

**DISEÑO DE UN PROGRAMA  
CURRICULAR DE  
DOCTORADO EN  
MATEMÁTICA Y  
ESTADÍSTICA**

**ASIGNATURAS Y PLANA DOCENTE**

**FLABIO ALFONSO GUTIÉRREZ SEGURA, EDER ESCOBAR GÓMEZ, MAYCKOL  
JIMÉNEZ HUAYAMA, MANUEL HERNÁN GARCÍA SABA, VANESSA HUMBERTINA  
SILUPÚ ORTEGA, CARLOS MANUEL SABINO ESCOBAR**

ISBN: 978-9915-698-32-8



9 789915 698328

## Diseño de un programa curricular de doctorado en matemática y estadística: Asignaturas y plana docente

*Gutiérrez Segura, Flabio Alfonso; Escobar Gómez, Eder; Jiménez Huayama, Mayckol; García Saba, Manuel Hernán; Silupú Ortega, Vanessa Humbertina; Sabino Escobar, Carlos Manuel*

© *Gutiérrez Segura, Flabio Alfonso; Escobar Gómez, Eder; Jiménez Huayama, Mayckol; García Saba, Manuel Hernán; Silupú Ortega, Vanessa Humbertina; Sabino Escobar, Carlos Manuel, 2026*

Primera edición (1.ª ed.): agosto, 2025

Editado por:

**Editorial Mar Caribe**®

[www.editorialmarcaribe.es](http://www.editorialmarcaribe.es)

Av. Gral. Flores 547, 70000 Col. del Sacramento, Departamento de Colonia, Uruguay.

Diseño de carátula e ilustraciones: *Luisa Fernanda Lugo Rojas*

Libro electrónico disponible en:

<https://editorialmarcaribe.es/ark:10951/isbn.9789915698328>

Formato: Electrónico

ISBN: 978-9915-698-32-8

ARK:

<https://editorialmarcaribe.es/ark:10951/isbn.9789915698328>

[Editorial Mar Caribe \(OASPA\)](#): Como miembro de la Open Access Scholarly Publishing Association, apoyamos el acceso abierto de acuerdo con el código de conducta, la transparencia y las mejores prácticas de OASPA para la publicación de libros académicos y de investigación. Estamos comprometidos con los más altos estándares editoriales en ética y deontología, bajo la premisa de «Ciencia Abierta en América Latina y el Caribe»

# OASPA

Editorial Mar Caribe, firmante N° 795 de 12.08.2024 de la [Declaración de Berlín](#) *"... Nos sentimos obligados a abordar los retos de Internet como un medio funcional emergente para la distribución del conocimiento. Obviamente, estos avances pueden modificar significativamente la naturaleza de la publicación científica, así como el actual sistema de garantía de calidad..."* (Max Planck Society, ed. 2003, pp. 152-153).



[CC BY-NC 4.0](#)

Los autores pueden autorizar al público en general a reutilizar sus obras únicamente con fines no lucrativos, los lectores pueden utilizar una obra para generar otra, siempre que se dé crédito a la investigación, y conceden al editor el derecho a publicar primero su ensayo bajo los términos de la licencia CC BY-NC 4.0.



Editorial Mar Caribe se adhiere a la "Recomendación relativa a la preservación del patrimonio documental, comprendido el patrimonio digital, y el acceso al mismo" de la UNESCO y a la Norma Internacional de referencia para un sistema abierto de información archivística ([OAIS-ISO 14721](#)). Este libro está preservado digitalmente por [datasegura.info](http://datasegura.info)

**Editorial Mar Caribe**

**Diseño de un programa curricular de  
doctorado en matemática y estadística:  
Asignaturas y plana docente**

**Colonia, Uruguay**

**2026**

**Diseño de un programa curricular de  
doctorado en matemática y estadística:  
Asignaturas y plana docente**

# Índice

Introducción.....	9
Capítulo 1 .....	12
Diseño de un programa curricular de Doctorado en Matemática y Estadística: asignaturas y plana docente .....	12
Marco normativo y estructural del doctorado en el sistema universitario peruano .....	13
Etapas de formación e investigación autónoma .....	15
La fase de formación y especialización.....	15
El examen de calificación como hito transformador.....	16
La etapa de investigación y seminarios de tesis.....	16
Núcleo de asignaturas en matemática pura y aplicada .....	17
Análisis y ecuaciones diferenciales.....	17
Álgebra, geometría y topología .....	18
Núcleo de asignaturas en estadística y ciencia de datos.....	19
Inferencia estadística avanzada y teoría de la decisión.....	19
Modelos lineales y procesos estocásticos .....	20
Computación y aprendizaje automático (Machine Learning).....	20
La plana docente: Perfiles de excelencia e investigación acreditada .....	22
Clasificación RENACYT y el rol del docente investigador.....	22
Perfil de los asesores y jurados de tesis .....	23
Gestión de la investigación y recursos tecnológicos.....	24
Laboratorios y herramientas computacionales .....	24
Financiamiento y sostenibilidad .....	25
Internacionalización: Cotutelas y redes académicas globales .....	25
Régimen de cotutela y dobles grados.....	25
Participación en redes y sociedades científicas .....	26
Prospectiva y tendencias en la investigación doctoral .....	27
Impacto de la Inteligencia Artificial y la Ciencia de Datos.....	28
Sostenibilidad, Cambio Climático y Biomatemática .....	28
Capítulo 2.....	30
Impacto y desarrollo de la inteligencia artificial en los programas de	

Doctorado en Matemática y Estadística .....	30
Fundamentación Matemática de la Inteligencia Artificial.....	30
Álgebra Lineal y Representación de Datos .....	31
Cálculo y Optimización.....	31
Probabilidad, Estadística y Manejo de la Incertidumbre .....	32
Panorama de los doctorados en matemática y estadística en el Perú .....	32
Universidad Nacional de Piura (UNP): Integración de EDP e IA .....	32
Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) e IMCA.....	34
Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) y el enfoque Deep Tech .....	34
Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP): Probabilidad y Procesos Estocásticos .....	34
Fronteras Internacionales: TDA y Automatización del Descubrimiento .....	35
Análisis de Datos Topológicos (TDA) .....	35
La Revolución de la IA en la Investigación Matemática Pura .....	35
Aplicaciones de la IA en la investigación peruana .....	36
Salud y Biotecnología.....	36
Educación y Competencias Matemáticas .....	36
Agricultura y Medio Ambiente .....	37
El Ecosistema de Financiamiento e Internacionalización .....	37
Becas de Prociencia y Concytec .....	37
Convenios de Cotutela y Doble Grado .....	37
Ética y Responsabilidad en la IA Aplicada a la Investigación.....	38
Transparencia y Autoría .....	38
Equidad y Sesgos Estadísticos.....	39
Capítulo 3.....	41
Análisis sistémico de la línea de investigación en biomatemática y bioestadística en el marco curricular de matemática y estadística en el Perú .....	41
Epistemología y Fundamentación de las Ciencias Matemáticas de la Vida .....	41
Arquitectura Curricular del Pregrado en Estadística y Matemática .....	42
Ingeniería Estadística en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) .....	43

La Escuela Profesional de Estadística en la UNMSM.....	44
Otros Programas Regionales y su Enfoque en Ciencias Naturales.....	45
Especialización y Posgrado: La Maestría en Bioestadística de la UNMSM...	46
El Programa de Especialización de la Universidad Continental.....	47
Modelamiento Matemático Aplicado a la Epidemiología y Salud Pública	48
Mecanismos de Modelado Determinista y Estocástico .....	48
Aplicaciones de la Bioestadística en el Control de Enfermedades.....	49
Biomatemática y Bioestadística en la Gestión de Recursos Naturales y Pesquería .....	49
Modelado de la anchoveta peruana.....	50
Bioinformática y Biotecnología: La Nueva Frontera Científica .....	51
El Laboratorio de Bioinformática y Biología Molecular (BBM) de la UPCH51	
Ingeniería Biomédica: Una Alianza Estratégica PUCP-UPCH.....	52
Perfil Profesional, Competencias y el Mercado Laboral .....	52
Competencias Específicas Requeridas .....	52
El Investigador en el Sistema Nacional (RENACYT) hasta 2021 .....	53
Desafíos Educativos y Contexto Internacional .....	54
Tendencias PISA y su Implicancia Científica .....	54
Comparativa Regional: El Ecosistema Latinoamericano.....	55
Rol de las Sociedades Científicas y el Futuro de la Investigación .....	55
SEMBIOMAT: El Nodo de Intercambio Científico.....	55
Síntesis y Perspectivas Estratégicas.....	56
Recomendaciones para el Desarrollo Curricular.....	56
Capítulo 4 .....	58
Análisis del lenguaje natural y aprendizaje relacional y estructurado en programas de doctorado de matemática y estadística .....	58
Fundamentos matemáticos y estadísticos en la investigación lingüística...	58
El pipeline del procesamiento de lenguaje natural .....	59
El paradigma del aprendizaje relacional estadístico (SRL) .....	61
Mecanismos de la lógica de Markov .....	61
Modelado teórico de cuerdas y gramática .....	62
Aprendizaje estructurado y predicción lingüística.....	63

Inferencia y optimización en modelos estructurados .....	63
Modelos neuronales y gramáticas probabilísticas .....	64
Modelos gráficos probabilísticos (PGM) y su relevancia .....	64
Tipos de representaciones gráficas .....	65
Inferencia bayesiana: el pilar del razonamiento bajo incertidumbre .....	66
El teorema de Bayes y la actualización de creencias .....	66
Estadística bayesiana no paramétrica .....	67
Panorama de programas de doctorado y líneas de investigación .....	68
Instituciones líderes y sus enfoques .....	68
Currículos y requisitos académicos .....	69
Desarrollo del campo en el contexto peruano .....	70
Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) .....	70
Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) .....	71
Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) .....	71
Financiamiento y oportunidades para investigadores: PRONABEC .....	72
Beca Generación del Bicentenario .....	72
Tendencias emergentes: LLMs y razonamiento probabilístico .....	73
Bayesianismo y Grandes Modelos de Lenguaje .....	73
El desafío de los datos estructurados en LLMs .....	73
Capítulo 5 .....	75
Estado legal, mallas curriculares y análisis de la plana docente en los programas de doctorado en matemática y estadística en el Perú .....	75
Evolución y marco normativo del posgrado en el sistema universitario peruano .....	75
La Ley Universitaria 30220 y las exigencias del doctorado .....	76
Licenciamiento y supervisión por la SUNEDU .....	78
El Doctorado en Matemáticas en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) .....	79
Estructura curricular y fases de estudio .....	79
Líneas de investigación y asignaturas destacadas .....	80
El Doctorado en Matemática Pura de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) .....	81
El enfoque curricular del Plan 2021/2025 .....	81

Áreas de especialización y cursos avanzados .....	83
El Doctorado en Ciencias con mención en Matemática de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) .....	84
Programas de doctorado en estadística: ingeniería, minería de datos e investigación aplicada .....	86
Doctorado en Ciencias e Ingeniería Estadística en la UNI (DCIES) .....	86
Doctorado en Estadística Matemática Aplicada en la Universidad Nacional de Tumbes .....	87
Universidad Nacional de Piura y su Doctorado en Ciencias Matemáticas .....	88
Universidad Nacional del Santa (UNS) y la Universidad Nacional de Trujillo (UNT) .....	88
Perfil del investigador y campo ocupacional en matemática y estadística .....	89
Competencias del doctor en matemática .....	89
Competencias del doctor en estadística .....	90
Conclusión .....	93
Bibliografía .....	96

# Introducción

La formación doctoral es la cima del sistema educativo y clave para crear conocimiento original. En ciencias exactas, esta necesidad es aún más vital; la matemática y la estadística no solo son disciplinas con una profunda carga teórica, sino también el idioma universal que sustenta la ciencia moderna, la tecnología avanzada y las decisiones informadas por datos.

Este libro, titulado *Diseño de un programa curricular de doctorado en matemática y estadística: Asignaturas y plana docente*, nace como una respuesta técnica y visionaria a la brecha existente en la oferta académica de posgrado de alta especialización. La obra que el lector tiene en sus manos es el resultado de una investigación exhaustiva que combina el análisis comparado de currículos internacionales con las demandas específicas del entorno académico y científico actual.

A lo largo de estas páginas se presenta una propuesta estructurada que trasciende la mera enumeración de contenidos. Se aborda la arquitectura curricular como un organismo vivo, en el que la selección de asignaturas responde a un equilibrio entre la profundidad teórica y la aplicabilidad interdisciplinaria. Asimismo, se pone especial énfasis en el factor humano: la plana docente. Se argumenta con rigor que un doctorado es tan fuerte como la trayectoria investigativa y la capacidad de mentoría de sus catedráticos.

Los autores invitan a reflexionar sobre la formación necesaria de los investigadores que liderarán el avance científico en las próximas décadas, garantizando que dispongan de las herramientas analíticas para afrontar problemas complejos en un mundo cada vez más centrado en el

modelamiento matemático y el análisis estadístico avanzado.

La evolución de la ciencia en el siglo XXI está marcada por una creciente complejidad que demanda profesionales con una capacidad analítica superior. En este escenario, los programas de doctorado en Matemática y Estadística desempeñan un rol determinante, no solo en la formación de docentes universitarios, sino también en la formación de investigadores capaces de expandir las fronteras del saber y de proponer soluciones innovadoras en sectores como la biotecnología, la inteligencia artificial, la economía cuantitativa y la ingeniería.

El diseño de un currículo doctoral no puede ser un proceso arbitrario. Requiere una fundamentación epistemológica y pedagógica que garantice que el egresado posea tanto una base sólida en los fundamentos de su disciplina como una especialización de vanguardia. La presente investigación identifica la necesidad de integrar la Matemática Pura, la Matemática Aplicada y la Estadística de manera sinérgica, rompiendo los silos tradicionales para fomentar una visión holística de la investigación cuantitativa.

El objetivo central de esta obra es presentar una propuesta metodológica y estructural para la implementación de un programa de doctorado de excelencia. Primero, se analiza el estado del arte de la educación doctoral en ciencias exactas a nivel global, identificando tendencias como la transdisciplinariedad y la internacionalización. Segundo, se detalla la organización de las asignaturas, clasificándolas en seminarios de investigación, cursos nucleares de teoría avanzada y electivos de especialización, lo que asegura una progresión lógica hacia la tesis doctoral. Tercero, se proponen estándares de calidad para la selección de los profesores, considerando criterios de producción científica (indexación e impacto), experiencia en la dirección de tesis y en las redes de colaboración.

A través de la investigación exploratoria se recopilan fuentes

secundarias y estudios de caso de universidades peruanas e internacionales para analizar la situación del currículo en programas académicos de ciencias exactas, y se ofrece una visión inicial sobre las competencias del doctor en matemática y estadística, lo que permite un enfoque abierto centrado en descubrir fenómenos subyacentes y generar ideas para futuros estudios. La propuesta curricular presentada aquí se fundamenta en un enfoque basado en competencias investigativas. Su objetivo, además de transmitir información, es promover la autonomía intelectual. El proceso de diseño incluyó el análisis de programas destacados a nivel internacional, consultas con expertos y la evaluación de las carencias en la investigación regional.

En suma, este libro ofrece una base sólida para que las instituciones de educación superior establezcan programas de doctorado que cumplan con los estándares de acreditación más exigentes, contribuyendo así al fortalecimiento del capital intelectual y al prestigio científico de la comunidad académica.

# Capítulo 1

## Diseño de un programa curricular de Doctorado en Matemática y Estadística: asignaturas y plana docente

La configuración de un programa doctoral en ciencias matemáticas y estadísticas representa uno de los desafíos más complejos en la gestión de la educación superior contemporánea. Este proceso no se limita a la mera enumeración de contenidos programáticos; por el contrario, exige la creación de una arquitectura intelectual que permita el tránsito desde la asimilación de conocimientos avanzados hasta la producción de saber original y disruptivo.

En el contexto de las instituciones peruanas, este diseño está intrínsecamente ligado al cumplimiento de las Condiciones Básicas de Calidad (CBC) establecidas por la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU), que constituyen un marco de referencia obligatorio para garantizar la excelencia académica y la sostenibilidad de la investigación. La integración de la matemática pura con la estadística aplicada y la reciente convergencia hacia la ciencia de datos y la inteligencia artificial obligan a replantear los currículos tradicionales en torno a modelos más flexibles, interdisciplinarios y orientados a la visibilidad internacional (Gutiérrez et al., 2025).

## **Marco normativo y estructural del doctorado en el sistema universitario peruano**

La génesis de cualquier programa doctoral en el Perú debe responder a la Ley Universitaria N° 30220 y a las directrices específicas del licenciamiento institucional y de los programas. Según la normativa vigente, un programa de doctorado debe contar con una carga académica mínima de 64 créditos y una duración no inferior a 6 semestres académicos (Condori et al., 2022). Sin embargo, la tendencia observada en instituciones de prestigio internacional y que empieza a replicarse en programas nacionales de excelencia es la extensión de este periodo a ocho o diez semestres para permitir una maduración real de la tesis doctoral (véase la Tabla 1). El diseño curricular debe segmentarse en etapas que garanticen una progresión lógica para el estudiante.

La Condición I de SUNEDU exige la existencia de objetivos académicos claros y planes de estudio actualizados que guarden coherencia con el perfil del graduado. Para un doctorado en matemática y estadística, esto implica justificar, de manera cuantitativa y cualitativa, la creación del programa en su área de influencia, asegurando que la oferta educativa sea financieramente sostenible durante un periodo mínimo de cinco años. La gestión de la calidad institucional debe ser transversal y contar con áreas especializadas para el seguimiento de los planes estratégicos y operativos.

**Tabla 1: Programa de doctorado en Perú conforme a la Ley Universitaria N° 30220**

<b>Elemento Estructural</b>	<b>Requisito (Mínimo)</b>	<b>Normativo</b>	<b>Estándar de Excelencia</b>
Créditos Académicos	64 créditos		120 - 360 créditos
Duración Cronológica	6 semestres (3 años)		8 - 10 semestres (4 - 5 años)
Modalidad de dictado	Presencial / Semipresencial		Presencial con estancias internacionales
Requisito de idioma	Dos idiomas (uno puede ser nativo)		Inglés avanzado (ALTE 3) obligatorio
Ratio de presencialidad	No exclusivamente virtual		Énfasis en investigación de laboratorio

La rigurosidad administrativa también se refleja en la designación de las autoridades del programa. El Director de la Escuela de Posgrado debe ser un docente de dedicación exclusiva con el grado de doctor, mientras que los Directores de las Unidades de Posgrado (UPG) deben poseer

preferentemente la categoría de docente principal, lo que asegura una conducción académica con experiencia. Esta estructura de gobierno es la que valida el currículo de estudios y propone al Consejo Universitario la selección de los docentes investigadores.

## **Etapas de formación e investigación autónoma**

El diseño de un currículo doctoral moderno se divide en dos fases críticas: la etapa formativa de profundización y la etapa de investigación dedicada a la tesis. Esta división permite que estudiantes con diferentes perfiles de maestría nivelen sus conocimientos en áreas fundamentales antes de enfrentarse a problemas de frontera en matemática y en estadística.

### **La fase de formación y especialización**

En los programas líderes como el de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), la primera etapa se centra en cursos de especialización vinculados a las líneas de investigación del programa. Durante los primeros tres semestres, el estudiante, bajo la guía de un tutor asignado desde su ingreso, debe aprobar un número determinado de créditos en asignaturas que consoliden su base teórica. Estas asignaturas no son meras repeticiones de contenidos de pregrado o de maestría; son seminarios de alto nivel en los que se discuten teoremas clásicos y resultados recientes.

La flexibilidad curricular es una característica deseable. El estudiante debe poder elegir entre cursos de formación y de especialización que se adapten a su proyecto de tesis. Por ejemplo, un aspirante enfocado en geometría diferencial requerirá asignaturas sustancialmente distintas de las de uno orientado a la probabilidad o al análisis funcional (Gutiérrez et al., 2025). Este modelo de "tutoría desde el inicio" es compartido por instituciones internacionales como Stanford, donde el Director de Estudios de Posgrado (DGS) colabora en el diseño de un programa individualizado para cada

estudiante, especialmente cuando existen brechas en su formación previa.

## **El examen de calificación como hito transformador**

El tránsito hacia la etapa de investigación pura está marcado por el Examen de Calificación o de Candidatura. Este hito evaluativo suele realizarse al finalizar el segundo o el tercer semestre y tiene como objetivo verificar que el estudiante posee la madurez intelectual necesaria para desarrollar una tesis doctoral original. En la PUCP, aprobar este examen es un requisito indispensable para iniciar formalmente los seminarios de tesis.

Este examen suele consistir en pruebas escritas y orales sobre las áreas nucleares del programa, además de la defensa de un proyecto de investigación preliminar. En programas internacionales como el de la Universidad Católica de Chile (UC), el examen de candidatura oral se complementa con actividades de seguimiento y talleres de habilidades transversales, que incluyen la ética en la investigación. La reprobación de este hito generalmente conlleva la separación del programa o la obtención de un grado intermedio de maestría, lo que asegura que solo los perfiles más aptos alcancen la condición de candidatos a doctorado.

## **La etapa de investigación y seminarios de tesis**

Una vez superada la fase formativa, el currículo se centra casi exclusivamente en el desarrollo de la tesis. En la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), esta etapa se estructura mediante Seminarios de Investigación y de Tesis correlativos. El propósito de estos seminarios es proporcionar un espacio formal de exposición y crítica en el que el estudiante presenta sus avances ante un comité de tesis o un jurado de expertos.

El producto esperado de estos seminarios es incremental. Por ejemplo, en la UNMSM, el Seminario de Investigación III exige explícitamente la

redacción de un artículo científico relacionado con el proyecto para su envío a una revista indexada. Esta vinculación entre la asignatura y la producción científica real es lo que diferencia un doctorado de investigación de uno profesionalizante. La tesis doctoral debe contener resultados nuevos y relevantes, y su calidad debe ser avalada por especialistas externos de instituciones de prestigio antes de la sustentación pública final.

## **Núcleo de asignaturas en matemática pura y aplicada**

El diseño curricular para el área de matemática debe contemplar un espectro amplio que abarque desde las estructuras abstractas hasta la modelación de fenómenos complejos. Las líneas de investigación determinan la oferta de cursos electivos y de seminarios especializados.

### **Análisis y ecuaciones diferenciales**

El análisis matemático, en sus vertientes reales, complejas y funcionales, constituye el lenguaje fundamental del doctorado. Las asignaturas de Teoría de la Medida e Integración son obligatorias y profundizan en la noción de álgebras, en las medidas de Borel y en los teoremas fundamentales de convergencia de Lebesgue. El análisis funcional introduce al estudiante en los espacios de Banach y de Hilbert, el teorema de Hahn-Banach, la teoría de operadores y el análisis espectral, herramientas indispensables para el estudio de las Ecuaciones Diferenciales Parciales (EDP).

En el ámbito de las EDP, los cursos avanzan hacia el análisis no lineal, los métodos variacionales y la teoría de semigrupos de operadores lineales. El estudio del teorema de Hille-Yosida y del teorema de Lumer-Phillips permite abordar problemas de difusión y de evolución con rigor matemático absoluto. Estas asignaturas suelen complementarse con tópicos de análisis armónico y

de teoría de distribuciones, lo que permite al investigador abordar problemas de regularidad de las soluciones en espacios de Sobolev.

## Álgebra, geometría y topología

El currículo de álgebra y geometría ha experimentado una notable sofisticación en las estructuras no conmutativas y en la dinámica compleja. La PUCP destaca por su línea de álgebra y geometría no conmutativa, que estudia teorías homológicas como la homología de Hochschild y la K-teoría. Por su parte, la UNMSM y la UNI ofrecen seminarios profundos en Geometría Diferencial, Geometría Riemanniana y Topología Algebraica, que abarcan desde la teoría de categorías y funtores hasta la geometría de variedades.

En el área de Sistemas Dinámicos, las asignaturas se centran en la dinámica hiperbólica, la teoría ergódica diferencial y las foliaciones holomorfas. El estudio de los difeomorfismos del círculo, el número de rotación de Poincaré y la reducción de singularidades de Seidenberg representan el límite del conocimiento en este campo. La resolución de singularidades en curvas algebraicas y el estudio de las superficies de Riemann integran métodos del análisis complejo con la geometría algebraica clásica (véase la Tabla 2).

**Tabla 2: Álgebra, geometría y topología en universidades de Perú**

Área de Especialización	Asignaturas Clave	Fundamento de Investigación
Análisis Funcional	Espacios de Banach, Teoría Espectral	Bases para EDP y Física Matemática

Geometría Compleja	Foliaciones Holomorfas, Varias Variables Complejas	Dinámica de sistemas holomorfos
Álgebra Avanzada	Álgebra Conmutativa, Homología	Estructuras algebraicas y topología
Sistemas Dinámicos	Teoría Ergodică, Dinámica Hiperbólica	Modelado de sistemas determinísticos

## Núcleo de asignaturas en estadística y ciencia de datos

La estadística moderna a nivel doctoral requiere una simbiosis profunda entre la teoría de la probabilidad y la capacidad computacional. El diseño curricular debe alejarse de la estadística meramente descriptiva para enfocarse en la inferencia asintótica, los modelos estocásticos y el aprendizaje automático de alta dimensión (Gutiérrez et al., 2025).

### Inferencia estadística avanzada y teoría de la decisión

La inferencia estadística avanzada es el pilar de cualquier programa doctoral en la materia. Este curso aborda la teoría paramétrica y no paramétrica desde una perspectiva matemática rigurosa, analizando la suficiencia, la completitud y la eficiencia de los estimadores. Se profundiza en las propiedades de los estimadores de máxima verosimilitud y en el comportamiento asintótico de las pruebas de hipótesis.

La Teoría de la Decisión y el Análisis Bayesiano constituyen una vertiente fundamental del currículo contemporáneo. A diferencia del enfoque frecuentista, estas asignaturas introducen la estimación mediante distribuciones a priori, el uso de funciones de pérdida y de métodos computacionales intensivos, como las cadenas de Markov Monte Carlo (MCMC) y el muestreo de Gibbs. El dominio de estas técnicas permite al estadístico doctoral abordar modelos jerárquicos y problemas de alta complejidad para los que no existen soluciones analíticas.

## **Modelos lineales y procesos estocásticos**

En el doctorado, los modelos lineales se extienden a los modelos lineales generalizados (GLM) y a los modelos de efectos mixtos. Estas asignaturas cubren la regresión logística y de Poisson, así como los modelos de supervivencia, e integran técnicas de optimización numérica para la estimación de parámetros. El rigor matemático se mantiene mediante el estudio de las familias exponenciales y de la teoría de la cuasiverosimilitud.

En cuanto a los procesos estocásticos, el currículo debe incluir el estudio de procesos de Poisson, cadenas de Markov en tiempo continuo, movimiento browniano y cálculo de Itô. Estas herramientas son vitales para líneas de investigación en finanzas cuantitativas, donde se modela la evolución de los precios de los activos, y en biometría, para el estudio de las trayectorias de las enfermedades (Ocaña, 2009). El Análisis de Datos Funcionales (FDA) surge como una asignatura de frontera que trata las observaciones como funciones continuas en lugar de vectores discretos, lo cual resulta esencial para el análisis de series temporales complejas.

## **Computación y aprendizaje automático (Machine Learning)**

El componente computacional ha dejado de ser una herramienta de apoyo para convertirse en un área de estudio propia dentro del doctorado.

Las asignaturas de Computación Estadística Avanzada y Minería de Datos introducen algoritmos de optimización convexa, de aprendizaje supervisado y no supervisado y de redes neuronales profundas (Deep Learning). La integración de lenguajes como R y Python en el núcleo curricular asegura que el investigador pueda implementar modelos a gran escala en infraestructuras de Big Data (véase la Tabla 3).

**Tabla 3: Líneas de investigación implementadas en doctorados en matemática y estadística**

Línea de Estadística	Asignaturas de doctorado	Aplicación Investigativa
Inferencia Matemática	Teoría Asintótica, Estimación Óptima	Fundamentos de la validación científica
Modelos Estocásticos	Cálculo de Itô, procesos de difusión	Finanzas y Biomatemática
Análisis de Datos	Análisis Multivariado, Datos Funcionales	Geociencias y Análisis de Mercados
Computación	Algoritmos MCMC, Optimización Convexa	Inteligencia Artificial y Big Data

## **La plana docente: Perfiles de excelencia e investigación acreditada**

El éxito y el prestigio de un doctorado dependen de la calidad y la trayectoria de sus docentes. En el Perú, este aspecto está estrictamente regulado por la SUNEDU y el CONCYTEC, que exigen que los profesores de la plana docente posean el grado de doctor y demuestren una producción científica constante y relevante.

### **Clasificación RENACYT y el rol del docente investigador**

El Registro Nacional Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (RENACYT) es el sistema que califica la producción de los investigadores peruanos con base en su formación, en las publicaciones en revistas indexadas (Scopus, Web of Science), en el registro de la propiedad intelectual y en la asesoría de tesis. Para un programa de doctorado, es imperativo que los docentes principales y los coordinadores de líneas de investigación pertenezcan a los niveles superiores del registro, como el de Investigador Distinguido o Nivel I.

Un Investigador Distinguido debe alcanzar un puntaje mínimo de 200 puntos y poseer un índice  $h$  igual o superior a 10 en Scopus. Este nivel de exigencia garantiza que el doctorando reciba mentoría de académicos insertos en el flujo global del conocimiento y con capacidad para publicar en los cuartiles más altos (Q1 y Q2). El "Docente Investigador" goza de un régimen especial en las universidades, con una carga lectiva reducida que le permite dedicar al menos 16 horas semanales a la generación de nuevos conocimientos (CONCYTEC, 2022).

## Perfil de los asesores y jurados de tesis

La relación entre el doctorando y su asesor es el eje del programa. El asesor debe ser un especialista en el tema de la tesis y, según los reglamentos internos, haber sido, de preferencia, docente del programa. Para garantizar la imparcialidad y la calidad, los jurados de tesis (dictaminadores y replicantes) deben poseer todos el grado de doctor y, en la etapa final, el jurado debe incluir al menos a un especialista externo de una institución de prestigio internacional (véase la Tabla 4).

**Tabla 4: Nivel de investigador exigido en el perfil del docente en educación superior (Perú)**

Nivel de Docente (RENACYT)	Puntaje Mínimo	Requisitos de Producción
Investigador Distinguido	200 puntos	Índice $h \geq 10$ + Producción en Q1
Nivel I	160 puntos	Artículos en revistas indexadas de alto impacto
Nivel II	100 puntos	Publicaciones constantes + Asesorías de tesis

Nivel III - VII	10 - 99 puntos	Investigadores en formación o consolidación
-----------------	----------------	---

La plana docente debe ser multidisciplinaria en su campo. Por ejemplo, en el Doctorado en Ciencias e Ingeniería Estadística de la UNI se busca una combinación de teóricos de la probabilidad con especialistas en aprendizaje de máquina y en estadística aplicada a la ingeniería. La participación de profesores visitantes de instituciones como la UNAM (México), el IMPA (Brasil) o el Cinvestav enriquece la perspectiva de los estudiantes y facilita la creación de redes de colaboración internacional.

## **Gestión de la investigación y recursos tecnológicos**

Un doctorado en matemática y estadística requiere una infraestructura que trascienda las aulas. La Condición III de SUNEDU enfatiza la necesidad de contar con políticas de investigación, líneas activas y los recursos necesarios para sostenerlas.

### **Laboratorios y herramientas computacionales**

Aunque la matemática pura a menudo se asocia con el trabajo teórico individual, el doctorado moderno exige laboratorios de computación de alto rendimiento. Para áreas como el Análisis Numérico, la Simulación Estocástica y la Ciencia de Datos, es indispensable contar con licencias de software especializado (MATLAB, Mathematica, SAS, STATA) y con acceso a clústeres de computación para el procesamiento de grandes volúmenes de datos.

Un ejemplo innovador en la gestión de recursos es la Facultad de

Ingeniería Económica, Estadística y CC.SS. de la UNI, que cuenta con el apoyo de terminales de Bloomberg en sus programas de doctorado. Esto permite que la investigación en estadística financiera se realice con datos en tiempo real, conectando la academia con el flujo de información de los mercados globales. La biblioteca virtual también es un recurso crítico; los indicadores de calidad exigen acceso a bases de datos científicas de texto completo para que el investigador esté al tanto del estado del arte en su disciplina.

## **Financiamiento y sostenibilidad**

La sostenibilidad financiera de un doctorado se garantiza mediante un plan de financiamiento de cinco años que incluya partidas para recursos humanos, investigación, equipamiento y acervo bibliográfico. En las universidades públicas, este presupuesto suele estar vinculado a fondos concursables y a proyectos de inversión, mientras que en las privadas proviene de los promotores y de las pensiones. El apoyo económico a los doctorandos es igualmente vital; instituciones como la PUCP brindan préstamos y ayudas económicas a docentes y jefes de práctica para cursar estudios de posgrado, lo que incentiva la mejora continua de su personal.

## **Internacionalización: Cotutelas y redes académicas globales**

En el nivel doctoral, la investigación no puede ser local. El diseño curricular debe facilitar la movilidad estudiantil y docente, permitiendo que el conocimiento generado tenga impacto y visibilidad a nivel internacional (UNESCO, 2016).

## **Régimen de cotutela y dobles grados**

La cotutela internacional es un mecanismo mediante el cual una tesis

doctoral es dirigida por dos asesores de universidades distintas (una nacional y otra extranjera), en el marco de un convenio específico. Este régimen favorece la movilidad del estudiante, quien debe realizar estancias de investigación en ambas instituciones. Al concluir, el estudiante puede recibir un diploma otorgado conjuntamente o dos diplomas individuales, uno de cada institución, que reconozcan la validez de la cotutela (Montoya, 2023).

Países como Francia han establecido marcos muy sólidos para la cotutela con universidades peruanas. Los convenios regulan aspectos como la matrícula, el idioma de la tesis (con resúmenes en francés), el lugar de la defensa y el financiamiento de los viajes. Instituciones como la Embajada de Francia y el programa de becas Eiffel ofrecen apoyo financiero específico para estas estadías de investigación alternadas.

## **Participación en redes y sociedades científicas**

La integración en redes académicas es esencial para la validación del trabajo doctoral. La Sociedad Matemática Peruana (SMP) y la Sociedad Peruana de Matemática Aplicada y Computacional (SPMAC) actúan como nodos nacionales que conectan a los investigadores con la Unión Matemática Internacional (IMU). Los programas de doctorado deben fomentar la participación de sus estudiantes en coloquios y workshops, en los que puedan exponer sus avances y recibir retroalimentación de la comunidad científica internacional (véase la Tabla 5).

**Tabla 5: Becas y convenios internacionales en educación**

<b>Tipo de Convenio</b>	<b>Beneficio Académico</b>	<b>Requisito Principal</b>
Co-tutela Individual	Doble grado o diploma conjunto	Dos asesores y estancia en el extranjero
Doble Grado Marco	Convenio institucional para múltiples alumnos	Equivalencia de créditos y requisitos
Movilidad ERASMUS+	Estancias cortas de investigación	Convenio con consorcios europeos
Redes Temáticas	Colaboración en proyectos específicos	Líneas de investigación compartidas

## **Prospectiva y tendencias en la investigación doctoral**

El diseño de un doctorado en matemática y estadística debe ser dinámico y anticipar las necesidades futuras de la ciencia y la tecnología. Las megatendencias globales sugieren que la frontera entre las matemáticas puras y las aplicadas se vuelve cada vez más porosa.

## **Impacto de la Inteligencia Artificial y la Ciencia de Datos**

La IA no es solo una aplicación de la informática, sino un campo profundamente matemático basado en la optimización, el álgebra lineal y la probabilidad. Los currículos doctorales están integrando asignaturas de Aprendizaje de Máquina (Machine Learning) y de Deep Learning en su núcleo de especialización. La demanda de científicos de datos que no solo apliquen algoritmos, sino que también comprendan su fundamentación matemática para mejorarlos representa una oportunidad estratégica para los programas doctorales (Pérez y Lagunes, 2025).

## **Sostenibilidad, Cambio Climático y Biomatemática**

La modelación de fenómenos biológicos y climáticos se ha convertido en una prioridad de investigación a nivel global. La estadística desempeña un papel clave en la medición del impacto del cambio climático y en la gestión de la sostenibilidad (Sepúlveda y Huincahue, 2024). Programas como el de la Universidad de Chile destacan a investigadores de alto impacto en geociencias y ecología, lo cual sirve de referencia para que los doctorados peruanos fortalezcan sus líneas de biomatemática y de estadística ambiental. La interdisciplinariedad permite que el matemático y el estadístico colaboren con biólogos y médicos en el diseño de experimentos y el análisis de sistemas genómicos complejos.

La creación de un programa de doctorado en matemática y estadística, conforme a los estándares actuales, exige un compromiso institucional con la excelencia y la investigación de largo aliento. No se trata simplemente de cumplir con los 64 créditos mínimos exigidos por ley, sino de construir un ecosistema en el que el estudiante se transforme en un investigador autónomo capaz de competir a nivel global.

Se recomienda que el diseño curricular priorice la flexibilidad y permita

que el estudiante profundice en su área de interés desde el primer semestre, mediante una tutoría rigurosa. El examen de calificación debe actuar como un filtro real de calidad, asegurando que solo los candidatos preparados inicien la tesis. Asimismo, es imperativo que la plana docente esté conformada por investigadores activos con alta visibilidad en bases de datos como Scopus, lo que no solo garantiza la calidad de la mentoría, sino que también facilita la inserción de los graduados en la comunidad científica internacional (Echeverry et al., 2013).

Finalmente, la infraestructura tecnológica y la internacionalización deben ser pilares estratégicos. Un doctorado moderno no puede prosperar en el aislamiento; requiere acceso a clústeres de computación, bases de datos actualizadas y convenios de cotutela que permitan el intercambio de ideas y la validación de resultados en los centros de investigación más prestigiosos del mundo. El doctorado en matemática y estadística es la piedra angular del desarrollo científico y tecnológico soberano de cualquier nación.

# Capítulo 2

## Impacto y desarrollo de la inteligencia artificial en los programas de Doctorado en Matemática y Estadística

La convergencia disciplinaria entre las ciencias formales y la computación avanzada ha generado un cambio de paradigma en la investigación doctoral contemporánea. Los programas de doctorado en matemática y estadística han dejado de considerar la inteligencia artificial (IA) como mera herramienta de aplicación para integrarla como objeto de estudio fundamental que demanda rigor analítico, demostraciones formales y una reevaluación de los fundamentos estocásticos (Pérez y Lagunes, 2025). Esta transformación no solo afecta la estructura curricular, sino que también redefine la naturaleza misma del descubrimiento científico, permitiendo que algoritmos avanzados asistan en la formulación de conjeturas y en la validación de pruebas complejas.

### **Fundamentación Matemática de la Inteligencia Artificial**

La arquitectura de la inteligencia artificial moderna se sustenta en cuatro pilares matemáticos esenciales: el álgebra lineal, el cálculo multivariado, la teoría de la probabilidad y la optimización. En el nivel doctoral, la investigación se aleja de la mera implementación de librerías para centrarse en comprender los mecanismos que permiten que una máquina

aprenda, razone y decida (Panqueban y Huincahue, 2024).

## Álgebra Lineal y Representación de Datos

El álgebra lineal actúa como el lenguaje de los datos. En los modelos de aprendizaje profundo (Deep Learning), las redes neuronales dependen de la multiplicación de matrices acelerada para conectar y ajustar las "neuronas" a través de múltiples capas.

La investigación avanzada explora técnicas como la aproximación mediante matrices de bajo rango y la cuantización para reducir la carga computacional, lo que permite que modelos masivos operen en dispositivos con recursos limitados. Un ejemplo crítico es el uso de la factorización de matrices no negativas (NMF), en el que la introducción de regularizaciones topológicas puede resolver problemas de fragmentación estructural en los vectores base y mejorar la interpretabilidad semántica de los resultados.

## Cálculo y Optimización

El aprendizaje de una IA es, en esencia, un proceso de optimización continua. El cálculo multivariado proporciona las herramientas para que los algoritmos ajusten sus parámetros internos mediante descenso de gradiente, con el objetivo de minimizar funciones de pérdida en espacios de alta dimensionalidad. La fórmula general para la actualización de pesos en una red neuronal se expresa mediante:

$$w_{new} = w_{old} - \eta \nabla L(w)$$

Donde  $\eta$  representa la tasa de aprendizaje y  $\nabla L(w)$  es el gradiente de la función de pérdida. La investigación doctoral profundiza en la optimización estocástica y en las metaheurísticas para evitar mínimos locales y encontrar soluciones globales en problemas no convexos, integrando

conceptos de programación lineal y no lineal.

## **Probabilidad, Estadística y Manejo de la Incertidumbre**

Dado que los datos del mundo real son inherentemente ruidosos e incompletos, la teoría de la probabilidad y la estadística resultan vitales para cuantificar la incertidumbre. La IA utiliza estos principios para modelar fenómenos aleatorios mediante procesos estocásticos, en los que el estado de un sistema evoluciona con el tiempo según leyes probabilísticas. En los doctorados de estadística se investigan los procesos de Markov, que satisfacen la propiedad de que el futuro es independiente del pasado, dado el presente, lo cual constituye una base fundamental para el aprendizaje por refuerzo y los modelos generativos (Ocaña, 2009).

## **Panorama de los doctorados en matemática y estadística en el Perú**

El ecosistema académico peruano ha mostrado una adaptación progresiva a la integración de la IA en sus líneas de investigación de posgrado. Las universidades líderes han estructurado programas que combinan el rigor de las ciencias básicas con las demandas tecnológicas de la era digital.

### **Universidad Nacional de Piura (UNP): Integración de EDP e IA**

El Doctorado en Ciencias Matemáticas de la UNP es uno de los programas que ha formalizado la IA como una de sus líneas de investigación centrales, junto con las Ecuaciones Diferenciales Parciales (EDP) y la Optimización. Su plan de estudios se caracteriza por una fuerte carga de métodos computacionales avanzados desde los primeros ciclos, integrando la lógica difusa y las redes neuronales como herramientas para abordar problemas complejos que carecen de soluciones analíticas tradicionales

(véase la Tabla 6).

**Tabla 6: Formalización de la inteligencia artificial como línea de investigación en el programa de Doctorado en Ciencias Matemáticas de la UNP**

<b>Ciclo</b>	<b>Asignaturas Vinculadas a IA y Matemática Aplicada</b>	<b>Créditos</b>
I	Programación Lineal y No Lineal	04
II	Programación Entera	04
III	Inteligencia Artificial / Lógica Difusa y Redes Neuronales	08
III	Metaheurísticas	04
IV	Tópicos de Optimización Avanzada	04

Esta estructura sugiere un enfoque en "Soft Computing", en el que el investigador desarrolla modelos capaces de manejar la ambigüedad y la

imprecisión, con aplicaciones directas en la toma de decisiones gubernamentales y empresariales.

### **Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) e IMCA**

La UNI, a través de su Facultad de Ciencias y el Instituto de Matemática y Ciencias Afines (IMCA), mantiene una tradición de rigor en matemáticas puras, pero ha expandido sus horizontes hacia la modelización matemática y computacional. Sus líneas de investigación incluyen optimización, probabilidad y sistemas dinámicos, áreas que proporcionan la base teórica para el aprendizaje estadístico avanzado. El IMCA promueve un intercambio activo con investigadores a nivel global y se centra en la resolución de problemas industriales reales mediante métodos cuantitativos.

### **Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) y el enfoque Deep Tech**

La UNMSM ha innovado con el lanzamiento del primer doctorado en Sudamérica en "Deep Tech con enfoque en Inteligencia Artificial (IA) y tecnologías emergentes". Este programa se complementa con la sólida formación de su Escuela Profesional de Estadística, que prepara a los investigadores para proponer y validar modelos estadísticos que representen fenómenos reales con responsabilidad social y sostenibilidad ambiental.

### **Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP): Probabilidad y Procesos Estocásticos**

En el Doctorado en Matemáticas de la PUCP, la investigación se inclina por la teoría de la probabilidad y los procesos estocásticos, líneas fundamentales para comprender la dinámica de los algoritmos de IA en entornos aleatorios. Además, la institución cuenta con grupos especializados como el Laboratorio de Inteligencia Artificial (IA-PUCP) y el Q-LAB, que aplican

métodos computacionales a las ciencias sociales, la agricultura y la lucha contra la corrupción.

## **Fronteras Internacionales: TDA y Automatización del Descubrimiento**

A nivel internacional, la investigación doctoral está explorando áreas en las que la matemática abstracta y la IA se fusionan para crear nuevas capacidades de análisis.

### **Análisis de Datos Topológicos (TDA)**

El análisis de datos topológicos representa una de las fronteras más avanzadas de la matemática aplicada. Utiliza herramientas de la topología algebraica, específicamente la homología persistente, para extraer información sobre la "forma" de conjuntos de datos de alta dimensión, ruidosos e incompletos. En programas doctorales de universidades como Oxford y Manchester, el TDA se utiliza para clasificar estructuras complejas en sistemas biológicos, redes neuronales y en la dinámica tumoral. El proceso se basa en identificar características que persisten a lo largo de diferentes escalas de parámetros, lo que garantiza que las estructuras halladas no sean meros artefactos del ruido.

### **La Revolución de la IA en la Investigación Matemática Pura**

En el año 2025, se alcanzó un punto de inflexión en el que los modelos de IA comenzaron a resolver problemas de nivel de investigación y a formular conjeturas que luego fueron demostradas mediante métodos tradicionales. Investigadores como Terence Tao han comenzado a utilizar sistemas como AlphaEvolve, que emplea algoritmos genéticos y modelos de lenguaje para escribir código en Python capaz de encontrar soluciones óptimas a problemas

matemáticos abiertos. Esta colaboración entre la intuición humana y el rigor computacional está acelerando el descubrimiento en campos como la teoría de nudos y la geometría combinatoria.

## **Aplicaciones de la IA en la investigación peruana**

La investigación doctoral en el Perú no solo busca el avance teórico, sino también el impacto social y económico. Diversas tesis y proyectos demuestran la versatilidad de la IA en contextos locales.

### **Salud y Biotecnología**

El Grupo IA-PUCP desarrolla herramientas para el análisis y la predicción de proteínas repetidas, vinculadas a enfermedades heterogéneas. Asimismo, se investiga la detección de causalidad en datos genómicos mediante perfiles temporales de expresión génica, lo que permite una comprensión más profunda de las interacciones biológicas sin necesidad de realizar intervenciones costosas.

### **Educación y Competencias Matemáticas**

Existe una tendencia creciente hacia el uso de la IA para fortalecer las competencias matemáticas en la educación secundaria. Investigaciones recientes han demostrado que el uso de chatbots educativos y de herramientas tecnológicas basadas en IA mejora significativamente la resolución de problemas de cantidad, forma y movimiento en estudiantes de diversas regiones del país (Bolaño y Duarte, 2024). Estos estudios emplean enfoques cuantitativos y diseños preexperimentales para validar el progreso académico impulsado por la tecnología.

## **Agricultura y Medio Ambiente**

Proyectos en el Q-LAB de la PUCP aplican la IA al sector agrícola para optimizar la toma de decisiones basada en datos ambientales y de mercado. Además, se han desarrollado sistemas de monitoreo ambiental, como la detección automatizada de derrames de petróleo, que emplean redes neuronales convolucionales y un procesamiento de imágenes avanzado.

## **El Ecosistema de Financiamiento e Internacionalización**

Para sostener investigaciones de alto nivel en IA, es fundamental contar con mecanismos de financiamiento y redes de colaboración a nivel global.

### **Becas de Prociencia y Concytec**

El Estado peruano, a través de Prociencia, financia programas doctorales en alianzas interinstitucionales y otorga becas que pueden alcanzar los S/ 234,000 por becario durante un periodo de 36 meses. Estos fondos están destinados a áreas estratégicas como la economía digital y las tecnologías de la información, lo que permite a los doctorandos concentrarse en la generación de conocimiento original, con un estipendio mensual de S/ 6,500.

### **Convenios de Cotutela y Doble Grado**

La internacionalización se facilita mediante convenios de cotutela, que permiten a los estudiantes obtener títulos de doctor de dos universidades distintas tras realizar estancias de investigación supervisadas por directores de ambas instituciones (Montoya, 2023). Universidades peruanas como la PUCP, la UNI y la UNMSM mantienen vínculos con instituciones en Francia, España, Australia y otros países, fomentando el intercambio de personal académico y

de proyectos conjuntos (véase la Tabla 7).

**Tabla 7: Internacionalización mediante convenios de cotutela en Perú**

<b>Institución / Programa</b>	<b>Modalidad de Cooperación</b>	<b>Alcance Geográfico</b>
Escuela Doctoral Franco-Peruana	Becas de doctorado	Francia - Perú
STIC-AmSud	Investigación e Innovación	Chile, Francia, Perú
Programas de Doble Grado PUCP	Movilidad Estudiantil	Internacional (Varios)
Cotutelas Macquarie University	Doble PhD	Australia - Internacional

## **Ética y Responsabilidad en la IA Aplicada a la Investigación**

El avance de la IA en los doctorados conlleva desafíos éticos significativos que deben abordarse con rigor académico. La transparencia en el uso de modelos generativos, la mitigación de sesgos en los algoritmos y la protección de datos personales son temas centrales en los cursos de formación continua y de posgrado.

### **Transparencia y Autoría**

El uso de la IA generativa en la producción científica exige protocolos claros para garantizar la trazabilidad y el cumplimiento de las normativas

editoriales. Las instituciones están promoviendo un ciclo de trabajo "Humano-IA-Humano", en el que la validación cruzada y la triangulación de los resultados generados por la IA son esenciales para mantener la integridad científica. Se enfatiza que la IA no debe reemplazar el razonamiento humano, sino complementarlo, lo que permite una mayor productividad sin sacrificar el pensamiento crítico.

## **Equidad y Sesgos Estadísticos**

La estadística aplicada a la IA tiene un rol crítico al auditar modelos para detectar si las decisiones automatizadas son discriminatorias por motivos como la edad o el género. La investigación doctoral se enfoca en integrar reglas de equidad directamente en los algoritmos de optimización, buscando un equilibrio saludable entre la precisión predictiva y la justicia social.

La integración de la inteligencia artificial en los programas de doctorado de matemática y estadística ha pasado de ser una opción a convertirse en una necesidad estructural. La capacidad de los algoritmos para procesar volúmenes masivos de datos y sugerir estructuras matemáticas invisibles al ojo humano está redefiniendo los límites de lo que es posible investigar (Pérez y Lagunes, 2025).

En el contexto peruano, el fortalecimiento de las alianzas interinstitucionales y el financiamiento estratégico de Prociencia permiten a una nueva generación de investigadores abordar problemas locales con herramientas de clase mundial. Sin embargo, el éxito de esta línea de investigación dependerá de mantener un equilibrio entre el dominio técnico de las herramientas de IA y la profundidad teórica de las matemáticas puras. La IA no es el fin de la matemática, sino su extensión hacia una nueva era de complejidad y descubrimiento. Los programas doctorales deben continuar fomentando este diálogo interdisciplinario y asegurar que el rigor analítico

siga siendo el faro que guía la innovación tecnológica.

# **Capítulo 3**

## **Análisis sistémico de la línea de investigación en biomatemática y bioestadística en el marco curricular de matemática y estadística en el Perú**

La integración de las ciencias matemáticas y estadísticas con las ciencias de la vida constituye uno de los ejes más dinámicos y críticos del ecosistema científico contemporáneo del Perú. Este fenómeno no responde únicamente a una tendencia global de interdisciplinariedad, sino también a una necesidad imperativa de abordar problemas complejos de salud pública, gestión de recursos naturales y biotecnología con un rigor cuantitativo que permita la toma de decisiones informadas y basadas en evidencia científica.

En el marco de los programas curriculares de matemática y estadística, las líneas de investigación en biomatemática y bioestadística han evolucionado de ser áreas periféricas a convertirse en pilares fundamentales de la formación académica y de la producción científica nacionales.

### **Epistemología y Fundamentación de las Ciencias Matemáticas de la Vida**

La biomatemática y la bioestadística, aunque intrínsecamente relacionadas, poseen fundamentos epistemológicos y metodológicos

distintos que convergen en el estudio de los seres vivos. La biomatemática se centra en la construcción y el análisis de modelos matemáticos —a menudo deterministas o estocásticos— que buscan describir los mecanismos subyacentes a los procesos biológicos (Velázquez et al., 2019). Estos modelos permiten predecir el comportamiento de sistemas complejos, como la propagación de una enfermedad o la dinámica de una población pesquera, bajo diversas condiciones experimentales o ambientales.

Por otro lado, la bioestadística se especializa en la aplicación de técnicas estadísticas para la recolección, el análisis y la interpretación de datos en el ámbito de la biología, la medicina y la salud pública, así como en la gestión de la variabilidad y la incertidumbre inherentes a los sistemas biológicos (Velázquez et al., 2019).

En el Perú, estas disciplinas se han formalizado mediante escuelas profesionales que han sabido adaptar sus mallas curriculares para responder a desafíos específicos, como la fisiología de la altura, el manejo de la biomasa marina y el control de enfermedades infecciosas endémicas. La formación del matemático y estadístico peruano ha pasado de un enfoque puramente teórico a otro en el que la modelación y el análisis de datos biológicos son competencias esenciales para la empleabilidad y la investigación (Sepúlveda y Huincahue, 2024).

## **Arquitectura Curricular del Pregrado en Estadística y Matemática**

La formación académica de pregrado constituye la base sobre la cual se asienta la especialización en biomatemática y bioestadística. Las universidades públicas peruanas han estructurado sus planes de estudio para garantizar sólidas competencias en ciencias básicas e introducir

progresivamente aplicaciones de las ciencias de la vida (Velázquez et al., 2019).

## Ingeniería Estadística en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)

El programa de Ingeniería Estadística de la UNI es un referente nacional por su rigor técnico. Aunque su orientación original posee un fuerte componente económico e industrial, la inclusión de materias avanzadas en el modelamiento proporciona al egresado las herramientas necesarias para la bioestadística. La malla curricular se organiza en diez semestres, de los cuales los cuatro primeros consolidan el cálculo, el álgebra lineal y las probabilidades básicas (véase la Tabla 8).

**Tabla 8: Contribución del programa de ingeniería estadística de la UNI a la línea de bioestadística**

Semestre	Código	Asignatura	Contribución a la línea de bioestadística
III	ES312	Probabilidades I	Fundamentos para el modelado de eventos biológicos aleatorios.
V	ES512	Inferencia Estadística Paramétrica	Esencial para las pruebas de hipótesis en ensayos clínicos.
VII	ES712	Análisis de Regresión	Modelado de las asociaciones entre factores de riesgo y la salud.

VII	ES713	Diseño y Análisis de Experimentos	Base para la investigación en laboratorios y en campo.
VIII	ES815	Procesos Estocásticos	Modelado de la propagación de epidemias y de mutaciones.
IX	ES911	Análisis Multivariante II	Técnicas avanzadas de genética y bioinformática.

El perfil del egresado de la UNI enfatiza la capacidad de proponer y validar modelos estadísticos que representen fenómenos reales, lo cual resulta directamente aplicable a la investigación biomédica y epidemiológica. La rigurosidad en el cálculo diferencial e integral permite a estos profesionales abordar modelos de sistemas dinámicos, que constituyen el corazón de la biomatemática moderna.

### **La Escuela Profesional de Estadística en la UNMSM**

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, la formación del estadístico se orienta a la identificación y formulación de problemas complejos mediante la recolección y el análisis de datos. Su plan de estudios fomenta la comunicación con especialistas de otras disciplinas, una competencia clave para el trabajo en equipos de salud multidisciplinarios. La UNMSM vincula explícitamente su carrera de estadística con áreas como la genética, la biotecnología y la microbiología, reconociendo estas ramas como campos de acción naturales para el profesional de la información (véase la Tabla 9).

**Tabla 9: Modelación, investigación e interdisciplinariedad en la Escuela Profesional de Estadística en la UNMSM**

<b>Eje de Competencia</b>	<b>Descripción</b>	<b>Impacto Profesional</b>
Modelación	Propone y valida modelos que representen hechos reales.	Capacidad de simular brotes infecciosos.
Investigación	Realiza propuestas innovadoras con responsabilidad social.	Desarrollo de protocolos éticos en salud pública.
Interdisciplinariedad	Se comunica con especialistas de distintas disciplinas.	Integración efectiva en los equipos médicos de los hospitales.

## **Otros Programas Regionales y su Enfoque en Ciencias Naturales**

La descentralización de la educación superior ha permitido que las universidades de diversas regiones del Perú integren la bioestadística y la biomatemática a sus realidades locales. La Universidad Nacional de Piura (UNP) y la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH) han adaptado sus currículos para incluir conocimientos básicos de biología, química y física como requisitos para comprender el entorno del estadístico.

En la UNP, el plan curricular destaca que el profesional debe resolver problemas estadísticos relacionados con su contexto, aplicando principios fundamentales de aritmética y álgebra, y demostrando dominio de la estadística superior para brindar asesoramiento en medicina y economía. La UNSCH, por su parte, prioriza métodos numéricos y la programación estadística, herramientas vitales para el procesamiento de datos biológicos a

gran escala en regiones de alta diversidad biológica.

La Universidad Nacional del Santa (UNS) ofrece líneas de investigación específicas en métodos estadísticos aplicados a la investigación biomédica y en bioinformática dentro de sus programas de doctorado, lo que evidencia una verticalidad académica que abarca desde el pregrado hasta el máximo grado académico en estas especialidades.

## **Especialización y Posgrado: La Maestría en Bioestadística de la UNMSM**

El nivel de especialización más profundo en el Perú se encuentra en la Maestría en Bioestadística de la Facultad de Ciencias Matemáticas de la UNMSM. Este programa ha sido diseñado para satisfacer la creciente demanda de investigadores altamente calificados por parte de universidades, instituciones de salud y empresas de biotecnología.

El programa de maestría tiene una duración de dos años y se divide en áreas de profundización y de investigación aplicada. El currículo refleja las tendencias internacionales al incluir técnicas de análisis de datos espaciales y modelos multinivel, esenciales en los estudios epidemiológicos modernos (véase la Tabla 10).

**Tabla 10: Estructura y tendencias del plan de estudios 2024**

<b>Ciclo Académico</b>	<b>Cursos Obligatorios</b>	<b>Enfoque de Investigación</b>
I	Bioestadística, Epidemiología, Redacción Científica.	Fundamentos de salud pública y comunicación científica.

II	Estadística Espacial, Muestreo, Taller de Investigación I.	Formulación de proyectos de tesis y manejo de la geoestadística.
III	Seminario de Bioestadística II, Taller de Investigación II.	Diseños experimentales y validación de instrumentos.
IV	Seminario de Bioestadística III, Taller de Investigación III.	Análisis multivariante avanzado y finalización de la tesis.

Los cursos electivos de la maestría en la UNMSM demuestran una notable sofisticación técnica, al cubrir temas como el análisis de supervivencia (modelos de Cox), los modelos lineales generalizados y los pronósticos para datos longitudinales mediante redes neuronales. Esta formación permite que los graduados no solo apliquen técnicas estándar, sino que también innoven en la creación de nuevos métodos estadísticos adaptados a la realidad biológica del país.

## **El Programa de Especialización de la Universidad Continental**

Complementando la oferta académica formal, instituciones como la Escuela de Posgrado de la Universidad Continental ofrecen programas de especialización en Estadística Aplicada a la Investigación y en Análisis de Datos. Estos programas, aunque de menor duración (128 horas lectivas), están diseñados para profesionales en ejercicio que requieren herramientas inmediatas para la elaboración de tesis y trabajos científicos. Su enfoque incluye modelos de regresión de Poisson y de logística, fundamentales para el análisis de la frecuencia de enfermedades y de los factores de riesgo en salud

pública.

## Modelamiento Matemático Aplicado a la Epidemiología y Salud Pública

La utilidad de la biomatemática se hizo evidente de manera dramática durante la pandemia del COVID-19. Los investigadores peruanos emplearon modelos matemáticos para predecir la propagación del virus y evaluar la efectividad de las medidas de mitigación.

### Mecanismos de Modelado Determinista y Estocástico

En el ámbito de la epidemiología matemática, se utilizan sistemas de ecuaciones diferenciales para modelar la dinámica de las poblaciones de susceptibles ( $S$ ), infectados ( $I$ ) y recuperados ( $R$ ). Un modelo básico tipo SIR puede expresarse como:

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$

¿Dónde están la tasa de transmisión y la de recuperación? Investigadores de la UNI y de otras universidades desarrollaron versiones más complejas de estos modelos para incluir compartimentos de expuestos, portadores asintomáticos y hospitalizados, lo que permite una simulación más fiel de la realidad peruana. La conversión de estos modelos deterministas en

modelos estocásticos permitió capturar la incertidumbre y las fluctuaciones aleatorias en la transmisión, lo cual resultó crucial para el diseño de estrategias de vacunación óptimas y la distribución de recursos hospitalarios.

## **Aplicaciones de la Bioestadística en el Control de Enfermedades**

La bioestadística desempeña un papel crucial en el diseño de estudios epidemiológicos, desde los de cohortes hasta los ensayos clínicos. En el Perú, se ha aplicado intensamente para:

1. **Diseño de Muestras:** Determinación del tamaño de muestra necesario para detectar efectos significativos en intervenciones de salud.
2. **Análisis de Supervivencia:** Evaluación de la eficacia de los tratamientos frente a enfermedades crónicas o infecciosas.
3. **Control de Sesgos:** Aplicación de técnicas de ajuste multivariante para garantizar que las asociaciones encontradas no se deban a variables de confusión.
4. **Gestión de Pandemias:** Modelado de la tasa de transmisión y de la inmunidad de grupo para informar las políticas de confinamiento y de apertura económica.

## **Biomatemática y Bioestadística en la Gestión de Recursos Naturales y Pesquería**

El Perú es una de las potencias pesqueras del mundo y la sostenibilidad de este sector depende críticamente de la aplicación de la biometría y el modelamiento poblacional realizados por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) (véase la Tabla 11).

## Modelado de la anchoveta peruana

La anchoveta (*Engraulis ringens*) es el recurso hidrobiológico más importante del país. IMARPE utiliza modelos de evaluación de stocks que integran datos biológicos y oceanográficos para determinar las cuotas de pesca y proteger la biomasa. Entre 1961 y 2009, se desarrollaron modelos basados en longitudes de onda con resolución mensual que permiten identificar cambios de fase en la dinámica del reclutamiento vinculados a eventos climáticos como El Niño.

**Tabla 11: Líneas de investigación en Biomatemática y Bioestadística del IMARPE**

Línea de Investigación	Metodología Aplicada	Aplicación Práctica
Hidroacústica	Aplicación de métodos acústicos para estimar la biomasa.	Diagnóstico inmediato de la abundancia de anchoveta.
Biometría	Registro del peso, la talla y el estado reproductivo de los peces.	Seguimiento de la salud poblacional en el litoral y en la Amazonía.
Modelos de reclutamiento	Algoritmos evolutivos para estimar series de reclutas.	Predicción de la disponibilidad del recurso en temporadas futuras.
Ecología de sistemas	Modelos aditivos generalizados (GAM) vinculados a TSM y al oxígeno.	Identificación de nichos ecológicos y de áreas de protección.

La investigación en biometría pesquera en IMARPE no se limita a la anchoveta, sino que abarca recursos como el jurel, la caballa, el calamar gigante (pota) y el bacalao de profundidad, asegurando niveles poblacionales saludables mediante un manejo precautorio adaptativo. Estos

modelos consideran la variabilidad del hábitat modulada por la temperatura, las corrientes y la disponibilidad de alimento, factores que inciden directamente en el crecimiento y la supervivencia de las larvas.

## **Bioinformática y Biotecnología: La Nueva Frontera Científica**

La convergencia de la biología molecular, la informática y las matemáticas ha dado lugar a la bioinformática, una disciplina en la que el Perú ha comenzado a destacar gracias a sus laboratorios de excelencia.

### **El Laboratorio de Bioinformática y Biología Molecular (BBM) de la UPCH**

La Universidad Peruana Cayetano Heredia, a través de sus Laboratorios de Investigación y Desarrollo (LID), integra la biomatemática y la bioestadística de manera central. El BBM, liderado por la Dra. Claudia Machicado, utiliza herramientas computacionales avanzadas e inteligencia artificial (IA) para analizar *Big Data* biológico.

- **Modelamiento molecular:** Se utiliza para la visualización 3D de proteínas e identificar inhibidores de proteasas virales (como los del SARS-CoV-2) a partir de productos naturales peruanos.
- **Investigación en tuberculosis:** El Perú es una zona endémica de tuberculosis (TB). La bioinformática se emplea para comprender los mecanismos de resistencia a fármacos, como la pirazinamida, mediante el secuenciamiento de nueva generación (NGS) y el modelado de la actividad enzimática recombinante.
- **Genética Poblacional:** Los estudios sobre la adaptación a la hipoxia y el

mal de montaña crónico en poblaciones andinas requieren modelos matemáticos para analizar la variabilidad genética y la cinética del transporte de oxígeno.

## **Ingeniería Biomédica: Una Alianza Estratégica PUCP-UPCH**

La creación de la carrera de Ingeniería Biomédica, como un programa conjunto de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH), representa un hito en la educación interdisciplinaria. Este programa forma profesionales que aplican principios de ingeniería y de matemáticas para resolver problemas médicos. Sus áreas de concentración, como señales e imágenes biomédicas, biomecánica y rehabilitación, y biotecnología de tejidos, dependen fundamentalmente de la capacidad de modelar sistemas biológicos complejos y de procesar datos médicos digitales.

## **Perfil Profesional, Competencias y el Mercado Laboral**

El desarrollo de la biomatemática y la bioestadística en el Perú ha redefinido el perfil del matemático y del estadístico modernos. El mercado laboral ya no solo demanda técnicos en procesamiento de datos, sino también científicos capaces de interpretar la realidad biológica y social a través de los números.

### **Competencias Específicas Requeridas**

De acuerdo con los planes curriculares de la UNMSM, UNFV y la UNP, se han identificado competencias críticas para el profesional en estas líneas de investigación:

1. **Capacidad de Abstracción y Modelamiento:** Habilidad para traducir

fenómenos biológicos complejos en modelos matemáticos o estadísticos.

2. **Manejo de Herramientas Computacionales:** dominio experto de lenguajes como R, Python y SQL y de software especializado como SPSS y Stata.
3. **Comunicación Interdisciplinaria:** Capacidad para dialogar con profesionales de las ciencias de la salud y de la biología para planificar proyectos de investigación científica.
4. **Rigor Ético:** Responsabilidad en el manejo de datos sensibles y en el cumplimiento de los estándares internacionales de publicación científica.

## El Investigador en el Sistema Nacional (RENACYT) hasta 2021

El Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) clasifica a los investigadores peruanos mediante el registro RENACYT. Para los especialistas en biomatemática y bioestadística, el reconocimiento depende de su producción científica indexada y de su capacidad para liderar proyectos (véase la Tabla 12).

**Tabla 12: Nivel de clasificación de investigador en Perú hasta 2021**

Grupo de Investigador	Requisitos de Nivel 1	Impacto en la Línea de Investigación
Carlos Monge Medrano	Grado de doctor, >40 artículos indexados, >8 proyectos de investigación.	Líderes de laboratorios de bioinformática y biotecnología.
María Rostworowski	Grado de doctor o maestro, >10 artículos indexados, asesoría de tesis.	Investigadores en instituciones públicas (MINSA, IMARPE).

Esta clasificación fomenta la excelencia en la investigación biomatemática, vinculando el ascenso profesional con la publicación de hallazgos en revistas de alto impacto, como las indexadas en Scopus o en Web of Science.

## **Desafíos Educativos y Contexto Internacional**

A pesar de los avances en el nivel universitario y de posgrado, el Perú enfrenta desafíos estructurales en la formación básica que afectan la línea de investigación en ciencias matemáticas.

### **Tendencias PISA y su Implicancia Científica**

Los resultados del Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes (PISA) 2022 muestran que una proporción significativa de estudiantes peruanos no alcanza el nivel básico de competencia en matemática y en ciencias.

- **Matemática:** El 66% de los estudiantes peruanos se encuentra por debajo del Nivel 2 de competencia, frente al 20% en los países de la OCDE.
- **Ciencia:** El 53% de los estudiantes no alcanza el nivel mínimo, lo que limita la base de talento para futuras investigaciones en biomatemática.

La pandemia de COVID-19 exacerbó estas brechas y afectó negativamente la tendencia positiva que el país había mantenido desde 2009. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de fortalecer la educación estadística desde los niveles básicos para asegurar que los futuros profesionales cuenten con la alfabetización numérica necesaria para abordar las ciencias de la vida.

## **Comparativa Regional: El Ecosistema Latinoamericano**

En comparación con otros países de la región, como Brasil y Chile, el Perú presenta un desarrollo acelerado, aunque aún en proceso de consolidación. Brasil, por ejemplo, posee una integración más profunda de la estadística en la formación docente y una producción científica en biomatemática más extensa. Chile, por su parte, destaca por sus perfiles de egreso altamente especializados en consultoría estadística y por un sistema educativo con mejores resultados en las pruebas PISA (Cotrado et al., 2022).

No obstante, el Perú posee ventajas competitivas en áreas específicas. La investigación en fisiología de la altura realizada por la UPCH y el modelamiento de ecosistemas de afloramiento costero del IMARPE son referentes mundiales. Estos nichos de excelencia demuestran que, cuando se alinean los recursos institucionales con los problemas territoriales, la biomatemática peruana puede alcanzar estándares internacionales de primer orden.

## **Rol de las Sociedades Científicas y el Futuro de la Investigación**

La sostenibilidad de las líneas de investigación en biomatemática y bioestadística depende en gran medida de la actividad de comunidades de práctica como la Sociedad Peruana de Matemática Aplicada y Computacional (SPMAC)<sup>3</sup>.

### **SEMBIOMAT: El Nodo de Intercambio Científico**

El Seminario Internacional de Biomatemática (SEMBIOMAT), organizado por la SPMAC, es el evento principal en el que confluyen expertos nacionales e internacionales. Sus objetivos son claros:

- Crear conciencia sobre el uso de herramientas matemáticas para perfeccionar la investigación en biología y salud.
- Instruir a especialistas en técnicas de modelado y en software computacional.
- Fomentar la iniciación científica mediante concursos de afiches y de tesis dirigidos a estudiantes de pregrado y de posgrado.

La participación de investigadores de Brasil, Chile y Estados Unidos en estos seminarios permite la transferencia de conocimientos y la formación de redes de colaboración internacional, fundamentales para el avance de la ciencia en el país.

## Síntesis y Perspectivas Estratégicas

El análisis integral de la línea de investigación en biomatemática y bioestadística en los currículos de matemática y estadística revela un panorama de maduración institucional y técnica. La transición de una enseñanza teórica a una aplicada ha permitido que los matemáticos y estadísticos se conviertan en actores clave en la resolución de problemas nacionales críticos (Tobar et al., 2025).

## Recomendaciones para el Desarrollo Curricular

1. **Integración Temprana:** Los programas de pregrado deben considerar la introducción de conceptos biológicos y biomédicos desde los ciclos intermedios, permitiendo que el estudiante visualice la aplicabilidad de la estadística en las ciencias de la vida.
2. **Fortalecimiento del Posgrado:** La Maestría en Bioestadística de la UNMSM debe continuar su actualización hacia el análisis de datos masivos (*Machine Learning* y *Deep Learning*) aplicados a la genómica y la epidemiología espacial.

3. **Colaboración Interinstitucional:** El éxito de IMARPE y la alianza PUCP-UPCH sugiere que el modelo de colaboración entre el Estado, la academia y los institutos de investigación es el camino más eficiente para producir ciencia de alto impacto.
4. **Cierre de Brechas Digitales:** El acceso a infraestructura de computación de alto rendimiento es esencial para el modelamiento de sistemas biológicos complejos y no debe ser una barrera para los investigadores de provincias.
5. **Fomento de la Comunicación Científica:** La formación debe incluir competencias sólidas en redacción de artículos científicos y en divulgación, asegurando que el conocimiento generado en el Perú participe en el debate global.

La biomatemática y la bioestadística en el Perú han dejado de ser promesas académicas y se han convertido en herramientas estratégicas para el desarrollo. La capacidad del país para enfrentar futuras crisis sanitarias, gestionar sus recursos marinos y avanzar en la biotecnología dependerá directamente del vigor y la profundidad con que estas líneas de investigación se sigan cultivando en las aulas y los laboratorios de todo el territorio nacional (Velázquez et al., 2019). La inversión en estas disciplinas no es solo un gasto educativo, sino también una salvaguarda de la salud y de la sostenibilidad del país en el siglo XXI.

# Capítulo 4

## Análisis del lenguaje natural y aprendizaje relacional y estructurado en programas de doctorado de matemática y estadística

La convergencia contemporánea entre la lingüística computacional, la lógica formal y la estadística matemática ha dado lugar a un campo de estudio altamente especializado que redefine la forma en que los sistemas artificiales procesan y comprenden el lenguaje humano. En el epicentro de esta evolución se encuentran el aprendizaje relacional estadístico (SRL) y el aprendizaje estructurado, paradigmas que buscan superar las limitaciones de los modelos tradicionales de aprendizaje automático al integrar la incertidumbre probabilística con la estructura lógica inherente a los datos del mundo real (Guerrero, 2004).

Esta integración es particularmente crítica en los departamentos de matemáticas y estadística de las universidades de élite, donde el enfoque se desplaza del desarrollo de aplicaciones superficiales hacia la fundamentación teórica de cómo los sistemas pueden razonar sobre entidades interconectadas y relaciones complejas.

### Fundamentos matemáticos y estadísticos en la investigación lingüística

El análisis moderno del lenguaje natural (NLP) se sustenta en una arquitectura matemática robusta que permite transformar datos no estructurados en representaciones computables y analizables. En los programas de doctorado en estadística, la formación comienza con una base sólida en álgebra lineal, cálculo multivariado y teoría de la probabilidad, elementos esenciales para el modelado de datos de alta dimensionalidad (Giraldo y Orozco, 2023). El álgebra lineal, por ejemplo, constituye la columna vertebral de técnicas como la descomposición en valores propios (SVD) y el análisis de componentes principales (PCA), fundamentales para reducir la dimensionalidad de los vectores de palabras y extraer características semánticas latentes.

El cálculo, por su parte, proporciona las herramientas de optimización necesarias para entrenar algoritmos de aprendizaje profundo. Los conceptos de derivadas y gradientes son vitales para algoritmos como el descenso de gradiente estocástico (SGD), mientras que la regla de la cadena facilita la retropropagación en redes neuronales complejas. En el contexto del procesamiento de texto, estas herramientas permiten minimizar las funciones de pérdida que miden la discrepancia entre las predicciones del modelo y la estructura lingüística observada.

## **El pipeline del procesamiento de lenguaje natural**

Para que una máquina procese el texto, el lenguaje humano debe descomponerse en piezas manejables mediante un flujo de trabajo estructurado (Giraldo y Orozco, 2023). La primera etapa es la tokenización, que consiste en dividir el texto en palabras o en subunidades. A partir de aquí, se aplican técnicas de extracción de características para cuantificar la importancia de los términos. Una de las métricas más utilizadas en la estadística lingüística es el TF-IDF (*Term Frequency-Inverse Document Frequency*), cuya lógica se basa en equilibrar la frecuencia de una palabra

en un documento específico con su rareza en el corpus (véase la Tabla 13).

**Tabla 13: Flujo de trabajo estructurado de lenguaje natural**

<b>Etapas del Pipeline</b>	<b>Función Matemática/Estadística</b>	<b>Objetivo Principal</b>
Tokenización	Segmentación discreta	Convertir texto en unidades atómicas.
TF-IDF	Ponderación de frecuencias	Evaluar la relevancia de términos específicos.
Embeddings	Mapeo a espacios vectoriales	Capturar relaciones semánticas en baja dimensionalidad.
Clustering (K-Means)	Optimización de centroides	Agrupar documentos o términos por similitud.
Modelado (HMM/CRF)	Inferencia probabilística	Predecir etiquetas secuenciales o estructuras.

Este proceso transforma el lenguaje, históricamente considerado un dato no estructurado, en estructuras que los departamentos de estadística pueden analizar mediante modelos de regresión, clasificación y agrupamiento. La transición de contar palabras a comprender contextos se logra mediante redes neuronales y transformadores que aprovechan mecanismos de atención para priorizar la información relevante en una secuencia.

# El paradigma del aprendizaje relacional estadístico (SRL)

El aprendizaje relacional estadístico (SRL) es una subdisciplina de la inteligencia artificial y la estadística que se centra en modelos de dominio caracterizados por la incertidumbre y por una estructura relacional compleja. A diferencia del aprendizaje automático convencional, que a menudo asume que los ejemplos son independientes e idénticamente distribuidos (i.i.d.), el SRL reconoce que la mayoría de los datos del mundo real, incluido el lenguaje, están interconectados (Pérez y Lagunes, 2025).

La investigación doctoral en esta área busca combinar la potencia de la lógica de primer orden para representar estructuras complejas con la flexibilidad de los modelos gráficos probabilísticos para gestionar la incertidumbre. En este sentido, el SRL permite que la información de una entidad ayude a extraer conclusiones sobre otras entidades relacionadas, aprovechando la autocorrelación relacional presente en los conjuntos de datos (Panqueban y Huincahue, 2024).

## Mecanismos de la lógica de Markov

Uno de los marcos unificadores más influyentes en el SRL es la lógica de Markov (MLN). Semánticamente, un conjunto de fórmulas de lógica de Markov representa una distribución de probabilidad sobre los mundos posibles. Matemáticamente, la probabilidad de que un modelo asigne a una estructura particular  $S$  se define mediante la siguiente expresión:

$$P(S) = \frac{1}{Z} \exp \left( \sum_i w_i F_i(S) \right)$$

En esta fórmula,  $Z$  es la función de partición de normalización,  $w_i$  es el peso asociado a la  $i$ -ésima fórmula lógica, y  $nF_i(S)$  representa el número de veces que dicha fórmula es verdadera en la estructura  $S$ . El aprendizaje de estos modelos implica encontrar los pesos  $w$  que maximizan la verosimilitud de los datos observados, lo cual se realiza calculando la derivada parcial de la log-verosimilitud:

$$\frac{\partial}{\partial w_i} \log P_{\langle F, w \rangle}(D) = nF_i(D) - E_{\langle F, w \rangle}$$

Donde la diferencia entre el conteo real de la fórmula en los datos  $D$  y su valor esperado bajo el modelo actual guía la actualización de los pesos. Esta estructura permite aplicar con éxito el SRL a tareas de NLP como la extracción de relaciones, la resolución de correferencias y el análisis de sentimientos en redes sociales, donde las dependencias entre usuarios y mensajes son explícitamente relacionales (Ablner, 2009).

## Modelado teórico de cuerdas y gramática

Un avance significativo en la intersección entre las matemáticas aplicadas y el SRL es el uso de representaciones teóricas basadas en modelos de cuerdas para la inferencia gramatical. En este enfoque, las palabras o frases no se ven solo como símbolos aislados, sino como estructuras que satisfacen ciertos predicados lógicos. Las representaciones convencionales utilizan relaciones binarias para el orden (como la relación de sucesor  $+1$ ) y relaciones unarias para describir propiedades de cada posición en la cadena.

La investigación ha demostrado que el uso de modelos "no convencionales", en los que los símbolos comparten propiedades (por

ejemplo, sonidos fonéticos que comparten rasgos de articulación), permite a los modelos de lógica de Markov lograr un mejor desempeño con menos datos. (Abler, 2009) Al tratar los símbolos como combinaciones de atributos en lugar de entidades autónomas, los sistemas pueden generalizar de manera más efectiva, captando dependencias de larga distancia mediante lógica proposicional o de primer orden.

## **Aprendizaje estructurado y predicción lingüística**

La predicción estructurada es una extensión del aprendizaje supervisado en la que la salida del modelo no es un único valor escalar, sino un objeto estructurado, como un árbol de análisis, una secuencia de etiquetas o un grafo de relaciones. En el procesamiento del lenguaje natural, casi todas las tareas de comprensión profunda requieren decisiones interdependientes y bien estructuradas (Giraldo y Orozco, 2023).

### **Inferencia y optimización en modelos estructurados**

La principal dificultad de la predicción estructurada es el espacio de salida exponencialmente grande. Para resolver esto, los investigadores en matemáticas aplicadas diseñan algoritmos de inferencia que a menudo se formulan como problemas de optimización combinatoria o de programación lineal entera (ILP). Estos modelos, conocidos como Modelos Condicionales Restringidos (CCM), permiten incorporar conocimiento humano mediante restricciones lógicas sobre las variables de salida.

Para acelerar el proceso, se han desarrollado técnicas de "inferencia amortizada", que reutilizan cálculos previos mediante el almacenamiento en caché de muestras de inferencia. Además, se emplean métodos de descomposición dual que fragmentan estructuras complejas en

subproblemas más sencillos y recurren a relajaciones lagrangianas para preservar la coherencia global.

## **Modelos neuronales y gramáticas probabilísticas**

El auge de las redes neuronales ha transformado la predicción lingüística estructurada. Los modelos tradicionales, como los modelos ocultos de Markov (HMM) y los campos aleatorios condicionales (CRF), que dependían de características diseñadas manualmente, están siendo complementados o reemplazados por arquitecturas de extremo a extremo que utilizan representaciones distribuidas. Por ejemplo, las gramáticas de redes neuronales recurrentes (RNNG) inyectan sesgos sintácticos explícitos en los modelos de lenguaje, lo que les permite superar a los modelos puramente secuenciales en tareas que requieren un análisis sintáctico profundo.

La investigación doctoral en instituciones como la Universidad Carnegie Mellon (CMU) analiza las propiedades de estos modelos, como su "pereza" (la tendencia a almacenar información con el mínimo esfuerzo) o su "especificidad" (la capacidad de filtrar información irrelevante para la tarea objetivo). Estos estudios utilizan técnicas de sondeo (*probing*) para desentrañar qué tipo de información lingüística captan de manera efectiva las capas internas de las redes neuronales profundas.

## **Modelos gráficos probabilísticos (PGM) y su relevancia**

Los modelos gráficos probabilísticos constituyen el lenguaje unificado para representar la incertidumbre en sistemas multivariados complejos. Al combinar la teoría de probabilidades con la teoría de grafos, los PGM permiten capturar dependencias estadísticas en grandes conjuntos de datos de forma eficiente. En la lingüística computacional, estos modelos son

esenciales para tareas como el procesamiento de voz, la traducción automática y el modelado de temas.

## **Tipos de representaciones gráficas**

La investigación en laboratorios de estadística se centra en tres representaciones fundamentales de los PGM:

1. **Redes Bayesianas:** utilizan grafos acíclicos dirigidos para representar relaciones de causalidad o de dependencia condicional.
2. **Redes de Markov (Campos Aleatorios de Markov):** Utilizan grafos no dirigidos y son ideales para modelar interdependencias espaciales o relaciones simétricas.
3. **Grafos de Factores:** Representan explícitamente la factorización de la distribución de probabilidad conjunta mediante un grafo bipartito.

La inferencia en estos modelos, que consiste en calcular la distribución de probabilidad de variables no observadas, puede ser exacta o aproximada. Los métodos de inferencia exacta, como el algoritmo de eliminación de variables y la propagación de creencias, son factibles en grafos con estructuras simples (como los árboles). Sin embargo, para modelos más complejos, se recurre a técnicas de inferencia aproximada como los métodos de Monte Carlo basados en cadenas de Markov (MCMC), que incluyen el muestreo de Gibbs y el algoritmo de Metropolis-Hastings (véase la Tabla 14).

**Tabla 14: Métodos de inferencia exacta**

<b>Algoritmo de inferencia</b>	<b>Tipo</b>	<b>Aplicación en NLP</b>
Viterbi	Exacta (Secuencial)	Etiquetado de partes del discurso (POS tagging).
Propagación de creencias	Exacta/Aproximada	Análisis sintáctico y resolución de restricciones.
Muestreo de Gibbs	Aproximada (MCMC)	Modelado de temas (LDA) y segmentación de palabras.
Inferencia Variacional	Aproximada (Optimización)	Autoencoders variacionales para la generación de texto.

## **Inferencia bayesiana: el pilar del razonamiento bajo incertidumbre**

La inferencia bayesiana representa un paradigma fundamental en la estadística moderna y en la ciencia de datos y se diferencia del enfoque frecuentista por su concepción de la probabilidad como una medida del grado de creencia o de incertidumbre. En el análisis del lenguaje natural, las técnicas bayesianas son herramientas poderosas para modelar una amplia gama de fenómenos, lo que permite integrar el conocimiento previo y gestionar la incertidumbre asociada a los parámetros del modelo (Delso et al., 2024).

### **El teorema de Bayes y la actualización de creencias**

El proceso bayesiano se basa en la aplicación del teorema de Bayes

para actualizar las probabilidades a medida que se observa nueva evidencia:

$$P(\theta|x) \propto P(x|\theta)P(\theta)$$

Donde  $P(\theta)$  representa la distribución a priori (creencias iniciales),  $P(x|\theta)$  es la verosimilitud (cómo encajan los datos observados con el modelo) y  $P(\theta|x)$  es la distribución a posteriori (creencia actualizada). Este marco es intuitivo para los científicos porque se asemeja al proceso de investigación diagnóstica: reducir progresivamente la incertidumbre mediante la acumulación de información.

En el ámbito del NLP, los modelos bayesianos se emplean para la segmentación de palabras, la resolución de la ambigüedad sintáctica y el aprendizaje de la morfología. Por ejemplo, en el estudio del desarrollo del lenguaje, se ha demostrado que los bebés podrían utilizar estrategias de inferencia bayesiana para segmentar las palabras de su lengua nativa a partir de probabilidades de transición, incluso sin conocer previamente su significado.

## **Estadística bayesiana no paramétrica**

Un área de investigación activa y avanzada en los programas de doctorado es la estadística bayesiana no paramétrica. Estos modelos permiten que el número de parámetros crezca con el tamaño de los datos, lo que evita las limitaciones de los modelos de dimensión fija (Cañizares et al., 2025). El proceso de Dirichlet es una de las herramientas centrales en este campo, utilizado como distribución a priori en modelos de mezcla no paramétricos y en modelos jerárquicos de temas. Estas técnicas son cruciales para el análisis de grandes volúmenes de texto en los que no se conoce de antemano el número de categorías o temas subyacentes.

## **Panorama de programas de doctorado y líneas de investigación**

La formación de investigadores de alto nivel en NLP y SRL se lleva a cabo en programas de doctorado que integran sinérgicamente la informática, la estadística y la lingüística. Universidades de prestigio a nivel global han establecido centros de excelencia con líneas de investigación específicas que definen el estado del arte.

### **Instituciones líderes y sus enfoques**

La Universidad Carnegie Mellon (CMU) es reconocida por su trabajo en el diseño de algoritmos escalables de aprendizaje e inferencia para el SRL, con un enfoque particular en la integración entre la extracción de información y el razonamiento relacional. Su trabajo con el sistema ProPPR permite realizar inferencia en grafos de conocimiento masivos con tiempos de ejecución que no dependen del tamaño total del grafo.

Por otro lado, la Universidad de Edimburgo alberga un Centro de Formación Doctoral (CDT) en Diseño de Procesamiento Responsable de Lenguaje Natural. Este programa no solo se centra en la excelencia técnica, sino también en la ética, la gobernanza y la consideración de los contextos de uso, preparando a los graduados para liderar en un entorno en el que la IA tiene un impacto social profundo. En Escocia también destacan investigaciones en el modelado bayesiano de la evolución de las formas y del lenguaje, que emplean procesos gaussianos para inferir filogenias y cambios temporales en objetos complejos (véase la Tabla 15).

**Tabla 15: Instituciones líderes en el diseño de algoritmos escalables de aprendizaje e inferencia para el SRL**

<b>Universidad</b>	<b>Centro/Departamento</b>	<b>Línea de Investigación Destacada</b>
<b>Stanford</b>	Dept. de Estadística / CS	Inferencia causal, alta dimensionalidad y genómica.
<b>MBZUAI</b>	Dept. de NLP	Modelos de lenguaje masivos (LLMs), traducción y multimodalidad.
<b>Oxford</b>	Dept. de Estadística	Modelos relacionales para la toma de decisiones y el aprendizaje de grafos.
<b>ETH Zurich</b>	Dept. de Matemáticas (SfS)	Descubrimiento causal en datos agrupados y refuerzo multiagente.
<b>U. Alberta</b>	Ciencias Matemáticas y Estadísticas	Aprendizaje automático estadístico y consultoría en datos.
<b>U. Texas Austin</b>	Dept. de Ciencias de la Computación	Semántica del lenguaje natural mediante lógica probabilística.

## **Currículos y requisitos académicos**

Los programas de doctorado en estadística con especialización en aprendizaje automático suelen requerir una sólida base en teoría de la inferencia, probabilidad y computación estadística. Por ejemplo, el doctorado en la Universidad de Yale incluye cursos que abarcan desde la

teoría de la decisión hasta el análisis de supervivencia y la probabilidad subjetiva, equipando a los estudiantes con las herramientas necesarias para traducir preguntas científicas en modelos estadísticos rigurosos.

En Europa, programas como el de la Universidad de Essex para el doctorado en ciencias actuariales incluyen módulos obligatorios de estadística bayesiana y computacional, en los que los estudiantes desarrollan algoritmos de MCMC para distribuciones de probabilidad complejas. Estos currículos reflejan una tendencia global hacia la profesionalización de la investigación en datos, en la que el dominio de software como R, Python y Stan es tan importante como la comprensión de los teoremas de convergencia estocástica.

## **Desarrollo del campo en el contexto peruano**

En el Perú, la investigación en inteligencia artificial, procesamiento del lenguaje natural y estadística aplicada ha experimentado un crecimiento notable, impulsado por los departamentos de ciencias e ingeniería de las universidades más importantes del país.

### **Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)**

El Grupo de Inteligencia Artificial de la PUCP (IA-PUCP) es un referente nacional en el desarrollo de soluciones de IA con impacto social. El grupo realiza investigación multidisciplinaria en áreas como el procesamiento de lenguaje natural, la lingüística computacional y los modelos gráficos probabilísticos.

- **Investigadores principales:** Arturo Oncevay se enfoca en el procesamiento de lenguajes minoritarios y en el aprendizaje de máquina, mientras que Edwin Villanueva trabaja en modelos gráficos probabilísticos y en bioinformática.

- **Infraestructura:** La universidad cuenta con laboratorios equipados con tecnología de cómputo de alto rendimiento, incluidos servidores con procesadores gráficos (GPU) para el entrenamiento de modelos de redes neuronales profundas.

## **Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM)**

La Facultad de Ciencias Matemáticas de la UNMSM alberga grupos de investigación que integran la matemática pura con la estadística y la investigación operativa.

- **GEINEDPA:** Este grupo multidisciplinario busca aglutinar a investigadores interesados en proponer soluciones científicas a problemas de las ciencias básicas y aplicadas, incluyendo el asesoramiento de tesis de posgrado en estas áreas.
- **Investigación en lenguaje:** Se han realizado estudios sobre el procesamiento del lenguaje natural y su relación con procesos cognitivos como la memoria y el razonamiento, desde una perspectiva de semántica cognitiva (Krasadakis et al., 2024).

## **Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)**

La UNI ofrece programas de maestría en inteligencia artificial que profundizan en las matemáticas que subyacen a las redes neuronales profundas y a los modelos de lenguaje de gran tamaño (LLMs). La formación en esta institución destaca por su carácter teórico-práctico, lo que permite a los estudiantes desarrollar proyectos en laboratorios especializados en robótica e inteligencia artificial.

# Financiamiento y oportunidades para investigadores: PRONABEC

Para los profesionales peruanos, el acceso a los programas de doctorado internacionales descritos anteriormente está respaldado por programas de becas del Estado, principalmente a través del Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC).

## Beca Generación del Bicentenario

Esta beca está dirigida a peruanos con alto rendimiento académico y recursos económicos insuficientes para realizar estudios de posgrado en el extranjero.

- **Requisitos de excelencia:** Los postulantes deben pertenecer, como mínimo, al tercio superior de sus estudios de pregrado o de posgrado previos.
- **Elegibilidad de programas:** Los estudios deben realizarse en instituciones de educación superior extranjeras que se encuentren entre los 400 primeros puestos de los rankings internacionales más reconocidos (QS, THE, ARWU).
- **Beneficios integrales:** El financiamiento incluye la matrícula, la pensión de estudios, el transporte internacional, el alojamiento, la alimentación y los gastos para la obtención del grado correspondiente.

Además de las becas nacionales, existen iniciativas de colaboración, como la Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado (AUIP), que promueve programas doctorales conjuntos en inteligencia artificial entre universidades de España, Cuba y otros países latinoamericanos y otorga becas de estancia de investigación.

# **Tendencias emergentes: LLMs y razonamiento probabilístico**

La llegada de los modelos de lenguaje masivos (LLMs), como los basados en la arquitectura GPT, ha planteado interrogantes fundamentales sobre su capacidad de razonamiento lógico y estadístico. Una línea de investigación emergente consiste en enseñar a estos modelos a "razonar como bayesianos".

## **Bayesianismo y Grandes Modelos de Lenguaje**

Investigaciones de Google DeepMind sugieren que los LLMs pueden ser entrenados para imitar las predicciones de un modelo bayesiano, lo que les permite actualizar sus creencias de forma óptima a medida que reciben nueva información. Por ejemplo, en tareas de recomendación personalizada, un asistente bayesiano debe inferir las preferencias del usuario a partir de sus elecciones previas. Al entrenar al LLM para aproximar este razonamiento matemático, se logra no solo un mejor rendimiento en la tarea específica, sino también una mayor capacidad de generalización a otros dominios (Cantú & Santoyo, 2018).

Este enfoque trata el estado interno del LLM como una representación de un "mundo posible" y utiliza principios de aprendizaje bayesiano para asegurar que el modelo asigne pesos realistas a la información recibida, logrando acuerdos con los ideales matemáticos en hasta el 80% de los casos.

## **El desafío de los datos estructurados en LLMs**

A pesar de su éxito con el lenguaje natural, los LLMs todavía enfrentan dificultades para procesar hechos almacenados en formatos altamente estructurados, como tablas o grafos de conocimiento. Los datos estructurados

presentan características como la heterogeneidad (mezcla de texto, números y fechas) y la invariancia ante el orden de las filas o columnas, propiedades que los transformadores tradicionales, optimizados para secuencias de texto libre, no siempre captan de manera eficiente (Delso et al., 2024). El desarrollo de *benchmarks* como StructFact busca evaluar y mejorar la capacidad de estos modelos para razonar sobre conocimientos específicos de dominio que no estaban presentes durante su preentrenamiento masivo.

La integración del análisis de lenguaje natural con el aprendizaje relacional y estructurado marca una era dorada para la estadística aplicada y las matemáticas. Los programas de doctorado están evolucionando para formar investigadores que no solo dominen las herramientas de programación, sino que también posean una comprensión profunda de la fundamentación probabilística y lógica de los sistemas de IA (Delso et al., 2024).

La investigación futura se encamina hacia modelos que no solo sean más precisos, sino también más explicables, justos y eficientes en el uso de recursos. La capacidad de combinar el aprendizaje a partir de grandes volúmenes de datos con la inyección de conocimiento estructurado mediante lógica de primer orden y modelos gráficos probabilísticos seguirá siendo el motor de los avances en áreas tan diversas como la medicina de precisión, el análisis de políticas públicas y la comprensión profunda de la comunicación humana. En este contexto, el papel de las universidades peruanas y el apoyo a través de programas de becas, como los de PRONABEC, son fundamentales para asegurar que el talento local participe activamente en esta revolución científica global.

# **Capítulo 5**

## **Estado legal, mallas curriculares y análisis de la plana docente en los programas de doctorado en matemática y estadística en el Perú**

La arquitectura de la educación superior en el Perú ha atravesado una fase de reestructuración profunda, impulsada por un marco normativo orientado a elevar el rigor de los programas de posgrado a estándares internacionales. En el epicentro de esta transformación se encuentran los doctorados en ciencias básicas, específicamente en las disciplinas de matemática y estadística, que constituyen el cimiento del desarrollo científico y tecnológico nacional. Para la UNESCO (2016), estos programas no solo representan el nivel más alto de especialización académica, sino que también actúan como nodos de transferencia de conocimiento, donde la base legal, la solidez de las mallas curriculares y la trayectoria de la plana docente convergen para definir la calidad de la investigación producida en el país.

### **Evolución y marco normativo del posgrado en el sistema universitario peruano**

La base legal que rige los programas de doctorado en el Perú se sustenta primordialmente en la Ley Universitaria N° 30220, una norma que marcó un punto de inflexión en la autonomía y la supervisión de las

instituciones de educación superior. Esta ley no solo establece las reglas del juego para la creación y el funcionamiento de las universidades, sino que también define con precisión los requisitos para la obtención de grados académicos de alto nivel (.edu PUCP, 2022). Bajo este esquema, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU) ejerce un rol fiscalizador y de acompañamiento, asegurando que los programas de doctorado en matemática y estadística cumplan con las Condiciones Básicas de Calidad (CBC) necesarias para su licenciamiento.

### **La Ley Universitaria 30220 y las exigencias del doctorado**

El artículo 45 de la Ley 30220 establece taxativamente que los estudios de doctorado requieren el grado de maestro como requisito de acceso. Esta jerarquización asegura que el doctorando cuente con una base investigativa previa antes de embarcarse en la generación de conocimiento original (Mori, 2014). Asimismo, la ley prescribe que los programas de doctorado deben tener una duración mínima de seis semestres académicos, un contenido mínimo de 64 créditos y la sustentación de una tesis de máxima rigurosidad que demuestre un aporte original a la ciencia.

Uno de los pilares de la reforma es limitar la educación a distancia al doctorado. El artículo 47 de la referida ley estipula que los estudios de doctorado no pueden dictarse exclusivamente en la modalidad a distancia, lo que salvaguarda la naturaleza presencial de la mentoría científica y del trabajo en laboratorios de cómputo o centros de investigación. Esta disposición es particularmente relevante en matemática y estadística, donde la interacción continua entre el asesor y el tesista resulta fundamental para resolver problemas teóricos complejos (véase la Tabla 16).

#### **Tabla 16: La Ley Universitaria 30220 y los requisitos del doctorado**

<b>Artículo de la Ley 30220</b>	<b>Ámbito de Aplicación</b>	<b>Requisito Específico para Doctorados</b>
Artículo 45.	Obtención de grados	Grado de maestro para ingresar; tesis original para egresar.
Artículo 45.	Duración	Mínimo de seis semestres académicos (3 años).
Artículo 47	Educación a distancia	Prohibición de la modalidad 100% virtual en los doctorados.
Artículo 82.	Docencia Universitaria	Obligatoriedad del grado de doctor para dictar en los doctorados.
Artículo 31.	Unidades de Investigación	Obligatoriedad de los institutos de investigación en las universidades.

El rigor académico también se extiende a los requisitos para la plana docente. El artículo 82 de la Ley Universitaria exige que, para la formación a nivel de doctorado, el docente posea obligatoriamente el grado académico

de doctor. Además, los miembros del Consejo Directivo de la SUNEDU y las autoridades universitarias, como el Superintendente, deben contar con el grado de Doctor obtenido mediante estudios presenciales, lo que subraya la importancia de la experiencia académica directa en la gestión del sistema educativo (Cotrado et al., 2022).

## **Licenciamiento y supervisión por la SUNEDU**

El proceso de licenciamiento institucional, llevado a cabo por la SUNEDU, ha sido el mecanismo mediante el cual se ha depurado la oferta académica en el Perú. Solo aquellas universidades que demuestran sostenibilidad financiera, infraestructura adecuada y, sobre todo, una plana docente calificada y líneas de investigación activas pueden ofrecer programas de doctorado en matemática y estadística. Este control asegura que instituciones como la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) operen bajo un paraguas de legalidad y de calidad verificada.

El sistema se complementa con la labor del Sistema Nacional de Evaluación, Acreditación y Certificación de la Calidad Educativa (SINEACE), que otorga acreditaciones específicas a los programas que superan estándares de excelencia que van más allá del cumplimiento básico de la ley (Ponce, 2025). En matemática y estadística, la acreditación es un proceso vital para la mejora continua, al incentivar a los departamentos a mantener publicaciones en revistas indexadas y a celebrar convenios de movilidad académica internacional.

# **El Doctorado en Matemáticas en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)**

El programa de Doctorado en Matemáticas de la PUCP representa uno de los esfuerzos más sostenidos del sector privado para fomentar las ciencias básicas en el país. Su enfoque principal es formar investigadores con una base científica amplia y profunda, capaces de desempeñarse tanto en la academia como en sectores tecnológicos avanzados que requieren modelización matemática de alto nivel.

## **Estructura curricular y fases de estudio**

El plan de estudios de la PUCP se organiza en una estructura de cuatro años u ocho semestres académicos, con una carga total de 64 créditos. Este programa se distingue por una clara división en dos etapas, diseñadas para llevar al estudiante desde la profundización teórica hasta la producción científica independiente.

La primera etapa, que abarca el primer año y medio de estudios, consiste en 24 créditos distribuidos en seis cursos de formación y especialización. Durante este periodo, el estudiante es guiado por un tutor para seleccionar cursos en cuatro líneas principales de investigación: Álgebra y Geometría no Conmutativa, Geometría Diferencial, Geometría y Dinámica Compleja y Teoría de Probabilidad y Procesos Estocásticos. Esta fase culmina con el Examen de Calificación, un hito obligatorio que consiste en dos pruebas orales ante jurados especialistas, diseñadas para evaluar la capacidad del candidato para abordar problemas de frontera en su área de tesis y en una línea secundaria (véase la Tabla 17).

**Tabla 16: Plan de estudios de la PUCP**

<b>Fase de Estudio (PUCP)</b>	<b>Ciclos Académicos</b>	<b>Carga Crediticia</b>	<b>Actividades Principales</b>
Etapa 1: Especialización	I - III	24 Créditos	Cursos obligatorios y electivos; examen de calificación.
Etapa 2: Investigación	IV - VIII	40 Créditos	Seminarios de tesis A-E; elaboración de tesis originales.

A partir del cuarto ciclo, el estudiante ingresa a la etapa de investigación pura y cursa seminarios de tesis consecutivos que suman 40 créditos. Estos seminarios están orientados a la realización de una investigación original con difusión internacional, requisito esencial para la graduación.

### **Líneas de investigación y asignaturas destacadas**

Las asignaturas de la PUCP están estrechamente vinculadas a las líneas de investigación activas de sus docentes. En el área de Álgebra se imparten cursos como Álgebra Conmutativa, Análisis Funcional y Geometría Algébrica. Para los interesados en geometría diferencial, la oferta incluye variedades complejas y aplicaciones armónicas.

Un área particularmente fuerte en la PUCP es la Dinámica Compleja y Geometría, donde se ofrecen cursos especializados como Superficies de

Riemann, Varias Variables Complejas y Geometría Analítica Local. En el ámbito de las matemáticas aplicadas, la línea de Teoría de la Probabilidad ofrece martingalas, integración estocástica y procesos de Markov, fundamentales para el desarrollo de modelos en finanzas y en física estadística.

## **El Doctorado en Matemática Pura de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM)**

Como la universidad más antigua del continente, la UNMSM mantiene una tradición de rigor en su programa de Doctorado en Matemática Pura. Este programa tiene como finalidad principal la formación de investigadores capaces de plantear y resolver problemas mediante nuevas metodologías y técnicas, con una sólida base en la matemática actual.

### **El enfoque curricular del Plan 2021/2025**

El doctorado en la San Marcos está diseñado para completarse en 6 semestres (3 años). La malla curricular integra periodos de profundización e investigación, con una fuerte carga crediticia en seminarios que fomentan la discusión científica (véase la Tabla 17).

El programa doctoral no rehúye de la dimensión humanística. Al incluir la filosofía y la investigación ética como componentes curriculares, el diseño busca potenciar el pensamiento crítico. No se trata de una ética periférica, sino de una ética integrada en la práctica diaria del análisis de datos. El objetivo es que los futuros doctores tengan la capacidad de cuestionar cifras y datos, identificar sesgos, malinterpretaciones estadísticas o aplicaciones tecnológicas que puedan vulnerar la integridad social.

**Tabla 17: El enfoque curricular del Plan 2021/2025 en la UNMSM**

<b>Semestre</b>	<b>Asignaturas</b>	<b>Créditos</b>	<b>Enfoque</b>
I	Epistemología, Electivos de especialidad	14	Fundamentación filosófica y técnica.
II	Seminario de Tesis I, Seminario de Investigación I	11	Planteamiento del problema e hipótesis.
III	Seminario de Tesis II, Seminario de Investigación II	11	Estado del arte y marco teórico.
IV	Seminario de Tesis III, Seminario de Investigación III	12	Resultados preliminares y artículos indexados.
V	Tesis I, Seminario de Investigación IV	12	Redacción y publicación de resultados.

VI	Tesis II, Seminario de Investigación V	12	Sustentación pública final.
----	--	----	-----------------------------

La asignatura de Epistemología en la UNMSM no es solo un curso teórico; exige que el estudiante desarrolle una elucidación filosófica de los problemas conceptuales y metodológicos de su propia investigación científica. Los seminarios de investigación y de tesis son el corazón del programa, en los que el estudiante debe demostrar avances tangibles, culminando en el Seminario de Tesis III con la aceptación o la publicación de artículos científicos en revistas indexadas de prestigio mundial.

### **Áreas de especialización y cursos avanzados**

La UNMSM ofrece una amplia gama de cursos avanzados y seminarios especializados que reflejan las fortalezas de su departamento. En la línea de Ecuaciones Diferenciales y Análisis Funcional se estudian temas como semigrupos de operadores lineales, ecuaciones diferenciales parciales elípticas y no lineales.

En el área de Geometría y Topología, el programa incluye Topología Algebraica, Geometría de Variedades y Dinámica Hiperbólica. Los seminarios de Dinámica Hiperbólica abordan temas como el número de rotación de Poincaré, los difeomorfismos estructuralmente estables y el teorema de Kupka-Smale, proporcionando al estudiante las herramientas necesarias para la investigación en sistemas dinámicos. Además, se incluyen tópicos de varias variables complejas, funciones analíticas y superficies de Riemann, lo cual se alinea con las tendencias globales de la matemática pura.

## El Doctorado en Ciencias con mención en Matemática de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)

La UNI, reconocida por su excelencia en ingeniería y ciencias, ofrece un doctorado en matemática que combina el rigor teórico con una fuerte inclinación por la modelización y la resolución de problemas complejos.

El programa de la UNI se desarrolla en seis semestres, comenzando con una carga intensiva de cursos electivos (mínimo de 14 créditos) en el primer semestre. A partir del segundo semestre, el estudiante se sumerge en seminarios de investigación y en cursos de tópicos especiales (véase la Tabla 18).

**Tabla 18: Estructura académica y admisión**

Semestre	Código - Asignatura	Horas	Créditos
II	DM918 - Seminario de Investigación I	80	5
II	DM826 - Tópicos de Matemática I	80	5
III	DM828 - Seminario	80	5

	de Investigación II		
IV	DM833 - Seminario de Investigación III	80	5
V	DM850 - Seminario de Tesis I	160	10
VI	DM851 - Seminario de Tesis II	160	10

El proceso de admisión en la UNI es uno de los más exigentes del país y se divide en una admisión inicial y otra definitiva, tras el primer año. Para la admisión inicial, el postulante debe poseer el grado de Maestro en Ciencias y aprobar los exámenes de conocimientos en las áreas de la especialidad, con una nota mínima de 16. La admisión definitiva requiere que el estudiante cuente con un asesor aceptado, un plan de tesis aprobado y que haya superado los exámenes de calificación correspondientes (Universidad Nacional de Ingeniería, 2020).

# **Programas de doctorado en estadística: ingeniería, minería de datos e investigación aplicada**

El campo de la estadística en el Perú ha evolucionado hacia un enfoque multidisciplinario, en el que el rigor matemático se encuentra con la innovación tecnológica. Esto se refleja en los programas ofrecidos por la UNI y la Universidad Nacional de Tumbes (UNTumbes).

## **Doctorado en Ciencias e Ingeniería Estadística en la UNI (DCIES)**

El DCIES de la UNI forma parte de un hub académico-tecnológico que integra la ciencia de datos y la ingeniería estadística. Este programa se enfoca en el desarrollo de nuevas metodologías y herramientas matemático-computacionales para procesar y analizar grandes volúmenes de datos.

Las líneas de investigación en este programa incluyen:

- Metodología estadística avanzada.
- Modelos estadísticos espacio-temporales y geoespaciales.
- Series de tiempo y análisis latente.
- Aprendizaje de máquina (Machine Learning).
- Diseño experimental y muestreo complejo.

El DCIES está concebido como el espacio de investigación de frontera en "Deep Tech" en el Perú, integrando el modelado estadístico avanzado con la computación de alto rendimiento (HPC) y con entornos en la nube. Su objetivo es transformar problemas reales de la industria en soluciones formales de inferencia y en frameworks computacionales.

## Doctorado en Estadística Matemática Aplicada en la Universidad Nacional de Tumbes

En el norte del país, la UNTumbes ofrece un programa de doctorado que destaca por integrar herramientas computacionales modernas en la estadística matemática. El programa tiene una duración de tres años (seis ciclos) y requiere un total de 77 créditos (véase la Tabla 19).

**Tabla 19: Asignaturas clave del programa de doctorado en la UNTumbes**

Ciclo	Asignaturas Clave	Créditos	Contenido Destacado
I	Programación en R	5	Uso de R para técnicas estadísticas y gráficas.
II	Métodos Estadísticos para la Investigación	5	Inferencia modelado y avanzado.
III	Minería de datos	5	Extracción de patrones a gran escala a partir de grandes volúmenes de datos.

III	Didáctica de las Ciencias	5	Formación pedagógica para la docencia superior.
IV	Inteligencia Artificial	5	Modelos predictivos y redes neuronales.

Además de los centros principales en Lima, otras universidades públicas han desarrollado programas de doctorado que fortalecen la descentralización de la investigación científica.

### **Universidad Nacional de Piura y su Doctorado en Ciencias Matemáticas**

La Universidad Nacional de Piura (UNP) ofrece un Doctorado en Ciencias Matemáticas con un plan de estudios de 90 créditos distribuidos en seis ciclos. Las áreas principales de investigación son las Ecuaciones Diferenciales Parciales (EDP), la Optimización y la Inteligencia Artificial (IA).

Una particularidad de la UNP es su enfoque cooperativo, que contempla la participación de la Universidad Nacional de Trujillo y de otras instituciones nacionales y extranjeras. Históricamente, su departamento ha contado con profesores visitantes de España, Argentina, Cuba y Colombia, lo que compensa la necesidad inicial de doctores en su propia plana docente.

### **Universidad Nacional del Santa (UNS) y la Universidad Nacional de Trujillo (UNT)**

La UNS en Chimbote ofrece doctorados en Matemática y en

Estadística y Matemática, con un enfoque en la resolución de problemas científicos aplicados a la ingeniería y las humanidades. Para De Olivera et al. (2019), el perfil del doctor enfatiza la creatividad intelectual y la capacidad de difundir sus investigaciones en revistas internacionales. Las líneas de investigación en la UNS abarcan desde el análisis armónico y la teoría de aproximación hasta la didáctica de la matemática y la formación del profesorado.

Por su parte, la Universidad Nacional de Trujillo ha acreditado ante el SINEACE programas de pregrado en Educación Secundaria con mención en Ciencias Matemáticas, lo cual sirve de base para sus estudios de posgrado. En la UNT se fomentan el pensamiento lógico-matemático para analizar diversos problemas y el dominio técnico de las ciencias matemáticas básicas en la formación docente.

## **Perfil del investigador y campo ocupacional en matemática y estadística**

La formación doctoral en estas disciplinas no solo prepara para la vida académica, sino que también dota al profesional de habilidades analíticas de alto nivel, altamente valoradas en el mercado laboral contemporáneo.

### **Competencias del doctor en matemática**

El egresado de un doctorado en matemática pura o aplicada es intelectualmente creativo y capaz de trabajar tanto de forma independiente como en grupos interdisciplinarios. Sus competencias incluyen:

- Enfrentar problemas matemáticos originales y trascendentales de la praxis para modelarlos y solucionarlos.
- Evaluar rigurosamente la investigación por pares y difundir los resultados en redes científicas a nivel global.

- Aplicar herramientas de optimización y de computación matemática en los sectores industrial, de asesoría empresarial y de gestión ambiental.

## Competencias del doctor en estadística

El profesional con grado de doctor en estadística posee una capacidad crítica y ética para manejar datos y tomar decisiones basadas en evidencia científica. Sus roles incluyen:

- Desarrollo de investigación original en estadística teórica y aplicada.
- Enseñanza universitaria de alta especialización.
- Resolución de problemas fundamentales derivados de la ciencia y la tecnología mediante inferencia bayesiana, muestreo complejo y análisis multivariante.

En el contexto peruano, los doctores en estas áreas encuentran oportunidades en universidades licenciadas que buscan fortalecer su planta docente ordinaria, en instituciones de investigación del Estado y en el sector financiero y de ciencia de datos, donde la demanda de perfiles analíticos rigurosos está en constante aumento (Escobar, 2022). El estudio de un doctorado en Perú requiere una planificación financiera clara, ya que los costos varían según la institución y la modalidad de apoyo (véase la Tabla 20).

**Tabla 20: Inversión y aspectos económicos del doctorado**

Universidad	Tasa de Matrícula Anual (Aprox. US\$)	Apoyo Financiero / Becas
PUCP	~ 6,581	Becas integrales para

		dedicación exclusiva.
<b>UNMSM</b>	~ 0 (Tasas administrativas mínimas)	Oportunidades de proyectos de investigación.
<b>UNP (Piura)</b>	~ 1,579	Programas de incentivo a la investigación.
<b>UNT (Tumbes)</b>	~ 3,348 (Total programa)	Tasas competitivas para la región norte.

Es fundamental destacar que muchas universidades públicas ofrecen aranceles reducidos a sus egresados o a docentes universitarios que buscan homologar sus grados conforme a la nueva Ley Universitaria. Además, el Estado peruano, a través de programas de becas y de financiamiento de proyectos de investigación, fomenta que los mejores talentos culminen sus estudios doctorales sin la carga económica que ello suele representar (Orellana et al., 2025).

El fortalecimiento de los doctorados en matemática y estadística es un pilar fundamental para la soberanía científica del Perú. La transición de un modelo de enseñanza puramente profesionalizante a uno centrado en la investigación ha sido posible gracias al marco legal establecido por la Ley 30220 y a la supervisión de la SUNEDU (González, 2022).

La solidez de programas como los de la PUCP, la UNMSM y la UNI, respaldados por planes docentes que incluyen formación doctoral en los mejores centros del mundo (como el IMPA), garantiza que el país cuente con investigadores de talla global. Al mismo tiempo, la diversificación de la oferta en regiones como Tumbes y Piura y el enfoque en áreas emergentes como la inteligencia artificial y la ciencia de datos en la UNI aseguran que la matemática y la estadística sigan siendo motores de desarrollo e innovación para el país.

La integración de la investigación doctoral con las necesidades de la industria y el Estado es el próximo desafío. Con mallas curriculares actualizadas y un compromiso renovado con la excelencia docente, los programas de doctorado en el Perú están posicionados para liderar la transformación digital y científica que la sociedad demanda.

# Conclusión

El diseño de un doctorado en matemática y estadística no puede limitarse a una lista de materias; debe partir de una base filosófica que justifique la selección de cada contenido. La propuesta analizada se sustenta en la necesidad de un programa interdisciplinario que responda a espacios de especialización precisos. Esta precisión se traduce en la formación de doctorandos capaces de interactuar con áreas como la bioinformática, la inteligencia artificial, las ciencias de la educación y la economía financiera.

Una de las contribuciones más significativas de esta propuesta es la adopción de un pluralismo metodológico explícito. El currículo integra de manera fundamental la enseñanza de las probabilidades y de la inferencia desde marcos tanto frecuentistas como bayesianos. Esta decisión no es meramente técnica, sino también profundamente pedagógica y profesional. En la práctica científica contemporánea, el investigador se enfrenta a situaciones en las que la información previa es crucial (contexto bayesiano) y a otras en las que la objetividad a largo plazo es el estándar (contexto frecuentista).

Al capacitar al doctorando en ambos marcos, se le otorga la autonomía intelectual para seleccionar enfoques en función de los estimandos y del contexto del problema, evitando el dogmatismo metodológico que a menudo limita la innovación. Este enfoque fomenta una cultura de estimación de la incertidumbre, en la que el uso de dominios y distribuciones de probabilidad reemplaza la confianza ciega en valores puntuales, lo que permite una interpretación más honesta y rigurosa de los fenómenos naturales y sociales.

El programa doctoral no rehúye de la dimensión humanística. Al incluir la filosofía y la investigación ética como componentes curriculares, el diseño busca potenciar el pensamiento crítico. No se trata de una ética periférica, sino de una ética integrada en la práctica diaria del análisis de datos. El objetivo es que los futuros doctores tengan la capacidad de cuestionar cifras y datos, identificar sesgos, malinterpretaciones estadísticas o aplicaciones tecnológicas que puedan vulnerar la integridad social.

Esta formación filosófica se vincula directamente al compromiso con la reproducibilidad científica. El currículo está alineado con objetivos contemporáneos que exigen que cada hallazgo pueda verificarse de manera independiente. La transparencia en el uso de algoritmos y la honestidad en la presentación de resultados se erigen en competencias tan vitales como el dominio de un teorema complejo o de una técnica de simulación avanzada.

Aunque el detalle semestral de créditos se encuentra en la documentación administrativa de la editorial, la obra "Asignaturas y plana docente" especifica las áreas temáticas que vertebran el aprendizaje del doctorando. Estas áreas han sido seleccionadas por su relevancia en la frontera del conocimiento y por su capacidad para impulsar la transferencia tecnológica.

En conclusión, el currículo integra el uso de herramientas de control de versiones y entornos de programación que facilitan la reproducibilidad científica. Siguiendo las directrices éticas del programa, se enseña a los estudiantes a documentar sus procesos de manera que cualquier otro investigador pueda replicar sus resultados. Este compromiso con la transparencia es lo que distingue a un investigador de excelencia en el

panorama científico global.

# Bibliografía

Abler, D., Kanellopoulos, V., Davies, J., Dosanjh, M., Jena, R., Kirkby, N., & Peach, K. (2013). Data-driven Markov models and their application in the evaluation of adverse events in radiotherapy. *Journal of radiation research*, 54 Suppl 1(Suppl 1), i49–i55. <https://doi.org/10.1093/jrr/rrt040>

Amarilla, C.D. (2024). Cadenas de Márkov ocultas discretas y los experimentos mendelianos. *Reportes científicos de la FACEN*, 15(1), 15-32. <https://doi.org/10.18004/rcfacen.2024.15.1.015>

.edu PUCP. (2022, 22 de julio). El inconstitucional retroceso a la autorregulación de la educación universitaria. .edu PUCP. <https://www.direccion.de/recuperacion-para-el-lector/>

Bolaño-García, M., & Duarte-Acosta, N. (2024). Una revisión sistemática Del Uso De La Inteligencia Artificial En La educación. *Rev Colomb Cir*, 39, 51-63. <https://doi.org/10.30944/20117582.2365>

Cantú, P.C., & Santoyo, M.A. (2018). Evaluación del rendimiento académico en bioestadística y la competencia disciplinar de pensamiento matemático en estudiantes universitarios. *Educación*, 28(54), 45-60. <https://doi.org/10.18800/educacion.201901.003>

Cañizares Luna, O., Sarasa Muñoz, N.L., Herrera Martínez, M., Guirado Blanco, O., & Boffill Cárdenas, M. (2021). Concepción y diseño de un programa de doctorado en ciencias médicas según el contexto local. *EDUMECENTRO*, 13(3), 382-400.

<http://scielo.sld.cu/pdf/edu/v13n3/2077-2874-edu-13-03-382.pdf>

CONCYTEC. (2022). (27 de diciembre de 2022). 22. ¿Cuáles son los niveles de clasificación de los investigadores RENACYT?. Base de conocimiento CONCYTEC.

<https://conocimiento.concytec.gob.pe/preguntas/renacyt/cuales-son-los-niveles-de-clasificacion-de-los-investigadores-renacyt/>

Condori Meléndez, H., Romani Miranda, U.I., Giles Abarca, C.A., & Rivera Muñoz, J.L. (2022). Realidades y perspectivas de la educación superior universitaria en el Perú actual. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(3), 469-477. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v14n3/2218-3620-rus-14-03-469.pdf>

Cotrado Mendoza, B., D. Pallauta, J. ., & Castro Quispe, A. C. (2022). La profesionalización docente de matemática en el sistema educativo público peruano. *Revista Latinoamericana Ogmios*, 2(5), 241-248. <https://doi.org/10.53595/rlo.v2.i5.035>

De Olivera, F., Olesker, L. y Pagés, D. (2019). Probabilidad y estadística en la formación de profesores de matemática. Un análisis curricular e implicaciones didácticas. *Reloj de agua*, 20, 5-14. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7407022.pdf>

Delso Vicente, A. T., Carvajal Camperos, M., & Corral De La Mata, D. Ángel. (2024). La evolución del procesamiento del lenguaje natural y su influencia en la inteligencia artificial: Una revisión y líneas de investigación futura. *European Public & Social Innovation Review*, 10, 1-23. <https://doi.org/10.31637/epsir-2025-782>

Echeverry, A., Samper, C., Camargo, L., Molina, O., & Perry, P. (2013). *Aportes investigativos para el diseño curricular en geometría y estadística*. Bogotá: Universidad pedagógica nacional. [https://books.google.com.pe/books/about/Aportes\\_investigativos\\_para\\_el\\_dise%C3%B1o\\_c.html?id=wmuKDwAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Aportes_investigativos_para_el_dise%C3%B1o_c.html?id=wmuKDwAAQBAJ&redir_esc=y)

Escobar Jiménez, C. (2022). Doctores, incentivos de titulación e impacto en la investigación: un panorama general de los profesores con doctorado en el sistema de educación superior ecuatoriano. *Revista Andina De Educación*, 5(2), 000528. <https://doi.org/10.32719/26312816.2022.5.2.8>

Giraldo Forero, A.F., & Orozco Duque, A.F. (2023). Evolución del procesamiento natural del lenguaje. *Tecnológicas*, 26(56). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344273557010>

González Fretel, C. D. (2022). A propósito de la reciente aprobación del "Proyecto de Ley que reestablece la autonomía universitaria": Entrevista al profesor Walter Alban Peralta. *Derecho & Sociedad*, (58), 1–10. <https://doi.org/10.18800/dys.202201.004>

Guerrero Seide, E. (2004). La estructuración del contenido matemático por problemas: un mecanismo para alcanzar un conocimiento efectivo en educación superior. *Revista electrónica de investigación educativa*, 6(2), 1-12. <https://www.scielo.org.mx/pdf/redie/v6n2/v6n2a3.pdf>

Gutiérrez Segura, F. A., Escobar Gómez, E., Jiménez Huayama, M., García Saba, M. H., Silupú Ortega, V. H., & Sabino Escobar, C. M. (2025). *Diseño de un programa curricular de doctorado en matemática y estadística: Concepción*

y líneas de investigación. Colonia del Sacramento: Editorial Mar Caribe.  
<https://doi.org/10.17613/mkbfa-t6v67>

Krasadakis, P., Sakkopoulos, E., & Verykios, VS (2024). Un estudio sobre los desafíos y avances en el procesamiento del lenguaje natural con énfasis en la informática jurídica y los lenguajes con pocos recursos. *Electronics* , 13 (3), 648. <https://doi.org/10.3390/electronics13030648>

Monge Morales, G. (2017). Las Universidades en el Perú: Análisis constitucional y legal desde su condición de Personas Jurídicas. *THEMIS Revista De Derecho*, (72), 211–224. <https://doi.org/10.18800/themis.201702.012>

Montoya, J. (2023). Tesis doctoral de doble titulación (cotutela) como estrategia para la internacionalización de los programas de doctorado: Experiencias de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de La Sabana. *Encuentro Internacional De Educación En Ingeniería*. <https://doi.org/10.26507/paper.2782>

Mori, J. (2014). Mirando el bosque en su conjunto La endogamia académica y la renovación docente en las universidades públicas. *En Blanco Y Negro*, 5(2).  
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/enblancoynegro/article/view/11385>

Ocaña-Riola, R. (2009). Modelos de Markov aplicados a la investigación en Ciencias de la Salud. *Interciencia*, 34(3), 157-162.  
<http://ve.scielo.org/scieloOrg/php/articleXML.php?pid=S0378-18442009000300004&lang=es>

Orellana-Cuellar, L., Pezo-Pezo, A., & Caballero-Ortiz, A.G. (2015). Nueva ley universitaria: necesidad de reevaluación en la docencia después de los setenta. *Anales de la Facultad de Medicina*, 76(2), 205-206. <https://doi.org/dx.doi.org/10.15381/anales.v76i2.11150>

Panqueban, D., & Huincahue, J. (2024). Inteligencia artificial en educación matemática: una revisión sistemática. *Uniciencia*, 38 (1), 357-373. <https://dx.doi.org/10.15359/ru.38-1.20>

Pérez-Salamanca, V. A., & Lagunes-Domínguez, A. (2025). El impacto de la IA en el aprendizaje basado en problemas y el pensamiento variacional. *AiBi Revista De Investigación, Administración E Ingeniería*, 13(3), 1-12. <https://doi.org/10.15649/2346030X.4400>

Ponce Vega, L. A., Zevallos Castañeda, M. E., Pongo Águila, O. E., & Rivas Peña, C. A. (2025). Calidad educativa y satisfacción estudiantil: Regulación e importancia en la Educación Universitaria del Perú. *Prohominum*, 7(4), 175-197. <https://doi.org/10.47606/ACVEN/PH0391>

Sepúlveda-Herrera, C., & Huincahue, J. (2024). Modelación matemática y etnomatemática: una revisión sistemática de una línea de investigación en desarrollo. *Bolema: Boletim De Educação Matemática*, 38, e230280. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v38a230280>

Tobar Moran, M. R., Sarmiento Barreiro, L. M., Reyes Sánchez, Z. G., & Falconí San Lucas, S. del R. (2025). La bioestadística como modelo de enseñanza-aprendizaje en la investigación en estudiantes de las áreas de la salud. Una revisión sistemática. *RECIMUNDO*, 9(2), 579-595.

[https://doi.org/10.26820/recimundo/9.\(2\).abril.2025.579-595](https://doi.org/10.26820/recimundo/9.(2).abril.2025.579-595)

UNESCO. (2016). *Estado del arte y criterios orientadores para la elaboración de políticas de formación y desarrollo profesional de docentes de primera infancia en América Latina y el Caribe*. Santiago: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245157>

Universidad Nacional de Ingeniería (2020). *Reglamento Admisión 2020-1*. Admisión UNI Oficina Central, <https://admission.uni.edu.pe/wp-content/uploads/2022/11/reglamento-20201.pdf>

Velázquez González, V.A., González Morales, R.M., Velázquez Zúñiga, G.A., & Martínez Lozada, P.R. (2019). Impacto de la Bioestadística como ciencia. *Correo Científico Médico*, 23(4), 1417-1433. <http://scielo.sld.cu/pdf/ccm/v23n4/1560-4381-ccm-23-04-1417.pdf>

De esta edición de “*Diseño de un programa curricular de doctorado en matemática y estadística: Asignaturas y plana docente*”, se terminó de editar en la ciudad de Colonia del Sacramento en la República Oriental del Uruguay el 27 de agosto de 2025

**DISEÑO DE UN PROGRAMA  
CURRICULAR DE  
DOCTORADO EN  
MATEMÁTICA Y  
ESTADÍSTICA  
ASIGNATURAS Y PLANA DOCENTE**

**FLABIO ALFONSO GUTIÉRREZ SEGURA, EDER ESCOBAR GÓMEZ, MAYCKOL  
JIMÉNEZ HUAYAMA, MANUEL HERNÁN GARCÍA SABA, VANESSA HUMBERTINA  
SILUPÚ ORTEGA, CARLOS MANUEL SABINO ESCOBAR**

ISBN: 978-9915-698-32-8



9 789915 698328