

## ¿PARA QUÉ TOMAN CURSOS DE FÍSICA LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA?

### THE PURPOSE OF PHYSICS COURSES FOR ENGINEERING STUDENTS

Darío M. Rodríguez<sup>1\*</sup>, Fabio Jurado<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Física, Sede Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Investigación en Educación, Sede Bogotá, Colombia.

(Recibido: Abr./2025. Aceptado: Dic./2025)

#### Resumen

Se presentan los contenidos más relevantes de algunas asignaturas de cuatro carreras de ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, y se establecen relaciones con los contenidos de las dos asignaturas básicas de física, ofrecidas en todas las carreras de ingeniería. También se presentan los resultados preliminares de consultas realizadas a profesores y estudiantes de ingeniería sobre estas relaciones. Los datos que surgen del estudio pueden ser fundamentales para los estudiantes y para los profesores de las asignaturas de física en las carreras de ingeniería.

**Palabras clave:** docencia y aprendizaje de la física, pedagogías de la física, física e ingeniería, formación de ingenieros.

#### Abstract

Relevant contents of several engineering courses corresponding to four engineering programs in the Bogotá campus of Universidad Nacional de Colombia are presented, in order to establish significant relations

with contents of the basic physics courses offered for all engineering careers. Initial outcomes of consultations made to engineering students and teachers are also presented. This information may be fundamental for students and teachers of these physics courses.

**Keywords:** physics teaching and learning, physics pedagogies, physics and engineering, engineers formation.

## Introducción

Durante el desarrollo de los cursos básicos de física para estudiantes de ingeniería suelen surgir preguntas de los estudiantes y de los profesores acerca de la pertinencia y la utilidad de dichos cursos. El presente estudio acometió estos dilemas y profundizó en la relevancia de la física en la formación de los ingenieros.

Es común que los estudiantes inscriban estas asignaturas porque las encuentran en sus programas curriculares como prerrequisitos para otras, y que las asuman como obstáculos que deben superar para luego acceder a conocimientos o temáticas propios de sus disciplinas particulares, sin conocer las relaciones entre los contenidos de los cursos básicos de física y los de las asignaturas futuras. La incertidumbre asociada con la obligación de tomar asignaturas sin tener mayor información sobre su utilidad, sin precisiones sobre el horizonte de sus carreras, puede influir notablemente en la motivación para continuar y puede hacer más difíciles los aprendizajes esperados, como lo reconocen algunos autores [1–3].

Adicionalmente, los docentes que tienen a cargo estas asignaturas básicas de física suelen desconocer las asignaturas de ingeniería previstas para aplicar los aprendizajes sobre temas de la física, y presuponer que debe haber suficiente justificación para exigir cursos de física como prerrequisito para asignaturas particulares y a la vez desconocer las especificidades respectivas.

Se exponen enseguida, de manera resumida, los contenidos de los programas de dos asignaturas básicas de física, y parcialmente los de varias asignaturas de ingeniería, para identificar las

relaciones explícitas e implícitas entre estas asignaturas. Durante los primeros semestres de sus carreras y dentro del componente de Fundamentación, los estudiantes de ingeniería toman Fundamentos de Mecánica y Fundamentos de Electricidad y Magnetismo como prerrequisitos para otras asignaturas de los componentes Disciplinares, de Libre elección e incluso de Fundamentación de sus carreras [4].

Se escogieron cuatro carreras de ingeniería de la Sede Bogotá para las que su relación con las asignaturas de física no parece tan notoria; se analizaron sus programas curriculares y se seleccionaron las asignaturas con las que se identifican relaciones más directas. Las carreras escogidas son Ingeniería de Sistemas y Computación, Ingeniería Industrial, Ingeniería Química e Ingeniería Agrícola. En una etapa final de este estudio se consultó a profesores y a estudiantes de estas carreras sobre su percepción de las relaciones entre las asignaturas analizadas.

El conocimiento de las relaciones entre asignaturas de fundamentación y asignaturas previstas hacia el nivel superior del plan de estudios puede ser útil para los estudiantes de ingeniería en cuanto propicia la construcción de un horizonte de expectativas que dé mayor sentido al estudio de las asignaturas básicas y los motive a tomar estos cursos con mayor interés. Esta información también es de utilidad para los docentes (de planta, ocasionales o becarios) que tienen a su cargo los cursos básicos de física para las carreras de ingeniería, ya que pueden indicar a sus estudiantes estas relaciones temáticas y orientar sus cursos con perspectivas más amplias. Podrían beneficiarse incluso los docentes de las asignaturas posteriores y los encargados de la planeación curricular para las carreras de ingeniería.

## **Los programas de Física**

Las dos asignaturas básicas de física son ofrecidas por el Departamento de Física, de la Facultad de Ciencias, para todas las carreras de ingeniería de la Sede Bogotá y sus programas constan de los siguientes grandes temas:

**Fundamentos de mecánica:** La medición (unidades, propagación de errores), Movimiento de partículas (movimiento en una, dos y tres dimensiones), Leyes de Newton (inercia, fuerza, masa, aceleración, acción y reacción), Cantidad de movimiento lineal y sistemas de partículas (impulso, conservación de la cantidad de movimiento, colisiones, centro de masa, movimiento de un sistema de partículas), Trabajo y energía (formas de la energía, conservación de la energía, fuerzas conservativas y energía potencial, energía interna, calor y trabajo, potencia), Mecánica de los cuerpos rígidos (ecuaciones de rotación, energía cinética de rotación, momentos de inercia, torque y aceleración angular, traslación y rotación, cantidad de movimiento angular, conservación de la cantidad de movimiento angular, condiciones de equilibrio, propiedades elásticas de los sólidos).

**Fundamentos de electricidad y magnetismo:** Interacciones eléctricas (carga eléctrica y distribuciones, Ley de Coulomb, campo eléctrico y configuraciones, flujo del campo eléctrico y Ley de Gauss, potencial eléctrico y regiones equipotenciales, energía potencial eléctrica, materiales y condensadores), Corriente eléctrica (definiciones, materiales, Ley de Ohm, energía y potencia, circuitos y redes eléctricas, reglas de Kirchhoff), Interacciones magnéticas (fuerza magnética, campo magnético, corriente y configuraciones, ley de Biot-Savart, circulación del campo magnético y Ley de Ampère, flujo del campo magnético y Ley de Gauss, materiales magnéticos), Inducción de Faraday y circuitos de corriente alterna (Ley de inducción de Faraday, inductancia y circuitos RL, oscilaciones en circuitos LC y RLC, circuitos de corriente alterna), Inducción de Maxwell y ondas electromagnéticas (corriente de desplazamiento, Ley de Ampère-Maxwell, ecuaciones de Maxwell y ondas electromagnéticas, energía y cantidad de movimiento de la radiación, el espectro electromagnético).

## Asignaturas de Ingeniería relacionadas

La selección de cuatro carreras de ingeniería es relativamente arbitraria y estuvo orientada por la percepción expresada por los estudiantes de estas carreras, de una relación débil o poco

intensa, hasta donde ellos sabían, entre las asignaturas de física que estaban cursando y las asignaturas posteriores de sus carreras. Los estudiantes de Ingeniería Civil, Mecánica, Eléctrica, Electrónica o Mecatrónica perciben relaciones más estrechas entre las asignaturas aunque tampoco las conocen con precisión. Uno de los autores de este artículo ha tenido a su cargo las dos asignaturas básicas de física para las carreras de ingeniería durante varios períodos académicos.

Se hizo una revisión de los planes de estudio de cada carrera escogida, en sus componentes de Fundamentación, Profesional o Disciplinar y de Libre elección, observando las diferentes agrupaciones de asignaturas y los programas de las asignaturas específicas para precisar aquellas que presentan relaciones temáticas más directas con los contenidos de las asignaturas de física. Los programas fueron consultados principalmente en el Sistema de Información Académica SIA [5] y algunos fueron suministrados por los coordinadores académicos de las carreras. La información general sobre cada carrera, el proyecto educativo del programa y los planes de estudio fueron consultados en la página web de la Facultad de Ingeniería [6].

## **Ingeniería de Sistemas y Computación**

Dentro de la agrupación de asignaturas de formación disciplinar llamada “Infraestructura computacional; de comunicaciones y de informática”, está la asignatura **Redes de computadores** que tiene como prerequisito a Fundamentos de electricidad y magnetismo y que contiene grandes temas como Introducción a las redes computacionales, Infraestructura de comunicaciones para redes LAN y WAN, Modelos OSI/ISO y TCP/IP, Capas del modelo OSI (capa física: interfaces mecánicas, eléctricas y funcionales, hubs, transceivers y repetidores análogos y digitales, topologías, medios de transmisión), Capas del modelo OSI (capa de enlace: dispositivos de red, arquitecturas de redes).

Otra asignatura de la misma agrupación es **Teoría de la información y Sistemas de comunicación** que tiene como

prerrequisito a Redes de computadores y de la que se destacan temas como Breve reseña histórica de las telecomunicaciones, Transmisión digital de señales analógicas, Sistemas de comunicación, Estructura general de los sistemas de comunicación, Multicanalización y Servicios de comunicación.

También aparece dentro de la misma agrupación la asignatura **Comunicaciones**, que es ofrecida por el programa de Ingeniería electrónica, con temas como Conceptos básicos (conceptos relacionados con sistemas de comunicaciones), Teoría de señales (clasificación de señales, densidad espectral de potencia y energía), Bloques funcionales de dispositivos y sistemas utilizados en comunicaciones (osciladores, osciladores controlados por voltaje), Modulación de amplitud, fase y frecuencia, Modulación de pulso.

Como parte del componente de Libre elección se ofrecen asignaturas de otros planes curriculares, algunas de ellas relacionadas con las asignaturas de física. Por ejemplo **Campos electromagnéticos**, que corresponde al plan de Ingeniería electrónica, con Fundamentos de electricidad y magnetismo como prerrequisito, y cuyo programa se desarrolla en estrecha relación directa con esta asignatura, como se infiere en estos grandes temas: Ecuaciones de Maxwell en forma integral, Ecuaciones de Maxwell en forma diferencial, Ecuaciones de Maxwell para regiones materiales, Ecuaciones de onda, Campos eléctricos estáticos y cuasiestáticos, Campos magnéticos estáticos y cuasiestáticos, Líneas de transmisión y guías de onda.

También corresponde al plan de Ingeniería electrónica **Líneas y antenas**, con Campos electromagnéticos como prerrequisito y con temas como Introducción (el espectro electromagnético, operación en el régimen de baja, media y alta frecuencia), Teoría de líneas de transmisión, Análisis electromagnético de líneas de transmisión, Antenas y radiación, Diseño y análisis de antenas, Introducción a la instrumentación de microondas.

Finalmente, se registran otras tres asignaturas de Libre elección, que pertenecen al plan de Ingeniería Mecatrónica y que están

relacionadas con las asignaturas de física aunque estas no son prerrequisitos de aquellas. La primera es **Robótica**, que contiene temas como Morfología del robot (componentes de los robots, sensores y actuadores), Herramientas matemáticas para los manipuladores seriales (descripción y representación de la posición y de la orientación), Modelo cinemático de manipuladores seriales y Control cinemático. La segunda asignatura es **Principios de estática**, cuyos capítulos son: Fundamentos de mecánica vectorial, Fuerzas y efectos físicos, Sistemas equivalentes, Equilibrio de cuerpos rígidos, Análisis de sistemas multicuerpo, Fuerzas distribuidas y propiedades geométricas y Análisis de vigas. La tercera es **Principios de dinámica**, cuyos temas son Cinemática de partícula, Cinemática del cuerpo rígido, Cinética de partícula, Cinética del sistema de partículas y Cinética del cuerpo rígido. Los capítulos de cinemática tratan de la descripción del movimiento y los de cinética se refieren a la dinámica, presentan las ecuaciones de movimiento y desarrollan los conceptos de trabajo y energía, impulso y cantidad de movimiento para cada caso.

## Ingeniería Industrial

La agrupación de asignaturas titulada “Materiales y procesos”, que forma parte del componente de formación profesional, incluye dos asignaturas que tienen como prerrequisito Fundamentos de mecánica. Una asignatura es **Taller de ciencia y tecnología de materiales** cuyos contenidos incluyen temas como Estructura de los sólidos cristalinos - Laboratorio de metalografía, Termodinámica y difusión - Laboratorio de termodinámica y difusión, Propiedades mecánicas - Laboratorio de propiedades mecánicas, Materiales metálicos - Laboratorio de microestructura - Laboratorio de tratamiento térmico y Materiales cerámicos. La otra asignatura es **Taller de procesos metalmecánicos**, con temas como Planeación de procesos, Medición y manufactura, Procesos de manufactura no tradicionales y Procesos de unión y ensamble.

La agrupación “Producción y operaciones” contiene también dos asignaturas relacionadas con las fundamentales de física: **Seguridad Industrial**, para la que es prerrequisito Fundamentos de electricidad y magnetismo e incluye temas como Tipos de factores de riesgo (riesgos mecánicos, eléctricos, locativos y físicos) e Higiene industrial. La otra asignatura es **Control y gestión de calidad**, que contiene el capítulo Calidad y medición (proceso y resultado de medición, error de medición, calibración de sistemas de medición, estimación de incertidumbre, precisión y exactitud).

Dentro de las asignaturas sugeridas para el componente de Libre elección se encuentran cinco que tienen relaciones significativas con las básicas de física. Tales asignaturas son: **Fundamentos de oscilaciones, ondas y óptica**, ofrecida por el Departamento de Física y cuyos grandes capítulos son: Oscilaciones, Ondas mecánicas, Ondas electromagnéticas, Óptica geométrica y Óptica ondulatoria; **Fundamentos de física moderna**, también ofrecida por el Departamento de Física, con los grandes temas de Teoría de la relatividad especial, Radiación del cuerpo negro, Naturaleza cuántica de la luz, Naturaleza ondulatoria de la materia y Los principios de la mecánica ondulatoria; **Introducción a la ciencia de materiales**, del programa de Ingeniería Química (ver temas en la sección correspondiente); **Termodinámica**, cuyos temas deben ser semejantes a los de la asignatura con igual nombre en el programa de Ingeniería Química y, finalmente, **Fundamentos de mecánica de fluidos**, con temas que deben ser similares a los de Mecánica de fluidos del programa de Ingeniería Agrícola (ver la sección correspondiente).

## Ingeniería Química

La asignatura **Seguridad industrial** forma parte del componente de Fundamentación; tiene como prerrequisito a Fundamentos de electricidad y magnetismo y coincide con la mencionada para la carrera de Ingeniería Industrial (ver allí los temas).

Hay varias asignaturas correspondientes al componente de Formación profesional o Disciplinar, muy relacionadas con las asignaturas de física. Dentro de la agrupación “Termodinámica” hay dos asignaturas: **Termodinámica**, con los temas Conceptos y definiciones preliminares, Sustancias puras, Trabajo y calor, Primera Ley de la Termodinámica, Segunda Ley de la Termodinámica y Ciclos termodinámicos. Otra asignatura es **Fisicoquímica II**, que incluye temas como Importancia de los procesos físicos, Transporte de momento lineal, Transferencia de masa y de calor, Transporte iónico y Teoría de bandas.

En la agrupación “Operaciones unitarias” está la asignatura **Fluidos**, para la cual es prerequisito Fundamentos de mecánica e incluye temas como Introducción y definiciones fundamentales, Equilibrio relativo y fluidostática, Formulación integral de ecuaciones básicas para volúmenes de control, Análisis dimensional, Flujos internos de fluidos newtonianos incompresibles, Fluidos compresibles y Equipos para el transporte de fluidos.

De otra parte, la agrupación “Materiales” incluye cuatro asignaturas de interés: **Introducción a la ciencia de materiales**, con temas como Estructura y geometrías cristalinas, Procesos de cristalización y de difusión en sólidos, Propiedades mecánicas de los materiales, Introducción a la estructura de polímeros, Introducción a los materiales cerámicos y compuestos, Corrosión y deterioro de los materiales y Propiedades eléctricas de los materiales; **Introducción a la ingeniería de materiales**, entre cuyos temas están Átomo y su estructura, Cristales y su estructura, Estructuras sólidas y sus imperfecciones, Propiedades de los materiales y Técnicas de caracterización; **Ciencia e ingeniería de materiales**, con los temas Introducción a los materiales, sus propiedades y procesamiento, Microestructura, Difusión en sólidos, Diagramas de fase, Tratamientos térmicos, Comportamiento eléctrico, Comportamiento magnético, Comportamiento térmico, Comportamiento óptico y Principios de selección de materiales. Finalmente, está la asignatura **Química de sólidos**, con un extenso contenido sobre propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas y magnéticas de los materiales.

Por último, en el componente de Libre elección se recomiendan asignaturas como **Energía y combustibles**, **Caracterización de materiales y Electroquímica aplicada**, **Baterías y celdas combustibles**, cuyos programas no están publicados en el Sistema de Información Académica.

## Ingeniería Agrícola

Además de Fundamentos de mecánica y Fundamentos de electricidad y magnetismo, la componente de Fundamentación de la carrera Ingeniería Agrícola incluye **Fundamentos de oscilaciones, ondas y óptica**, descrita dentro de las asignaturas para Ingeniería Industrial.

Como parte del componente Disciplinar/Profesional encontramos cinco asignaturas sin agrupación, cuyos programas presentan relaciones con los de las asignaturas básicas de física: **Estática**, para la cual es prerequisito Fundamentos de mecánica y que incluye temas como Introducción y aplicaciones de los principios de la mecánica newtoniana o de equilibrio, Equilibrio de partículas, Equilibrio de cuerpos rígidos, Propiedades geométricas de los cuerpos rígidos y Propiedades particulares de la sección plana o transversal; **Mecánica de fluidos**, que tiene como prerequisito a Estática, con temas como Propiedades de los fluidos, Estática de los fluidos, Cinemática de los fluidos y Dinámica de fluidos; **Mecánica de sólidos**, con Estática como prerequisito y con los temas Mecánica del medio continuo, Resistencia de materiales y Laboratorio de resistencia de materiales; **Termodinámica**, que aparece descrita entre las asignaturas de Ingeniería Química. La otra asignatura es **Electrotecnia**, muy relacionada con Fundamentos de electricidad y magnetismo y que incluye temas como Términos básicos y definiciones, Redes eléctricas, Introducción a los sistemas de corriente alterna, Elementos básicos en corriente alterna, técnicas de solución y relaciones de fase, Sistemas de corriente alterna, Conductores eléctricos, Planeamiento de los sistemas de distribución eléctricos en granjas rurales, Motores

eléctricos e instalación, Sistemas alternos de generación de energía eléctrica e Introducción a la electrónica en la agricultura.

En la agrupación “Maquinaria” se encuentra la asignatura **Elementos de máquinas agrícolas**, que tiene como prerrequisito a Mecánica de sólidos y que incluye temas relacionados principalmente con Fundamentos de mecánica en el capítulo de Fundamentos del diseño de elementos de máquinas. Y en la agrupación “Automatización y control” está la asignatura **Control en biosistemas**, con el prerrequisito de Fundamentos de electricidad y magnetismo o Electrotecnia y con temas como Aspectos generales para el control, Control en la naturaleza e introducción al control, Introducción a la sensórica e instrumentación y Energía, control y automatización de biosistemas.

Hay algunas asignaturas del componente de Libre elección que pueden tener relaciones con las asignaturas de física pero aun no tenemos acceso a los programas respectivos para precisar tales relaciones. Estas asignaturas son: **Estructuras de madera, Estructuras metálicas, Estructuras hidráulicas, Diseño de equipos de siembra, Invernaderos, Máquinas cosechadoras, Secado de productos agrícolas y Bombas y estaciones de bombeo.**

### **Percepciones de los profesores y estudiantes**

Los profesores de la mayoría de las asignaturas de ingeniería escogidas fueron consultados, como también algunos estudiantes que cursaron estas asignaturas luego de tomar las asignaturas básicas de física. Se les preguntó por las bases que los cursos de física aportaron para tomar los cursos posteriores y sobre los temas de física en que estaban más preparados y menos preparados los estudiantes. También se les solicitó sugerencias al respecto para los profesores de física, para los de ingeniería y para los encargados de la planeación curricular. Se exponen enseguida ejemplos de respuestas cuyo análisis será objeto de un documento posterior.

Al responder si fueron suficientes las bases de física que tenían los estudiantes al tomar una asignatura de ingeniería, un profesor dijo:

Como primera impresión, NO. Pero al indagar un poco y adentrarnos en los temas particulares del curso ESTÁTICA O DINÁMICA, se puede ver que los estudiantes conocen de manera superficial los conceptos. Esto ayuda para concentrarnos más en las aplicaciones de los conceptos para resolver problemas de ingeniería, pero no cuentan realmente con unas bases sólidas de fundamentos de mecánica. (Comunicación personal, 21 de agosto de 2024).

La mayoría de los profesores que atendió la consulta expresó que los estudiantes sí llegan a sus cursos con bases suficientes de física, pero algunos no lo consideraron así. Los profesores identificaron temas específicos sobre los cuales llegan los estudiantes con menor preparación. Un profesor hizo la siguiente sugerencia:

Trabajar y comunicarnos el área de ciencias y responsables curriculares de ingeniería más frecuentemente o entre profesores de Física quienes desarrollan los requisitos académicos, y los profesores que desarrollamos las asignaturas disciplinares de ingeniería antes del componente profesional. (Comunicación personal, 19 de agosto de 2024).

Al responder la pregunta sobre si tuvo suficientes bases de física para tomar una asignatura de ingeniería, un estudiante ya egresado dijo:

Sí, considero que tenía bases adecuadas en los Fundamentos de electricidad y magnetismo, especialmente en lo relacionado con las interacciones eléctricas y conceptos básicos como el campo eléctrico y potencial eléctrico. Sin embargo, hubo algunas áreas en las que sentí que mi preparación podría haber sido más sólida, particularmente en la resolución de circuitos eléctricos complejos. (Comunicación personal, 26 de agosto de 2024).

También la mayoría de estudiantes consultados percibió que tenía bases adecuadas de física para tomar las asignaturas posteriores, y

algunos dijeron que casi no usaron los conocimientos de física en tales asignaturas. Un estudiante comentó:

Debido a que, en particular con Ingeniería Química, la gran mayoría [de estudiantes] pospone el ver Electricidad y Magnetismo mucho tiempo después, cuando en lo personal me parece estos cursos son para la vida y enriquecen el entendimiento de la física que hay detrás de muchas cosas que ocurren en los fenómenos de transporte, donde estos cursos de física son un buen punto de partida para estar familiarizado. (Comunicación personal, 28 de agosto de 2024).

## **Conclusiones y comentarios**

El análisis de los planes de estudio y de los programas de las asignaturas correspondientes a las cuatro carreras seleccionadas conduce a concluir que Fundamentos de Mecánica y Fundamentos de electricidad y magnetismo son efectivamente asignaturas esenciales dentro de la formación de los ingenieros y que el desarrollo y aprendizaje de muchos temas de varias asignaturas futuras correspondientes a los componentes de Fundamentación, Profesional y de Libre elección, que tomarán los estudiantes, dependen significativamente de sus conocimientos sobre las dos asignaturas básicas de física. Un estudio semejante a este, para las demás carreras de ingeniería, puede aportar información de utilidad.

La consulta realizada a profesores y estudiantes de ingeniería muestra inicialmente una percepción mayoritaria respecto a que las asignaturas básicas de física han dado a los estudiantes bases suficientes para cursar asignaturas posteriores, pero no hay consenso al respecto y se identificaron temas de física sobre los cuales se requiere una mejor preparación de los estudiantes. Se destacan sugerencias sobre una mayor coordinación entre los profesores y una mejor orientación a los estudiantes con respecto a la utilidad de los contenidos de las asignaturas de física.

Desde una perspectiva más amplia, el aprendizaje de la física básica debería contribuir a la construcción de un marco conceptual de referencia sobre la ciencia y la tecnología, indispensable en la formación de los ingenieros. Las múltiples aplicaciones de la física en el mundo real y en la vida cotidiana pueden constituirse también en factores muy importantes de motivación para asumir con curiosidad e interés el estudio de estas asignaturas básicas de física.

## References

- [1] J. Biggs, *Calidad del aprendizaje universitario* (Narcea Ediciones, 2006).
- [2] J. Ortega y Gasset, “*Sobre el estudiar y el estudiante*”, en: Inciarte, E. (ed.) *Ortega y Gasset: una educación para la vida*. (SEP, 1986).
- [3] D. Rodríguez and F. Jurado, *La evaluación y las pedagogías en la educación superior: los desempeños de los becarios docentes*, 1st ed. (Editorial Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, 2025).
- [4] Universidad Nacional de Colombia, Acuerdo 033 de 2007 del consejo superior universitario, artículo 9 (2007).
- [5] Universidad Nacional de Colombia, Catálogo de asignaturas y servicios académicos – sistema de información académica (sia), <https://sia.unal.edu.co/Catalogo/facespublico/public/servicioPublico.jsf> (consultada en 2025).
- [6] Universidad Nacional de Colombia, Programas académicos de la Facultad de Ingeniería, Sede Bogotá, <https://ingenieria.bogota.unal.edu.co/es/programas-academicos/> (consultada en 2025).