

# Artificial intelligence in Physics teaching

Ema Elena Aveyra, Magister <sup>1</sup> , Diego Racero, Ingeniero <sup>2</sup> , and Melisa Alejandra Proyetti Martino, Magister <sup>3</sup>   
<sup>1,3</sup> Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, Argentina, [eaveley@fi.uba.ar](mailto:eaveley@fi.uba.ar), [mproyetti@fi.uba.ar](mailto:mproyetti@fi.uba.ar)  
<sup>2</sup> Universidad de Buenos Aires, Argentina, [dracero@fi.uba.ar](mailto:dracero@fi.uba.ar)

Trabajo realizado en el marco del proyecto UBACyT 2016-2019 20020150100134BA

*Abstract: Learning science is a complex cognitive activity that involves regularly asking questions to correctly interpret and apply models and theories. On the other hand, differences in students' levels of previous knowledge, varying times of assimilation, and large classroom sizes require alternatives to complement academic assistance. Therefore, the Faculty of Engineering at the University of Buenos Aires (FIUBA) proposes the construction of a chatbot virtual tutor that offers learning aid in physics, leveraging current knowledge of artificial*

*intelligence (AI). Designing and developing this chatbot pose various challenges and obstacles, which this paper describes in detail, using the ADDIE methodology (Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation).*

*Keywords: Chatbot, physics teaching, Artificial Intelligence.*

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

# Inteligencia artificial en la enseñanza de la Física

Ema Elena Aveleyra, Magister<sup>1</sup>, Diego Racero, Ingeniero<sup>2</sup>, and Melisa Alejandra Proyetti Martino, Magister<sup>3</sup>  
<sup>1,3</sup> Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, Argentina, [eaveley@fi.uba.ar](mailto:eaveley@fi.uba.ar), [mproyetti@fi.uba.ar](mailto:mproyetti@fi.uba.ar)  
<sup>2</sup> Universidad de Buenos Aires, Argentina, [dracero@fi.uba.ar](mailto:dracero@fi.uba.ar)

Trabajo realizado en el marco del proyecto UBACyT 2016-2019 20020150100134BA

**Abstract—** El aprendizaje de la ciencia es una actividad cognitiva compleja que implica la formulación de preguntas, en forma asidua, para interpretar y aplicar correctamente modelos y teorías. Por otro lado, la diferencia entre niveles de conocimientos previos de los estudiantes, los distintos tiempos de asimilación, la masividad en las aulas, obligan a buscar alternativas para complementar la asistencia académica que requieren los estudiantes. Es por ello que, con los conocimientos actuales de la inteligencia artificial (IA), en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FIUBA), se propone la construcción de un chatbot -tutor virtual- que ofrezca una ayuda para el aprendizaje de la física. El diseño y desarrollo de este chatbot obliga a enfrentar diferentes desafíos y obstáculos. En el presente trabajo se describe todo el proceso llevado a cabo para lograr su construcción y entrenamiento, en donde se aplica la metodología ADDIE (Análisis, Diseño, Desarrollo, Implementación y Evaluación).

**Keywords—** Chatbot, enseñanza de la física, Inteligencia Artificial.

## I. INTRODUCCIÓN

Los chatbots son programas que mantienen un diálogo con un usuario en lenguaje coloquial, comprenden el motivo o intención de la conversación, entienden las respuestas de un humano y, en base a ellas, deciden qué responder o qué acción tomar a continuación. Tienen un potencial educativo significativo precisamente debido a su capacidad comunicativa a través del lenguaje natural, disminuyen el tiempo de espera para proporcionar una respuesta y pueden dar una orientación acertada de acuerdo con las necesidades del usuario [1].

En función de las tecnologías emergentes, los chatbots se convierten en facilitadores de la educación superior [2] debido a la flexibilidad que ofrecen, ya que pueden proporcionar contenido educativo y asistencia personalizada apoyando otras prácticas de e-learning. Entre otras ventajas, son fáciles de usar y tienen capacidad de responder a los estudiantes desde cualquier lugar en forma inmediata y manejar múltiples consultas a la vez [3]. También, en actividades de aprendizaje a gran escala, los chatbots pueden resolver el problema del apoyo individual y contribuir al aprendizaje personalizado [4].

La tecnología para desarrollar los chatbots fue evolucionando. El primer chatbot fue ELIZA, creado por Joseph Weizenbaum en el MIT en 1966, cuya función principal era estimular una conversación humana con el propósito de entretenimiento, utilizando un algoritmo de coincidencia de patrones. Los chatbots actuales utilizan algoritmos de Natural Language Understanding (NLU) y analizan la entrada del usuario utilizando redes neuronales. Estas redes tienen siempre una arquitectura mixta de red recursiva o convolucionada y una red profunda que ayuda a la clasificación [5].

Los chatbots cuentan con una importante limitación. La principal problemática, a la hora de diseñarlos en educación, es el dataset. Se han diseñado algunos que usan Wikipedia, foros de discusiones en línea, diversas fuentes externas y otras relacionadas con FAQs donde se predeterminan respuestas. Algunas de estas requieren de un experto para poder decidir si la respuesta es correcta o no, ya que no pueden garantizar la confiabilidad de la fuente [6]. Por lo tanto, el desafío es proporcionar al chatbot la información suficiente que le permita comprender las solicitudes de los estudiantes y mejorar su capacidad de respuesta. Esto puede requerir el uso combinado de bases locales y externas [7].

En el 2015, la Universidad de Georgia implementó un chatbot que utiliza como fuente de información una gran cantidad de artículos de biología. Este chatbot pudo responder a las preguntas de los estudiantes generando mayor participación en el curso [8]. En el 2020, la Universidad Politécnica de Madrid utilizó un chatbot, JAICOB, para facilitar el aprendizaje en el campo de la Ciencia de los Datos utilizando Machine Learning y computación cognitiva [9]. En investigaciones más recientes, se ha explorado el uso de modelos de procesamiento de lenguaje natural avanzados como las redes transformers para mejorar la capacidad de los chatbots de comprender el lenguaje natural y brindar respuestas precisas a las consultas de los estudiantes [10]. Algunos están diseñados específicamente para proporcionar un esquema de preguntas y respuestas (Q&A), de modo de guiar a los estudiantes a través de un proceso de aprendizaje interactivo y personalizado [11].

### A. Aplicación en la FIUBA

En el contexto de la asignatura Física I, con una duración cuatrimestral, un programa extenso y una cantidad promedio de 1500 estudiantes por cuatrimestre, surge la preocupación de cómo asistir al estudiante, especialmente en el entorno de la educación híbrida con aulas masivas, para la comprensión de conceptos

y modelos físicos. Se espera que los estudiantes tengan las competencias necesarias para aplicar modelos de mecánica y óptica a situaciones particulares, así como desarrollar habilidades para hacer trabajo experimental. La metodología de enseñanza incluye la utilización de diferentes técnicas como clases magistrales, trabajos grupales de resolución de problemas y prácticas de laboratorio. También, el uso complementario de un campus virtual, sobre plataforma Moodle, en donde se alojan diferentes recursos como tutoriales, materiales multimedia, videos, autoevaluaciones, etc. La base de la implementación de diversas técnicas y recursos es optimizar la ayuda pedagógica necesaria que favorezca el aprendizaje, en el momento oportuno, y que promueva y facilite en el estudiante la construcción del conocimiento [12][13][14].

En búsqueda de generar mayores ayudas pedagógicas, se crea un proyecto de desarrollo de un chatbot académico para colaborar en la tutorización del estudiante. Es decir, el propósito fundamental es utilizarlo en el contexto de la enseñanza, para incentivar la formulación de las preguntas de los estudiantes en relación con los modelos físicos y facilitar otro tipo de interacción con los contenidos de la asignatura, de manera más personalizada y adaptada a sus necesidades. Se espera además que facilite en el estudiante la relación e integración de conceptos y el aprendizaje autónomo. Para su elaboración se selecciona un lineamiento metodológico que incluye las siguientes etapas [15]:

- análisis para identificar los requerimientos necesarios (contexto, contenidos de aprendizaje, aspectos pedagógicos, dificultades habituales de conceptualización);
- diseño que permite identificar la estructura del chatbot con sus respectivos componentes;
- desarrollo donde se establecen los recursos de software para la construcción del chatbot;
- implementación de la herramienta;
- validación que permite relacionar los objetivos educativos, la funcionalidad y la calidad de la aplicación.

Estas fases mencionadas se integran de acuerdo con el modelo de diseño instruccional denominado ADDIE (Análisis, Diseño, Desarrollo, Implementación y Evaluación). En el presente trabajo se desarrollan las primeras tres etapas, centradas en analizar las dificultades que se presentan para que un bot aprenda una ciencia (en este caso física) y en la búsqueda de un recurso válido que colabore en su aprendizaje. También, se comparten lineamientos para su implementación y evaluación futura.

## II. MÉTODO

Cómo se ha mencionado previamente, el proyecto se enmarca en el modelo de diseño instruccional denominado ADDIE. A continuación, se detallan las diferentes etapas trabajadas hasta el momento.

### A. Análisis

Para saber qué información incorporar a éste se recolectaron datos de los foros de aulas virtuales y de las preguntas frecuentes realizadas por los estudiantes en clase. Estas preguntas frecuentes, y sus respectivas respuestas, fueron desarrolladas y revisadas por los docentes de la asignatura.

Para ser útil y efectivo para los estudiantes, el chatbot debería tener ciertas características como:

- una interfaz amigable y fácil de usar, que permita a los estudiantes realizar consultas de manera rápida y sencilla;
- una capacidad para comprender y procesar el lenguaje natural de los estudiantes, de manera que pueda responder a sus consultas de manera coherente y significativa;
- un dataset amplio y actualizado sobre los conceptos de la asignatura, para poder brindar respuestas precisas y detalladas a las consultas de los estudiantes.

Se analizaron dos tipos diferentes de arquitecturas, las redes LSTM (Long Short-Term Memory) y las redes Transformers, para llevar a cabo el proyecto. La primera es un tipo de red neuronal recurrente que se utiliza en el procesamiento de secuencias de datos, como texto o audio. La arquitectura LSTM es capaz de mantener y recordar información importante de la secuencia a largo plazo, usando frases cortas y sencillas de no más de 15 o 20 palabras. Las redes Transformers son un tipo de red neuronal que utiliza atención múltiple para procesar información y generar respuestas precisas. Con estas redes pueden desarrollarse arquitecturas que permiten el uso de varios cientos de palabras sin que exista pérdida del contexto. Al utilizar

ambas arquitecturas, en el desarrollo del chatbot, se mejora su capacidad para comprender y procesar el lenguaje de los estudiantes y así poder brindar respuestas coherentes y significativas.

### B. Diseño

Del análisis realizado, para el diseño del chatbot se opta por una red neuronal recurrente para procesar la pregunta y ofrecer una respuesta. Pero si no es suficiente, se activa una segunda red neuronal basada en Transformers para encontrar una respuesta más precisa. Si aun así no se encuentra una respuesta adecuada, se ofrece al estudiante una búsqueda personalizada en textos recomendados por la cátedra.

Por otro lado, se definen indicadores para evaluar la calidad de su diseño. Así se tienen en cuenta: la cantidad de clicks en la página web, la cantidad de veces que el chatbot no comprende la pregunta y devuelve una respuesta por defecto, la cantidad de veces que los estudiantes reportan un error en la página web, el tiempo promedio de la conversación, la disponibilidad del sistema, la performance y la usabilidad.

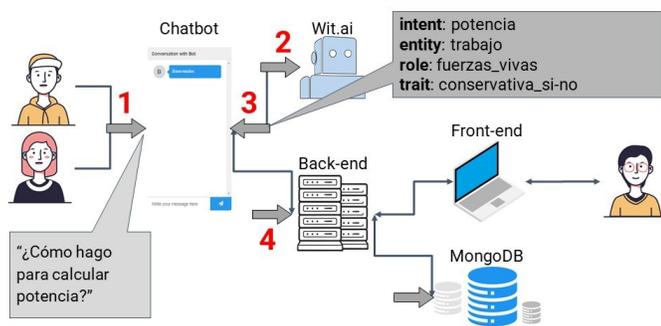


Figura 1 Interacción estudiante-chatbot

La interacción con el bot se sintetiza en la Fig. 1. Se observa que el estudiante accede a la interfaz del chatbot desde un navegador web. La entrada es la consulta, realizada por el estudiante, que se envía a un sistema de NLP por medio de redes LSTM, y que convierte a la consulta en datos estructurados. Con estos datos el bot busca la respuesta en una base de datos. Si en el paso previo, los datos estructurados no tienen una probabilidad mayor al 60% de haber sido correctamente generados, en lugar de buscar en esa base se sigue un camino alternativo para el caso de estructuras desconocidas. Por el contrario, si los datos estructurados fueron correctamente generados busca la respuesta y devuelve la misma al estudiante.

### C. Desarrollo

La interfaz del chatbot se desarrolló utilizando el programa libre llamado react-chatbot-kit que se conecta a un sistema de NLP también de uso libre llamado Wit.ai. Este último sistema transforma el lenguaje coloquial en datos estructurados. Con estos datos estructurados se realiza la búsqueda de la respuesta en una base de datos.

También se creó un sistema para ingresar datos a la base con una interfaz web utilizando REACT y Node.js. El acceso a la interfaz web se realiza mediante autenticación a través del mail institucional y existe una segunda verificación del usuario con lista blanca creada con Lit Element y Node.js.

En cuanto al backend, se desarrolló en Python utilizando pipelines de Huggingface para clasificar la pregunta con una red Transformer Zero-Shot y así buscar la respuesta en un texto, mediante el uso de otra red Transformer de preguntas y respuestas extractivas. Las categorías de clasificación de la pregunta y sus textos asociados se extraen de una base de datos Mongo.db. Esta es cargada mediante un sistema desarrollado en Next.js. Los textos para ingresar a la base de datos, de la cual leen las redes Transformers, se obtienen mediante un sistema de web-scrap desarrollado en Python.

La fase de entrenamiento de un sistema de redes neuronales requiere un conjunto de datos de alta calidad para obtener resultados óptimos. Por ello, se realizaron varias pruebas y se determinó la necesidad de incorporar fuentes externas confiables en el conjunto de datos. En cuanto a la cantidad de frases de entrenamiento necesarias para un sistema NLP, depende del tipo de modelo y de la complejidad de la tarea que se quiere realizar. En general, se recomienda un mínimo de varias decenas de miles de frases para obtener resultados aceptables en tareas de procesamiento del lenguaje natural.

## III. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Antes de su lanzamiento, se realizó una prueba alfa para evaluar el chatbot. Esta prueba es una técnica de testeado de software, que se desarrolla en un entorno controlado para identificar y corregir errores antes de ponerlo en producción. En este caso, se evaluó la funcionalidad y capacidad de respuesta del chatbot mediante la simulación de preguntas frecuentes que los estudiantes usualmente, de acuerdo con la experien-

cia docente, pueden hacer sobre un tema específico. Además, se verificó la interacción con la interfaz del chatbot y los tiempos de respuesta.

Es importante destacar que la evaluación y prueba de chatbots educativos es un área de investigación activa que implica un proceso continuo de actualización de términos de búsqueda de usuarios y respuestas. Por ello, para asegurar su correcto funcionamiento, se realizan pruebas continuas utilizando la metodología SCRUM con la herramienta JIRA. Esto permite documentar las historias de usuario, los criterios de aceptación, el avance del desarrollo y los errores encontrados y cómo solucionarlos en caso de que sean recurrentes.

En cuanto al uso del chatbot, en el ambiente académico, se espera que sea un útil complemento para el aprendizaje (en este caso de física). Cabe señalar que su desarrollo es independiente de la ciencia que se enseña. Esto le otorga al proyecto una transversalidad importante. También está previsto el diseño de instructivos para enseñar cómo interactuar con el sistema y qué hacer en caso de necesitar mejoras, ya que como toda herramienta si no se usa adecuadamente puede convertirse en un obstáculo.

## REFERENCES

- [1] G. García Brustenga, M. Fuertes Alpiste y N. Molas Castells, "Briefing Paper: Chatbots in Education", Universitat Oberta de Catalunya (UOC). <https://doi.org/10.7238/et.c.chatbots.2018>
- [2] O. Tsvitanidou y A. Ioannou, "Users' Needs Assessment for Chatbot's Use in Higher Education", Proceedings of the Central European Conference on Information and Intelligent Systems, 2020, pp. 55-62.
- [3] F. Colace, M. Santo, M. Lombardi, F. Pascale, A. Pietrosanto y S. Lemma, "Chatbot for E-Learning: A Case of Study", International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, pp. 528-533, 2018.
- [4] N. Stathakou, S. Nifakos, K. Karlgren, et al. "Students' Perceptions on Chatbots' Potential and Design Characteristics in Healthcare Education" The importance of health informatics in public health during a pandemic. J. Mantas et al. (Eds.), 2020, pp. 209-212.
- [5] R. Winkler y M. Söllner, "Unleashing the Potential of Chatbots in Education: A State-Of-The-Art Analysis". In: Academy of Management Annual Meeting (AOM), Chicago, USA, 2018.
- [6] K. E. Azhari, I. Hilal, N. Daoudi y R. Ajhoun, "Chatbots in E-learning: Advantages and Limitations", Colloque sur les Objets et systems Connectés - COC'2021, IUT d'Aix-Marseille, Marseille, France. 2021. hal-03593713
- [7] M. Múnera Torres, L. Salazar Alvarez y A. Osorio, "Estudio inicial de un chatbot para estudiantes de la modalidad virtual de la Escuela Interamericana de Bibliotecología", Investigación Bibliotecología, vol. 36, núm 90, México, ISSN:2448-8321, pp.13-30, 2021
- [8] J. van der Zanden, M. Toussaint, Z. El-Mouniri y D. van Puffelen, "Students' perspective on the integration of chatbots in higher education" <https://doi.org/10.5281/zenodo.4472349>, 2021.
- [9] D. Carlander-Reuterfelt, A. Carrera, C. Iglesias, O. Araque, J. Sanchez Rada y S. Munoz, "JAICOB: A Data Science Chatbot". IEEEAccess, vol 8, 2020.
- [10] Fernández, A., Gómez-Rodríguez, A., Ortega, F. et al. "Artificial intelligence in the fight against COVID-19: a survey", Briefings in Bioinformatics, vol. 22(2), pp. 1110-1129, 2021.
- [11] (Hsieh et al., 2021) Hsieh, T.-Y., Liu, J.-C., Lai, C.-L. et al. "COVID-19: The role of artificial intelligence in the fight against the pandemic", Journal of the Chinese Medical Association, vol. 84(8), pp. 731-736, 2021.
- [12] J. Onrubia, "Aprender y enseñar en entornos virtuales: actividad conjunta, ayuda pedagógica y construcción de conocimiento", Revista de educación a distancia, Año IV, N° II, pp. 1-16, 2005
- [13] E. Avelleyra y L. Chiabrando, "Ayuda pedagógica mediante entornos virtuales de aprendizaje para la formación del ingeniero", Congreso World Engineering Education Forum - Educación en ingeniería para el desarrollo sostenible y la inclusión social. Buenos Aires, Argentina, 2012.
- [14] E. Avelleyra y M. Proyetti, "Strategies to Face the Challenge of Virtual Education" Dortmund IRC 2021, Publicado en Proceeding of the EURO PIM IRC 2021 Dortmund International Research Conference. ISBN 978-3-948228-02-6.
- [15] J. Pérez Angulo y J. Castro Rosales, "JUSECA: un juego serio para la comprensión de algoritmos", International Journal of Technology and Educational Innovation, vol. 8, pp. 5-16, 2022. Manuscript Templates for Conference Proceedings, IEEE.