

FÍSICA COMPUTACIONAL: DISEÑO, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UNA UNIDAD CURRICULAR ELECTIVA DE LA LICENCIATURA EN FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

COMPUTATIONAL PHYSICS: DESIGN, DEVELOPMENT AND ASSESSMENT OF AN ELECTIVE COURSE IN THE PHYSICS DEGREE PROGRAM AT THE NATIONAL UNIVERSITY OF ROSARIO

Hugo D. Navone^{a,b}, Gabriel I. Perren^{a,b}, María Sol Pera^a, Rodrigo E. Menchón^{a,b} y
Sebastián Torres^a

^a*Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, UNR*

^b*Instituto de Física de Rosario (CONICET-UNR)*

Palabras clave: Física Computacional, Didáctica de la Física Computacional, Formación inicial en Física, Física Educativa

Resumen. En este trabajo se describe brevemente la evolución y las sucesivas transformaciones que dieron lugar al trayecto curricular destinado a articular el desarrollo de habilidades y competencias computacionales en la carrera de Licenciatura en Física de la Universidad Nacional de Rosario. Luego, se presenta el diseño curricular de la asignatura electiva “Física Computacional”, que se dicta en el último año de la carrera para completar dicho trayecto formativo. Esta propuesta establece vínculos con espacios formativos previos y simultáneos, así como con los requerimientos del actual mundo del trabajo. Finalmente, se describen las principales estrategias y recursos didácticos utilizados en el desarrollo curricular de “Física Computacional” y se evalúa su implementación, alcances y limitaciones a partir de la propia palabra de los participantes de la actividad, mediante el análisis de diversos testimonios recabados oportunamente.

Keywords: Computational Physics, Didactics of Computational Physics, Initial training in Physics, Physics Education.

Abstract. This work briefly describes the evolution and successive transformations that shaped the curricular pathway aimed at integrating the development of computational skills and competencies within the Physics Degree Program at the National University of Rosario. It then presents the curricular design of the elective course “Computational Physics”, offered in the final year of the program, which completes this training pathway. This proposal establishes connections with previous and concurrent learning spaces, as well as with the requirements of today’s labor market. Finally, the main strategies and teaching resources employed in the curricular development of “Computational Physics” are described, and its implementation, scope, and limitations are assessed based on the participants’ own accounts, through the analysis of various testimonies collected in due course.

1. INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos hasta la actualidad, la humanidad ha imaginado, explorado e implementado la automatización de procesos, actividades, tareas, operaciones y funciones que le son propias. Para ello ha empleado herramientas, mecanismos, dispositivos y algoritmos de diversa naturaleza, llegando hasta el desarrollo de plataformas de Inteligencia Artificial y sistemas robóticos. En este devenir, la relación entre mentes y máquinas ha sido objeto de análisis, críticas y tensiones. La emergencia de problemáticas e incertidumbres de carácter ético, político y cognitivo ha configurado un territorio plagado de intereses, juegos de verdad y de poder, en donde actualmente se dirime el rumbo y el control de estas transformaciones.

Las guerras del siglo XX nos muestran cómo la ciencia y la tecnología recibieron un impulso descomunal de la mano de megaproyectos planificados que movilizaron recursos, personas, científicos, políticos y gobiernos con el fin de alcanzar la victoria a través de esfuerzos bélicos totales (Hobsbawm, 2013). La Segunda Guerra Mundial, los conflictos de menor intensidad relativa y la Guerra Fría, fueron articulando una masa de recursos, saberes y experticias, que Eisenhower supo calificar como “complejo militar-industrial” (Hobsbawm, 2011), sustentado en el apoyo de los respectivos gobiernos. Sin duda, se trataba de un enfrentamiento entre tecnologías y sistemas tecnocientíficos dirigidos al desarrollo de armas y otros servicios estratégicos (Hobsbawm, 2011).

Las guerras, o los preparativos para afrontar potenciales conflictos, también operaron como factor fundamental en el desarrollo de los ordenadores y de la informática, tecnologías que luego, como muchas otras, impregnaron la vida cotidiana. La Física ha sido un agente directo o indirecto en cada uno de estos sucesos, proponiendo innovaciones, brindando fundamentos teóricos y realizando contribuciones para su desarrollo tecnológico efectivo: desde la construcción de las primeras computadoras, como la ABC y la ENIAC (Coello Coello, 2003), pasando por la invención del transistor, los avances en tecnología de semiconductores, la implementación de redes de computadoras y el diseño de protocolos de comunicación, hasta la concepción de la Computación Cuántica y su contribución al desarrollo de sistemas de Inteligencia Artificial.

Sin embargo, a pesar de la estrecha relación entre Física e Informática, ya sea por haber participado en la evolución de este campo de saber, por su utilización casi ineludible en el ámbito profesional o por sus posibles impactos en los procesos de aprendizaje, algunos estudios indican que la presencia de la dimensión computacional en la formación inicial de grado en Física es, al menos, dispar y heterogénea, y que no se encuentra ampliamente integrada en la práctica de la enseñanza (Caballero y Merner, 2018). Esta observación adquiere aún más sentido cuando se toma en cuenta que, si bien la investigación en enseñanza de la Física es un campo de trabajo muy activo desde hace varias décadas, la investigación educativa acerca del rol que desempeña la dimensión computacional en Física no estaría tan presente (Martin, 2017).

Desde una perspectiva histórica, la influencia de la evolución del campo computacional sobre el sistema educativo universitario comienza a registrarse durante los años cincuenta y más fuertemente en la década siguiente, cuando los equipos se tornan más accesibles para el presupuesto universitario. También, es importante destacar que en 1957 la Unión Soviética lanza el *Sputnik*, y en plena Guerra Fría, esto se traduce en un aumento del apoyo gubernamental en investigación científica, desarrollo tecnológico y educación, fundamentalmente en Estados Unidos. Según Martin (2017), en los años sesenta ya se proponían cursos en donde los estudiantes abordaban temas de Análisis Numérico y programaban en el lenguaje *Fortran* como un complemento del trabajo analítico. En los años setenta y ochenta, se formalizan en libros de texto los contenidos de los cursos que se dictaban en esa época, registrándose un desplazamiento de

la educación basada en el Análisis Numérico hacia el abordaje computacional de problemas de Física a través del desarrollo de proyectos (Martin, 2017). En la década del noventa, ya se observaba la implementación de trayectos curriculares destinados a fortalecer y articular la formación computacional en Física. De esta manera, se va consolidando la Física Computacional como un subcampo de la Física y como una metodología de investigación disciplinar, interactuando fuertemente con los abordajes teóricos y experimentales tradicionales (Martin, 2017).

En Argentina, de acuerdo a los registros disponibles, los equipos de computación instalados al 31 de diciembre de 1968 eran 223, de los cuales 14 residían en las universidades (Gionco e Higa, 2024). Entre estos equipos se encontraba “Clementina”, una computadora modelo Mercury de la firma Ferranti (Jacovkis, 2013) alojada en la Universidad de Buenos Aires, y la computadora IBM 1130 perteneciente a la Universidad Nacional de Rosario, institución que en aquel mismo año se creaba como desprendimiento de la Universidad Nacional del Litoral.

La progresiva inserción de las computadoras en el ámbito universitario se va dando en correspondencia con las necesidades y los recursos existentes en los distintos contextos institucionales, siendo su destino inicial satisfacer cuestiones de orden administrativo y resolver las demandas de distintos proyectos de investigación. Posteriormente, y tal como fue sucediendo en los países centrales —en particular en Europa Occidental y Estados Unidos—, aquí en la periferia se reproduce más o menos la misma dinámica de integración de la computación en las formaciones de grado, con resultados similares. Así es como en los años setenta, el diseño curricular de la carrera de Licenciatura en Física establecía una asignatura anual en su segundo año denominada: “Computación y Análisis Numérico”. En este espacio curricular se abordaban los métodos numéricos básicos y se codificaban programas en *Fortran*, los que eran ejecutados en la IBM 1130, sin entrar en contacto directo con el equipo. Hacia finales de la década del ochenta, cambia el diseño curricular de la carrera con el propósito de tratar de dar respuesta a los nuevos requerimientos solicitados para la formación profesional en Física y se establece la asignatura cuatrimestral “Computación y Cálculo Numérico” en el tercer año de la carrera. El cambio en la denominación no es casual, y tuvo como objetivo implícito incorporar a la computación como otra forma de construir conocimientos en el campo de la Física (Lara et al., 1995). En correspondencia con las tendencias registradas y descriptas en párrafos anteriores, a mediados de la década del noventa se introduce un “Taller de Física Computacional”, de carácter optativo, dirigido a alumnos de segundo año. Además, en el último año de la Licenciatura en Física se implementa una materia electiva denominada “Cálculo Numérico y Modelos Matemáticos”, con la intención de enriquecer la formación computacional del estudiantado con nuevas temáticas y problemáticas (Lara et al., 1995). De esta manera, comienza a construirse un trayecto curricular en la formación de grado en Física cuyo propósito era promover el desarrollo de competencias en Física Computacional, observándose al mismo tiempo una heterogénea, débil y auxiliar inserción del cálculo numérico en otras materias de la carrera, en correspondencia con lo que sucedía en los países centrales.

En la primera década del 2000, y como resultado del trabajo ininterrumpido de distintos equipos docentes, el “Taller de Física Computacional” se incorporó como un espacio de formación más en el contexto de la asignatura “Física Experimental I”, donde ya se incluían otro tipo de talleres con finalidades específicas.

Esta etapa de transformaciones curriculares de carácter interno culmina en 2018 con la aprobación del nuevo plan de estudios de la carrera de Licenciatura en Física (LF Rosario, 2018). Este nuevo diseño contiene 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. Consistentemente con el proyecto inicial, la formación computacional del estudiantado se completa y enriquece con una unidad curricular electiva, que se imparte en modalidad taller, denominada “Física Computacional”. De esta manera, se logra configurar un trayecto de formación en Física Computacional que, con cierta flexibilidad, permite dar respuesta a las demandas actuales requeridas para el desempeño profesional en Física.

Desde esta perspectiva de análisis, en las siguientes secciones exponemos los principales aspectos del diseño y desarrollo curricular de la unidad electiva “Física Computacional”. Luego, presentamos una evaluación cualitativa de la experiencia a partir del análisis de los testimonios de los estudiantes y de los registros del equipo docente que han podido ser recabados durante su desarrollo y, fundamentalmente, en la etapa de acreditación de la unidad curricular, los que dan cuenta del trabajo realizado. Finalmente, se concluye exponiendo los alcances, limitaciones y debilidades que contiene la propuesta actual con la intención de ir produciendo y evaluando progresivas modificaciones que permitan sostener un diálogo fluido entre la formación de base en Física, las demandas del mundo laboral y las problemáticas que el presente nos plantea en términos disciplinares y políticos. El proyecto de cátedra que aquí presentamos no se reduce a una sumatoria de acciones aisladas, sino que conforma un programa de investigación-acción en enseñanza de la Física Computacional.

2. DISEÑO CURRICULAR

El discurso curricular puede ser conceptualizado como una categoría intermedia ([Morelli, 2010](#)), herramienta analítica que recupera [Buenfil Burgos \(2008\)](#) a partir de diversos estudios previos, y que es propuesta como constructo para articular la generalidad teórica con las particularidades históricas, contextuales y situadas, en la que se despliega la praxis educativa. El diseño curricular se concibe de manera amplia para tratar de conjugar una necesaria formación teórica-básica con una adecuada formación tecnológico-práctica, promoviendo en todo momento una formación crítico-social en el abordaje de cada uno de los contenidos propuestos ([De Alba, 2014](#)). A su vez, el discurso curricular debe poder dar cuenta de las problemáticas que subyacen, persisten y son comunes a las siempre cambiantes demandas del mundo laboral, promoviendo el desarrollo de competencias de amplio espectro. De esta manera, el diseño del espacio de formación “Física Computacional”, concebido como categoría intermedia, se proyecta sobre todas estas dimensiones, constituyéndose como hipótesis de trabajo, tanto para la estructuración formal del discurso que lo sustenta, como para su efectivo desarrollo curricular en términos procesales-prácticos ([De Alba, 2014](#)).

La “Física Computacional” es un campo del conocimiento que toma como objeto de estudio a problemas que se inscriben, total o parcialmente, en la disciplina de referencia. De esta manera, se distingue de las Ciencias de la Computación cuyo interés está puesto en la computación en sí misma, abarcando sus múltiples dimensiones ([Landau et al., 2008](#)). Se trata de un campo problemático de la Física centrado en el diseño, implementación, validación y evaluación de modelos computacionales basados en la articulación de diversos algoritmos, con el propósito de estudiar objetos, sistemas, procesos, fenómenos y sucesos, tanto en su dimensión disciplinar como interdisciplinar.

El diseño curricular de la unidad electiva “Física Computacional” se fundamenta en las premisas expuestas y se estructura a partir de las siguientes unidades temáticas (UT): UT-1) Desarrollo tecnocientífico y naturaleza del campo disciplinar; UT-2) Arquitecturas y plataformas de desarrollo; UT-3) Programación en lenguajes de distinto nivel de abstracción; UT-4) Métodos y problemas de la Física Computacional; UT-5) Estimación de dependencias a partir de los datos;

UT-6) Didáctica de la Física Computacional y UT-7) Proyecto integrador de Didáctica de la Física Computacional.

La unidad temática UT-1 se organiza en torno a la naturaleza de la Física Computacional como una tercera vía metodológica para la construcción del conocimiento en Física, en estrecha interrelación con los abordajes teóricos y experimentales. De esta manera, se introducen aspectos de la evolución histórica de este campo a nivel mundial, nacional y local; se caracteriza el impacto sociopolítico y educativo de la tecnología informática desde sus orígenes; se describe la configuración actual que adquiere este campo disciplinar para la formación inicial en Física y se distinguen los tipos de inserción curricular posibles.

En la siguiente unidad temática (UT-2) se trazan algunos principios ordenadores de carácter general que permiten articular la descripción de las plataformas de *hardware* y *software* más usuales; se exponen conceptos fundamentales relacionados con la arquitectura de los sistemas operativos y se introducen comandos destinados a gestionar y procesar la información en estos ambientes de trabajo.

La unidad temática UT-3 se enfoca en el diseño de algoritmos simples y en el uso de estructuras de datos básicas para su posterior codificación en lenguajes de distinto nivel de abstracción. Se describen brevemente el lenguaje de máquina y el lenguaje ensamblador, así como los lenguajes de nivel intermedio, destacando su importancia en el ámbito académico y en la industria del *software*. Luego, se introducen los elementos fundamentales que componen los lenguajes de alto nivel: tipos de datos, estructuras de datos, expresiones y operadores, principios de control, objetos, librerías, procedimientos, pasaje de argumentos y gestión de archivos. Finalmente, se propone la implementación de proyectos computacionales en donde intervienen los conceptos fundamentales de un lenguaje de programación de alto nivel de abstracción.

Las unidades temáticas UT-4 y UT-5 se estructuran en torno al estudio de las metodologías de cálculo que permiten resolver distintos problemas en el campo de la Física Computacional y en disciplinas relacionadas. En este segmento del diseño, se retoman y completan los contenidos ya estudiados en los espacios curriculares previos correspondientes al trayecto de formación computacional de la Licenciatura en Física. Nos referimos al “Taller de Física Computacional”, que se dicta en el segundo año de la carrera, y a la asignatura “Computación Científica”, que se imparte en el tercer año. Además, se introducen técnicas de cálculo alternativas y se presentan nuevos contenidos en el contexto de posibles campos de interés para el trabajo profesional en Física que no se contemplan durante el desarrollo de la carrera, tales como: simulación computacional de sistemas dinámicos no lineales, procesamiento digital de imágenes, técnicas numéricas de resolución de ecuaciones diferenciales con fines específicos, modelado estocástico, métodos de Monte Carlo y Algoritmos Genéticos, entre otros. Es importante destacar que, si bien en nuestra carrera existía la asignatura “Probabilidad y Estadística”, en las sucesivas reformas del plan de estudios que se realizaron a partir de la década de 1980 se optó por integrar estos contenidos de manera transversal en otras unidades curriculares. Actualmente, debido al creciente desarrollo de modelos computacionales de base estocástica y al impacto del análisis de datos en todos los campos del conocimiento, especialmente en el ámbito industrial, en estas unidades temáticas también se incorporan contenidos fundamentales de Probabilidad y Estadística, cuyo propósito es dar soporte al desarrollo e implementación de modelos más complejos. En particular, en la unidad temática UT-5, se estudia la estimación de dependencias a partir de los datos y el desarrollo de modelos computacionales basados en observaciones y registros. Se trabaja en el modelado paramétrico y no paramétrico de conjuntos de datos de diversa naturaleza y se introducen temáticas de Inteligencia Artificial en el marco de algoritmos o máquinas con la capacidad de “aprender” a partir de los datos. Asimismo, se realiza una introducción a Redes

Neuronales Artificiales y se exponen los fundamentos de las técnicas más simples para el ajuste y validación de modelos, con el fin de evaluar su capacidad de generalización. En particular, se presenta el dilema sesgo-varianza con el propósito de introducir las problemáticas relacionadas con la selección de modelos en diferentes contextos.

Los contenidos propuestos en la unidad temática UT-6 se focalizan en aspectos relacionados con la Didáctica de la Física Computacional. La incorporación de esta unidad persigue un triple propósito: 1) promover procesos de autorreflexión crítica en relación con los propios modos de aprender, favoreciendo la reconstrucción, organización e integración de saberes previos, así como la identificación de obstáculos, falencias y cuestiones a revisar; 2) desarrollar competencias docentes que, si bien siempre fueron necesarias en el ámbito laboral, adquieren hoy mayor relevancia en contextos colaborativos de alta interdependencia; y 3) contribuir a la formación de recursos humanos para la enseñanza de la Física Computacional. La explicitación de este último propósito se debe a que, por la propia configuración de la disciplina de referencia, fuertemente anclada en los aspectos teóricos y experimentales, y por la naturaleza dinámica y volátil de los contenidos y competencias relacionados con este campo del conocimiento, su desarrollo docente ha recibido históricamente una menor atención y, en consecuencia, suele depender mucho de las iniciativas de algunos entusiastas (Martin, 2017). Específicamente, en la unidad temática UT-6 se abordan contenidos vinculados con la cultura algorítmica y el pensamiento computacional; se propone el análisis de las problemáticas actuales derivadas del impacto subjetivo de la participación en contextos sociales de alta interconectividad, donde a menudo se diluye el compromiso y la responsabilidad propios de la interacción presencial, y se reflexiona acerca del rol de las redes sociales y los modos de circulación y consumo de la información. También se propone el acceso a plataformas de Inteligencia Artificial para la resolución de actividades, interrogantes y tareas, así como la problematización de distintas cuestiones relacionadas con estos ingenios, tales como sus impactos laborales, sociales y ambientales, las nuevas relaciones de poder y de dependencia que generan, y las diversas visiones e intereses que se ponen en juego, entre otras consideraciones. De esta manera, asumimos que la universidad no sólo debe ocuparse de la formación para el trabajo con fines académicos o económicos; también debe enriquecer la construcción de concepciones del mundo, promover la aceptación de modos de vivir y de convivir alternativos, propiciar el desarrollo individual y colectivo, y estimular la participación política (Litwin, 2008).

Finalmente, en la unidad temática UT-7 se propone el diseño, implementación y evaluación de un proyecto final integrador en el campo de la Física Computacional. Este proyecto, basado en la exploración de una temática a elección de cada estudiante, debe ser formulado y presentado cubriendo aspectos disciplinares, didácticos y transversales. De este modo, durante el proceso de acreditación de la unidad curricular no sólo evalúan competencias técnicas, sino que también se fomenta la construcción de competencias docentes para la práctica de la enseñanza en este campo del conocimiento, contribuyendo, por lo tanto, al desarrollo de competencias profesionales de amplio espectro.

3. DESAROLLO CURRICULAR

La unidad curricular electiva “Física Computacional” se dicta en el segundo cuatrimestre del quinto año de la Licenciatura en Física de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario. La carga horaria semanal de interacción entre el equipo docente y el grupo-taller es de 5 horas reloj, totalizando una carga horaria cuatrimestral de 80 horas reloj. La modalidad de trabajo es virtual y sincrónica, y se basa en el desarrollo

de unidades didácticas elaboradas por el equipo docente para el estudio de cada uno de los contenidos propuestos en el diseño. Los encuentros semanales se estructuran combinando distintos modelos de enseñanza que, según [Tedesco et al. \(2014\)](#), pueden categorizarse de la siguiente manera: (1) exposición-discusión; (2) resolución de problemas y proyectos; (3) simulaciones; (4) indagación y (5) estudio de caso. La exposición-discusión, la resolución de problemas y proyectos, y el desarrollo de simulaciones, son modalidades que intervienen con mayor frecuencia durante el estudio de las primeras seis unidades didácticas. En cuanto a las estrategias de indagación y estudio de caso, aunque también se implementan durante el trabajo con distintos contenidos, adquieren una mayor relevancia en el proceso de acreditación del espacio curricular, tal como se explicita en la unidad temática UT-7.

Las primeras tres unidades del diseño curricular se estructuran en torno a la naturaleza del campo disciplinar, su historia y su evolución, haciendo foco también en los diversos intereses puestos en juego en su desarrollo pasado y actual. Para ello, se seleccionan las siguientes grandes temáticas organizadoras: (1) la invención de las primeras computadoras; (2) los aportes de la Física y de profesionales de esta disciplina en el desarrollo de la tecnología informática; (3) la computación en la Segunda Guerra Mundial como asunto de estado; (4) la Guerra Fría y los intereses del complejo militar-industrial; (5) la producción de equipos de bajo costo destinados a la creación de un mercado de consumo; (6) Internet, protocolos y lenguajes; y (7) redes sociales, computación en “la nube”, Inteligencia Artificial y Ciencia de Datos. El desarrollo de estas temáticas no es lineal, sino que se va articulando de manera transversal en las distintas unidades didácticas, trazando relaciones con los contenidos técnicos y prácticos que las constituyen. En estas unidades didácticas se introducen los fundamentos de los sistemas operativos, su arquitectura y su filosofía de producción, con especial énfasis en la relevancia del *software libre*. Los sistemas operativos se presentan resaltando los constructos comunes a todos ellos, sin depender de casos particulares, para luego focalizar el análisis en *Windows* y *Linux*. Se aborda el manejo de archivos como la mínima unidad de información gestionable por estos sistemas, los tipos de archivos y sus atributos, la organización de directorios y los comandos u operaciones que permiten llevar a cabo las acciones correspondientes. Asimismo, se explora la evolución de los lenguajes de programación y se analiza la transición desde el lenguaje de máquina hasta los de alto nivel (*Fortran*, *Python*, *Julia*), destacando el rol del *C* como un lenguaje de nivel intermedio que constituye un puente entre la abstracción de bajo y alto nivel. También se describen los lenguajes de programación más usados en Física y su progresivo ingreso en el sistema educativo. Esta estrategia de trabajo, centrada en los sistemas operativos y en los lenguajes de programación como plataformas para el desarrollo de constructos más complejos, permite reconstruir, integrar y complementar conocimientos previos desde una perspectiva didáctica. Al mismo tiempo, muestra cómo estas temáticas pueden enseñarse más allá de la visión meramente operativa, técnica o instrumental que tradicionalmente predomina.

Llegados a este punto, se selecciona *Python* como lenguaje de programación de alto nivel para la resolución de problemas y proyectos de Física Computacional. Esta elección se fundamenta en los siguientes aspectos de relevancia profesional y didáctica: 1) *Python* es utilizado en múltiples campos del conocimiento, con un amplio espectro de aplicaciones y hacia el que convergen, en algunas áreas, sistemas escritos originalmente en otros lenguajes; 2) dispone de una extensa gama de librerías de acceso libre especializadas en diversas temáticas; 3) cuenta con una comunidad de práctica muy activa y productiva, a la cual es posible recurrir para resolver dudas e intercambiar ideas; 4) es un lenguaje interpretado y multiparadigma, con fuerte soporte para la programación orientada a objetos, cualidades que lo tornan muy versátil para conceptualizar constructos complejos; 5) ofrece estructuras de datos de alto nivel de abstrac-

ción; y 6) contiene funciones que lo convierten en una opción muy potente y flexible para el procesamiento de datos y la generación de gráficos.

Las unidades didácticas elaboradas para abordar los contenidos del diseño curricular en modalidad virtual se desarrollaron en la plataforma *Google Colaboratory (Colab)*, que permite realizar computación en “la nube”. Se trata de un ambiente de desarrollo inspirado en los principios de la programación literaria ya que integra texto, código y resultados en un mismo documento narrativo. Básicamente, las unidades didácticas se disponen en cuadernos o *notebooks*, en donde se despliegan celdas de texto y celdas de ejecución. Las celdas de texto se utilizan para organizar los temas, desplegar explicaciones, proponer actividades y plantear interrogantes. También, es posible incluir enlaces a diversos recursos para enriquecer y ampliar el desarrollo progresivo de los distintos contenidos. Estas celdas pueden ejecutar instrucciones en *LaTeX* y *HTML*, atributos que hacen de esta plataforma una herramienta de mucho valor para el tratamiento de temas en Física Computacional. Las celdas de código admiten algoritmos codificados en *Python* cuya ejecución permite visualizar rápidamente los resultados obtenidos en una celda que se despliega a continuación, incluyendo gráficos de todo tipo si así fuera estipulado. De esta manera, cada unidad didáctica se diseña usando todos estos recursos para promover el estudio autónomo, la interpretación y corrección de errores, la indagación temática y la experimentación, estimulando la implementación de modificaciones en los códigos existentes, así como la incorporación de nuevas celdas con programas elaborados por cada participante.

En las unidades didácticas se solicita la resolución de problemas y proyectos computacionales de progresiva complejidad. También, se incluyen recursos, textos, viñetas y videos con temáticas de carácter transversal, a partir de los cuales se proponen actividades e interrogantes a resolver. Se trata de prácticas que, además de poner en juego contenidos y competencias disciplinares y técnicas, invitan a reflexionar críticamente, estableciéndose como genuinos desafíos de escritura que requieren la activación de procesos de indagación y fundamentación. Para la resolución de todas las actividades propuestas al grupo-clase, se dispone de un cuaderno de proyectos que cada participante elabora individualmente y que comparte con el equipo docente a los efectos de verificar avances, resolver dudas y canalizar inquietudes. Este cuaderno complementa los intercambios dialogados que se producen durante cada encuentro, y constituye una herramienta que permite la evaluación continua y formativa del trayecto educativo, favoreciendo la autorregulación del propio sendero de aprendizaje.

El proceso de acreditación final de la unidad curricular requiere que se complete el cuaderno de proyectos, habiendo resuelto todas las actividades exigidas oportunamente. Luego, se solicita la presentación de un cuaderno en donde cada participante elabora la resolución de un proyecto computacional final basado en una indagación temática o en un estudio de caso que sea de su interés personal. El contenido del cuaderno debe respetar las normas de escritura académica usuales en la comunidad disciplinar, presentando una introducción a la temática elegida, el desarrollo de todos los aspectos involucrados en la misma, los códigos computacionales elaborados para abordar su resolución, los resultados obtenidos y su interpretación, las conclusiones y la bibliografía de referencia. También, se solicita que se consideren aspectos didácticos en la elaboración del proyecto final y se establezcan posibles conexiones con otras ramas del conocimiento disciplinar e interdisciplinar, y con problemáticas transversales, siempre que resulte pertinente. La presentación culmina con un coloquio final integrador en donde se dialoga y reflexiona acerca de los contenidos y actividades desarrolladas durante el cursado.

4. EVALUACIÓN Y CONCLUSIONES

La evaluación cualitativa de la experiencia curricular se realizó a partir del análisis de los registros de observación participante del equipo docente y de los testimonios de valoración general de los estudiantes, recabados durante los procesos de acreditación correspondientes al período 2023-2024. Si bien se cuenta con registros de experiencias anteriores, se seleccionó este lapso temporal porque se consideró que el desarrollo curricular alcanzó en esta etapa cierto grado de madurez en relación a las principales dimensiones sobre las que se despliega el trabajo disciplinar, pedagógico y didáctico en este campo del conocimiento.

En base a este análisis, es posible concluir que: (1) las unidades didácticas, materializadas en los cuadernos, fueron muy bien recibidas por los participantes; (2) las temáticas de los primeros cuadernos cumplieron con el propósito de recuperar y organizar conocimientos previos y, además, nos fue posible inferir que quienes se sentían un poco alejados del mundo de la computación pudieron acercarse desde sus propios estilos de aprendizaje y superar así obstáculos conceptuales y procedimentales; (3) en algunos testimonios se expresa que el contenido y el despliegue de las unidades didácticas contribuyó al desarrollo de competencias para el trabajo autónomo; (4) las actividades de reflexión y escritura fueron valoradas positivamente en la mayoría de los testimonios y, en algunos casos, se destacó que las vivenciaron como necesarias para la recuperación de competencias en este dominio del campo profesional; (5) en ciertas situaciones, en donde el proceso de acreditación se demoró respecto del tiempo de cursado, se registró que las unidades didácticas también oficiaron de material de consulta para resolver distintas dudas de Física Computacional; (6) si bien se observó una natural tensión entre los contenidos disciplinares específicos y las problemáticas transversales incluidas en las unidades didácticas, los testimonios recabados nos indican que el balance entre ambos registros discursivos fue el adecuado; (7) a pesar de las dificultades iniciales que muchos manifestaron en relación a los contenidos de Probabilidad y Estadística, se observó un acuerdo generalizado en relación a la importancia de cubrir esta relativa ausencia en la carrera y se valoró positivamente el trabajo realizado al respecto; (8) en algunos testimonios se destacó como relevante el trabajo conceptual sobre el paradigma de programación orientada a objetos, así como la inclusión de herramientas de cálculo simbólico en *Python*; (9) la introducción de algoritmos, plataformas y problemáticas relacionadas con Inteligencia Artificial y Ciencia de Datos también fue bien ponderada en diversos registros y, en algunos casos, se observaron demandas que planteaban la necesidad de dedicarle más tiempo al desarrollo de este tipo de contenidos.

Finalmente, también se registraron algunas opiniones que nos permiten pensar en la posibilidad de realizar modificaciones en futuras implementaciones: (1) parece necesario ajustar mejor el tiempo destinado a la lectura del contenido de las unidades didácticas durante cada encuentro virtual a los efectos de poder abarcar las distintas necesidades y ritmos de aprendizaje del grupo-clase; (2) resulta prudente equilibrar la carga horaria de cada tema para asegurar que los últimos, que son de interés para el mundo laboral actual, puedan abordarse con tranquilidad; (3) sería importante ir actualizando el contenido de las problemáticas transversales que se incluyen progresivamente en las unidades didácticas para poder mantener su vigencia; (4) consideramos que la tensión que se registra entre los contenidos disciplinares específicos y los de carácter transversal, aunque se manifiesta principalmente en casos aislados, requiere de la construcción de estrategias didácticas alternativas y de una mayor claridad en la explicitación de sus fundamentos pedagógicos; (5) es indispensable ampliar el campo de temáticas vinculadas a Inteligencia Artificial y Ciencia de Datos y (6) sería interesante reflexionar sobre la posibilidad de incluir unidades didácticas de carácter optativo.

REFERENCIAS

- Buenfil Burgos R.N. La categoría intermedia. En O. Cruz Pineada y L. Echavarría Canto, (Coords.), *Investigación social: Herramientas teóricas y Análisis Político del Discurso*, pp. 29–40. Casa Juan Pablos, 2008.
- Caballero M.D. y Merner L. Prevalence and nature of computational instruction in undergraduate physics programs across the United States. *Physical Review Physics Education Research*, 14:020129, 2018. <http://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.020129>.
- Coello Coello C.A. *Breve historia de la computación y sus pioneros*. Fondo de Cultura Económica, 2003.
- De Alba A. *Curriculum: mito, crisis y perspectiva*. Miño y Dávila, 2014.
- Gionco P. e Higa M.R. 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, 2024.
- Hobsbawm E. *Historia del siglo XX*. Crítica, 2011.
- Hobsbawm E. *Un tiempo de rupturas: sociedad y cultura en el siglo XX*. Crítica, 2013.
- Jacovkis P.M. *De Clementina al siglo XXI: breve historia de la computación en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires*. Eudeba, 2013.
- Landau R.H., Páez M.J., y Bordeianu C.C. *A Survey of Computational Physics: Introductory Computational Science*. Princeton University Press, 2008.
- Lara L.P., Navone H.D., y Turner P.A. Enseñanza de Computación en la Carrera de Licenciatura en Física. *Anales AFA*, 6:410–414, 1995.
- LF Rosario. Plan de Estudios de la carrera Licenciatura en Física de la Universidad Nacional de Rosario. En: https://web.fceia.unr.edu.ar/images/PDF/carreras_de_grado/Lic_Fisica_-_plan_2018/Res_026_2018_CS_Plan_2018_Lic_en_Fisica.pdf, 2018. Accedido: 16/10/2025.
- Litwin E. *Las configuraciones didácticas: Una nueva agenda para la enseñanza superior*. Paidós, 2008.
- Martin R.F. Undergraduate Computational Physics Education: Uneven History and Promising Future. *Computing in Science & Engineering*, 19:70–78, 2017. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/759/1/012005>.
- Morelli S. *El currículum universitario*. Laborde, 2010.
- Tedesco J.C., Aberbuj C., y Zacarías I. *Pedagogía y democratización de la universidad*. Aique, 2014.