
- **Información de los profesores y del monitor**

<https://matematicas.uniandes.edu.co/index.php/cartelera/vacacionales>

- **Introducción y descripción general del curso**

Este curso se trata del estudio matemático de algunos aspectos del aprendizaje de máquinas (*machine learning*). Esta rama de la inteligencia artificial investiga la posibilidad de crear algoritmos que “aprenden” a generar buenas hipótesis que generalizan muestras finitas, por ejemplo para clasificar data en categorías determinadas o hacer pronósticos basados en datos históricos.

Analizaremos los marcos teóricos para el aprendizaje de máquinas con el fin de dar respuestas a preguntas como: ¿Cuáles conceptos son más fáciles a aprender por un algoritmo (o más difíciles), y cómo se puede relacionar esto con medidas de la complejidad combinatoria de la familia de conceptos? ¿Bajo cuáles condiciones se puede decir que un algoritmo de aprendizaje convergirá a una respuesta aproximadamente correcta? ¿Qué es una “red neuronal” y cómo funciona?

En este curso no se aprenderá a implementar algoritmos de aprendizaje (por ejemplo, con programación en Python) sino a entender la teoría matemática subyacente.

No asumiremos ninguna experiencia previa con la programación. Conocimiento de conceptos estadísticos tampoco es necesario; desarrollaremos un poco de la teoría de probabilidad en el curso para poder analizar los algoritmos.

- **Objetivos de la asignatura**

Entender los marcos teóricos del aprendizaje de máquinas: clases de conceptos, tareas de clasificación, problemas de convergencia. Aprender conceptos básicos de la probabilidad necesarios para analizar los algoritmos. Entender medidas de complejidad para familias de conceptos (la dimensión VC, la densidad VC) en y su relación con problemas de clasificación binaria. Predictores lineales: perceptrones y regresión lineal. Estudiar redes neuronales: su expresividad y aprendizaje, problemas de aprendizaje convexos. Regularización y estabilidad. Estudiar el algoritmo estocástico del gradiente (Stochastic Gradient Descent) y redes neuronales. Esquemas de compresión.

- **Competencias a desarrollar**

Modelar el aprendizaje de máquinas para problemas de clasificación y regresión. Calcular la dimensión Vapnik-Chervonenkis en ejemplos concretos. Hacer argumentos probabilísticos

sobre la convergencia de algoritmos de aprendizaje. Entender redes neuronales y el algoritmo de *stochastic gradient descent*.

- **Contenido de la asignatura**

Semana No.	Mes	Fecha	Teoría	Problemas
1	Agosto	6 Lu-Fiesta		
		7 Ma-Festivo		
		8 Mi	Introducción al curso: modelos de aprendizaje de máquinas. (<i>Understanding Machine Learning</i> , Cap. 1-2)	
		9 Ju		
		10 Vi	Teoría de Probabilidad, Parte 1: Espacios de probabilidad, distribuciones, variables aleatorias, espacios productos y distribuciones conjuntas.	
2		13 Lu		
		14 Ma		
		15 Mi	Clases finitas de hipótesis y aprendizaje PAC ("Probably Approximately Correct"). (UML Cáp. 2-3)	
		16 Ju		
		17 Vi	Más teoría de probabilidad: Valores esperados, desigualdades de Markov y Chebysheff, Desigualdad de Hoeffding.	
		20 Lu-Festivo		
		21 Ma		

3		22 Mi	Aprendizaje con Convergencia Uniforme y buenas muestras: Clases finitas se pueden aprender. (UML Cáp. 4)	Quiz 1: Probabilidad
		23 Ju		
		24 Vi	El teorema “No Free Lunch”: no hay algoritmos universales de aprendizaje. Sesgo v. complejidad. (UML Cáp 5)	Entrega Tarea 1
4		27 Lu		
		28 Ma		
		29 Mi	La dimensión VC y aprendizaje PAC. (UML Cáp. 6)	Quiz 2: Aprendizaje PAC
		30 Ju		
		31 Vi	Más sobre la dimensión VC; el Teorema de Sauer-Shelah; ejemplos. (UML Cáp. 6)	
5	Septiembre	3 Lu		
		4 Ma		
		5 Mi	Clases de dimensión finita VC son PAC-aprendibles. (UML Cáp. 6 y <i>Neural Network Learning</i> , Cáp. 4)	Entrega Tarea 2
		6 Ju		
		7 Vi	Más discusión sobre clases VC y aprendizaje PAC: cotas de complejidad muestral. (UML Cáp 6 y NNL Cáp. 4)	Quiz 3: Dimensión VC
		10 Lu		
		11 Ma		

6	12 Mi	Predictores lineales: el algoritmo del perceptron, regresión lineal. (UML Cáp. 9)	
	13 Ju		
	14 Vi	Más sobre predictores lineales: regresión logística y mínimos cuadrados. (UML Cáp. 9)	Quiz 4: Complejidad Muestral
7	17 Lu		
	18 Ma		
	19 Mi	Redes neuronales, introducción: dimensión VC. (NNL Cáp. 6)	Entrega Tarea 3
	20 Ju		
	21 Vi	Repaso para el parcial	
8	24 Lu		
	25 Ma		
	26 Mi	Examen Parcial (20% de nota def.)	
	27 Ju Día de estudiante		
	28 Vi	Discusión del parcial, repaso.	
	Octubre	01 de octubre Lunes - 05 de octubre Viernes Último día para entregar el 30% SEMANA DE TRABAJO INDIVIDUAL	
9	8 Lu		
	9 Ma		
	10 Mi	Problemas convexos, funciones Lipschitz y suaves. (UML Cáp. 12)	
	11 Ju		
	12 Viernes (Último día de retiros)	Problemas de aprendizaje convexos, acotados, y suaves. (UML Cáp. 12)	
		15 Lu-Fiesta	

10		16 Ma		
		17 Mi	Regularización y Estabilidad: Minimización Regularizada de Pérdida, estabilidad. (UML Cáp. 13)	Quiz 5: Funciones Lipschitz y Convexas
		18 Ju		
		19 Vi	Estabilización, aprendizaje con regularización. (UML Cáp. 13)	Entrega Tarea 4
11		22 Lu		
		23 Ma		
		24 Mi	Descenso Estocástico del Gradiente (SGD): Funciones Convexas, Lipschitz y Acotadas. (UML Cáp. 14)	
		25 Ju		
		26 Vi	Aprendizaje con SGD. (UML Cáp. 14)	Quiz 6: Regularización
12		29 Lu		
		30 Ma		
		31 Mi	Redes neuronales: su poder expresivo. (UML Cáp. 20)	Entrega Tarea 5
	Noviembre	1 Ju		
		2 Vi	Redes neuronales: más sobre su dimensión VC. (UML Cáp. 20)	Quiz 7: SGD
13		5 Lu-Fiesta		
		6 Ma		
		7 Mi	Complejidad de Rademacher: muestras representativas. (UML Cáp. 26)	

		8 Ju		
		9 Vi	Cálculo de Rademacher, ejemplos. (UML Cáp. 26)	Quiz 8: Redes Neuronales
14		12 Lu-Fiesta		
		13 Ma		
		14 Mi	Demostraciones de cotas de complejidad muestral para problemas de clasificación. (UML Cáp. 28)	Entrega Tarea 6
		15 Ju Cumpleaños de la Universidad		
		16 Vi	Más sobre complejidad muestral. (UML Cáp. 28)	Quiz 9: Complejidad de Rademacher
15		19 Lu		
		20 Ma		
		21 Mi	Esquemas de Compresión, la Conjetura de Warmuth. (Cáp. 30)	
		22 Ju		
		23 Vi	Repaso y comentarios finales.	Entrega Tarea 7

Exámenes Finales Noviembre 26 - Diciembre 11

- **Criterios de evaluación y aspectos académicos**

La nota definitiva para el curso será el promedio ponderado de las notas obtenidas en las tareas, quices, el examen parcial, el examen final, y la participación en la clase, con los siguientes pesos:

Tareas: 40%
Examen Parcial (el 26 de septiembre): 20%
Examen Final: 20%
Quices: 10%
Participación Activa: 10%

La nota que corresponde a “participación activa” se determinará por una de las dos siguientes opciones (según la elección de cada estudiante): (a) ser “escribano” para una de las clases, lo cual implica tomar notas de todo lo que pasa esa día en clase y luego redactar una versión bien escrita de esas notas que se compartirá con el resto de la clase; o (b) hacer una presentación oral de 20 minutos en la clase sobre uno de los temas del curso, elegido de una lista de temas posibles dada por el profesor.

La nota que corresponde a “quices” se basará en las notas obtenidas en los nueve (9) quices que se llevará a cabo en la clase (en las fechas indicadas arriba). **Para la nota de los quices, solo las 5 notas más altas de cada estudiante van a contar; es decir, esta nota será el promedio de los 5 notas mejores que cada alumno logra en los 9 quices.**

- **Bibliografía**

El libro principal que utilizaremos es:

Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms por Shai Shalev-Shwartz y Shai Ben-David, Cambridge University Press, 2014.

Otra referencia útil que citaremos de vez en cuando es:

Neural Network Learning: Theoretical Foundations por Martin Anthony y Peter Bartlett, Cambridge University Press, 1999.

1. RÉGIMEN ACADÉMICO

Las siguientes disposiciones académicas se deberán tener en cuenta en la elaboración de los programas de los cursos:

- **Asistencia a clase:**

Los profesores iniciarán sus cursos desde el primer día del semestre académico, con la finalidad de garantizarles a los estudiantes el derecho a beneficiarse activa y plenamente del proceso educativo (Art. 40 RGEPr).

Las clases de la Universidad deben empezar a la hora en punto o a la media hora, y terminar diez minutos antes de la hora en punto o de la media hora (Art. 41 RGEPr).

- **Inasistencia a clase y a evaluaciones:**

Los parámetros para controlar la asistencia deberán ser informados a los estudiantes el primer día de clase. Se sugiere informar si la asistencia y la participación serán criterios de evaluación, así como la forma en que serán calificados. Será facultativo de cada profesor determinar las consecuencias de la inasistencia si esta supera el 20% (Art. 42 y 43 RGRPr).

El estudiante que desee justificar su ausencia deberá hacerlo ante el profesor dentro de un término no superior a ocho (8) días hábiles siguientes a la fecha de ésta. De acuerdo con el párrafo del artículo 43 del RGEPr, serán excusas válidas las siguientes:

- a. Incapacidades médicas.
- b. Incapacidades expedidas por la Decanatura de Estudiantes.
- c. Muerte del cónyuge o de un familiar hasta del segundo grado de consanguinidad.
- d. Autorización para participar en eventos deportivos, expedida por la Decanatura de Estudiantes.
- e. Autorización para asistir a actividades académicas y culturales, expedida por la respectiva dependencia académica.
- f. Citación a diligencias judiciales, debidamente respaldada por el documento respectivo.

La Decanatura de Estudiantes prestará colaboración en la verificación de las incapacidades médicas.

- **Salidas de campo:**

Las salidas de campo de los estudiantes de la Universidad, programadas fuera de Bogotá, no son de carácter obligatorio. En caso de que algunos estudiantes no puedan cumplir con esta actividad, deberán informar las razones al profesor respectivo y acordar con él la realización de trabajos supletorios (Art. 44 RGEPr).

- **Calificaciones:**

- Se deberán programar como mínimo tres (3) evaluaciones. En los cursos de la escuela de verano el profesor podrá practicar una sola evaluación con un valor equivalente al 100% de la materia (Art. 45 y parágrafo Art. 46 RGEPr).
- Ninguna de las evaluaciones podrá tener un porcentaje superior al 35%, salvo que se trate de prácticas académicas, proyectos de grado y algunos cursos del programa de música, los cuales tendrán un sistema de calificación especial que también deberá ser informado a los estudiantes en el programa del curso.
- Las evaluaciones orales, en las que la actividad del estudiante consiste únicamente en responder las preguntas formuladas por el profesor y que tengan un valor superior al 15% de la calificación del curso, deberán realizarse en presencia de un profesor adicional, quien también deberá actuar como evaluador.
- Si un estudiante falta a la presentación de una evaluación debidamente programada, podrá ser calificado con cero (0,0). Sin embargo, el estudiante podrá justificar su ausencia ante el profesor dentro de un término no superior a (8) días hábiles siguientes a la realización de la prueba. Justificada la inasistencia el profesor deberá indicarle al estudiante la nueva fecha y hora en que le realizará el examen, dentro de las dos (2) semanas siguientes a la aceptación de la justificación presentada.

- El valor de cada evaluación practicada sin aviso, en ningún caso, podrá superar el 5% de la nota definitiva del curso.
- Los profesores tendrán autonomía para establecer sus propios criterios de aproximación de notas definitivas, pero deberán siempre informarlo en el programa del curso, el primer día de clase.
- Se recomienda establecer desde un inicio las condiciones para la entrega de informes y trabajos, así como los parámetros para la elaboración de las actividades en grupo. También indicar los efectos de la entrega tardía de trabajos y de la no entrega.
- **Entrega de calificaciones:**
 - Todos los profesores de la Universidad deben hacer conocer a sus estudiantes las calificaciones obtenidas, dentro de los diez (10) días hábiles siguientes a la práctica de la evaluación parcial. Exceptuando aquellas correspondientes a los proyectos de grado y prácticas académicas (Art. 66 RGEPr).
 - Al menos el 30% de las calificaciones debe ser dado a conocer a más tardar antes de la semana de retiros de cada semestre (Art. 67 RGEPr).
 - Antes del examen final, el estudiante tiene el derecho a conocer las calificaciones parciales obtenidas durante el semestre y podrá solicitarlas al profesor (Art. 68 RGEPr).
- **Notas especiales:**
 - *Incompleto (I)*: nota aplicada por el Consejo de Facultad cuando el alumno no haya podido cumplir por razones justificadas, con los requisitos del curso (Art. 55 RGEPr).
 - *Incompleto Total (IT)*: nota aplicada por el Consejo de Facultad cuando el alumno no haya podido cumplir por razones justificadas, con los requisitos de todos los cursos del periodo académico en el cual se encuentra matriculado (Art. 56 RGEPr).

- *Pendiente (P)*: nota aplicada por el profesor cuando al estudiante por casos de fuerza mayor, para cumplir con los requisitos del curso, solo le reste la presentación de una prueba final o no pueda asignársele una calificación antes del plazo definido (Art. 57 RGEPr).
- *Pendiente Disciplinario (PD)*: nota aplicada por el profesor al estudiante que se encuentre vinculado a un proceso disciplinario. Esa nota será reemplazada una vez culmine definitivamente el proceso (Art. 58 y parágrafo 1 Art. 109 RGEPr).
- *Pendiente Especial (PE)*: nota excepcional aplicable a aquellos estudiantes que se encuentren desarrollando su correspondiente proyecto de grado y no ha sido concluido, por razones justificadas, dentro del semestre inicialmente establecido (Art. 61 RGEPr).

- **Reclamos:**

Si se trata de una prueba escrita, el estudiante deberá dirigir el reclamo por escrito, dentro de los ocho (8) días hábiles siguientes al que conoció la calificación en cuestión. El profesor cuenta con diez (10) días hábiles para responderle. Si el estudiante considera que la decisión no corresponde a los criterios de evaluación, podrá solicitar la designación de un segundo calificador ante el Consejo de Facultad, dentro de los ocho (8) días hábiles al conocimiento de la decisión (Art. 62 y 63 del RGEPr).

En caso de reclamo por una calificación obtenida en una prueba oral, el estudiante podrá exponer la razón de su desacuerdo a los profesores evaluadores en el mismo momento en que tiene conocimiento de la nota. Si el grupo evaluador mantiene la calificación, la realización de un nuevo examen quedará a discreción del Consejo de Facultad al que pertenece la materia, previa solicitud escrita del estudiante (Art. 64 del RGEPr).

- **Cambio de notas definitivas:**

Vencido el plazo previsto para el cambio notas derivadas de los reclamos presentados, estos solo podrán realizarse con la autorización del coordinador de pregrado del programa al que pertenece la materia (Art. 65 RGEPr).

- **Funciones del monitor:**

La principal función del monitor es la de ayudar al profesor en la dirección de las actividades académicas (laboratorios, sesiones de repaso o de ejercicios, asesoría a estudiantes). Así mismo, apoyarlo en la corrección de ejercicios y pruebas. La calificación definitiva de las pruebas será responsabilidad exclusiva del profesor.

- **Reporte de casos disciplinarios:**

Ante la sospecha de una presunta comisión de fraude académico (Art. 109 RGEPr) o de una falta disciplinaria (Art. 110 y 111 RGEPr) por parte de uno de sus estudiantes o de cualquier miembro de la comunidad uniandina, los profesores deberán tener en cuenta:

- Es su deber informar a la Secretaría del Comité Disciplinario de la unidad académica a la que pertenezca la materia o en la que esté inscrito el estudiante, según corresponda, explicando los hechos que fundamentan su consideración y adjuntando las pruebas correspondientes (Art. 121 RGEPr).
- A través de un proceso disciplinario el estudiante tendrá la oportunidad formal de presentar su versión sobre los hechos y pronunciarse sobre las decisiones que tomó el Comité (Art. 121 – 135 RGEPr).
- El profesor tiene discreción para hablar con los estudiantes implicados antes de reportar el caso al comité, para informarles al respecto.
- Durante el proceso disciplinario el profesor podrá ser consultado si el Comité lo considera, pero no será parte formal del proceso.
- A menos que el estudiante acepte su responsabilidad, el profesor no puede afirmar que cometió una falta disciplinaria. En cualquier conversación con un estudiante que presuntamente haya cometido la falta, el profesor debe ser cuidadoso. La existencia del fraude o de una falta disciplinaria solamente la puede determinar el Comité, después de

haberse cumplido el proceso contemplado en los distintos reglamentos de estudiantes de la Universidad.

- La actividad académica en la que se presume la comisión de un fraude académico, deberá ser calificada con Pendiente Disciplinario (PD), (Art. 59 RGEPr). Es indispensable poner el Pendiente Disciplinario pues esta nota es una garantía del respeto por la presunción de inocencia del estudiante.
- Una vez el profesor reciba copia de la carta por medio de la cual se le notifica al estudiante la culminación del proceso disciplinario, deberá levantar el PD y asignar la nota correspondiente a la actividad académica (parágrafo 1 Art. 109 RGEPr).

- **Canales de ayuda para estudiantes y profesores:**

En cualquier momento los profesores y estudiantes podrán apoyarse en la labor de los coordinadores de su programa, la Decanatura de Estudiantes, la Secretaría General de la Universidad y la Oficina del Ombudsperson para consultar sobre asuntos académicos o administrativos según corresponda.