

Kowalski, R. (2011) La lógica computacional y el pensamiento humano: cómo ser artificialmente inteligente



El cambiante mundo

He propuesto que el propósito de la lógica sea el de ayudar a la gente a sobrevivir y prosperar en el mundo. La lógica favorece tal tarea al proveer al agente con un medio para construir representaciones simbólicas del mundo y con un medio para procesar esas representaciones y razonar acerca del mundo. Podemos imaginar esta relación entre lógica y el mundo de la siguiente manera:



Sin embargo, aún no hemos considerado la naturaleza de esta relación en detalle. En particular, hemos obviado cualquier consideración acerca de la forma en que las representaciones lógicas se conectan con la estructura del mundo.

Cabrían dos tipos de consideraciones:Cuál es la relación entre la lógica y los estados estáticos del mundo y cuál es la relación entre la lógica y el cambio. Vamos a enfrentar esas consideraciones a continuación:

Las Estructuras del Mundo (o del Universo)

La relación entre la lógica y el mundo puede ser vista desde dos puntos de vista. Desde el punto de vista del mundo, las oraciones de la lógica representan ciertas características de ese mundo. Desde la perspectiva de la lógica, el mundo le otorga su significado a las oraciones. Este segundo punto de vista es conocido también como “**semántica**”.

Aún cuando un agente real sólo debe preocuparse por el mundo real, es conveniente considerar otros mundos posibles, incluso mundos imaginarios y artificiales, como el mundo en la historia de la zorra y el cuervo. Ambos tipos de mundo, tanto el real como los posibles, pueden ser entendidos como **Estructuras del Mundo**. Una **estructura del mundo** es simplemente una colección de **individuos** y de **relaciones** entre ellos. Las relaciones son también denominadas “**hechos**”. En la lógica tradicional, “las

estructuras del mundo” son normalmente conocidas como “interpretaciones”, “modelos” o, en otras ocasiones, “mundos posibles”. Por simplicidad, las propiedades de los individuos son consideradas como relaciones.

La lógica tradicional tiene una semántica muy simple, en la que tan sólo se debe establecer si las oraciones son o no son **verdaderas** o **falsas** en la estructura del mundo.

Las oraciones que son verdaderas son, normalmente, más útiles para el agente que las oraciones que son falsas.

Una estructura del mundo generalmente se corresponde con un sólo estado, estático, del mundo. Por ejemplo:

En la historia de la Zorra y el Cuervo, la Zorra, el Cuervo, el queso, el árbol, el área del suelo bajo el árbol y el espacio entre el Cuervo y el suelo son todos individuos; por otro lado, algo **que (sos)tiene** algo es una relación entre dos individuos.

La oración “El Cuervo tiene el queso” es cierta en la estructura del mundo al comienzo de la historia y falsa en la estructura del mundo al final de la historia.

Una **oración atómica** es cierta en una estructura del mundo si la relación que expresa se cumple en la estructura del mundo. De lo contrario es falsa.

La forma más simple de representar la estructura del mundo en términos lógicos es representarla como un conjunto de oraciones atómicas que son ciertas en la estructura – en este ejemplo, podríamos representar la estructura del mundo al

comienzo de la historia con las siguientes oraciones atómicas:

El cuervo tiene el queso.

El cuervo está en el árbol.

El árbol está suspendido en el aire.

El aire está arriba del suelo.

El árbol está arriba del suelo.

La zorra está en el suelo.

La diferencia entre esas oraciones atómicas y la estructura del mundo que ellos representan es que en la estructura del mundo, los individuos y las relaciones entre ellos tienen una especie de existencia que es independiente del lenguaje. Las oraciones atómicas son, por otro lado, meras expresiones simbólicas que representan tales relaciones externas. En particular, frases como “el Cuervo”, “el queso”, “el árbol”, etc son **nombres** de individuos y “tiene”, “está en”, etc son **nombres** de relaciones entre individuos.

El atractivo de la lógica como representación del mundo proviene, esencialmente, de su habilidad para representar regularidades entre las estructuras del mundo por medio de oraciones no-atómicas. Por ejemplo, en el ejemplo anterior:

Un objeto está sobre otro

si El primer objeto está arriba de un tercer objeto

y el tercer objeto está arriba del segundo.

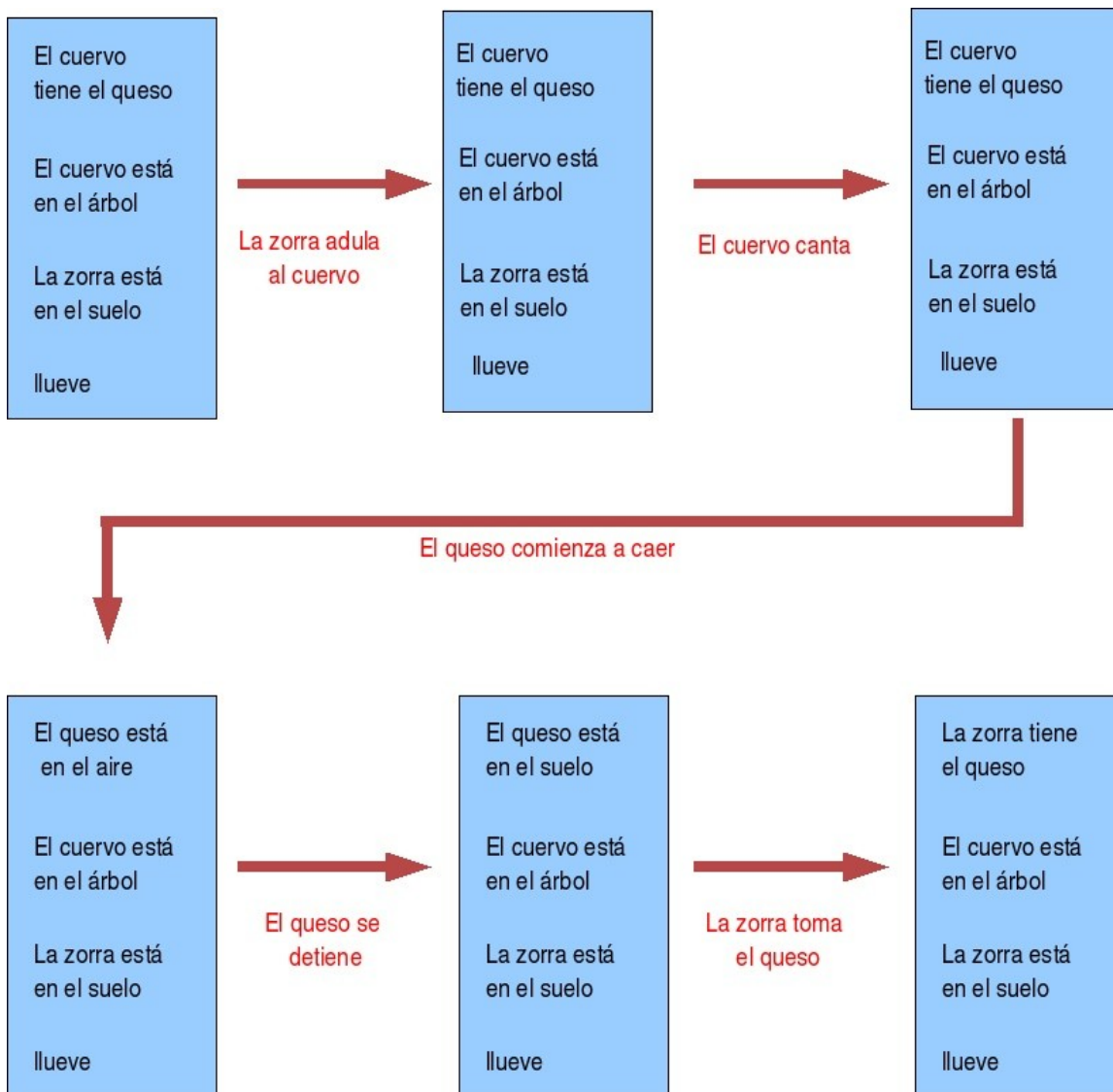
El valor de verdad de las **oraciones no-atómicas** se define a partir de los valores de verdad de oraciones más simples – por ejemplo, por medio de “**meta-oraciones**” como:

Una oración con la forma “conclusión si condiciones” es cierta
si “condiciones” es cierta y “conclusión” es cierta
o “condiciones” no es cierta.

Una oración de la forma “todo tiene propiedad P” es cierta
si para cada cosa P en el mundo, “T tiene propiedad P” es cierta.

Estructuras del Mundo Dinámicas

Las estructuras del mundo en la lógica tradicional son estáticas, puesto que representan un sólo estado (**estático**) del mundo. Una forma natural de entender el cambio es ver las acciones y otros eventos como los causantes del cambio de estado de una estructura estática del mundo a otra. Por ejemplo:



Esta visión del cambio es la base de la semántica de la lógica modal.

En la lógica modal, las oraciones reciben un valor de verdad relativo a una estructura estática del mundo, imbuida en una colección de estructuras del mundo conectadas por eventos

que transforman el mundo. Las expresiones tales como “en el pasado”, “en el futuro”, “después”, “desde” y “hasta” son tratadas como **operadores modales**, que se convierten así en conectores lógicos como “y”, “o”, “si”, “no” y “todos”. Los valores de verdad de las oraciones que contienen tales operadores modales se obtienen a partir de los valores de verdad de las oraciones más simples – Por ejemplo, por medio de meta-oraciones tales como:

Una oración con la forma “en el futuro P” es
cierta en una estructura del mundo S
si hay una estructura del mundo S'
que puede ser alcanzada desde S a
través de una secuencia de eventos
que transforman los estados intermedios
y la oración “P” es cierta en S'.

Por ejemplo, en la lógica modal, es posible escribir la oración:

“En el futuro el cuervo tiene el queso.”

Esta oración es cierta en la estructura del mundo al principio de la historia y falsa en la estructura del mundo al final de la historia (suponiendo que el mundo se acaba luego de que la Zorra toma el queso).

Un objeción contra la lógica modal es que su semántica, basada en la validez de oraciones sobre una estructura del mundo en una colección de estructuras del mundo conectadas por eventos que transforman estados, es demasiado complicada. Una alternativa, que resuelve la

objeción, es simplificar la semántica e incrementar el poder expresivo del lenguaje lógico tratando los estados del mundo como individuos. Tratar algo como un individuo, como si existiera, es **reificarlo** (NT: cosificarlo, hacerlo cosa) y el proceso correspondiente es llamado **reificación**.

La ventaja de la reificación es que nos hace más fácil el hablar de las cosas (N.T. Es decir, tendremos cosas de qué hablar). La desventaja es que parece molestar mucho a algunas personas. Parece estar bien eso de hablar de objetos materiales como la zorra, el cuervo y el queso, como individuos. Pero les parece más difícil el hablar acerca de estados del mundo y otros objetos abstractos como si ellos también fuesen individuos comunes.

El cálculo de situaciones

El cálculo de situaciones^[1], que fuera desarrollado por McCarthy y Hayes en la Inteligencia Artificial, comparte con la lógica modal el mismo método de ver el cambio como la transformación de un estado del mundo en otro pero, a diferencia de esa lógica, el cálculo reifica los estados como individuos. Como consecuencia, las estructuras del mundo son dinámicas, puesto que incluyen las transiciones de estado como relaciones entre estados.

Por ejemplo, con el cálculo de situaciones, en la historia de la Zorra y el Cuervo, hay una sola estructura del mundo que contiene, además de los individuos ordinarios, individuos que son estados globales. Es posible expresar tales oraciones así:

“El cuervo tiene el queso en el estado al principio de la historia”.

“El cuervo tiene el queso en el estado que es luego de que la zorra toma el queso, que es luego de que el queso termina de caer, que es

luego de que el queso comienza a caer, que es

luego de que el cuervo cante, que es

luego de que la zorra adula al cuervo, que es luego del estado inicial de la historia”.

La primera de estas dos oraciones es cierta y la segunda es falsa en la estructura del mundo del cálculo de situaciones para nuestro ejemplo de la historia de la Zorra y el Cuervo.

Reificar los estados del mundo como individuos hace posible representar y razonar acerca de los efectos de las acciones en los estados. Si además reificamos los “hechos”, entonces esta representación puede ser formulada como dos axiomas en el cálculo de situaciones:

Un hecho se cumple en el estado que es luego de una acción

si el hecho es iniciado por la acción

y la acción es posible en el estado antes de la acción.

Un hecho se cumple en el estado que es luego de una acción

si el estado se cumplía en el estado del mundo que es antes de la acción
y la acción es posible en el estado antes de la acción
y el hecho no es terminado por la acción.

Nuestra versión original de la historia de la Zorra y el Cuervo puede ser reformulada para el cálculo de situaciones así (luego de simplificar el primer axioma y particularizarlo para este caso especial):

Un animal tiene un objeto en el estado del mundo que es luego de que animal tome el objeto

si el animal está cerca del objeto

en el estado del mundo que es antes de que el animal tome el objeto

Estoy cerca del queso en el estado del mundo que es luego de que el cuervo canta

**si el cuervo tiene el queso
en el estado del mundo que es antes de que el cuervo canta**

El cuervo canta en el estado de el mundo que es después de que yo adule al cuervo.

En teoría, un agente, tal como la Zorra, podría incluir tales axiomas entre sus creencias, para planificar sus acciones, inferir sus consecuencias e inferir las consecuencias de las acciones de otros agentes. En la práctica, sin embargo, el uso del segundo axioma (llamado el “**axioma marco**”), para razonar acerca de los hechos que no son afectados por las acciones, es explosivo computacionalmente. Este problema, conocido como el “**problema del marco**” (*The frame problem*) es, con mucha frecuencia, considerado como un problema inherente al uso de la lógica para razonar acerca del cambio.

Podemos decir que no es la lógica la fuente del problema, sino la visión del cambio plasmada en el cálculo de situaciones, que comparte con la lógica modal y que resulta demasiado global. Cada acción, sin importar que tal aislada sea su ocurrencia, se considera que cambia el estado de todo el mundo. Peor que eso, para razonar acerca del estado del mundo luego de realizar una secuencia de acciones, es necesario conocer todas las otras acciones que ocurren en todo el mundo en el intermedio.

Así, para razonar acerca del estado del mundo que es luego de que la zorra adula al cuervo, el cuervo canta, el queso cae y la zorra toma el queso, es necesario conocer y razonar acerca de todo lo que ha ocurrido en todas partes del mundo entre el inicio y en fin de la historia. Este ejercicio de pensamiento no es muy difícil en el mundo imaginario de la zorra y el cuervo, pero es prácticamente imposible para un agente real que vive en el mundo real.

Una visión del cambio orientada a los eventos

Una alternativa es abandonar la visión de que las acciones transforman estados globales del mundo, reemplazándola con la visión de que las acciones y otros eventos pueden ocurrir, incluso simultáneamente, en diferentes partes del mundo, en forma independiente y sin afectar otras partes del mundo. En este método, el foco está sobre la ocurrencia de los eventos y en el efecto de los eventos sobre los estados de cosas locales.

Los **eventos** se dice que incluyen tanto acciones ordinarias (que son realizadas por agentes) como otro tipo de eventos (como el aterrizar del queso en el suelo) que pueden ser entendidos metafóricamente como acciones realizadas por objetos inanimados.

Por simplicidad, asumimos que los eventos ocurren simultáneamente. Para ello, un evento con duración puede ser descompuesto en un evento instantáneo que lo comienza, seguido por un estado de cambio continuo, seguido de por otro evento instantáneo que lo termina.

Así, la caída del queso al suelo puede ser descompuesta en el evento en el que el queso comienza a caer, que inicia el estado durante el cual el queso está cayendo, que es terminado por el evento instantáneo en el que el queso aterriza en el suelo.

Los eventos inician y terminan relaciones entre individuos. Estas relaciones, junto con los periodos para los que se cumplen, pueden ser considerados como estados locales.

Podemos ilustrar tal estado local y los eventos que lo inician y terminan así:



En el cuento de la Zorra y el Cuervo, podemos ilustrar el efecto de los eventos sobre el estado del queso así:



Un cálculo de eventos simplificado

Aún cuando podemos representar las estructuras del mundo con oraciones atómicas, la lógica nos permite hacerlo en forma todavía más compacta por medio de oraciones no-atómicas. En particular, podemos obtener información

acerca de estados locales a partir de información acerca de la ocurrencia de eventos, por medio del siguiente axioma el cálculo de eventos[2]:

Un hecho se cumple en un momento
si un evento ocurrió antes
y ese evento inició el hecho
y no hay otro evento
que ocurra luego del evento iniciador, antes
del momento y
que termine el hecho.

Puesto que este axioma usa información acerca de la ocurrencia de eventos para “calcular” información acerca de estados locales, le llamamos el “**cálculo de eventos**”.

El cálculo de eventos puede ser usado por un agente, al igual que el cálculo de situaciones, para planificar sus acciones, inferir sus consecuencias e inferir las consecuencias de las acciones de otros agentes. Puesto que requiere solamente conocimiento local sobre el efecto de las acciones, es potencialmente más práctico que el cálculo de situaciones.

Para aplicar el cálculo de eventos, en la práctica, necesitamos aumentarlo con otros axiomas que definan la iniciación, terminación y el orden temporal de las cosas y eventos. En el caso del cambio de ubicación del queso en la historia de la Zorra y el Cuervo, necesitamos información acerca de eventos que efecten esa ubicación – por ejemplo:

El queso cae en el momento 3.

El queso aterriza en el momento 5.

La zorra toma el queso en el momento 8.

Necesitamos saber cuáles estados son iniciados y terminados por esos eventos:

La caída de un objeto inicia el hecho de que un objeto está suspendido en el aire.

El aterrizaje de un objeto inicia el hecho de que el objeto está en el suelo.

El que el agente tome un objeto inicia el hecho de que el agente tenga el objeto.

Necesitamos también alguna explicación del hecho de que el cuervo tiene el queso al comienzo de la historia. Esto se puede obtener, por ejemplo, suponiendo un evento adicional, tal como:

El cuervo toma el queso en el momento 0.

Finalmente, necesitamos establecer las relaciones temporales entre momentos y eventos. Puesto que, en este ejemplo, hemos usado convenientemente números para referirnos a los momentos, podemos establecer esas relaciones con aritmética simple. Sin embargo, debido a que el axioma de cálculo de eventos es muy vago acerca del tiempo, podemos usar cualquier sistema para medirlo (al tiempo), siempre que podamos precisar cuando es que un evento ocurre antes que otro y cuando un momento es después de cierto evento. El que usemos números, fechas o cantidades horarias no tiene mayor importancia.

Registrando el tiempo

Lo importante es registrar el tiempo para garantizar que Ud hace lo que debe hacer antes de que sea muy tarde. Así, si Ud está hambriento, entonces necesita conseguir comida y comerla antes de se desmaye por falta de energía. Si un vehículo se dirige hacia Ud, entonces Ud debe apartarse antes de que lo arrolle. Si Ud tiene una cita a las 9:00 en el trabajo, entonces Ud debe levantarse, lavarse, comer, vestirse, viajar al sitio y llegar antes de las 9:00.

Para hacer todo a tiempo, necesita alguna clase de reloj interno, tanto para marcar los eventos observados externamente, como para comparar el tiempo actual con los tiempos prefijados para cualquier acción en el futuro derivada por su pensar. Esto implica más complicaciones del ciclo del agente:

Para ciclar,

observe el mundo, registre cualquier observación junto con su momento de observación

piense,

decida que acciones realizar, escogiendo sólo acciones que no han excedido su límite.

actúe, cicle de nuEvo.

Considere, por ejemplo, el problema de la Zorra cuando le

da hambre. Cuando su cuerpo le avisa que está hambrienta, debe estimar cuanto tiempo pasará sin comer y derivar las metas de conseguir comida y comerla antes de que sea muy tarde. Una forma de hacer esto es por medio de una meta de mantenimiento, con una representación explícita del tiempo:

Si Yo estoy hambriento en T_{hambre}
y Yo me desmayaré a las T_{colapso} **si Yo no como.**
entonces Yo ob-tengo comida en T_{comida}
y Yo como la comida a las T_{comida}
y T_{comida} **es posterior a T_{hambre} pero anterior a T_{colapso} .**

También necesita lidiar con cualquier ataque de algún cazador local:

Si unos cazadores me atacan en el momento T_{ataque}
y **Me atraparían a las T_{atrapan} si Yo no huyo**
entonces Yo huyo de los cazadores a las T_{huida}
y T_{huida} **es posterior a T_{ataque} pero anterior a T_{atrapan} .**

Suponga que la zorra está hambrienta y siendo atacada por

el cazador al mismo tiempo. Entonces la zorra necesita hacer algunos cálculos mentales rápidos, para estimar cuanto tiempo tiene para encontrar comida y cuanto para huir del cazador. Necesita calcular la probabilidad y las utilidades de dos acciones diferentes, y programarlas para maximar su utilidad esperada global. Si la zorra ha hecho sus cuentas bien y tiene la fortuna de su lado, tendrá suficiente tiempo para satisfacer su hambre y escapar del cazador. De lo contrario morirá, bien de hambre o bien por culpa del cazador.

Un crítico, sin embargo, podría objetar que este tipo de razonamiento es un ideal normativo, más apropiado para un robot que para un ser biológico inteligente. Una persona común, en particular, simplemente le daría mayor prioridad a escapar del ataque que a satisfacer su hambre. Las reglas de mantenimiento de la persona sería “reglas heurísticas” que se parecerían a:

Si Yo estoy hambriento en el momento
T_{hambre}
entonces Yo ob-tengo comida en el tiempo
T_{comida}
y Yo como la comida en el tiempo
T_{comida}
y **T_{comida}** es tan pronto como se
puede luego de **T_{hambre}**.

Si alguien me ataca a las **T_{ataque}**
entonces Yo huyo de los atacantes a las
T_{huida}

y T_{huida} es inmediatamente después
de T_{ataque} .

De esta forma, suponiendo que Ud es la persona hambrienta y atacada al mismo tiempo, digamos en el momento 1, sus metas lucirían así:

Yo ob-tengo comida en el tiempo T_{comida}
y Yo como la comida en el tiempo T_{comida}
y Yo huyo de los atacantes a las T_{huida}
y T_{huida} es inmediatamente después de 1
.
y T_{comida} es tan pronto como se puede
luego de 1 .

Entonces será fácil para Ud decidir, no sólo que T_{huida} debe ser antes que T_{comida} sino que T_{huida} debe ser el siguiente momento inmediato.

Sería lo mismo si Ud es atacado luego de darle hambre, pero antes de que pudiera conseguir comida. Huiría inmediatamente y volvería a buscar comida luego si ha logrado escapar del ataque.

Las reglas heurísticas dan un resultado rápido y fácil, que no siempre es óptimo. Si Ud estuviera huyendo de un ataque y notara una pieza de queso en el suelo, un cálculo normativo podría decirle que tiene suficiente tiempo para recoger el queso y para continuar su escape. Pero las reglas

heurísticas, que están diseñadas para lidiar con los casos más comunes, probablemente no reconozcan esa posibilidad.

La relación entre cálculos normativos y reglas heurísticas es la misma que la relación entre pensamiento racional y pensamiento intuitivo que se discutió en el capítulo sobre niveles de conciencia.

Conclusión

El mundo es un lugar difícil que no se queda quieto. En el momento en el que Ud termina de entender un problema, surge otro que es todavía más urgente. Le marea y le mantiene en puntillas (o de puntitas).

Hacemos lo mejor que podemos para lidiar con el mundo formando representaciones mentales. Pero no nos lo pone fácil. Borra el pasado y esconde el futuro, mostrando apenas lo que es ahora y aquí.

En la lucha por sobrevivir y prosperar, usamos nuestra memoria de las observaciones pasadas para generar creencias hipotéticas, explicar el pasado y precedir el futuro. Comparamos esas predicciones con la realidad y revisamos nuestras creencias como haga falta y si hace falta. Este proceso de formar hipótesis y revisar las creencias ocurre aparte del ciclo del agente, en momentos en el que el mundo desacelera lo suficiente como para que tomemos aliento. Este es uno de los temas principales que tenemos

pendiente todavía para discutir en el resto del libro.

Ultima modificación: Julio 2018

[1] **situación** es simplemente otro nombre para estado global. .

[2] Es conveniente adoptar la convención de que un hecho se cumple justo en el momento luego de que ocurre un evento que lo inicie, pero no en el momento del evento que lo termina.