

13 de noviembre de 2025

## Integración de contenidos y problemáticas de Inteligencia Artificial en el área de Física Computacional: motivaciones, experiencias y desafíos

Hugo D. Navone, Gabriel I. Perren, Sebastián Torres, Vladimir Moskat, Rodrigo E. Menchón

ECEN / Departamento de Física / Licenciatura en Física / Física Computacional

### Resumen

Históricamente, la Física ha contribuido al desarrollo de la Informática mediante innovaciones conceptuales y tecnológicas, brindando fundamentos teóricos y aportando a su implementación efectiva. Desde la construcción de las primeras computadoras y la invención del transistor, pasando por los avances en semiconductores y redes de comunicación, hasta la concepción de la Computación Cuántica y el diseño de sistemas de Inteligencia Artificial, su influencia ha sido constante. Diversos estudios señalan que la incorporación de contenidos y competencias vinculadas al pensamiento computacional en la formación de grado en Física, así como su formalización curricular en términos de Física Computacional, ha sido en general dispar y heterogénea; sin embargo, en nuestro caso es posible reconocer una evolución sostenida en este campo. Desde este marco teórico, y haciendo foco en una temática específica, presentamos cómo se integraron progresivamente contenidos y problemáticas de Inteligencia Artificial en el área de Física Computacional, desde los inicios de este siglo hasta la actualidad, atendiendo a las motivaciones y posibilidades de cada época. Finalmente, se presenta una evaluación de las experiencias desarrolladas a partir de testimonios de estudiantes y registros del equipo docente, y se exponen los principales desafíos del presente.

### Introducción

La Física y la computación son campos del conocimiento que han estado estrechamente relacionados desde sus inicios. La construcción de las primeras computadoras, como la ABC y la ENIAC (Coello Coello, 2003), la invención del transistor, los avances en tecnología de semiconductores, la implementación de redes de comunicación, el diseño de protocolos de comunicación y, en épocas más recientes, la concepción de la Computación Cuántica y las contribuciones al desarrollo de sistemas de Inteligencia Artificial son prueba de ello.

No obstante, algunos estudios registran que la presencia de la **dimensión computacional** en la formación inicial de grado en Física es algo dispar y heterogénea, y que aún no se encuentra ampliamente integrada en la práctica de la enseñanza (Caballero y Mermer, 2018).

La inserción de la dimensión computacional en nuestras universidades comienza en la **década de 1960**. En diciembre de 1968, los equipos de computación instalados en nuestro país eran 223, de los cuales 14 residían en las universidades (Gionco e Higa, 2024). Uno de estos equipos era la computadora **IBM 1130** que sería utilizada durante la **década de 1970** para realizar los trabajos prácticos de la asignatura anual **“Computación y Análisis Numérico”**, que se dictaba en el segundo año para todas las carreras de la FCEIA (UNR).

Posteriormente, finalizando la **década del ochenta**, en el tercer año del nuevo diseño curricular de la carrera de Licenciatura en Física se estableció la asignatura cuatrimestral **“Computación y Cálculo Numérico”**. De esta manera, se opera un cambio en la denominación cuyo objetivo implícito era incorporar a la computación como otra forma de construir conocimientos en el campo de la Física (Lara et al., 1995).

A mediados de la **década del noventa**, se implementa un **“Taller de Introducción a la Física Computacional”**, dirigido a alumnos de segundo año de Licenciatura en Física y de carácter optativo. En correspondencia, en el último año de la carrera se comienza a dictar la materia electiva **“Análisis Numérico y Modelos Matemáticos”**, con la intención de enriquecer la formación computacional del estudiantado con nuevas temáticas y problemáticas (Lara et al., 1995).

A partir del trabajo ininterrumpido de distintos equipos docentes, en la **primera década del 2000**, se incorpora el **“Taller de Introducción a la Física Computacional”** como un espacio de formación adicional en el desarrollo curricular de la asignatura **“Física Experimental I”**. Esta inserción resultó de fácil implementación, puesto que ya existían otros talleres con finalidades específicas en esta asignatura y, además, abría la posibilidad de trabajar tempranamente en adquisición y análisis de datos. Para cumplir con estos requerimientos, se completó el trabajo de programación en lenguaje Fortran con unidades didácticas de programación en lenguaje C.

La experiencia institucional y docente desarrollada a partir de las inserciones curriculares implementadas permitieron formalizar los espacios de formación mencionados, y es así como en la **reforma del plan de estudios de la Licenciatura en Física** realizada en 2018 se establecieron dos unidades curriculares obligatorias cuatrimestrales: un **“Taller de Física Computacional”**, que se ubica en el primer cuatrimestre del segundo año de la carrera, y la asignatura **“Computación Científica”**, que se dicta en el segundo cuatrimestre del tercer año, en reemplazo de la histórica **“Computación y Cálculo Numérico”**, más conocida como “CCN”.

El trayecto curricular de formación en el área computacional se completa incorporando el espacio de formación electivo **“Física Computacional”**, ocupando el lugar de la antigua asignatura electiva “Análisis Numérico y Modelos Matemáticos” en el segundo cuatrimestre del último año de la carrera. Esta unidad curricular se dicta ininterrumpidamente desde inicios de este siglo, en formato taller, y es la que, de alguna manera, cumple con la función de adecuarse y dar respuesta con cierta flexibilidad y celeridad a las demandas que el desempeño profesional en Física requiere satisfacer, tanto en el campo académico como en la industria.

Es en la unidad curricular **“Física Computacional”** en donde, desde sus inicios, se trabajan contenidos, algoritmos y metodologías de **Inteligencia Artificial (IA)**, todo esto teniendo en cuenta las demandas que el mundo laboral nos plantea en cada época.

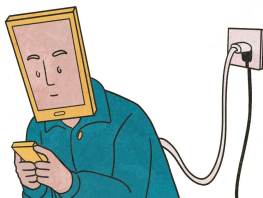
### Proceso de integración de temáticas de IA en Física Computacional

La inclusión de contenidos relacionados con **Inteligencia Artificial (IA)** en la unidad curricular **“Física Computacional”** se estructuró en torno a la exploración de los algoritmos y metodologías de Aprendizaje Automático o **Machine Learning** más relevantes de este campo del conocimiento y, a la vez, posibles de implementar en términos didácticos.

Para poder organizar los contenidos y describir las inserciones curriculares realizadas desde el inicio de este siglo hasta la actualidad, proponemos una segmentación exploratoria del período en una serie de etapas, cada una de ellas caracterizada por sus posibilidades contextuales, recursos disponibles y acontecimientos históricos.

La **primera etapa**, que comienza aproximadamente en el 2000, proviene de los desarrollos logrados en las décadas del '80 y '90, fundamentalmente guiados por el redescubrimiento del algoritmo de **retropropagación de errores o backpropagation** (Rumelhart, Hinton y Williams, 1986) para entrenar Redes Neuronales Artificiales (RNA). Esta etapa se extiende hasta aproximadamente el año 2005 y se caracteriza por realizar demostraciones y experimentos numéricos utilizando RNA para predecir series temporales. El programa demostrativo utilizado, fue desarrollado por la cátedra, estaba originalmente escrito en **QBasic** debido a sus funcionalidades gráficas. El lenguaje de programación utilizado en la asignatura era originalmente el **Fortran**, pero en esta etapa ya se consolida la inclusión del lenguaje C para codificar algoritmos. En esa etapa se dictaba la asignatura electiva “Análisis Numérico y Modelos Matemáticos”.

Es posible establecer una **segunda etapa** que abarca aproximadamente desde el año 2006 hasta el 2014. En este período se incluyen unidades didácticas que abordan el estudio, diseño y codificación de algoritmos de IA. En 2007 se formaliza la unidad curricular **“Física Computacional”** en reemplazo de la electiva “Análisis Numérico y Modelos Matemáticos”. En este espacio de formación se introduce explícitamente la **fundamentación matemática del método de retropropagación de errores o BP** para entrenar RNA en problemas de regresión. Se propone como proyecto de acreditación de la unidad curricular la codificación en lenguaje C o Fortran de este modelo de aprendizaje y su aplicación a un problema real o simulado.



En una **tercera etapa (2015-2019)** de integración de contenidos de IA en **“Física Computacional”**, se comienza a trabajar más concretamente en la **problemática del campo de conocimientos y de sus aplicaciones**. Se introducen cuestiones de carácter transversal relacionadas con IA orientadas a promover competencias de pensamiento crítico, sensible y ético. Sin abandonar el interés cognitivo de carácter técnico que orienta la producción de conocimientos y la enseñanza propia de nuestra disciplina, la problematización propuesta en torno a la IA también desplaza la atención hacia intereses de orden práctico y emancipatorio (Grundy, 1991).

La **cuarta etapa** abarca el período **2020-2022** aproximadamente. Se caracteriza por la irrupción de un acontecimiento histórico de gran impacto social y político: la **pandemia de COVID-19**. Las unidades didácticas, pensadas para el trabajo presencial, se codificaron en cuadernos o **notebooks** disponibles en el entorno **Google Colaboratory o Colab**, y se comenzó a programar en lenguaje **Python**, desplazando al lenguaje C. De esta manera, también se incorpora la programación literaria, un estilo de programación creado por Knuth (1984) con el propósito de explicar y documentar códigos. La modalidad de trabajo es virtual, acompañada con servicios de mensajería instantánea, y los procesos de computación se comparten y desarrollan en “la nube”.

La **quinta etapa** que nos es posible identificar comienza aproximadamente en **2023** y continúa en la actualidad. Se trata de una época en donde se va consolidando el proceso de integración progresiva de contenidos de IA en **“Física Computacional”** a partir de todas las experiencias previas realizadas. Desde el interés técnico, se introducen temáticas relacionadas con el trabajo en **Análisis de Datos**, en general, y con **Análisis Inteligente de Datos**, en particular, con la mirada puesta en el desarrollo de las competencias profesionales mínimas requeridas en el mundo laboral actual. Puesto que el diseño curricular de la Licenciatura en Física no contiene una materia específica destinada al despliegue de **contenidos de Probabilidad y Estadística**, en **“Física Computacional”** se proponen unidades didácticas en el entorno **Colab** que introducen elementos de este campo del conocimiento a través del desarrollo de proyectos computacionales en **Python**. Simultáneamente, y aprovechando los recursos disponibles en **Colab**, se **problematizan los contenidos y aplicaciones de los sistemas de IA** desde dispositivos que responden a intereses prácticos y emancipatorios, recurriendo al estudio de casos, la cita textual de diversas posiciones de autor y el desarrollo de actividades de indagación.

Los contenidos se organizan utilizando la **tipología de modelos** propuesta oportunamente por Gershenfeld (1999): (1) Modelos Analíticos; (2) Modelos Numéricos y (3) Modelos Observacionales. En la última categoría se incluyen las temáticas de IA: redes neuronales artificiales, algoritmos genéticos, recocido simulado, árboles de decisión y modelado bayesiano, entre otras posibles. Además, se introducen **categorías conceptuales** que permiten **organizar didácticamente el campo temático vinculado al Análisis de Datos e IA**: problemas de regresión, clasificación y estimación de densidades de probabilidad; ajuste, validación, generalización y dilema sesgo-varianza; modelado paramétrico y no paramétrico; aprendizaje supervisado y no supervisado; inferencias deductivas, inductivas y abductivas; entre otras conceptualizaciones posibles.

### Evaluación de la experiencia realizada

En términos generales, los registros del equipo docente y los testimonios de lxs estudiantes, permiten afirmar que desde sus inicios hasta la actualidad, la unidad curricular electiva **“Física Computacional”** es un **espacio de formación demandado en forma sostenida** por lxs estudiantes de Licenciatura en Física.

Respecto de los **contenidos de IA** propuestos, las evidencias recabadas durante el último período indican que se trata de una **temática de creciente interés**, registrándose demandas respecto de la ampliación y profundización de este tipo de competencias y saberes. Estas inquietudes también se materializan en la elaboración de **proyectos de acreditación** que indagan y abordan temáticas y aplicaciones específicas en este campo del conocimiento. También se registran consultas y proyectos de acreditación relacionados con la elaboración del trabajo final de grado o tesina de Licenciatura en Física.

En cuanto a los contenidos de **Probabilidad y Estadística**, en los testimonios de lxs estudiantes se explicita, en general, que son **necesarios, útiles y relevantes**, y que cumplen la función de complementar y llenar vacíos conceptuales en la construcción de competencias profesionales. No obstante, en concordancia con los distintos intereses y perfiles vocacionales de lxs estudiantes, también se **registran algunas manifestaciones de inseguridad e incomodidad** relacionadas con las temáticas propuestas. Una **posible interpretación**, que surge de algunos testimonios recabados, es que estos contenidos implican **modos de pensamiento no usuales** en la formación.

En relación con la **problematización de los contenidos y de las aplicaciones de la IA** en el mundo actual, enmarcadas en la inclusión de temáticas transversales que promueven el desarrollo de competencias asociadas a **intereses cognitivos de orden práctico y emancipatorio**, la mayoría de los testimonios señalan que **se alcanzó un equilibrio adecuado**.

No obstante, en algunos casos aislados se registraron expresiones que responden a demandas predominantemente técnicas. Tal como se advierte en diversos estudios, en este punto emerge la **tensión esperada entre lo disciplinar-técnico y lo transversal-práctico-emancipatorio**. Esta tensión tiende a ubicar a la segunda dimensión en una posición de relativa debilidad estructural frente a la primera, como efecto del carácter hegemónico que históricamente ha adquirido lo técnico dentro de nuestra disciplina.

### Desafíos actuales y proyecciones

A partir del análisis realizado en la sección anterior, consideramos que resulta conveniente **sostener y ampliar los contenidos de Probabilidad y Estadística**, articulándolos de manera más conveniente con los contenidos de IA. Es decir, sería necesario pasar de una articulación circular de carácter débil a una articulación más clara y profunda.

En base a las demandas registradas, sería importante **desarrollar unidades didácticas que incluyan más temáticas del campo de la IA**. Estas unidades podrían tener distinto carácter: (1) obligatorias; (2) optativas y/o (3) específicamente orientadas al desarrollo de proyectos finales de acreditación.

En este sentido, el desarrollo actual de los **Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLM)** y su amplia utilización indica que es conveniente incorporar la exploración conceptual de su estructura y funcionamiento, con el fin de comprenderlos y analizarlos críticamente como sistemas materiales complejos de procesamiento de la información.

Teniendo en cuenta la **tensión** entre la dimensión disciplinar específica, de carácter técnico, y las dimensiones transversales, de carácter práctico y emancipatorio, **resulta necesario actualizar los dispositivos de reflexión basados en posiciones de autor, estudios de caso e indagaciones temáticas**. En esta línea, se propone incorporar explícitamente el análisis del impacto ambiental, subjetivo, social, laboral y político de los sistemas de IA, con el propósito de fortalecer una comprensión crítica e integral de sus implicancias.

### Bibliografía

- Caballero, M. D. y Mermer, L. (2018). Prevalence and nature of computational instruction in undergraduate physics programs across the United States. *Physical Review Physics Education Research*, 14:020129.
- Coello Coello C.A. (2003). Breve historia de la computación y sus pioneros. Fondo de Cultura Económica.
- Gershenfeld, N. (1999). *The nature of mathematical modeling*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gionco, P. e Higa, M.R. (2024). Nueva fuente para nuestras historias de la computación: Registro de equipos de computación instalados en República Argentina (1969). *JAIIO, Jornadas Argentinas de Informática*, 10:56-60.
- Grundy, S. (1991). *Producto o praxis del currículum*. Madrid: Morata.
- Knuth, D. E. (1984). *Literate Programming*. *The Computer Journal* 27 (2).
- Lara, L. P., Navone, H. D., y Turner P. A. (1995). Enseñanza de Computación en la Carrera de Licenciatura en Física. *Anales AFA*, 6:410-414.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. y Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323 (9).