

# Modelado del Estudiante en Sistemas Tutores Inteligentes

Zulma Cataldi, Fernando J. Lage

Facultad Regional Buenos Aires Universidad Tecnológica Nacional. Medrano 951. C1179AAQ

Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires. Paseo Colón 850. C1063ACV . Ciudad de Buenos Aires. ARGENTINA

*de crear un ambiente que considere los diversos estilos cognitivos de los alumnos que utilizan el programa” [5].*

## Resumen

En la producción de los STI convergen las distintas epistemológicas que quedan evidenciadas en la práctica docente. Se busca una nueva opción de diseño de STI que sea más versátil centrada en la forma en que los estudiantes mantienen, organizan y adquieren los nuevos conocimientos.

Las diferentes formas de pensar de los estudiantes, constituyen los estilos de aprendizaje, a través de los cuales se puede establecer el modo en que estos conocimientos se almacenan, se relacionan y se utilizan con los adquiridos anteriormente. Es necesario caracterizar a los estudiantes además considerando el tipo de inteligencia preponderante en cada uno, ya que permitirá soluciones más individualizadas. Esto conlleva a rediseñar los componentes de cada módulo del sistema tutor.

*Palabras clave:* estilos de aprendizaje, modelo del estudiante, sistemas tutores inteligentes

## 1. Introducción

Los sistemas tutores inteligentes (STI) comenzaron a desarrollarse en los años ochenta y fueron diseñados con la idea de impartir conocimiento guiando al estudiante en el proceso de aprendizaje a través de alguna forma de inteligencia [1,2]. Se pensó en un sistema que exhibiera un comportamiento similar al de un tutor humano, que asistiera al estudiante con ayudas cognitivas, es decir que se pueda adaptar al comportamiento del estudiante, identificando la forma en que el mismo resuelve un problema a fin de ofrecerle ayuda cuando lo requiera. Un tutor inteligente, por lo tanto: *“es un sistema de software que utiliza técnicas de inteligencia artificial (IA) para representar el conocimiento e interactúa con los estudiantes para enseñárselo”* [3]. Wolf [4] define los STI como: *“sistemas que modelan la enseñanza, el aprendizaje, la comunicación y el dominio del conocimiento del especialista y el entendimiento del estudiante sobre ese dominio”*. *“Un sistema que incorpora técnicas de IA (Inteligencia Artificial) a fin*

Los primeros STI siguieron las ideas de Carbonell [6] y los paradigmas de programación convencional. Se pueden destacar: *Scholar* [6], *Why* [7], *Sophie* [8], *Guidon* [9], *West* [10], *Buggy* [11], *Debuggy* [10], *Steamer* [7], *Meno* [4]), *Proust* [12], *Sierra* [3].

Luego, surgen: *Andes* [13, 14] en el *Pittsburgh Science of Learning Center's LearnLab*, que su consorcio con miembros de *Carnegie Mellon University*, *University of Pittsburgh* y *Carnegie Learning*. *Metutor* es un tutor de medios-fines del *Department of Computer Science, U.S. Naval Postgraduate School, Monterey* [15,16]. *ITSpoke* es un Proyecto que usó un sistema de diálogos basado en textos y medios fines [17]. Se desarrolló en la *University of Pittsburg, Department of Computer Science & Learning Research and Development Center Pittsburgh*.

El STI *CircSim*, fue desarrollado en conjunto por el *Departamento de Ciencias de la Computación del Illinois Institute of Technology* y el *Departamento de Fisiología del Rush College of Medicine*. Este tutor es muy avanzado en su tipo, y se lo utiliza en el *Rush College of Medicine* para complementar las clases teóricas sobre problemas cardiovasculares [18,19,20,21,22,23]. *AGT (Advanced Geometry Tutor)*, es un proyecto que tiene como objetivo, construir un STI para el uso en clases de geometría avanzada [24] en la *University of Pittsburgh* a través de la *National Science Foundation through* y el *Center for Interdisciplinary Research on Constructive Learning Environments* de la *University of Pittsburgh* y *Carnegie Mellon University*. *AutoTutor*: es un STI basado en la web por un grupo interdisciplinario de la *Office of Naval Research and the National Science Foundation*, [25,26,27,2829].

El *Computer Tutoring Group (ICTG)*, que trabaja en el *University's Computer Science and Software Engineering Department*, en la *University of Canterbury* ha desarrollado una serie de STI: *Aspire* [30], *Sql-Tutor* es un sistema de enseñanza basado en el conocimiento que enseña *Sql* a los estudiantes [31,32] *Kermit*; *EER-Tutor*, *ERM-Tutor*: [33] y *Normit* todos para aplicaciones informáticas.

## 2. Fundamentación

Los STI permiten la emulación de un tutor humano a fin de poder determinar: *qué enseñar, cómo enseñar y a quién enseñar* a través de un *módulo del dominio*: que define el dominio del conocimiento, un *módulo del estudiante*: que es capaz de definir el conocimiento del estudiante en cada punto durante la sesión de trabajo, un *módulo del tutor*: que genera las interacciones de aprendizaje basadas en las discrepancias entre el especialista y el estudiante y finalmente *la interface* con el usuario: que permite la interacción del estudiante con un STI de una manera eficiente (conocimiento sobre *cómo presentar* los contenidos).

Los STI son capaces de juzgar lo que sabe el estudiante y cómo va en su progreso, a través de la interacción entre los módulos básicos, por lo que la enseñanza, se puede ajustar según las necesidades del estudiante, sin la presencia de un tutor humano.

El problema que da marco a la investigación en STI se centra entonces en que estos sistemas en general no proveen de un modo de aprendizaje adaptable [34] de acuerdo a los conocimientos previos, a la capacidad de evolución de cada estudiante [35] y a las concepciones epistemológicas que subyacen en las prácticas de enseñanza. Por otra parte, cada estudiante debería poder elegir las características de procedimiento de enseñanza administrado por el tutor de acuerdo a sus preferencias, entre los diferentes métodos que éste utilice: instruccional, orientador, socrático u otros [36,37], y si lo deseara debería poder cambiarlo de acuerdo a sus necesidades y preferencias.

En el contexto, a fin de proveer la inteligencia a la selección, entre los sistemas inteligentes se encuentran las redes neuronales, que son interconexiones masivas en paralelo de elementos simples y que responden a una cierta jerarquía intentando interactuar con los objetos reales tal como lo haría un sistema neuronal psicológico [38]. Poseen la característica de asimilar conocimiento en base a las experiencias mediante la generalización de casos, que las convierte en una herramienta interesante en el desarrollo de los modelados de la presente investigación [40]. Las redes bayesianas son herramientas estadísticas orientadas a la inferencia probabilística y en el ámbito de la tutorización electrónica se pueden utilizar para modelar la incertidumbre asociada al estudiante y su nivel de conocimientos. También se pueden aplicar los algoritmos genéticos que se fundamentan en el concepto biológico de la evolución natural y son utilizados en procesos de optimización [41,42]. Se fundamentan en los mecanismos de la selección natural, por los que sólo sobreviven los individuos mas aptos, luego de la interacción entre los mismos, pertenecientes a una población de posibles soluciones.

La técnica de minería de datos se centra en la búsqueda de patrones sugerentes y regularidades importantes en grandes bases de datos, denominado conocimiento cualitativo. La minería se puede aplicar con métodos de sistemas inteligentes y otros métodos asociados, para descubrir y detallar patrones presentes en los datos. Se pueden obtener agrupaciones en un conjunto de datos, sin tener relaciones o clases predefinidas, basándose en la similitud de los valores de los atributos de los distintos datos. La minería de datos se puede aplicar incluyendo algoritmos de inducción, algoritmos genéticos, redes neuronales y redes bayesianas; de acuerdo al problema a resolver.

En STI las redes neuronales se pueden aplicar para: a) elaboración el modelo del estudiante, b) como una forma para predecir desempeños, c) para agrupar estudiantes según sus estados cognitivos a través del estilo de aprendizaje y el perfil psico-sociológico. Las redes bayesianas para a) modelar el dominio del estudiantes y b) modelar habilidades y preedición de logros, los algoritmos genéticos para la evaluación de los problemas presentados y la minería de datos en a clasificación de los tipos de estudiantes

## 3. Enfoques en el modelado del estudiante

Se busca proponer un ambiente de enseñanza y aprendizaje interactivo, que se pueda adaptar a las características y preferencias del estudiante. Este sistema está pensado con componentes que puedan ser reutilizables [43,44] por lo que se busca una modularización que sea *independiente del dominio*. Así, cuando el estudiante ingresa al sistema por primera vez, éste debe solicitar sus datos personales y académicos y tomar sus características a fin de obtener no solo el nivel de conocimientos sino también definir el modelo de estudiante, a fin de permitir la selección de la estrategia didáctica más adecuada para cada estudiante [45,46,47].

La principal característica que hace al sistema tutor *"inteligente"* es su capacidad para adaptarse a los estudiantes, por este motivo, el problema del modelado de alumno en la metodología, diseño y desarrollo es un tema crítico, ya que es el núcleo del sistema. Shute [48] realizó un estudio buscando entre los investigadores en el tema un significado de lo que era *"inteligente"* en un tutor, lo que se puede sintetizar en: *"Casi todo el mundo coincide en que el elemento más crítico es el diagnóstico cognitivo (o modelado del alumno). La siguiente característica más citada es la adaptación en la asistencia. Y aunque algunos sostienen que la asistencia forma parte de la "T" de STI, nuestra postura es que las dos componentes, (diagnóstico y asistencia), trabajando conjuntamente constituyen la inteligencia de un STI"*.

Se propone un modelo del estudiante en el que se definen y se almacenan las características que presenta cada uno de ellos, durante sus sesiones de trabajo con el tutor. Esta información se ingresa a una base de datos en la que debe guardar además la información personal de cada uno de los usuarios. La metodología de trabajo que se debe emplear para cada estudiante, dependiendo de sus características se establece a través de un modelo de enseñanza o pedagógico, a fin de poder asistir al estudiante adaptando el modelo de tutor a sus características.

Por otra parte se busca diseñar módulos permitan aumentar la motivación de los estudiantes dando al programa algunas características humanas, por medio de la interface con el usuario y que permita la comunicación en lenguaje natural.

Según Zaitseva y Boule [49] el modelo del estudiante debe considerar los siguientes aspectos: a) nivel de aprendizaje, b) características psicológicas, c) estilo y velocidad de aprendizaje, d) desarrollo de la tarea, e) habilidad de aprendizaje, f) nivel de habilidades, g) métodos de enseñanza, g) mapa de conocimientos.

Las variables de variables de entorno que afectan al estudiante, como climatológicas, ambientales, derivadas del uso de las computadoras con características diversas, velocidades de transmisión, etc. dado impactan al sistema y a sus componentes por igual se considerarán al ingresar al mismo. De acuerdo a lo planteado, se deben considerar solo las características propias del sujeto relativas a sus aprendizajes que quedan delimitadas al tener en cuenta: a) los estilos de aprendizaje y b) el perfil psico-sociológico. Para una enseñanza centrada en los estilos de aprendizaje, se puede aplicar el modelo de Felder y Silverman [50] y los tipos de inteligencias que el estudiante posee más desarrolladas de acuerdo con la teoría de las inteligencias múltiples de [51,52]. Así el sistema solicitará datos personales y los datos académicos iniciales (y actualizables) para ingresar al mismo, que serán transparentes al modelo del estudiante

El modelo del estudiante entonces, se deberá describir en términos de los estilos de aprendizaje y el perfil socio psicológico del estudiante. Un estilo de aprendizaje es la forma de clasificar el comportamiento de un estudiante de acuerdo a la manera en que toma la información, forma las estrategias para aprender, cómo entiende y cómo le gusta analizar la información que está utilizando para llegar a un conocimiento determinado. En otras palabras, es una forma agrupar o clasificar un estudiante de acuerdo a un perfil en relación con la información, ya que este estilo evoluciona y cambia de acuerdo a las variables de entorno y ambientales que afectan al estudiante.

En la Tabla 1 se describen los estilos de aprendizaje a fin de detectar las fortalezas y las debilidades de los mismos [50,53], de este modo se lo podrá asistir en su

recorrido, con el tutorizado que más se adapte a sus necesidades. Este estilo no es estático sino que evoluciona y cambia constantemente respecto a las variables de entorno que afectan al estudiante y a todo el sistema. Felder y Silverman [50] presentan su propio modelo (*Felder Silverman Learning Style Model, (FSLSM)*) que consta de 44 ítems agrupados en 11 conjuntos de 4 preguntas cada uno.

Activos y reflexivos	Los aprendices activos tienden a retener y a entender la información mejor a través de actividades, es decir discutiendo, aplicando o explicando a los otros y los reflexivos, prefieren pensar primero acerca de ello. Una frase de un aprendiz activo sería: <i>"Probemos y veamos como funciona"</i> y de un reflexivo: <i>"Pensemos primero"</i> . A su vez, los aprendices activos tienden a trabajar en grupo y los reflexivos tienden a trabajar solos. Permanecer sentados escuchando la clase, sin algo que hacer y tomado notas es duro para ambos grupos.
Sensitivos-Intuitivos	Los aprendices sensitivos tienden a aprender hechos, mientras que los intuitivos prefieren descubrir posibilidades y relaciones. A los sensitivos normalmente les gusta resolver problemas usando métodos concretos, y les disgustan las complicaciones y las sorpresas. A los intuitivos les gusta la innovación. Los sensitivos tienden a ser pacientes con los detalles en la memorización de los hechos, y ponen manos a la obra mientras que los intuitivos pueden ser mejores en la incorporación de conceptos nuevos y gustan más que los sensitivos de las abstracciones y las fórmulas matemáticas. A los estudiantes sensitivos les atraen los cursos que tengan una conexión aparente con la realidad y a los intuitivos no les gustan los cursos que involucran mucha memorización y cálculos.
Visuales-verbales	Los aprendices visuales recuerdan mejor lo que han visto: figuras, dibujos, diagramas, diagramas de flujo, películas y demostraciones. Los verbales obtienen más de las palabras, ya sea de explicaciones escritas u orales, es decir cada uno aprende de explicaciones visuales o verbales. En la mayoría de las clases hay muy poca información visual que se le presenta al estudiante, ya que primero escuchan las clases y luego leen el material escrito de las pizarras, de los libros y los manuales. Desafortunadamente la mayoría de las personas son aprendices de tipo visual, lo cual significa que la mayoría de los estudiantes, no obtienen tanto como podrían si hubiera más presentación visual en las clases. Los buenos aprendices son capaces de aprender de ambas formas.
Secuenciales y globales	Los secuenciales entienden a través de pasos lineales en etapas, siguiendo en secuencias lógicas a la anterior. Los globales tienden a dar grandes saltos, absorbiendo material casi al azar sin ver las conexiones, y logran sus soluciones <i>"repentinamente"</i> . Los secuenciales tienden a seguir pasos lógicos buscando soluciones, los globales son capaces de resolver problemas complejos rápidamente y en forma novedosa, pero a veces tienen dificultades para explicar cómo lo hicieron.

**Tabla 1:** Estilos de aprendizaje según Felder y Silverman [50]

Esto responde a los cuatro grupos de estilos de aprendizaje que según Felder se trabajan de a pares y se los puede definir según la forma de: a) *procesar la información*: tareas activas – tareas de reflexión, b) *percibir la información*: sensorial –intuitiva (racional), c) *presentar la información*: visual –verbal, y d) *secuenciar el proceso de aprendizaje*: secuencial–global.

Para determinar el perfil psico-sociológico se siguen las ideas de Gardner [51,52] quien señala no existe una inteligencia única en el ser humano, sino una diversidad de inteligencias que marcan las potencialidades y las características significativas de cada individuo, que se

evidencian a través de sus fortalezas y debilidades en los ambientes propios para la expansión de la inteligencia. Sus líneas de investigación se han centrado en el análisis de las capacidades cognitivas humanas. Señala que las inteligencias trabajan juntas para: a) *resolver problemas cotidianos*, b) *crear productos o c) para ofrecer servicios dentro del propio ámbito cultural*.

Gardner destaca nueve grandes (siete en un principio) tipos de capacidades o inteligencias, según el contexto de producción que todos desarrollan, pero cada una de ellas en distinto grado, las que se describen en la Tabla 2. Parte de la base común que no todos aprenden de la misma manera, aunque rechaza el concepto de estilos de aprendizaje y dice que la manera de aprender del mismo individuo puede variar de una inteligencia a otra, de tal forma que un individuo puede tener, por ejemplo, una percepción holística en la inteligencia lógico-matemática y secuencial cuando trabaja con la inteligencia musical. Cada persona tiene estas habilidades cognitivas variadas que trabajan juntas, aunque como entidades cognitivas casi autónomas, las que desarrollan unas más que otras.

Para esta determinación también se cuenta con una planilla similar a la anterior donde constan las características a tildar para cada tipo de inteligencia.

Por ese motivo, el STI deberá disponer la representación del estado actual del conocimiento del alumno en todo momento que se deberá ajustar en el sistema. Millán [35] señala la importancia de la adaptación de la enseñanza a cada estudiante a partir del estudio de Bloom [54] que avala la instrucción individualizada como la forma más efectiva de aprendizaje<sup>2</sup>. “*Estos resultados constituyen un argumento más a favor del uso de los Sistemas Tutores Inteligentes, ya que demuestran los buenos resultados de la enseñanza individualizada*” [35].

De este modo, una vez identificadas las debilidades del alumno, se deben generar los problemas a fin de poder presentar a cada estudiante los conjuntos de ejercicios y problemas específicos según sus necesidades. Una vez llegado a este punto, se debe saber si el estudiante está en condiciones de continuar con el siguiente tema del currículum de acuerdo a sus conocimientos actuales.

<sup>2</sup> Bloom concluyó que cuando se usan los métodos de enseñanza convencionales (relación profesor/alumno entre 25 y 30, con exámenes periódicos) las calificaciones obtenidas poseen una distribución normal, con media entre 50 y 60% pero con una desviación típica grande. Cuando el profesor adapta sus clases orientadas a evitar los errores que sus alumnos cometen en los exámenes, las medias se mueven hasta un 84% y la desviación típica disminuye considerablemente, siendo el cambio más grande cuando los alumnos reciben enseñanza individualizada donde la media llega a un 98%, con una desviación típica que es la mitad de la desviación típica de los alumnos que recibieron una enseñanza convencional.

Inteligencia visual	Consiste en la habilidad de pensar y percibir el mundo a través de imágenes. Se encuentra en quienes estudian mejor con gráficos, esquemas, cuadros, les gusta hacer mapas conceptuales y mentales. Entienden muy bien planos y croquis.
Inteligencia lingüística:	Consiste en la habilidad de pensar en palabras y usar el lenguaje para expresar y entender significados complejos. Está en quienes les gusta redactar historias, leer, jugar con rimas, trabalenguas y en los que aprenden con facilidad otros idiomas.
Inteligencia lógico-matemática:	Utiliza el pensamiento lógico para entender causa y efecto, conexiones y relaciones entre acciones e ideas. Es la capacidad para usar los números de manera efectiva y de razonar adecuadamente. Es un acercamiento a los cálculos numéricos, estadísticas.
Inteligencia corporal cinética:	Es la capacidad para usar todo el cuerpo en la expresión de ideas y sentimientos, y la facilidad en el uso de las manos para transformar elementos. Se aprecia en quienes se destacan en actividades deportivas, danza, expresión corporal y/o en trabajos de construcciones utilizando diversos materiales concretos. También en aquellos que son hábiles en la ejecución de instrumentos.
Inteligencia musical:	Es la capacidad de percibir, discriminar, transformar y expresar las formas musicales. Incluye la sensibilidad al ritmo, a la altura y al timbre. La evidencian quienes se sienten atraídos por los sonidos de la naturaleza y por todo tipo de melodías. Disfrutan siguiendo el compás con el pie, golpeando o sacudiendo algún objeto rítmicamente.
Inteligencia intrapersonal:	Es la capacidad de construir una percepción precisa respecto de sí mismo y de organizar y dirigir su propia vida. Incluye la autodisciplina, la autocomprensión y la autoestima. La evidencian quienes son reflexivos, de razonamiento acertado y suelen ser consejeros de sus pares.
Inteligencia interpersonal:	Es la capacidad de entender a los demás e interactuar eficazmente con ellos. Incluye la sensibilidad a expresiones faciales, la voz, los gestos y posturas y la habilidad para responder. La tienen quienes disfrutan trabajando en grupo, que son convincentes en sus negociaciones con pares y mayores, que entienden al compañero.
Inteligencia naturalista:	Es la capacidad de distinguir, clasificar y utilizar elementos del medio ambiente, objetos, animales o plantas. Se da en aquellos que aman a los animales, las plantas; que reconocen y les gusta investigar características del mundo natural y del hecho por el hombre.
Inteligencia existencial o espiritual	Es la capacidad para situarse a sí mismo con respecto al cosmos, con respecto a tales rasgos existenciales de la condición humana como el significado de la vida, el significado de la muerte, y el destino final del mundo físico y psicológico en profundas experiencias como el amor a otra persona o la inmersión en un trabajo de arte

Tabla 2: Las nueve inteligencias de Gardner [49,50].

Millán [35] indica que: el *modelo del alumno* es la componente del STI que representa el estado actual del conocimiento del alumno, y el proceso que manipula esta estructura se llama *diagnóstico*. Ambas componentes deben diseñarse juntas, y este problema de diseño es el que se conoce como el *problema del modelado del alumno*, siendo los elementos fundamentales:

*La selección de la estructura* que se usará para representar el modelo del alumno, información que se puede almacenar: en un vector, en una red semántica, en una red bayesiana, en forma de afirmaciones, etc.

*La inicialización del modelo del alumno:* la estructura elegida para representar el conocimiento del alumno se debe inicializar al comienzo de la interacción con el

sistema, usando la información disponible acerca del alumno, a fin de poder clasificarlo en clases o tipos previamente definidos, realizar pruebas psicológicas previas, etc.

*El diagnóstico:* una vez inicializado el modelo del alumno comienza la interacción con el sistema. Luego de interactuar con el mismo, el procedimiento de diagnóstico actualiza el modelo utilizando dos fuentes de información: a) el modelo del alumno actual y b) su comportamiento en el proceso interactivo de enseñanza, que se puede medir en función de distintas variables tales como: las soluciones a los problemas, las respuestas a las preguntas, el tiempo empleado en lectura de pantallas, etc.

En este sistema el modelo del estudiante puede ser utilizado con los propósitos de: 1) determinar si el estudiante está listo para continuar con el siguiente tema, 2) generar explicaciones en detalles de acuerdo a los conocimientos actuales del estudiante, 3) ofrecer ayudas y sugerencias al estudiante, sin interrumpir demasiado pero que les ayude a aprender de sus errores, 4) generar problemas del nivel requerido en forma dinámica y ejercicios diferentes adecuados a las necesidades particulares y 5) seleccionar y presentar la estrategia tutorial más apropiada al nivel de conocimiento actual de las disponibles. En la Tabla 3 se resumen los modelos del estudiante más utilizados.

## 4. Descripción de la propuesta

De acuerdo a la estructura clásica de los STI, se deben redefinir los componentes básicos y las interfaces que posee el módulo del estudiante para llevar a cabo la tarea de representar el estado de conocimiento del estudiante real en forma efectiva, es decir con funcionalidades independientes.

Si bien se busca la separación de los tres módulos fundamentales de los STI, las implementaciones posteriores han demostrado que el dominio no se puede separar completamente de los módulos del tutor y del estudiante.

Como primer paso se analizó la interacción de los módulos para un dominio hipotético general, y luego se buscó realizar las modificaciones para un dado dominio.

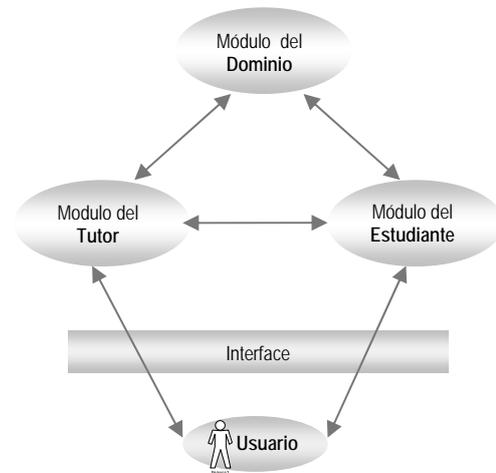
### 4.1. La interacción de los módulos fundamentales

En la Figura 1 se muestran los tres módulos fundamentales y la interacción de los mismos para un dominio cualquiera. El enfoque buscado desvincula completamente al módulo del dominio de cualquier tipo de solapamiento con los demás módulos. Las interacciones que se suceden se pueden resumir de la siguiente manera:

**Tabla 3:** Tipos de modelos de estudiante [35].

<p><i>Modelo de superposición (overlay model).</i></p>	<p>En este enfoque se considera que el conocimiento del alumno es un subconjunto del conocimiento del experto y trata de explicar las diferencias entre el comportamiento del alumno y el del experto a través de la falta de conocimiento del alumno. Este modelo funciona cuando el objetivo principal del sistema instructor es transmitir el conocimiento experto al alumno, pero no considera que el alumno puede tener algún conocimiento que el experto no tiene.</p>
<p><i>Modelo diferencial (differential model).</i></p>	<p>Este modelo es una modificación del modelo de superposición, que divide el conocimiento del alumno en dos categorías: conocimiento que el alumno debería poseer y conocimiento que no se puede esperar que el alumno tenga. A diferencia del modelo de superposición, el modelo diferencial reconoce y trata de representar explícitamente tanto el conocimiento del alumno como las diferencias entre el alumno y el experto. Puede considerarse como un modelo de superposición, pero en lugar de superponer sobre el conocimiento del experto, se hace sobre un subconjunto de éste.</p>
<p><i>Modelo de perturbación (perturbation model).</i></p>	<p>El modelo de superposición representa el conocimiento del alumno en términos del conocimiento <i>correcto</i>, pero el modelo de perturbación lo combina con una representación del conocimiento incorrecto, es decir, no se considera al alumno como un <i>subconjunto</i> del experto, sino que el conocimiento del alumno puede ser potencialmente diferente en calidad y cantidad al del experto. Este modelo se implementa representando el conocimiento experto con el agregado de los errores que cometen los alumnos más a menudo. En la literatura se observan dos tipos de errores: de concepto (ó <i>misconceptions</i>) y las fallas más comunes (ó <i>bugs</i>). El conjunto de los errores que se incluye en un modelo de perturbación se denomina <i>biblioteca ó catálogo de errores</i> y se puede construir a través de un análisis empírico ó por enumeración, ó bien generando los errores a partir de un conjunto de errores de concepto subyacentes usando técnicas generativas.</p>
<p><i>Modelo centrado en restricciones.</i></p>	<p>Este modelo es una modificación del modelo de superposición e implementado en el tutor de SQL de Mitrovic [31,32]. El dominio del conocimiento se representa a través de una serie de restricciones sobre el estado de los problemas, y el modelo del estudiante es una lista de las restricciones que éste ha violado en el proceso de resolución del problema. Este enfoque posee ventajas en cuanto a su robustez y flexibilidad. Es robusto ya que no depende de la estrategia que haya seguido el estudiante para resolver el problema y permite modelar a estudiantes con patrones de comportamiento inconsistentes, que utilicen estrategias diferentes para problemas diferentes. Es flexible ya que permite reconocer las soluciones innovadoras como correctas.</p>

- a) **Determinación del estilo de aprendizaje del estudiante:** Se entrega al estudiante una planilla con preguntas para categorizarlo o agruparlo de acuerdo a los estilos de estudiantes disponibles en el sistema. Cada estudiante debe entregar la planilla completa, así el modelo del estudiante lo categoriza de acuerdo a alguno de los estilos disponibles. Esta acción debe suceder cada vez que cambien las variables de contexto y ambientales que pueden influir sobre el estado del estudiante y sus preferencias.
- b) **Determinación del perfil psico-sociológico del estudiante:** También se realiza a través de una planilla con preguntas a fin de categorizarlo a través de alguna o varias de las inteligencias.
- c) **Datos personales:** Son datos que solicita el sistema al ingresar por primera vez y podrán ser actualizados por cada estudiante en cualquier momento.
- d) **Datos académicos:** Son datos que se actualizan en el sistema en función de la evolución del estudiante durante el trayecto educativo con el sistema. Se carga el perfil inicial que luego va actualizando con el aporte de los datos de evaluación.
- e) **Generación del estado de conocimientos:** Basándose en el modelo del dominio, el modelo del estudiante se encarga de generar el estado de conocimientos del estudiante; el cual se actualizará a medida que el usuario evolucione tanto a través de la acción tutelar con el sistema como en tutorías externas o clases. En este último caso, el sistema deberá brindar el horario posible de una clase con un tutor humano, y la lista de estudiantes presentes en la clase generando el nuevo estado de conocimientos del estudiante.
- f) **Determinación de estilo pedagógico:** El modelo del estudiante envía el estilo y perfil en el cual se encuadra el usuario; como resultado del estilo de aprendizaje y perfil psico-sociológico del estudiante. Con ello, el módulo tutor selecciona el estilo pedagógico más adecuado a las características del estudiante para impartir las lecciones.
- g) **Planificación de la lección:** En base al estilo pedagógico seleccionado se gestiona el estado de conocimientos del estudiante desde el módulo del estudiante. En base al estilo del estudiante, su perfil y el estado de conocimientos, se planifica una lección y se gestionan desde el módulo del dominio los temas que se requieren en la lección en el orden específico respecto de los que fueron planificados por el módulo tutor.



**Figura 1:** Interacción de los Módulos de un Sistema Tutor inteligente.

- h) **Sesión pedagógica:** El módulo tutor imparte los conocimientos planificados en la lección de acuerdo al estilo pedagógico seleccionado. A esto se le dará la forma del lenguaje natural para facilitar la interacción con el usuario del sistema y se lo presentará a través de la interface, la cual seleccionará y recuperará los recursos pedagógicos y didácticos utilizados para esa lección en particular. Dada una sesión pedagógica, el módulo del tutor dispondrá de los objetivos generales a cumplir (como puede ser la resolución de un problema en particular, alcanzar cierto grado de conocimiento sobre uno de los temas de la curricula, etc.), pero a lo largo de la interacción con el usuario pueden surgir objetivos secundarios o sub-objetivos que se requieren para alcanzar el objetivo principal de la sesión pedagógica. Será responsabilidad del módulo tutor guiar al usuario a fin de pueda cumplir todos los objetivos en forma correcta y no debe dar por terminada la sesión hasta que todos los objetivos planteados se hayan cumplido.
- i) **Evaluación de sesión pedagógica:** Los resultados de cada sesión se compilan a través el módulo tutor y se interpretan. Se parte de preguntas, ejercicios, etc. y se obtiene como resultado el nivel de conocimiento de los temas impartidos. Con esta acción también se actualizará la pila de objetivos a cumplir para la sesión que se está llevando a cabo. En las evaluaciones parciales y finales es donde aparecen las fallas documentadas a través de los errores que elementos registrables. Si bien su valor como indicadores de los aprendizajes es relativo, pues hay que considerar que la evaluación, es una situación de alto estrés donde el alumno está más propenso a cometer fallas, es importante su recurrencia. Dado que el estudiante es el

protagonista principal y destinatario del proceso de enseñanza y aprendizaje, de algún modo se lo puede hacer partícipe de su evaluación a través de la *autoevaluación*, por ello se prevé un módulo dedicado a la evaluación a fin de que el estudiante pueda llevar a cabo sus autoevaluaciones. Cuando un estudiante se equivoca en alguno de los temas, aunque no haya completado aún todo el curso, es decir, cuando solo rindió la evaluación parcial y no accedió aún a la evaluación recuperatoria, por ejemplo, se puede efectuar la predicción para saber si aprobará o no en la instancia próxima. La idea es utilizar esta una red neuronal de tipo backpropagation como primer paso para el uso de una serie de dos redes. Cuando la primera red prediga que no aprobará, una segunda red del mismo tipo, basada en los errores cometidos, le podrá indicar cuáles son los temas que debe estudiar, a fin de recomendarle los ejercicios de acuerdo a los núcleos temáticos [47].

- j) **Actualización del mapa de conocimientos:** Con los resultados de la evaluación procesados de los temas impartidos el módulo del estudiante actualiza el estado de conocimientos del usuario, con esto puede modificar sus predicciones respecto del tipo de aprendizaje del mismo, su evolución sobre el dominio y se pueden obtener estadísticas.

A partir de las interacciones descriptas se pueden plantear los componentes básicos del módulo del tutor y del módulo del estudiante. Se detallan los componentes y la interacción entre ellos.

#### 4.2. Los componentes básicos del módulo del estudiante-

En la Figura 2 se observa el módulo del estudiante que contiene dos grandes submódulos cuyas características se resumen a continuación:

- a) **Módulos de estilos de aprendizaje y perfil psico-sociológico:** Está compuesto por una base de datos de estilos de aprendizajes disponibles en el sistema tutor inteligente, los métodos de selección y las características de cada uno de los métodos con respecto a los elementos propios del estudiante. Estos últimos varían con respecto al estado del sistema: si el estado es inicial, es decir que el estudiante recién es cargado en el sistema, se lo debe evaluar para generar una representación estándar del estilo de aprendizaje (la cual después puede ser actualizada) y a lo largo de las sesiones tuteladas con el sistema se ira actualizando o modificando la visión del sistema con respecto al estilo de aprendizaje real del estudiante. Esto permite que el sistema sea muy versátil a la hora de categorizar y recategorizar los estilos de los estudiantes.
- b) **Módulo de estado de conocimientos:** Este contiene el mapa de conocimientos obtenido

inicialmente respecto del módulo del dominio que progresivamente irá modificando el actualizador de conocimientos a través de los resultados obtenidos de las evaluaciones efectuadas por el módulo del tutor, quien enviará dichos resultados procesados. Estos datos también se proporcionaran al módulo tutor para que éste pueda decidir cómo y qué temas impartir en cada una de las sesiones con el estudiante. La idea de este módulo es contener una representación del estado de conocimientos instantáneo del estudiante. Deberá ser modificado por sesiones tuteladas fuera del sistema, como pueden ser las clases particulares o magistrales con tutores humanos.

Estos grandes sub-módulos interactúan entre si y con el resto de los módulos para componer el módulo del estudiante de un sistema tutor inteligente.

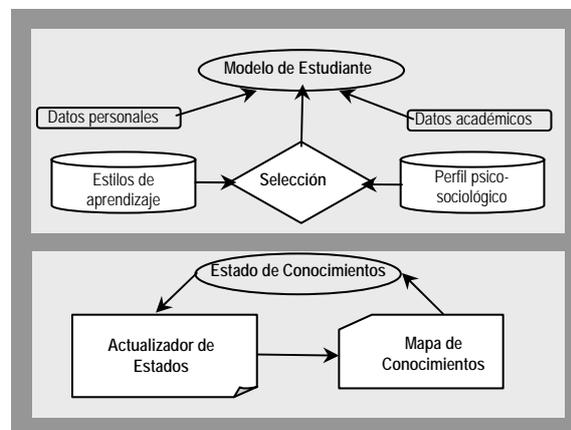


Figura. 2: Componentes básicos del módulo del estudiante.

### 5. Conclusiones y líneas de acción

La redefinición del módulo del estudiante, en submódulos y con interfaces bien definidas busca solucionar algunos problemas generales que afectan a los STI desde hace años que es el solapamiento de funcionalidades. Esto facilitará los circuitos informativos y se mejorará la interacción entre los módulos, separando completamente al módulo en cuestión del verdadero dominio de aplicación.

Con este enfoque no se rompe con la estructura clásica de los sistemas tutores inteligentes, sino que esta nueva visión supone una mayor flexibilidad y adaptación de nuevos dominios a las aplicaciones que la utilicen, como ya se explicó.

Actualmente, se está trabajando en el rediseño de los módulos que corresponden al estudiante como se plantea, para integrarlo al módulo tutor y al sistema evaluador con predicción y diagnóstico a fin de obtener un sistema tutor inteligente flexible. A esta etapa sobreviene la selección de las tecnologías disponibles más aptas en cada caso. Así, una vez

llevada a cabo la implementación e integración de los módulos, el paso siguiente será contrastar el sistema con los datos recabados hasta el momento para generar conclusiones al respecto, indicando la viabilidad de la implementación y posterior utilización efectiva de un sistema tutor o asesor inteligente como complemento de las clases teóricas en un curso tomado como piloto ó prueba.

A partir de este trabajo se continuarán líneas de acción para: a) determinar la estructura de datos, los algoritmos y métodos de diseño de los módulos en un sistema tutor inteligente, b) desarrollar materiales de enseñanza y de aprendizaje que promuevan el desarrollo de capacidades para aprender a aprender y aprender a reflexionar de manera autónoma, c) profundizar en los aportes de los sistemas inteligentes a la educación, representación del conocimiento y procesamiento de lenguaje natural, d) proponer un diseño colaborativo y el uso de multimedia para los contenido temáticos, d) desarrollar sistemas con arquitecturas en capas que permitan la inclusión de interfaces nuevas para dispositivos móviles.

Se debe considerar además la posibilidad de implementar el STI en Internet, ya que podría constituirse en la base de un sistema de e-learning o blended learning debido a que: “*un sistema abierto guiado por el interés, iniciado por el aprendiz, conceptualmente provocador y que se basa en el desarrollo de las habilidades del usuario, promoviendo así el aprendizaje autónomo y autodirigido*” [55].

## Agradecimientos

Esta comunicación forma parte de *Modelado del tutor basado en redes neuronales para un Sistema Tutor Inteligente* código 25/C099, de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional 2007-2008 convenio FI-UBA y UTN-FRBA. Acreditado en el Programa de Incentivos de la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología.

## Referencias

- [1] Urretavizcaya, M. (2001). Sistemas inteligentes en el ámbito de la educación. *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*. N° 12, pp. 5-12. ISSN 1137-3601
- [2] Sancho, L. (2002). *Sistemas Tutores Inteligentes: Una alternativa para el uso de computadoras en educación*. Education Net. Red Global de Educación a distancia. (DistEdNet) Universidad Estatal a Distancia. www.uned.ac.cr/servicios/global/ensenanza/instruccion/articulos/sistemas.html. Consultado el 10/01/09.
- [3] VanLehn, K (1988). *Student Modelling*. M. Polson. Foundations of Intelligent Tutoring systems. Hillsdale. N.J. Lawrence Erlbaum Associates, 55-78.
- [4] Wolf, B. (1984). *Context Dependent Planning in a Machine Tutor*. Ph.D. Dissertation, University of Massachusetts, Amherst, Massachusetts.
- [5] Giraffa, L.; Nunes, M. A.; Viccari, R.M. (1997) *Multi-Ecological: A Learning Environment using Multi-Agent architecture*. MASTA'97: Multi-Agent System: Theory and Applications. Proceedings.. Coimbra: DE-Univ. de Coimbra.
- [6] Carbonell, J. R. (1970). *AI in CAI: An artificial intelligence approach to computer assisted instruction*. IEEE transaction on Man Machine System. Volumen 11 número 4, p. 190-202.
- [7] Stevens, A.; Collins, A. (1977). *The goal structure of a Socratic tutor*. Proc.s of the National ACM Conference. New York.
- [8] Burton, R. R.; Brown, J. S. (1981). *An investigation of computer coaching for informal learning activities*. In: Sleeman, D., Brown, J. (eds.): *Intelligent Tutoring Systems*, Capítulo 4, p. 79-98, London: Academic Press.
- [9] Clancey, W. J. (1991). *Intelligent tutoring systems: A tutorial survey*, en App. Artificial Intelligence: A Sourcebook. McGraw-Hill.
- [10] Brown, E.; Palincsar, B. (1989) *Guided, Cooperative learning and the individual knowledge acquisition*. En Resnick B. (comp.) *Knowing, learning, and instruction*. Hillsdale. N.J.
- [11] Brown, J. y Burton, R. (1978) *Diagnostic Models for Procedural Bugs in Mathematical Skills*, Cognitive Science, No. 2, 155-192.
- [12] Johnson, W. L. (1986). *Intention-based diagnosis of novice programming errors*. Morgan-Kaufman.
- [13] Gertner, A. S.; Conati, C.; VanLehn, K. (1998). *Learning Procedural help in Andes: Generating hints using a Bayesian network student model*. Research & Development. American Association for Artificial Intelligence.
- [14] Gertner, A.S. y VanLehn, K. (2000). *Andes: A Coached Problem Solving Environment for Physics*. Lecture Notes In Computer Science; Vol. 1839 Proc. of the 5th International Conference on Intelligent Tutoring Systems. Pages: 133 - 142
- [15] Galvin, T. (1994) Tesis Doctoral: "*Mebuilder: An Object-Oriented Lesson Authoring System for Procedural Skills* (9/94)
- [16] Rowe N. C. and T. Galvin, (1998) An authoring system for intelligent tutors for procedural skills. *IEEE Intelligent Systems*, 13, 3 May/June, 61-69.
- [17] Litman D. J. and Silliman. S. 2004. *Itspoke: An Intelligent Tutoring Spoken Dialogue System*. In Proc. of the Human Language Tech. Conf.: 4th Meeting of HLT/NAACL. Boston.
- [18] Kim, J. H. (1989). *CIRCSIM-Tutor: An Intelligent Tutoring System for Circulatory Physiology*. Ph.D. Th., Illinois Inst. of Tech.
- [19] Kim, J. H. (2000) *Natural Language Analysis and Generation for Tutorial Dialogue*. Ph.D. Tesis, Illinois Inst. of Technology.
- [20] Cho, B. (2000). *Dynamic Planning Models to Support Curriculum Planning and Multiple Tutoring Protocols in Intelligent Tutoring Systems*. Ph.D. Tesis, Illinois Inst. of Tech.
- [21] Hume G., Michael, J; Rovick, A.; Evens, M. (1996), *Hinting as a tactic in one-on-one tutoring*. Journal of Learning Sciences
- [22] Hume, G.; Evens, M. (1992) *Student modeling and the classification of errors cardiovascular intelligent tutoring system*. Proc. of the 4th Midwest Artificial Intelligence and Cognitive Science Society Conference, Utica, IL.
- [23] Shah, F. (1997). *Recognizing and Responding to Student Plans in an Intelligent Tutoring System: Cirsim-Tutor* Ph.D. Th., Illinois Inst. of Tech.
- [24] Matsuda, N., & VanLehn, K. (2005, to appear). *Advanced Geometry Tutor: An intelligent tutor that teaches proof*

- writing with construction. Proc. 12th Int. Conf. on AI Education.
- [25] DiPaolo, R.E., Graesser, A.C., Hacker, D.J., White, H.A., y TRG (Tutoring Research Group) (2002). *Hints in human and computer tutoring*. In M. Rabinowitz (Ed.), *The impact of media on technology of instruction*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- [26] Graesser, A., Olney, A., Haynes, B. y Chipman, P. (2005b). *AutoTutor: A cognitive system simulates a tutor that facilitates learning through mixed-initiative dialogue*. Cognitive systems: Human cognitive models in systems design. Erlbaum.
- [27] Graesser, A.C., Chipman, P., Haynes, B.C. y Olney, A. (2005a). AutoTutor: An intelligent tutoring system with mixed-initiative dialogue. *IEEE Trans. in Education*, 48, 612-618.
- [28] Graesser, A.C., Jackson, G.T. y McDaniel, B. (in press2006). AutoTutor holds conversations with learners that are responsive to their cognitive and emotional states. *Ed. Technology*.
- [29] Chipman, P., Olney, A., y Graesser, A. C. (2005). *The AutoTutor 3 architecture: A software architecture for an expandable, high-availability ITS*. Proceedings of WEBIST 2005: pp. 466-473. Portugal: Insticc Press.
- [30] Mitrovic, A. (2003) An intelligent SQL tutor on the Web Int. *J. Artificial Intelligence in Education*, v. 13, no. 2-4, 173-197.
- [31] Mitrovic, A., Martin, B. y Mayo, M. (2002) *Using evaluation to shape ITS design: Results and Experiences with SQL-Tutor*. Int. J. User Mod. and User-Adapted Int., v. 12, no. 2-3, p. 243-279.
- [32] Mitrovic, A., Suraweera, P., Martin, B., Zakharov, K., Milik, N., Holland, J. (2006) *Authoring constraint-based tutors in ASPIRE*. M. Ikeda, K. Ashley, and T.-W. Chan (Eds.): ITS 2006, LNCS 4053, pp. 41-50.
- [33] Milik, N., Marshall, M., Mitrovic, A. (2006) *Teaching Logical Database Design in ERM-Tutor*. M. Ikeda, K. Ashley, and T.-W. ITS 2006, LNCS 4053, pp. 707-709.
- [34] Waern, A. (2001) *What is an intelligent interface?*. Notas de Seminario de introductorio. Centro de Investigaciones en Computación de Suecia. Consultado el 13/12/08, disponible en <http://www.sics.se/annika/publications.html>.
- [35] Millán, E. (2000) *Sistema bayesiano para modelado del alumno*. Tesis Doctoral Universidad de Málaga.
- [36] Shim, L. (1991) Student Modeling for an ITS: Based on the Analysis of Human Tutoring Sessions. Ph.D., Illinois Inst. of Tech.
- [37] Perkins, D. (1995). *La escuela inteligente*. Gedisa.
- [38] Kohonen, T. (2001). *Self-Organizing Maps, third edition*. Springer Series in Informarion Sciences. Ed. Springer. Helsinki Univ. of Tech. Neural Networks. Finlandia. Pitman, London.
- [39] Haykin, S. (1999). *Neural Networks: A comprehensive foundation*. Prentice Hall 2nd. edition.
- [40] Nilsson, N. (2001) *Inteligencia Artificial*. Una nueva síntesis. Mc Graw-Hill Interamericana de España.
- [41] Davis, L. (1991). *Handbook of Genetic Algorithms*. New York. Van Nostrand Reihold.
- [42] Falkenauer, E. (1999). *Evolutionary Algorithms: Applying Genetic Algorithms to Real-World Problems*. Springer, New York, Pag 65-88.
- [43] Salgueiro, F. A., Costa, G., Cataldi, Z., García Martínez, R. y Lage, F. J. (2005a). *Sistemas inteligentes para el modelado del tutor*. GCETE'2005. marzo 13-15.
- [44] Salgueiro, F; Costa, G., Cataldi, Z., Lage, F., García-Martínez, R. (2005b). *Redefinition of basic modules of an intelligent tutoring system: the tutor module*. WICC 2005. 13 y 14 de mayo. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba. NCI.
- [45] Cataldi, Z. y Lage, F. (2007). *El problema del modelado del estudiante en Sistemas Tutores Inteligentes*. TE&ET'07. 12-15 de junio. Facultad de Informática, U. N. de La Plata.
- [46] Cataldi, Z.; Salgueiro, F.; Lage, F. J. y García-Martínez, R. (2005). *Sistemas tutores inteligentes: los estilos del estudiante para selección del tutorizado*. Proc. WICC 2005. 13 y 14 de mayo. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba.
- [47] Cataldi, Z; Salgueiro, F. y Lage, F. 2007. *Fundamentos para el Submódulo Evaluador en Sistemas Tutores Inteligentes: Diagnóstico, predicción y autoevaluación*. CACIC 2007. 1-5 de octubre.
- [48] Shute, V. J. (1995). SMART: Student Modeling Approach for Responsive Tutoring. *User Modeling and User-Adapted Interactions*, 5, 1--44.
- [49] Zaitseva, L. y Boule, C. (2003) *Students models in Computer based education*. Advanced Learning Technologies, Proceedings. The 3rd IEEE International Conference on Volume , Issue , 9-11 July 2003 Pages: 451-456.
- [50] Felder R.M.; Silverman L.K. (1988). *Learning Styles and Teaching Styles in Engineering Education*. Engr. Ed., v. 78, 7, p. 674-681.
- [51] Gardner, H (1993). *Inteligencias Múltiples: La teoría en la práctica*. Paidós. Barcelona, Buenos Aires, México.
- [52] Gardner, H (2001) *La inteligencia reformulada: las inteligencias múltiples en el siglo XXI*. Barcelona. Paidós.
- [53] Felder, R. M.; Baker Ward, L. (1990). *How engineering students learn, how engineering professor teach, and what goes wrong in the process*. Proc. FIE'90: Frontiers in Ed., p. 82-84.
- [54] Bloom, B. (1984). The 2 sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. *Educational Researcher*, 13, 4-15.
- [55] Contreras, D. J. (1991) *La didáctica y los procesos de enseñanza aprendizaje*, en Enseñanza, Currículum y Profesorado. Introducción a la didáctica, Akal, Madrid.

Zulma Cataldi  
zcataldi@posgrado.frba.utn.edu.ar

Fernando J. Lage  
fernandojlage@frba.utn.edu.ar

---

**Dra. Zulma Cataldi** es Profesora Titular DSE en la FRBA-UTN y Directora de la Carrera de Maestría en Ingeniería de Sistemas Información en UTN-FRBA. Es también Profesora DSE en FI-UBA.

---



---

**Mg. Fernando J. Lage** es Profesor Titular DE en Depto. de Ing. Electrónica en FRBA UTN y Profesor DS en Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires. Profesor en Maestría en Ingeniería de Sistemas Información, y Administración de Negocios UTN.

---