

DISEÑO DE LA LÓGICA SUBYACENTE PARA UN SISTEMA DE DIÁLOGO QUE GESTIONE INFORMACIÓN INCOMPLETA

Francisco José Salguero-Lamillar
Universidad de Sevilla

RESUMEN

En un Sistema de Diálogo es más complejo programar los módulos de comprensión semántica que los de generación. Esto se debe a que los agentes humanos no siempre actuamos de forma racional en la interacción comunicativa, no obtenemos todas las inferencias posibles de nuestro conocimiento actual ni ofrecemos al sistema todos los datos relevantes de forma explícita. A partir de la interacción comunicativa con un agente humano, el sistema debe realizar una serie de inferencias para completar la información dada y gestionar las intenciones comunicativas del interlocutor. La lógica subyacente necesaria debe ser una lógica modal que contemple distintos operadores modales, incluyendo una lógica epistémica dinámica y reglas abductivas que permitan contextualizar adecuadamente la información dada.

Palabras clave: Sistemas de Diálogo, información incompleta, contextualización, lógica epistémica, abducción

ABSTRACT

In a Dialog System it is more complex to program the language understanding module than the generation module. The reason is human agents do not always act rationally in communicative interaction, they do not obtain all possible inferences from their current knowledge, nor do they explicitly offer the system all the relevant data. Departing from the communicative interaction with a human agent, the system must make a series of inferences to complete the given information and manage the communicative intentions of its interlocutor. The necessary underlying logic must be a modal logic that contemplates different modal operators, including a Dynamic Epistemic Logic and abductive rules that allow to adequately contextualize the given information.

Keywords: Dialogue Systems, incomplete information, contextualization, epistemic logic, abduction

1. CONTEXTUALIZACIÓN

La interpretación de un fragmento de discurso puede concebirse como un proceso en el que el significado de cada expresión se interpreta como un *programa cognitivo* que cambia los estados de información accesibles al destinatario a medida que le llega la información. En el caso del diálogo es aún más evidente que el paso de un estado de información a otro debe regirse por reglas que definan procesos inferenciales en una lógica del conocimiento (lógica epistémica) capaz de describir a la vez las propiedades de los distintos estados de conocimiento de los agentes involucrados y las reglas de paso de un estado a otro (cambios, procesos y resultados).

Así, la interpretación de un enunciado se convierte en la búsqueda de la mejor explicación que lo haga verdadero o compatible con la información previa que conoce el agente. De esta manera se relaciona una teoría abductiva con una lógica epistémica en la que los mundos posibles considerados van a ser los sucesivos estados de conocimiento que pueden describirse a medida que avanzan el discurso o el diálogo.

En el caso concreto del diálogo, este puede concebirse como un proceso de razonamiento abductivo en el que los participantes deben construir una teoría que haga coherentes las preferencias actuales con las anteriores y con los estados cognitivos propios, así como con los que se atribuyen mutuamente los agentes epistémicos que intervienen. Imaginemos el siguiente diálogo entre dos agentes epistémicos:

—Ag₁: Me gustaría reservar vuelo y hotel en París para la próxima semana.

—Ag₂: Tenemos una gran variedad de ofertas.

—Ag₁: ¿Puede decirme cuáles son?

—Ag₂: ¿Desea un hotel céntrico o en las afueras?

—Ag₁: Cerca de Disneyland París, por favor

—Ag₂: Entonces podemos ofrecerle el vuelo y la estancia en el hotel de Disneyland París, que incluye la visita al parque temático y a los principales monumentos de la ciudad.

—Ag₁: Está bien. Deme precios.

Cada intervención puede interpretarse como una respuesta a la intervención anterior, independientemente de que las preferencias sean preguntas¹ o enunciados asertóricos, sin modalidad o modalizados –lo que incluye enunciados epistémicos, desiderativos, optativos, imperativos, etc.

Asimismo, cada intervención es analizable como una declaración de un estado mental, como un *anuncio público* que modifica la interpretación de los estados mentales anteriores y opera sobre los estados mentales posteriores de todos los participantes en el diálogo.

Debemos, por tanto, tratar el diálogo como un proceso inferencial dinámico en el que se ven involucrados, a la vez, razonamientos de carácter abductivo y epistémico, lo que supone definir una lógica epistémica dinámica abductiva.

El lenguaje elegido es el que formaliza la Lógica Epistémica Dinámica – DEL, por sus siglas en inglés– pues permite la elaboración de un cálculo de evidencias y razones, un cálculo de anuncios públicos aplicable al diálogo y un cálculo de actualización de información y revisión de creencias. El propósito es explorar la relación de estos cálculos con los sistemas de razonamiento sobre agentes racionales no omniscientes y sobre protocolos en sistemas multiagente y extender DEL a la lógica de la abducción mediante la revisión del modelo clásico de la abducción (Nepomuceno et al., 2017) y el desarrollo de nuevas técnicas abductivas, así como aplicar esta extensión en sistemas de diálogo.

¹En el caso concreto de las preguntas, tanto en aquellas que requieren una respuesta de tipo sí/no (interrogativas totales) como en las cuestiones-Q (interrogativas parciales), la respuesta puede ser generada por un proceso abductivo en el que la información de dicha respuesta es una explicación de la pregunta. El caso extremo serían las preguntas sobre el porqué, en las que la respuesta es clara y necesariamente una explicación de la pregunta.

2. LÓGICA EPISTÉMICA DINÁMICA

La forma más básica de DEL es la de una lógica proposicional de anuncios públicos, cuyo lenguaje viene dado por la siguiente regla de buena formación:

$$\Phi ::= \perp \mid p \mid \neg \chi \mid \chi \rightarrow \psi \mid K_a \chi \mid [\chi] \psi$$

donde \perp es una constante proposicional (lo falso), p es una variable proposicional, $K_a \chi$ significa que el agente epistémico a sabe que χ , mientras que $[\chi] \psi$ expresa que tras el anuncio público de χ la proposición ψ es válida. El uso de las demás conectivas lógicas y operadores epistémicos es definible a partir de estos.²

Siguiendo a Hans van Ditmarsch et al. (2008), adoptaremos *modelos de Kripke* para la semántica de DEL, en los que los mundos posibles se corresponden con descripciones de estados mentales que se completan con una relación de accesibilidad definida para cada agente epistémico que interviene en el discurso o el diálogo, y una función de interpretación que asigna valores de verdad a las proposiciones en cada estado mental:

$$M = \langle S, R, V \rangle$$

donde S es un conjunto de estados, R es una función que establece para cada agente $a \in A$ una relación de accesibilidad entre estados tal que $R_a \subseteq S \times S$, y V es una función de valoración de las proposiciones del lenguaje tal que, para toda proposición $p \in P$, $V(p) \subseteq S$ define el conjunto de estados en los que p es verdadera. Todas las fórmulas de DEL se interpretan en un par $\langle M, s \rangle$, de modo que:

1. $M, s \models \perp$
2. $M, s \models p$ syss $s \in V(p)$
3. $M, s \models \neg p$ syss $M, s \not\models p$
4. $M, s \models \chi \rightarrow \psi$ syss $M, s \not\models \chi$ o $M, s \models \psi$
5. $M, s \models K_a \chi$ syss para todo estado s' tal que $s R_a s'$ tenemos que $M, s' \models \chi$
6. $M, s \models [\chi] \psi$ syss si $M, s \models \chi$ entonces $M_{|\chi}, s \models \psi$, donde $M_{|\chi} = \langle S', R', V' \rangle$,

²Esta lógica puede ampliarse, según las necesidades, a una lógica de predicados y se le pueden añadir nuevas conectivas lógicas u operadores modales, epistémicos, temporales, etc.

de modo que $S^? = \|\chi\|_M ::= \{s \in S \mid M, s \models \chi\}$, $R^? = R_a \cap (\|\chi\|_M \times \|\chi\|_M)$ y $V^?(p) = V(p) \cap \|\chi\|_M$

La relación de accesibilidad R se definirá en virtud de los tipos de agentes epistémicos con los que estemos tratando. En principio, vamos a considerar que tratamos con agentes capaces de transmitir en el discurso o el diálogo conocimiento cierto basado en evidencias. Para ello usaremos una definición euclidiana de la relación de accesibilidad –que cumple las propiedades de reflexividad, simetría y transitividad– compatible con el sistema S5 de lógica epistémica. Este sistema supone que los agentes epistémicos que intervienen en un diálogo son perfectamente lógicos y conscientes de lo que ellos mismos saben, así como de lo que ignoran. No es el mejor sistema de lógica epistémica para ciertas situaciones de intercambio de información, pero puede ser interesante trabajar con él antes de entrar en la evaluación de otros sistemas posibles.³

Los distintos estados mentales que se suceden en un intercambio de información –que puede ser dialogado o no– son, por lo tanto, descripciones parciales de un estado de cosas más general, descripciones parciales de un mundo posible. Estas descripciones parciales constituyen el contexto en el que las expresiones que componen dicho intercambio de información deben ser interpretadas. Nuestra propuesta es utilizar un procedimiento de decisión basado en *conjuntos Hintikka* –que se conciben precisamente como descripciones parciales de un mundo posible sujetas al *test de consistencia* (Hintikka, 1969)– con la finalidad de construir los sucesivos modelos contextuales en los que se interpretan semánticamente las expresiones del diálogo (Salguero, 2014).

³ Los sistemas normales de lógica epistémica se basan en el axioma [K] y en los esquemas inferenciales de *Modus Ponens* (MP) y generalización del conocimiento (K):

- [K] $K_a(\chi \rightarrow \psi) \rightarrow (K_a\chi \rightarrow K_a\psi)$
- (MP) Si $M, s \models (\chi \rightarrow \psi)$ y $M, s \models \chi$ entonces $M, s \models \psi$
- (K) Si $M, s \models \chi$ entonces $M, s \models K_a\chi$

A este sistema se le pueden añadir otros axiomas que dan lugar a distintos sistemas de lógica epistémica:

- [T] $K_a\chi \rightarrow \chi$ (*axioma de la verdad*)
- [S4] $K_a\chi \rightarrow K_a K_a\chi$ (*axioma de introspección positiva*)
- [S5] $\neg K_a\chi \rightarrow K_a \neg K_a\chi$ (*axioma de introspección negativa*)

Cada sistema incluye los anteriores, por lo que el sistema S5 asume la totalidad de los axiomas. Es por ello por lo que se le conoce a veces como sistema KT45. En el sistema T la relación de accesibilidad es solo reflexiva, en el sistema S4 es reflexiva y transitiva y en S5 es reflexiva, simétrica y transitiva, como hemos dicho.

3. LÓGICA DE CONTEXTOS CON ABDUCCIÓN

Siguiendo estas consideraciones, vamos a definir un cálculo abductivo de secuentes sobre una lógica de contextos, concebidos como conjuntos de fórmulas que se construyen a partir del conjunto de preferencias o anuncios públicos que componen un diálogo. A este cálculo se le podrán añadir reglas de expansión, contracción y revisión de teorías, compatibles con las propuestas metodológicas de Andrés Rivadulla sobre lo que él denomina *preducción*⁴. El objetivo es usar el cálculo como modelo explicativo del proceso de formulación de hipótesis para la interpretación dinámica de la información nueva que aparece en el diálogo. En este trabajo nos limitaremos a definir una lógica de contextos sin agentes para simplificar el modelo de interpretación, según la propuesta de Hernández et al. (2012).

Sea $P \neq \emptyset$ un conjunto de variables proposicionales de un lenguaje L y $C = \{U\} \cup \{X, Y, Z, \dots\}$ un conjunto de parámetros modales, donde U expresa el parámetro *global*. Al igual que en DEL, un modelo contextual se define como un modelo kripkeano $M = \langle W, R, I \rangle$, de forma que:

1. $W \neq \emptyset$ es un conjunto de mundos posibles (o estados de información).
2. $R = C \Rightarrow \wp(W)$ y ocurre lo siguiente:
 - a) $R(U) = W$.
 - b) Para cualquier parámetro $X \in C$ tal que $X \neq U$, $R(X) \subseteq W$ y $R(X) \neq \emptyset$ —donde $R(X)$ representa un contexto (i.e. un conjunto de estados) y ningún contexto puede ser el conjunto vacío⁵.
3. I es una función de interpretación tal que para todo $p \in P$, $I(p) \subseteq W$ —esto es, $I(p)$ representa el conjunto de los estados que satisfacen p .

El lenguaje contextual L se define mediante las siguientes reglas de buena formación:

$$\Phi ::= p \mid \neg \phi \mid \phi \rightarrow \psi \mid [X]\phi$$

donde $p \in P$, $X \in C$ y $[X]\phi$ es la fórmula que representa la proposición “ ϕ es válida en el contexto X ”. Las demás conectivas lógicas se definen a partir de

⁴La *preducción* es un caso especial de razonamiento abductivo que anticipa deductivamente propuestas nuevas por medio de la combinación y manipulación matemática de resultados aceptados en diferentes ámbitos epistémicos (Rivadulla 2015).

⁵Llamaremos contexto a X siempre que no haya ambigüedad.

\neg y \rightarrow como de costumbre, así como el operador dual $\langle X \rangle \varphi ::= \neg[X]\neg\varphi$, que representa la proposición “ φ es posible en el contexto X ”.

Por otra parte, representaremos la noción de satisfacción mediante el símbolo $|=$, que se define recursivamente diciendo que dado un modelo contextual $M = \langle W, R, I \rangle$, para $w \in W$:

1. Para cualquier $p \in P$, $M, w | = p$ syss $w \in I(p)$
2. $M, w | = \neg\varphi$ syss $M, w \not| = \varphi$
3. $M, w | = \varphi \rightarrow \psi$ syss $M, w \not| = \varphi$ o $M, w | = \psi$
4. Para cualquier $X \in C$, $M, w | = [X]\varphi$ syss para todo $w' \in W$, si $w' \in R(X)$, entonces $M, w' | = \varphi$
5. Cuando $M, w | = \varphi$ para todo $w \in W$, entonces φ es válida en M , lo que se representa como $M | = \varphi$
6. Si para todo modelo contextual M se verifica que $M | = \varphi$ (φ es válida en M), entonces también es universalmente válida (en relación con modelos contextuales), lo que se representa como $| = \varphi$

Ahora podemos definir para el lenguaje L un cálculo axiomático en el que \vdash posee ciertas características deseables —como normalidad y monotonicidad—, que incluye los operadores modales necesarios y sus duales, un operador global y las reglas básicas de inferencia.

Sean φ y ψ fórmulas de L :

1. Son axiomas todos los axiomas de la lógica proposicional
2. $[X](\varphi \rightarrow \psi) \rightarrow ([X]\varphi \rightarrow [X]\psi)$ —axioma de normalidad
3. $[X]\varphi \rightarrow [Y][X]\varphi$ —axioma de monotonicidad⁶
4. $\neg[X]\neg\varphi \leftrightarrow \langle X \rangle \varphi$ —interdefinición de los operadores duales
5. $\langle X \rangle \varphi \rightarrow [Y]\langle X \rangle \varphi$ —similar a 3 para el operador dual
6. $[U]\varphi \rightarrow [X]\varphi$ —todos los contextos están incluidos en el contexto global
7. $[U]\varphi \rightarrow \varphi$ —cuando una fórmula es válida en el contexto global, también lo es en el modelo

⁶Si φ es válida en el contexto X , entonces $[X]\varphi$ es válida en cualquier contexto.

Las reglas del cálculo son las siguientes:

Modus Ponens: $\vdash \varphi \rightarrow \psi; \vdash \varphi$

$\vdash \psi$

Necesariedad: $\vdash \varphi$

$\vdash [X]\varphi$

Abducción: $\vdash [X](\varphi \rightarrow \psi); \vdash [X]\psi$

$\vdash \langle X \rangle \varphi$

*Preducción*⁷: $\vdash [Y]\psi; \vdash [X](\psi \rightarrow (\chi \rightarrow \varphi))$

$\vdash \langle X \rangle \varphi$

Las reglas de *Modus Ponens* y *Necesariedad* son las clásicas de la lógica modal. En cambio, las reglas de *Abducción* y *Preducción* son novedosas en un cálculo de este tipo y permiten añadir información contextual hipotética, la primera, y trasladar información entre contextos, la segunda. Es importante observar, en el caso de estas dos últimas reglas, que los operadores contextuales $[X]$ y $\langle X \rangle$ funcionan como operadores modales, según la semántica descrita, por lo que no ha lugar a compararlas con esquemas de inferencia incorrectos de la lógica clásica como la falacia de afirmación del consecuente u otros similares.

4. CONCLUSIONES

Tratar con información incompleta en el diálogo es un reto importante para el diseño de Sistemas de Diálogo basados en la interacción comunicativa hombre-máquina.

En todo diálogo, los anuncios públicos (actos de habla proferidos en cada turno) pueden considerarse como contextos en los que evaluar cada proposición. Para ello proponemos una Lógica Abductiva de Contextos definida a partir de una Lógica Epistémica Dinámica de Anuncios Públicos, lo que permitirá al sistema interpretar aquellos actos de habla que cuando se evalúan de forma aislada solo aportan información incompleta.

⁷Con la condición de que $R(Y) \cap R(X) \neq \emptyset$.

La interpretación de los sucesivos actos de habla se realiza, por tanto, en función de un conjunto de preferencias que se va ampliando durante el diálogo y que se evalúan mediante operaciones modales epistémicas que incluyen abducción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DITMARSCH, H., HOEK, W. y KOOI, B. 2008. *Dynamic Epistemic Logic*. Amsterdam: Springer.
- HERNÁNDEZ, I., NEPOMUCENO, Á. y SARRIÓN, E. 2012. “La inferencia científica relativa al contexto”. En Fernández Moreno, L., Salguero Lamillar, F. J. y Barés Gómez, C. (ed.), *Ensayos sobre lógica, lenguaje, mente y ciencia*. Sevilla: Alfar, 17-30.
- HINTIKKA, J. 1969. *Models for Modalities*. Dordrecht: D. Reidel Pub.
- NEPOMUCENO, Á., SOLER, F. y VELÁZQUEZ, F. 2017. “Abductive Reasoning in Dynamic Epistemic Logic”. En Magnani, L. y Bertolotti, T. (ed.), *Springer Handbook of Model-Based Science*, Berlín: Springer, 269-293.
- RIVADULLA, A. 2015. *Meta, método y mito en ciencia*. Madrid: Trotta.
- SALGUERO, F.J. 2014. “Modelling Linguistic Context with Hintikka Sets and Abduction”. *Teorema* 33: 105-119.