

Building a Conversational Chatbot as an Intelligent Tutor: A Knowledge-based Methodology

Construcción de Chatbots como tutores inteligentes: una metodología basada en el modelado de conocimiento

Xavier Sánchez-Díaz, Tecnológico de Monterrey, campus Monterrey, México, sax@tec.mx

**Gilberto Ayala-Bastidas, Tecnológico de Monterrey, campus Monterrey, México,
A00819406@tec.mx**

**Pedro Fonseca-Ortiz, Tecnológico de Monterrey, campus Monterrey, México,
A00805772@tec.mx**

**Leonardo Garrido, Tecnológico de Monterrey, campus Monterrey, México,
leonardo.garrido@tec.mx**

Línea temática: Tecnologías para la educación

Resumen

Los Chatbots son agentes inteligentes con los que los usuarios pueden mantener conversaciones, ya sea por texto o por voz. Desde hace unos años, los chatbots se han vuelto populares en el sector comercial, sobre todo en empresas enfocadas en el servicio al cliente. A pesar del creciente interés por su uso en la educación, información clara sobre cómo diseñar chatbots para fungir como tutores inteligentes ha sido escasa. Este trabajo presenta una metodología formal para desarrollar e implementar un chatbot como tutor inteligente en cursos de nivel universitario. La metodología está basada en predicados de lógica proposicional de primer orden que pueden ser usados en diferentes herramientas comerciales, y se enfoca en dos fases: abstracción y modelado del conocimiento, y diseño del flujo de la conversación. Como resultado principal de esta investigación, proponemos definiciones matemáticas para modelar elementos de la conversación, procesos de razonamiento y resolución de conflictos, con el fin de formalizar la metodología y volverla apta para su implementación en cualquier servicio de conversación en la nube.

Abstract

Chatbots are intelligent agents with which users can hold conversations, usually via text or voice. In recent years, chatbots have become popular in businesses focused on client service. Despite an increasing interest for chatbots in education, clear information on how to design them as intelligent tutors has been scarce. This paper presents a formal methodology for designing and implementing a chatbot as an intelligent tutor for a university level course. The methodology is built upon first-order logic predicates which can be used in different commercially available tools, and focuses on two phases: knowledge abstraction and modeling, and conversation flow. As main result of this research,

we propose mathematical definitions to model conversation elements, reasoning processes and conflict resolution to formalize the methodology and make it framework-independent.

Palabras clave: Chatbots, Modelado del Conocimiento, Diseño Conversacional, Tutorio Inteligente.

Key words: Chatbots, Knowledge Modeling, Conversation Design, Intelligent Tutoring

1. Introducción

Los chatbots, o agentes conversacionales, son piezas de software diseñadas para mantener conversaciones con los usuarios usando lenguaje natural (Shawar y Atwell, 2007). Algunos tienen identidades y personalidades para hacer de la conversación un proceso más natural. Desde bots de Twitter con respuestas aleatorias hasta agentes de servicios de asesoría, los agentes conversacionales se han vuelto un fenómeno cada vez más común en años recientes, y el ámbito educativo no es la excepción.

Este trabajo propone una metodología que define y modela formalmente la estructura de un chatbot para su uso como tutor inteligente, y cuyo objetivo es ayudar a equipos multidisciplinarios que buscan diseñar e implementar chatbots en cursos universitarios. La metodología se enfoca en describir un marco de trabajo basado en lógica proposicional de primer orden, el cual puede ser implementado en distintas herramientas disponibles comercialmente con el fin de esclarecer el proceso de cómo representar, ampliar y mantener la base de conocimientos.

2. Desarrollo

De acuerdo con Tsvetkova et al., cerca de la mitad de las interacciones en línea entre 2007 y 2015 incluyeron un chatbot (Tsvetkova, García-Gavilanes, Floridi y Yasseri, 2017). El uso de chatbots ha sido documentado en una variedad de contextos, incluyendo educación (Jia, 2003) y comercio (De Angeli, Johnson, y Coventry, 2001). Un testimonio satisfactorio del uso de chatbots en educación es el de Jill Watson, una tutora inteligente desarrollada por Goel et al. en Georgia Tech, para un MOOC de inteligencia artificial (Goel y Polepeddi, 2016). Anderson et al. clasifican a los tutores inteligentes como todo aquel software de instrucción apoyado por computadora, el cual pueda responder a las estrategias específicas de un estudiante para la resolución de problemas (Anderson, Boyle, y Reiser, 1985). En el mismo ámbito, Reyes-González et al. enfatizan la importancia de un proceso interactivo e individualizado entre el tutor y el estudiante (Reyes-González, Martínez-Sánchez, Díaz-Sardiñas, y Patterson-Peña, 2018). Usar un agente conversacional como tutor inteligente en cursos en línea tiene otras ventajas, como su disponibilidad 24/7, dando al estudiante la libertad de aprender a su propio ritmo, en cualquier momento y desde cualquier lugar con acceso a Internet. Utilizar un chatbot también aligera el trabajo del instructor principal (Dutta, 2017).

2.1 Marco teórico

Al hablar de la conversación humano-computadora, las primeras tecnologías como ELIZA en 1966 y ALICE en 1995 destacan por su importancia histórica. ELIZA fue creada para demostrar que era

posible conversar de manera natural con una computadora, pero no logró superar la Prueba de Turing debido a que su implementación estaba basada en reconocimiento de palabras y no se tomaba en cuenta el contexto para sus respuestas. ALICE introdujo el famoso AIML (Artificial Intelligence Markup Language), que utiliza reglas de reconocimiento de patrones para darle “significado” a las palabras: los tópicos, contextos y categorías ya se tomaban en cuenta (Russell y Norvig, 2010).

Desde entonces, los chatbots han evolucionado rápidamente. Los dispositivos móviles actuales incluyen chatbots simples que pueden manejar peticiones sencillas como hacer llamadas o programar alarmas. Además, herramientas automáticas han sido desarrolladas para la creación de chatbots más complejos y están disponibles para su uso comercial. Quizá los ejemplos más comunes sean aquellas herramientas directamente de las manos de los gigantes tecnológicos como Google, Facebook y Amazon. Y aunque cada herramienta posee distintos detalles de implementación y limitaciones, la mayoría de ellas se derivan de una idea general—recibir datos en crudo, darles significado y posteriormente actuar de acuerdo con una base de conocimientos. La Figura 1 ilustra este proceso para un chatbot de texto.

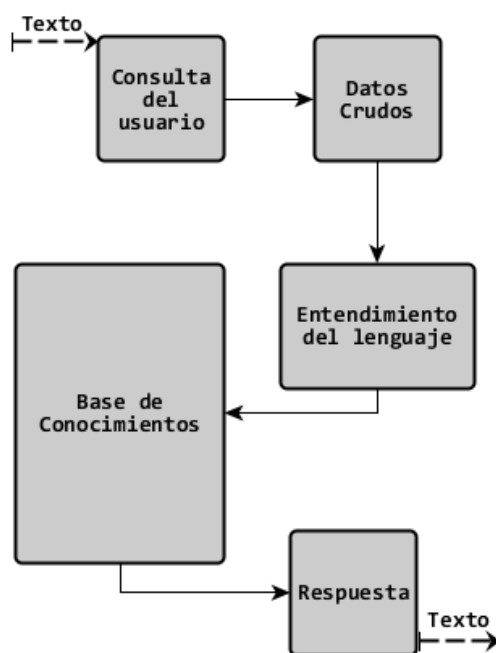


Figura 1. Metodología general para un agente conversacional de texto

Para procesar lenguaje natural, los chatbots se basan en reconocimiento de patrones e identificación de digramas, que es un procedimiento que usualmente llevan a cabo las herramientas de conversación, como presentan Setiaji et al. (2016). Sin embargo, es tarea de los diseñadores del chatbot generar su base de conocimientos y proveer ejemplos apropiados a su componente de aprendizaje.

2.2 Planteamiento del problema

Debido a que actualmente existen muchas herramientas disponibles para desarrollar chatbots, tanto su construcción como su implementación pueden parecer tareas fáciles a simple vista. Sin embargo, alimentar al agente conversacional con información adecuada para que funcione como tutor puede llegar a ser complicado. Al momento de escribir este trabajo, la información sobre cómo diseñar un tutor es escasa, pues se encuentra distribuida entre diversos blogs y artículos enfocados en su implementación y no en el diseño ni el modelado de su base de conocimientos. Por otro lado, muchas de las herramientas de desarrollo actualmente disponibles (como *Dialogflow* y *Chatfuel*) sólo se encargan de dicha implementación, dejando la tarea de organizar el conocimiento en manos de quien diseña al instructor. Contar con una metodología para la abstracción y organización del conocimiento es indispensable, pues tener una conversación con un instructor es distinto a charlar con un agente de ventas.

2.3 Método

Un chatbot puede ser descrito como un agente conversacional el cual da una respuesta apropiada cuando una consulta conocida es solicitada. Formalmente hablando, un chatbot es una función f de la forma $f : Q \rightarrow R$, que relaciona consultas $q \in Q$ a respuestas $r \in R$.

Para dar la respuesta correspondiente, la consulta debe ser convertida de lenguaje natural a una entrada en específico en la base de conocimientos. Este proceso consiste en fragmentar los datos de entrada del usuario (por ejemplo, una oración) para identificar conceptos clave de la conversación. Los conceptos más importantes en juego son las *entidades* y las *intenciones*.

Una entidad es un objeto abstracto que tiene relevancia para el usuario. Puede ser visto como el sujeto o el objeto (directo o indirecto) en una oración convencional: “*El veloz murciélago hindú comía feliz cardillo y kiwi*” tiene al “*veloz murciélago hindú*” como sujeto, y a “*cardillo*” y a “*kiwi*” como objetos. Tanto el sujeto como los objetos son entidades en este sentido, y pueden ser agrupadas en clases.

Las intenciones, por otro lado, son representaciones abstractas de las intenciones del usuario. Dado a que el usuario está haciendo una consulta específica, entonces hay algo que desea saber o hacer. Sin embargo, en una pregunta convencional la intención no siempre está presente.

Cuando una persona pregunta “¿*Podrías decirme la hora?*” su intención es *encontrar la hora*. La oración imperativa “*Muéstrame mi agenda*”, por ejemplo, puede ser reescrita como “¿*Podrías mostrarme mi agenda?*”, que es una pregunta en la que el usuario desea que *su agenda* (la entidad) sea *mostrada* (la intención). Sin embargo, hay otras consultas en donde la intención no se puede extraer de la oración simplemente reorganizando las palabras. Un usuario que pregunta “¿*Por qué roncamos?*” quiere saber *la razón* por la cual *roncamos* cuando dormimos. La intención de averiguar *la razón* no se encuentra en el texto de la consulta.

Las consultas se expresan como funciones de lógica proposicional de primer orden, que es una rama del estudio del razonamiento que trata con inferencia y el manejo de las creencias a través del uso de fórmulas en forma de predicados. La lógica de primer orden utiliza conectores funcionales de verdad como la negación, la disyunción, la conjunción, etc.; junto con el uso de funciones para describir el estado de una variable que puede ser verdadera o falsa (Makinson, 2012).

En el contexto de los chatbots, este valor de verdad puede ser visto como la presencia o ausencia de la condición para activar una respuesta si la misma existe en la base de conocimientos. A primera vista, las intenciones podrían parecer verbos en una oración común, pero realmente son relaciones de una variable a un estado de verdad—funciones lógicas de primer orden. Una consulta, entonces tiene la forma:

$$g^n(t_1, t_2, \dots, t_n)$$

donde $g^n \in G$ es una función n -aria en el conjunto de funciones G , y t_i es un término en el conjunto de términos T . El conjunto de términos T es el conjunto de entidades conocidas, y G es el conjunto de intenciones conocidas en la base de conocimientos. Las funciones `tell_time(here)`, `show(agenda)` y `reason(snore)` corresponden a símbolos de funciones lógicas de primer orden de los ejemplos de las intenciones antes mencionadas. Es importante recalcar que la lógica proposicional de primer orden tiene expresividad limitada dado a que existen algunos conceptos que no pueden ser expresados en este sistema (Serafini, 2012). Una delimitación adecuada del alcance del chatbot puede guiar el modelado del conocimiento, acelerando la implementación y reduciendo la complejidad del entrenamiento al momento de aprender.

Para cumplir con el enfoque de activación por respuesta, el conocimiento debe ser separado en “unidades”, extraídas directamente del experto, y posteriormente insertadas en la base de conocimiento con ciertas consultas en mente para cada unidad de conocimiento. Cada una de estas unidades representa una sola consulta, una combinación de funciones y parámetros que generan cierta respuesta.

Aunque existen muchas estructuras de datos, la mayoría de los chatbots están basados en árboles en los que cada nodo del árbol corresponde a una respuesta única, desde un saludo hasta información detallada de consultas anteriores. Para calcular la similitud entre la consulta del usuario y las consultas conocidas, se emplean algoritmos de aprendizaje de máquina utilizando métricas de similitud entre oraciones en las que cada carácter alfanumérico puede representar una sola dimensión. La exactitud de la similitud puede mejorarse a través de ejemplos correctamente etiquetados, por lo que se recomienda agrupar las unidades de conocimiento por la similitud del usuario que las activará, y no por tópico, por ejemplo.

Una vez que el conocimiento ha sido separado en pequeñas unidades atómicas, el siguiente paso es diseñar cómo presentarlas. Una manera eficiente de hacerlo es mediante la creación de un glosario y una convención de estilo para los nombres de las consultas disponibles y así poder gestionar el orden de su activación. Por ejemplo, usando etiquetas autogeneradas usando abreviaciones de las intenciones y las entidades utilizadas. Algunas herramientas de chatbots permiten que las entidades sean agrupadas en categorías, por ejemplo, en el caso de IBM Watson.

De este modo, las entidades son combinadas con intenciones para formular un conjunto único de condiciones que son necesarias para activar su contestación, la cual es escrita por un experto en el área y considerando el aspecto pedagógico del lenguaje utilizado en la respuesta. De este modo, los instructores de los cursos pueden trabajar fácilmente junto con los ingenieros de conocimiento para modelar eficientemente las consultas y generar la base de conocimientos. Un ejemplo de la representación abstracta dicha base de conocimiento se presenta en la Figura 2, donde las consultas son agrupadas con respecto a sus intenciones.

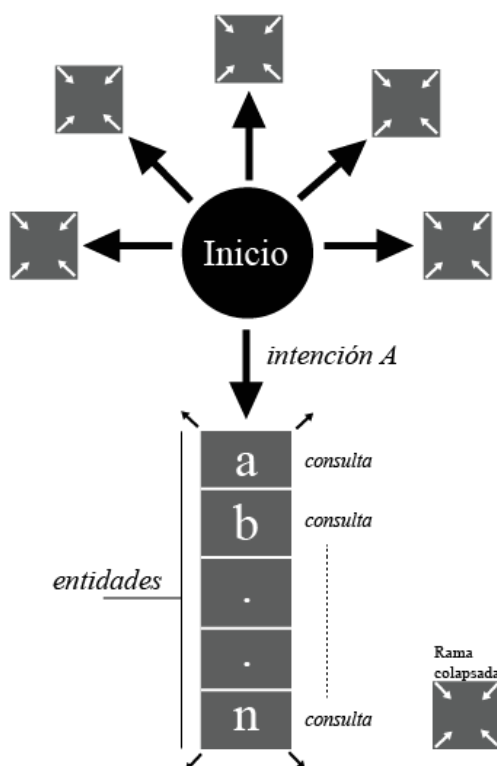


Figura 2. Representación abstracta de la base de conocimientos construida mediante la agrupación de las consultas de acuerdo con su intención.

2.4 Resultados

Siguiendo la metodología propuesta, se generaron dos chatbots en nuestra institución: F-1001 y MA-1001, que son los cursos de Introducción a la Física y Matemáticas, respectivamente. Los tutores fueron implementados en IBM Watson Conversation Service, usando estructuras JSON para el árbol de conocimientos, y proporcionando ejemplos y sinónimos usando archivos CSV.

Una pequeña muestra de las intenciones y entidades del tutor del curso introductorio de matemáticas se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Glosario para el tutor inteligente del curso MA-1001.

ID	Intención	Entidades
def-N	Definición	Número natural
ex-Q	Ejemplo	Número racional
notation-Z	Notación	Enteros
expl-change+uniform	Explicación	Cambio, Uniforme
def-obj_rest	Definición	Objeto en reposo
subset-Q+R	Subconjunto	Número racional, Número real
card-Qc	Cardinalidad	Número irracional
comp_card-N+Q	Comparación de cardinalidad	Número natural, número racional
ex-fin_dec_exp	Ejemplo	Expansión decimal finita

A pesar del hecho de que agrupar las intenciones ayuda a guiar el proceso de búsqueda, el flujo de la conversación puede requerir ajustes dado a detalles de implementación de la herramienta de chatbot. Por ejemplo, en IBM Watson, la base de conocimiento se almacena en un árbol, el cual es usualmente navegado desde la raíz (normalmente un saludo) y luego revisando una de las ramas si su condición de activación se cumple. Después, cada nodo se visita de manera secuencial hasta que uno se activa—cada rama del árbol está representado por un vector. En realidad, la base de conocimientos es un árbol de vectores, en los que cada índice del vector es una respuesta.

2.5 Discusión

Este comportamiento puede ocasionar respuestas incorrectas si las respuestas no están ordenadas. Se puede considerar el siguiente ejemplo como una buena práctica para evitar estos problemas:

Sea la secuencia de condiciones $B = \langle a, a \wedge b \rangle$ el arreglo donde se encuentra la rama deseada, y sean las consultas $q_1 = a \wedge b$ y $q_2 = a$ las condiciones detectadas por el chatbot. La consulta q_1 contiene tanto la condición a como la condición b . Dado a que el primer elemento de B , B_1 , es activado si todas las condiciones se cumplen, entonces q_1 activará B_1 , cuando es altamente probable que lo que el usuario quería era obtener la respuesta en B_2 . Sin embargo, q_2 no activará B_2 dado que la condición b no se encuentra en la consulta. Por el contrario, B_1 sí se activará, dado a que todos los requisitos necesarios para su activación se encuentran presentes en la consulta q_2 .

Para prevenir la activación prematura de respuestas para consultas parcialmente activadas, se recomienda ordenar las consultas en la rama de la más específica a la más genérica, de tal modo de que la rama B termine siendo $B = \langle a \wedge b, a \rangle$ y no al revés. Un caso específico de este ejemplo podría ser, por ejemplo, poner primero la respuesta a la consulta *definición de velocidad constante* al principio, y después la consulta más general *definición de velocidad*. Este ejemplo se muestra en la Figura 3.

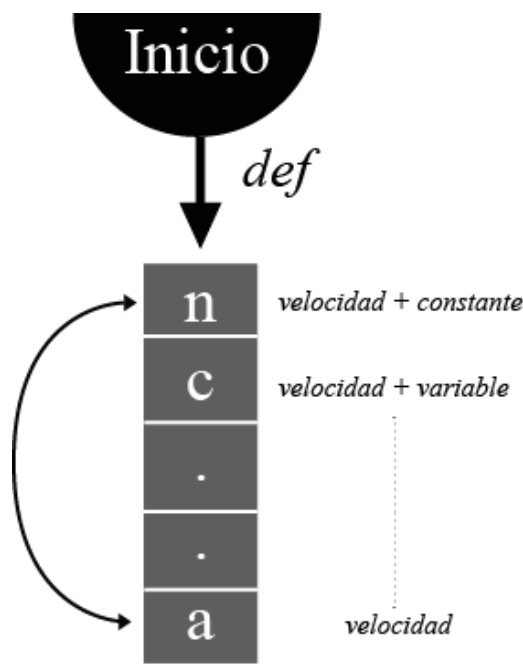


Figura 3. Rama de la intención Definición, con las consultas ordenadas de modo que las más específicas queden al principio, y las más generales al final.

Otra alternativa es agregar otro nivel de ramificación al momento de la consulta, y pedir información adicional para evitar confusiones, por ejemplo “¿Cuál de las siguientes definiciones de velocidad te interesaría conocer?”. Sin embargo, este enfoque para resolución de problemas puede ser problemático en el futuro, pues un usuario puede encontrar distintos temas de *velocidad* en la rama de *definición*, así como en la rama de *ejemplos*.

3. Conclusiones

Los chatbots se han vuelto increíblemente comunes en la actualidad. Sin embargo, hay poca información sobre cómo implementarlos como tutores inteligentes para cursos de nivel universitario. Este trabajo proporciona una metodología formal para organizar el conocimiento y prepararlo para un flujo apropiado para su implementación en herramientas de chatbots comerciales. La metodología presentada se enfoca en usar predicados de lógica proposicional de primer orden para representar las unidades de conocimiento extraídas de un experto como funciones n -arias, que pueden ser agrupadas posteriormente para simplificar el proceso de búsqueda. En este trabajo se revisó también la creación de dos tutores inteligentes usando la metodología propuesta, los cuales sirvieron como un ejemplo para la resolución de conflictos cuando dos consultas que comparten una condición de activación están al mismo nivel de la misma rama.

Éste es sólo el primer paso hacia la formalización de agentes conversacionales en educación. El trabajo futuro debe considerar el modelado de escenarios de conversación más complejos, por ejemplo, aquellos en donde se necesita un nivel adicional de ramificación en la base de conocimientos. La incorporación de métodos automáticos para el entrenamiento y la mejora de las respuestas también podría considerarse. Es importante desarrollar también una metodología para

analizar la interacción estudiante—chatbot para asegurar que el agente conversacional está calificado para ser un tutor inteligente en cursos de educación superior.

Referencias

- Anderson, J. R., Boyle, C. F., y Reiser, B. J. (1985). Intelligent Tutoring Systems. *Science*, 228(4698), 456–462. <https://doi.org/10.1126/science.228.4698.456>
- Angeli, A. De, Johnson, G. I., y Coventry, L. (2001). The Unfriendly User: Exploring Social Reactions to Chatterbots. In *Proceedings of International Conference on Affective Human Factor Design* (pp. 467–474). Asean Academic Press.
- Dutta, D. (2017). Developing an Intelligent Chat-bot Tool to assist high school students for learning general knowledge subjects.
- Goel, A. K., y Polepeddi, L. (2016). Jill Watson: A Virtual Teaching Assistant for Online Education.
- Jia, J. (2003). CSIEC (Computer Simulator in Educational Communication): An Intelligent Web-Based Teaching System for Foreign Language Learning. *CoRR*. Recuperado de <http://arxiv.org/abs/cs.CY/0312030>
- Makinson, D. (2012). *Sets, Logic and Maths for Computing*. Springer-Verlag.
- Reyes-González, Y., Martínez-Sánchez, N., Díaz-Sardiñas, A., y Patterson-Peña, M. (2018). Conceptual clustering: a new approach to student modeling in Intelligent Tutoring Systems. *Revista Facultad de Ingeniería*, 0(87), 70–76. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n87a09>
- Russell, S., y Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall.
- Serafini, L. (2012, July). Expressive power of logical languages. Recuperado de <http://iaoa.org/isc2012/docs/expressivity.pdf>
- Setiaji, B., y Wibowo, F. W. (2016). Chatbot Using a Knowledge in Database: Human-to-Machine Conversation Modeling. In *2016 7th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS)* (pp. 72–77). Tailandia. <https://doi.org/10.1109/ISMS.2016.53>
- Shawar, B. A., y Atwell, E. (2007). Chatbots: Are they Really Useful? *LDV Forum*, 22, 29–49.
- Tsvetkova, M., García-Gavilanes, R., Floridi, L., y Yasseri, T. (2017). Even Good Bots Fight. *PLos ONE*, 12(2). Recuperado de <https://arxiv.org/abs/1609.04285>

Reconocimientos

Los autores agradecen a TecLabs del Tecnológico de Monterrey por el apoyo brindado para llevar a cabo este proyecto; así como a la Dra. Patricia Salinas Martínez y al Dr. Rodrigo Salmón Folgueras, quienes fueron piezas clave para la creación de los chatbots.