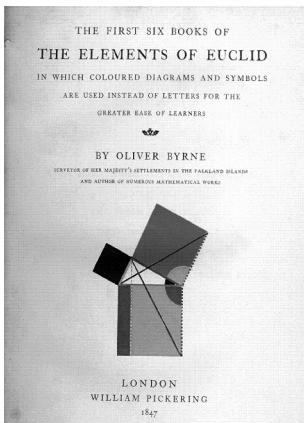
- (a) Juan viene, si María o Ana vienen.
- (b) Ana viene, si María no viene.
- (c) Si Ana viene, Juan no lo hace.

¿Se puede organizar una fiesta que satisfaga a todos? Sí, es posible, veamos los pasos:

Por (c), si Ana viene, Juan no lo hace. Pero por (a), si Ana viene, Juan también. Incurrimos en contradicción, de manera que Ana no viene. Pero a su vez, por (b), María viene. Así que, por (a) de nuevo, Juan debe venir. De hecho, una fiesta {Juan, María} satisface los tres requisitos.

Los modernos demostradores automáticos de teoremas usan millones de pasos similares.

Esta concepción de la lógica centrada en las demostraciones, y su cruzada en búsqueda de la certeza absoluta, está estrechamente ligada a la historia de las matemáticas. Desde la antigüedad el paradigma dominante del razonamiento era el de la demostración matemática en sistemas axiomáticos, como en el caso de *Los elementos* de Euclides. La organización mediante axiomas y demostraciones constituye la columna vertebral de la fundamentación clásica de



las matemáticas, con la que los lógicos han tratado de demostrar que las teorías matemáticas más importantes son consistentes, i.e. no presentan contradicciones demostrables.

FUENTES DIALÉCTICAS DE LA LÓGICA

Pero los orígenes de la lógica son más variados. Otra imagen de la antigüedad es la del debate y la polémica en la polis griega.

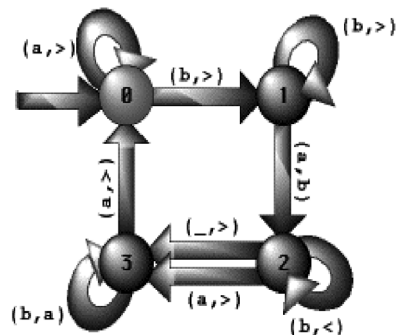
Los estudiantes de filosofía recordarán a los sofistas y la naturaleza dialéctica de los diálogos platónicos, en los que Sócrates acorrala a sus adversarios sirviéndose de argumentos sagaces en momentos clave. El cuadro de Rubens ilustra este tipo de razonamiento (hay cinco filósofos: cuatro vivos, y uno muerto). Según esta concepción la lógica y la argumentación se transmutarían en un *juego*. Los jugadores argumentan unos contra otros, y los debates pueden convertirte en el perdedor de la partida por la sencilla razón de que no supiste ordenar bien tus argumentos.



LÓGICA Y COMPUTACIÓN

Con el transcurso de los siglos, la lógica se asoció también con la computación y las máquinas. La famosa divisa de Leibniz a la hora de mediar en disputas lógicas era «Calcuemus». Las partes en disputa debían codificar sus opiniones divergentes en fórmulas, de modo que la veracidad o falsedad del asunto pudiera establecerse mediante aritmética binaria sobre el código. Obsérvese que de nuevo se reduce el debate multiagente al trabajo aislado de un dispositivo de cálculo. En cualquier caso, las máquinas computadoras han ganado la partida, y los ordenadores digitales actuales son herederos directos de las máquinas de Turing propuestas en los años 30 para analizar el alcance y los límites de la computación matemática.

Curiosamente, uno de los primeros resultados relevantes fue negativo. Algunas preguntas sencillas, tales como si una máquina dada se detendrá con un determinado input, o si nuestro ordenador se «colgará» tras presionar una serie de teclas, se revelaron *indecidibles*. ¡No existe ningún método que garantice una respuesta correcta a estas preguntas!



Los famosos teoremas de incompletud de Gödel son resultados limitativos similares, en este caso sobre el alcance de las demostraciones formales. Pese a ello, la lógica matemática y la informática han prevalecido y se han desarrollado en el siglo XX, proporcionando todo tipo de mecanismos de computación y de prueba que subyacen al revolucionario procesamiento de la información de hoy en día. De hecho, cuando la revista TIME publicó una lista de los «Veinte intelectuales más influyentes del siglo XX», incluía a Turing, Gödel y Wittgenstein, el filósofo más afín a este tipo de planteamientos.

VUELTA A LA CONVERSACIÓN

Y sin embargo, el viejo cuadro dialéctico goza de excelente salud. Extraer conclusiones es sólo uno de los muchos modos de obtener información. ¡También podemos *observar* y con frecuencia *preguntar*! Una pregunta y su respuesta constituyen el modelo más sencillo de un episodio informativo multiagente, y éste también presenta características lógicas. Pensemos en el siguiente acto de habla:

- P** – ¿Este edificio es el Louvre?
R – Sí, lo es.

Repetimos este proceso miles de veces durante nuestras vidas, pero nótese el sutil flujo de información. Habitualmente el agente **P** que pregunta indica que no sabe a ciencia cierta si está contemplando el Louvre o no, pero al mismo tiempo, al dirigirse a **R**, queda implícito que piensa que **R** puede saberlo. Transmitimos información sobre hechos, pero también sobre lo que sabemos acerca de otras personas. Acto seguido, una vez dada la respuesta, **R** no se limita a informar de que se trata del Louvre. Ahora sabe que **P** lo sabe, y **P** sabe *eso*, y así sucesivamente. El término acuñado por filósofos, lingüistas, y estudiosos de la teoría de juegos es el siguiente: **P** y **R** han alcanzado *conocimiento compartido* del hecho Louvre. Si piensas que todo esto no son más que epiciclos, imagina que has descubierto el número secreto de mi cuenta corriente. Si sabes que yo no sé que lo sabes, caerás en la tentación de vaciar mi cuenta; pero si por el contrario sabes que yo sé que tú lo sabes, probablemente te abstengas. Nuestro comportamiento lo gobierna la información que compartimos...

En nuestra vida cotidiana, gestionamos muy bien informaciones complejas y mezcladas.

Los miembros 1, 2, y 3 del jurado deben seleccionar a un candidato entre *A* y *Q*. Escriben su voto en un trozo de papel, y un bedel hace el recuento. El bedel anuncia «No hay unanimidad». Acto seguido 2 enseña su voto a 1 sin que lo vea 3. 1 suspira y sigue sin saber qué candidato fue elegido. ¿Quién conoce el resultado de la votación?

Esta mezcla de afirmaciones, acciones semiocultas y suspiros, basta para 3, pero no para el resto de miembros del tribunal. Tras el recuento de votos, todos

saben que el voto fue AAQ o AQQ . Si 1 y 2 hubiesen votado igual, 1 conocería el resultado tras ver la papeleta de 2. Como no es el caso, el voto de 3 es decisivo. Todos pueden razonar de manera análoga, con lo que 1 y 2 saben que 3 lo sabe.

Este tipo de razonamiento interactivo con fuentes diversificadas es omnipresente, y nos gusta tanto que lo practicamos hasta de noche, participando en juegos de mesa como el «Cluedo», con jugadas complejas. Tales juegos son una mina de oro para recabar información, y un reto lógico.

CONOCIMIENTO Y SISTEMAS MULTIAGENTE

La conversación se aparta de la soledad del demostrador único y se centra en grupos de agentes, como en el caso de la informática moderna. Es fundamental que contemos con información sobre otras personas, y lo que es más importante los grupos cuentan con cierto tipo de conocimiento que no es reductible a lo que los agentes individuales puedan saber. Imaginemos por un instante que un grupo descubre algo nuevo para todos sus miembros a partir de cierta información compartida. La moderna *lógica epistémica* estudia este tipo de fenómenos con enunciados del tipo:

$K_i\phi$ el agente i sabe que ϕ ,

$C_G\phi$ ϕ es conocimiento compartido en el grupo G .

El razonamiento sobre nociones epistémicas resulta ser tan preciso como la lógica matemática, y se conocen sistemas axiomáticos completos. ¡Pero también es necesario estudiar su dinámica!

DINÁMICA DE LA COMUNICACIÓN

El lenguaje natural es de hecho un mecanismo de programación cognitiva. Los sucesivos actos de habla van modificando el estado informativo de todos y cada uno de los emisores y receptores. Podemos modelar todo esto de manera relativamente sencilla. Tomemos de nuevo el rompecabezas de la fiesta. De entrada no había información, y las 8 posibilidades quedaban abiertas:

$\{MAJ, MA-J, M-AJ, M-A-J, -MAJ, -MA-J, -M-AJ, -M-A-J\}$

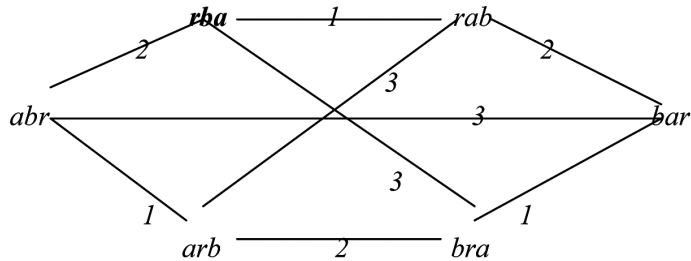
Las tres premisas dadas *actualizan* el estado inicial de información, descartando las opciones que son incompatibles con aquéllas. En pasos sucesivos obtenemos las siguientes reducciones:

(a) $(M \text{ ó } A) \rightarrow J$ nuevo estado $\{MAJ, M-AJ, -MAJ, -M-AJ, -M-A-J\}$

(b) $no-M \rightarrow A$ nuevo estado $\{MAJ, M-AJ, -MAJ\}$

(c) $A \rightarrow no-J$ nuevo estado $\{M-AJ\}$

El mismo mecanismo funciona en contextos multiagente, tales como los *juegos de cartas*. Se reparten las cartas «roja», «blanca» y «azul» entre los jugadores 1, 2, 3, una a cada uno. Cada uno de ellos sólo puede ver su propia carta. La distribución real sobre 1, 2, y 3 es roja, blanca, azul (**rba**). El estado informativo es el siguiente:



En el diagrama las líneas denotan incertidumbre, es decir, qué jugadas consideraran posibles los jugadores. Por ejemplo, la línea 1 trazada entre *rba* y *rab* denota que el jugador 1 no puede distinguir entre estas jugadas, mientras que 2 y 3 sí pueden (cuentan con cartas diferentes). Ahora ocurren los siguientes movimientos:

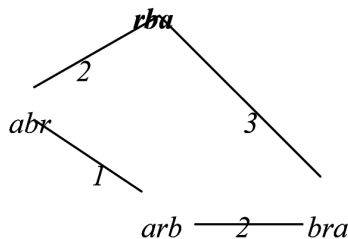
2 le pregunta a 1 «¿Tienes la carta azul?», y 1 contesta la verdad «No».

¿Qué sabe cada uno de ellos? Este es, en palabras, el resultado:

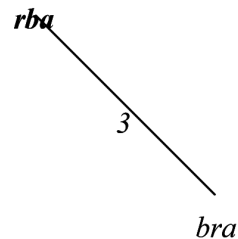
Partiendo de que la pregunta sea necesaria, al hacerla 2 indica que no conoce la respuesta, así que no puede tener la carta azul. Por tanto 1 sabe cuál fue la jugada, pero 3 no lo sabe, pues ya sabía que 2 no tiene la carta azul. Cuando 1 afirma que no tiene la carta azul, 2 conoce la jugada. 3 sigue en la inopia.

Introduciendo las actualizaciones en el diagrama todas estas consideraciones resultan evidentes:

Tras la pregunta de 2:



Tras la respuesta de 1:



Comprobamos de un vistazo que *1* y *2* conocen la jugada, ya que no quedan líneas de incertidumbre, pero *3* sigue sin saberlo. Aun así, sabe que *1* y *2* lo saben –de hecho–, se trata de un conocimiento compartido. Actualmente se analizan de forma similar otros casos de conversaciones, así como muchos juegos y acertijos, incluyendo el «Cluedo».



LÓGICA DE PROGRAMAS

Sin embargo al conversar se emplean muchos más recursos que los enunciados aislados. Si quieres que tu jefe te suba el sueldo, te asegurarás de decir las cosas pertinentes en el orden adecuado. Primero alabarás su capacidad de liderazgo y después pedirás el dinero, nunca al revés. Esto no es más que *composición* de programas. En función de si parece relajado o tenso, usarás un tipo de discurso u otro. Se trata de un caso *IF THEN ELSE* en programación. Y si no funciona a la primera, aplicaremos la estrategia de la adulación de modo sistemático: se trata de la instrucción fundamental *WHILE DO*. Así, las estrategias de conversación implican gran parte de las estructuras secuenciales provenientes de la informática. Se dan incluso construcciones *paralelas* más sofisticadas, como por ejemplo hacer que los estudiantes respondan a las preguntas simultáneamente. No resulta sorprendente, pues, que las *lógicas dinámicas* de programas desarrolladas en informática desde los años 70 hayan sido aplicadas al análisis de la comunicación. Aunque estas lógicas se ocuparan originariamente de programas numéricos y del análisis de su comportamiento, ahora se aplican a todo tipo de acción estructurada en la que exista flujo de información. Este no es más que un ejemplo reciente de cómo las ideas principales de la informática (en vez de algún artilugio tecnológico de sobremesa) permean otras disciplinas académicas.

LÓGICA DINÁMICO-EPISTÉMICA

La combinación de lógica epistémica y dinámica produce unos sistemas lógicos capaces de describir los efectos de las acciones comunicativas mediante enunciados mixtos:

$[!A]K_i\phi$ tras anunciarse públicamente que *A*, el agente *i* sabe que ϕ

A estas alturas, se conocen sistemas axiomáticos que son correctos y completos, así como otros muchos detalles sobre la potencia expresiva y la complejidad de los lenguajes dinámico-epistémicos. A título de ejemplo mostramos los axiomas de un sistema de este tipo, ampliamente usado:

$[!A]p$	\leftrightarrow	$A \rightarrow p$	<i>para hechos atómicos p</i>
$[!A]\neg\phi$	\leftrightarrow	$A \rightarrow \neg[!A]\phi$	
$[!A](\phi \ \& \ \psi)$	\leftrightarrow	$[!A]\phi \ \& \ [!A]\psi$	
$[!A]K_i\phi$	\leftrightarrow	$A \rightarrow K_i[!A]\phi$	
$[!A]C_G\phi$	\leftrightarrow	$C_G(A, [!A]\phi)$	

Estos axiomas analizan los efectos complejos de anunciar públicamente que A en función de otras más simples. Tales sistemas para la descripción del flujo de información multiagente gozan de la misma exactitud y legitimidad que otros anteriormente propuestos. Sirven para resolver un gran número de rompecabezas, como esos de cartas que envían gratis a los teléfonos móviles. Cuando se añaden ciertos axiomas conocidos a las operaciones de programas, se pueden resolver acertijos célebres que nos ha legado la historia:

Tras jugar en la calle, dos de los tres niños tienen la frente manchada de barro. Pueden ver al resto, pero no se ven a sí mismos, con lo que no saben cuál es el estado de sus frentes. Su padre se acerca y les dice: «Al menos uno de vosotros está sucio». A continuación pregunta: «¿Alguien sabe si está sucio?». Los niños contestan honradamente. A medida que las preguntas y las respuestas se suceden, ¿qué ocurrirá?

En general, Para k niños mugrientos, se dan $k-1$ rondas en las que se anuncia ignorancia, tras lo cual la información sobre qué niños están embarrados se convierte en conocimiento compartido.

CORREO ELECTRÓNICO, MENTIRAS Y SUBTERFUGIOS

El acertijo de los niños embarrados incluye anuncios públicos que se profieren abiertamente, pero la comunicación real puede ser mucho más compleja. En el caso del tribunal, por ejemplo, mostrar la papeleta al vecino, por mucho que este gesto se haga en público, proporciona diferente información a los diferentes miembros. Los no contiguos sólo pueden ver *que* han comunicado el voto pero no *cuál* es el voto. Y un paso más allá, con frecuencia se dan auténticos malentendidos. Tomemos el caso de un nuevo medio tan prodigioso como es el *correo electrónico*. Cuando enviamos un mensaje, el botón *cc* permite que el mensaje se convierta en conocimiento compartido en el grupo elegido al hacer que el mensaje sea una declaración pública. Sin embargo, la opción «blind carbon copy» *bcc* permite una mezcla más sutil de información e ignorancia, al enviar el mensaje exclusivamente a un subgrupo sin que los demás lo sepan. En los últimos tiempos se han desarrollado lógicas dinámico-epistémicas extendidas que son capaces de dar cuenta de formas cada vez más complejas de comunicación. También hacen uso de diagramas de información, pero logran hacerlo con mayor atención a los matices; y tales diagramas pueden aumentar su tamaño según se va complicando la situación

descrita. Este suele ser el caso con los juegos, donde las jugadas intermedias son más complejas informativamente que las primeras etapas o el propio desenlace.

Se traspasa un nuevo umbral de complejidad cuando consideramos las *trampas* y las *mentiras*. Muchos padres creen que sus hijos dicen la verdad porque son unos santos, pero lo que ocurre en realidad es que esas complejas habilidades lógico-sociales quedan exclusivamente al alcance de los adultos.

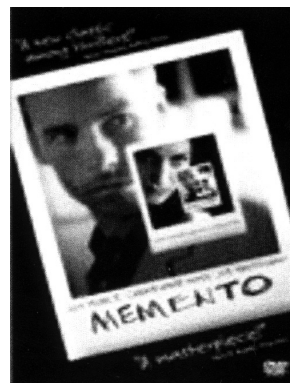
MAYOR COMPLEJIDAD: PLANIFICACIÓN CONVERSACIONAL

Otra fuente de complejidad en estos sistemas lógicos de estrategias conversacionales es la estructura inicial del programa. Cuando pasamos de analizar casos concretos a planificar nuevas afirmaciones capaces de alcanzar una serie de efectos deseables, aparece en escena la complejidad propia de las máquinas de Turing. Se demostró hace unos años que planificar la conversación mediante anuncios públicos y construcción secuencial de programas es una tarea *indecidible* en general. Lo cual no implica que no podamos desarrollarla bien, y de hecho así lo hacemos, pero con frecuencia se requiere creatividad. No existe un método garantizado que te permita conseguir un aumento de sueldo, o que te convierta en un maestro de la conversación.

REVISIÓN DE CREENCIAS

Estas observaciones no agotan la lógica en su versión dinámica y multiagente, son más bien el principio. Más allá de la actualización de información, muchos otros procesos cognitivos juegan un papel importante en la comunicación. Con frecuencia nos sorprenden nuevas observaciones, o nos contradicen otras, y entonces llega el momento de *revisar nuestras creencias*. En todo lo que hacemos, vivimos en una burbuja de expectativas –sobre hechos y sobre personas– que guían nuestra conducta y nuestro razonamiento, los cuales son modificados constantemente para no perder contacto con la realidad. Un buen ejemplo de un caso así con agentes procesadores de información es el siguiente.

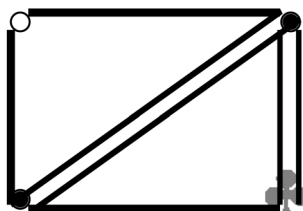
Una característica típica de las sociedades de agentes informadores es su *diversidad*. No todo el mundo posee los mismos conocimientos, o la misma capacidad de procesamiento. Operamos bajo una serie de suposiciones que pueden requerir revisión. La película de culto *Memento* es un buen ejemplo. El protagonista Guy Peirce ha perdido su memoria a largo plazo, lo que le emparenta más con un autómata finito que con una máquina de Turing. Otros agentes malévolos, como Carrie-Ann Moss, descubren esta característica sorprendente y se aprovechan de ella.



JUEGOS Y ESTRATEGIAS

Recientemente se ha desarrollado otra línea de investigación que toma en consideración muy seriamente la interacción entre los diferentes agentes. El modelo paradigmático de las interacciones a largo plazo es el de los *juegos*. Por ejemplo, muchos actos comunicativos nos recuerdan *juegos de conocimiento* de diversa índole. Los juegos tienen mucho que ver con la lógica porque, como ya apuntamos, la argumentación misma es como un juego. Implica una serie de intercambios secuenciales donde las mejores jugadas de cada individuo dependen de las jugadas previas del resto de agentes. Sirva de ejemplo este caso sencillo que ilustra el carácter interactivo de los juegos:

¡Salvar el tesoro! Un arqueólogo americano *A* provisto de un largo látigo desea apoderarse del ídolo de la tribu, y tú debes evitarlo. *A* se encuentra en el punto blanco, en la parte izquierda del siguiente diagrama, y el ídolo en el trébol de la esquina inferior derecha:



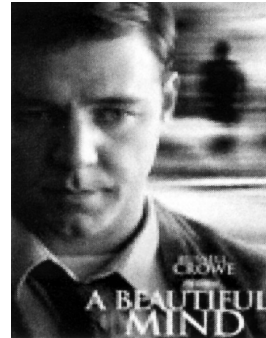
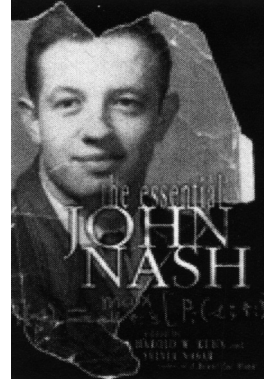
Cada línea es un posible camino y el juego transcurre del siguiente modo. Empiezas por cortar uno de los caminos, el arqueólogo recorre un tramo, y así sucesivamente. ¿Es posible impedir que acceda al ídolo? ¿O será siempre capaz de alcanzarlo?

Tal vez tengas la tentación de bloquear el camino de *A* junto al punto blanco. Pero entonces perderías. Si cortas el camino superior, *A* se moverá al punto negro inferior, obligándote a cortar el camino inferior. Acto seguido se mueve en diagonal hacia la esquina superior derecha y no llegas a tiempo para bloquear los dos caminos descendentes que conducen al ídolo. Y así sucesivamente. Con todo, sí tienes una *estrategia ganadora*, que consiste en cortar primero uno de los caminos de la derecha y después seguir cortando los caminos que conducen al ídolo en función de por dónde decida moverse *A*. Si lo haces correctamente, el tiempo juega a tu favor, y lograrás que nunca acceda al ídolo. (Pero cuídate de su largo látigo...).

La interacción estratégica ha sido el campo preferido de la *teoría de juegos*. De hecho uno de los resultados más antiguos del área es el teorema de Zermelo (1913), que afirma que, en el caso de juegos finitos como los que se describen aquí, uno de los dos jugadores cuenta con una *estrategia ganadora*, i.e. un método que garantiza la victoria sobre al adversario. El propio Zermelo era un apasionado del ajedrez. Para este juego sus análisis muestran que, o bien las blancas cuentan con

una estrategia ganadora, o las negras tiene una estrategia no perdedora. Desgraciadamente, un siglo más tarde seguimos sin saber cuál de las dos es el caso, puesto que el árbol completo de variantes de juego del ajedrez es increíblemente grande. El teorema de Zermelo fue redescubierto por el único campeón mundial de ajedrez originario de mi pequeño país: Max Euwe publicó el mismo resultado en 1929. Pero el auténtico santo patrón de la disciplina es John Nash, cuya trágica vida inspiró la película «Una mente maravillosa».

Claro está que la verdadera teoría de juegos también considera *utilidades*, y calcula los equilibrios estratégicos entre los jugadores que persiguen en cada momento objetivos más matizados que simplemente ganar o perder. Toda esta estructura adicional es relevante para la comprensión de las interacciones multiagente, y los contactos entre disciplinas se amplían. En particular, en los últimos tiempos parte de la atención ha pasado desde los juegos finitos, que modelizan actividades que tienen un final, hasta los *juegos evolutivos* infinitos, que describen comportamientos estables en una comunidad a largo plazo. Tales análisis se aplican a las poblaciones de predadores y presas en biología, pero también a la evolución de las estrategias de cooperación en sociedades humanas. Sin embargo también se aplican con provecho al «sistema operativo» que subyace a nuestra práctica lingüística y lógica. Técnicamente, esta perspectiva temporal a más largo plazo se adapta bien a las lógicas temporales de procesos infinitos en informática, como la semántica de juegos se adapta a la «lógica lineal» contemporánea.



CIENCIA COGNITIVA

Nuestro enfoque de las últimas tendencias ha sido fundamentalmente a priori: matemático, lógico y computacional. Pero ¿qué es lo que la gente hace realmente cuando conversa, se comunica o juega? Al principio de la era fundacional, esta información empírica era considerada irrelevante, y Frege la desdenaba en un tiempo en el que la psicología empezaba a ponerse interesante. A estas alturas el prejuicio de Frege ha quedado superado. Los lógicos empiezan a interesarse por la información que les puede procurar la ciencia cognitiva sobre los comportamientos reales, dado que esta información no será tanto un testimonio de las falacias y locuras humanas como un conjunto sugerente de prácticas estables y efectivas que exigen una explicación.

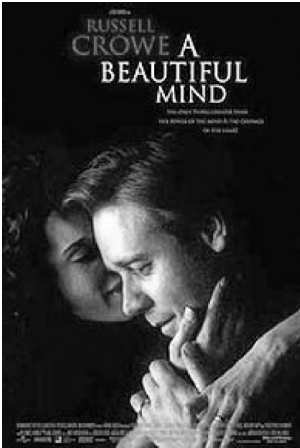
METÁFORAS Y REALIDAD

La investigación lógica moderna adopta la forma de un triángulo, en cuyos vértices se encuentran la *teoría lógica*, la *realidad empírica* de las prácticas habituales de razonamiento y actualización de información, pero curiosamente también un tercero de *diseño de nuevas prácticas*, con frecuencia virtuales, normalmente inspiradas en la computación. Y las ideas fluyen libremente entre estos tres puntos. Por ejemplo nuestras lógicas dinámico-epistémicas sugieren analogías profundas entre *computación* y *conversación*. Bajo esta nueva luz, el resultado antes mencionado sobre la indecidibilidad de la planificación conversacional diría así:

La capacidad de computación de grupos de agentes equivale al de las máquinas universales.

Los cuatro filósofos del cuadro de Rubens rivalizan con la máquina de Turing que postulamos anteriormente. Una vez reconocido este hecho, verás los cafés atestados de París con otros ojos...

Pero estas metáforas no se limitan a reinterpretar la realidad, también pueden cambiarla y enriquecerla. El *correo electrónico* fue en su inicio una nueva y fascinante práctica social engendrada por la informática. Un programa de investigación más ambicioso es el denominado *software social*: el diseño de nuevas prácticas sociales con la metodología lógico-computacional. Esto requiere comprender los algoritmos bajo incertidumbre como los que describimos anteriormente. Que estas prácticas nuevas y osadas calen o no, depende de nuevo de los científicos cognitivos.



Este es un bonito ejemplo de la interacción entre la realidad virtual y la realidad de siempre. Sylvia Nazar cuenta que a John Nash le gustó de verdad la película «Una mente maravillosa». Cuando volvió a casarse con su mujer Alicia hace unos años, se las arregló para besarla varias veces en el momento culminante de la ceremonia. Al ser preguntado por qué lo hizo, él contestó: «Estoy convencido de que Russell Crowe también repitió la toma varias veces con Jennifer Conolly». Quien antes fuera el solitario Nash se había convertido en un sistema multiagente:

DE FUNDAMENTOS SEGUROS A LA REPARACIÓN DINÁMICA

Ha llegado el momento de cerrar el círculo de nuestra presentación. La lógica moderna empezó su andadura a la búsqueda de la certeza absoluta, y de una fundamentación segura para las matemáticas. A estas alturas queda claro que no existe

dicha fundamentación. La verdadera estabilidad y el éxito de nuestras prácticas cognitivas tiene que ver con la manera interactiva y dinámica con la que procesamos la información, y con la capacidad de nuestros mecanismos adaptativos para corregir aquellas creencias que se vuelven problemáticas. Así, la lógica no es el guardián de nuestra seguridad eterna en un mundo del que se han barrido las contradicciones. La lógica es más bien el dinámico *sistema inmunológico de la mente*.

BIBLIOGRAFÍA

Hay una floreciente actividad en la frontera entre la lógica, la lingüística, la informática, la inteligencia artificial y la teoría de juegos, con múltiples conferencias como LICS, CSL, TARK, JELIA, LOFT, y desde hace 15 años la escuela de verano europea ESSLI (<http://www.folli.org>). Estas son algunas publicaciones que suponen una introducción al área:

- BALTAG, A. MOSS L. & SOLECKI, S., «The Logic of Public Announcements, Common Knowledge and Private Suspensions», *Proceedings TARK 1998*, 43-56, Los Altos, Morgan Kaufmann Publishers, 1998. Many updated versions.
- VAN BENTHEM, J., *Exploring Logical Dynamics*, Stanford, CSLI Publications, 1996.
- «Open Problems in Game Logics», *ILLC Amsterdam, to appear*, «Games, Logic, and Computation». Available on the general games, logic, and computation website: <http://www.ilic.uva.nl/lgc>, 2005.
- VAN DITMARSCH, H. VAN DER HOEK, W. & KOOI, B. to appear, *Dynamic Epistemic Logic*, Kluwer-Springer Academic Publishers, Dordrecht.
- FAGIN, R. HALPERN, J. y MOSES & VARDI, M., *Reasoning about Knowledge*, 1995, The MIT Press, Cambridge (Mass.)
- GÄRDENFORS P. & ROTT, H., «Belief Revision», in GABBAY, D. M.; HOGGER, C. J. & ROBINSON, J. A. (eds.), *Handbook of Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming 4*, Oxford, Oxford University Press, 1995.
- VAN DER HOEK W. & PAULY, M., «Modal Logic and Game Theory», to appear in BLACKBURN, P. VAN BENTHEM J. & WOLTER, F. (eds.), *Handbook of Modal Logic*, Amsterdam, Elsevier, 2005.
- MUSKENS, R. VAN BENTHEM J. & VISSER, A., «Dynamics», a chapter in VAN BENTHEM J. & TER MEULEN, A. (eds.), *Handbook of Logic and Language*, Amsterdam, Elsevier Science Publishers, 1997, 587-648.
- OSBORNE M. & RUBINSTEIN, A., *A Course in Game Theory*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, 1994.
- STALNAKER, R., «Extensive and Strategic Form: Games and Models for Games», *Research in Economics* 53:2 (1999), 93-291.