

Parte I

Introducción al Aprendizaje Automático

Introducción al Aprendizaje Automático

Aprendizaje Automático

Ingeniería Informática

Fernando Fernández Rebollo y Daniel Borrajo Millán

Grupo de Planificación y Aprendizaje (PLG)
Departamento de Informática
Escuela Politécnica Superior
Universidad Carlos III de Madrid

27 de febrero de 2009

Motivación

- El **desarrollo de software** es un cuello de botella
- Introducir **conocimiento a través de ejemplos** es atractivo
- Especialmente cierto en los problemas:
 - en los que no existen algoritmos
 - mal definidos
 - propuestos informalmente
- La sociedad de la información genera una **explosión de datos**
- **No hay suficiente gente** que pueda analizar tal cantidad de datos
- Se tiende hacia la **personalización**: adaptación al individuo
- Es muy importante la **comprensibilidad de la salida**

Motivación

- El **desarrollo de software** es un cuello de botella
- Introducir **conocimiento a través de ejemplos** es atractivo
- Especialmente cierto en los problemas:
 - en los que no existen algoritmos
 - mal definidos
 - propuestos informalmente
- La sociedad de la información genera una **explosión de datos**
- **No hay suficiente gente** que pueda analizar tal cantidad de datos
- Se tiende hacia la **personalización**: adaptación al individuo
- Es muy importante la **comprensibilidad de la salida**

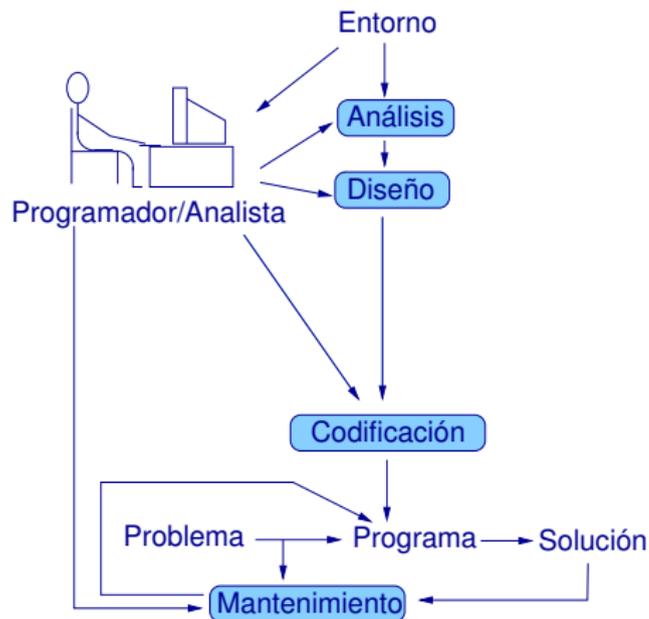
Motivación

- El **desarrollo de software** es un cuello de botella
- Introducir **conocimiento a través de ejemplos** es atractivo
- Especialmente cierto en los problemas:
 - en los que no existen algoritmos
 - mal definidos
 - propuestos informalmente
- La sociedad de la información genera una **explosión de datos**
- **No hay suficiente gente** que pueda analizar tal cantidad de datos
- Se tiende hacia la **personalización**: adaptación al individuo
- Es muy importante la **comprensibilidad de la salida**

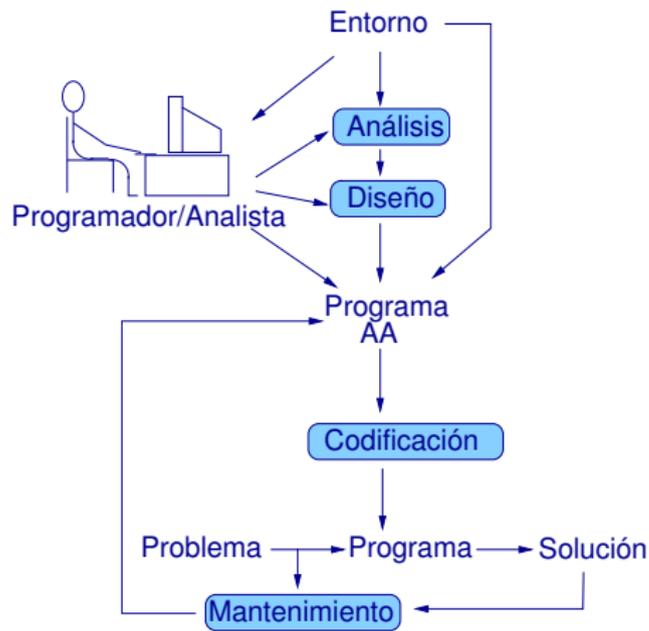
Motivación

- El **desarrollo de software** es un cuello de botella
- Introducir **conocimiento a través de ejemplos** es atractivo
- Especialmente cierto en los problemas:
 - en los que no existen algoritmos
 - mal definidos
 - propuestos informalmente
- La sociedad de la información genera una **explosión de datos**
- **No hay suficiente gente** que pueda analizar tal cantidad de datos
- Se tiende hacia la **personalización**: adaptación al individuo
- Es muy importante la **comprensibilidad de la salida**

Programación sin aprendizaje



Programación automática



Algunos ejemplos

- Sanidad: cómo diagnosticar mejor una enfermedad
- Domótica: cómo autoregular eficientemente el consumo de energía, cómo limpiar el suelo
- Banca: por qué conceder un crédito hipotecario, cuando aceptar el cargo a una tarjeta
- Marketing: qué tipo de personas compran cerveza los viernes, qué perfil de compra tiene la familia Martínez
- Personalización: qué tipo de noticias le gusta leer los viernes por la mañana al usuario
- Seguridad: qué perfil de uso de Linux tiene un determinado usuario, cuándo se produce una entrada ilegal
- Videojuegos: en qué orden le gusta explorar el terreno al usuario

Máquinas científicas

- **Descubrimiento**: búsqueda en un espacio de estados gigante de un camino que conduzca desde el estado inicial a la meta
- Los científicos disponen de **gran cantidad de datos** para los que necesitan buscar hipótesis que describan esos datos
 - **Bacon**: descubre leyes cuantitativas
 - **Skycat**: catalogación automática de imágenes del espacio
 - **EICAP**: encuentra la relación que existe entre la composición química de determinados compuestos y su probabilidad de provocar cáncer
 - **fMRI**: clasificación de actividad cerebral en función de estímulos de palabras
 - **Genética**: estructura secundaria de las proteínas

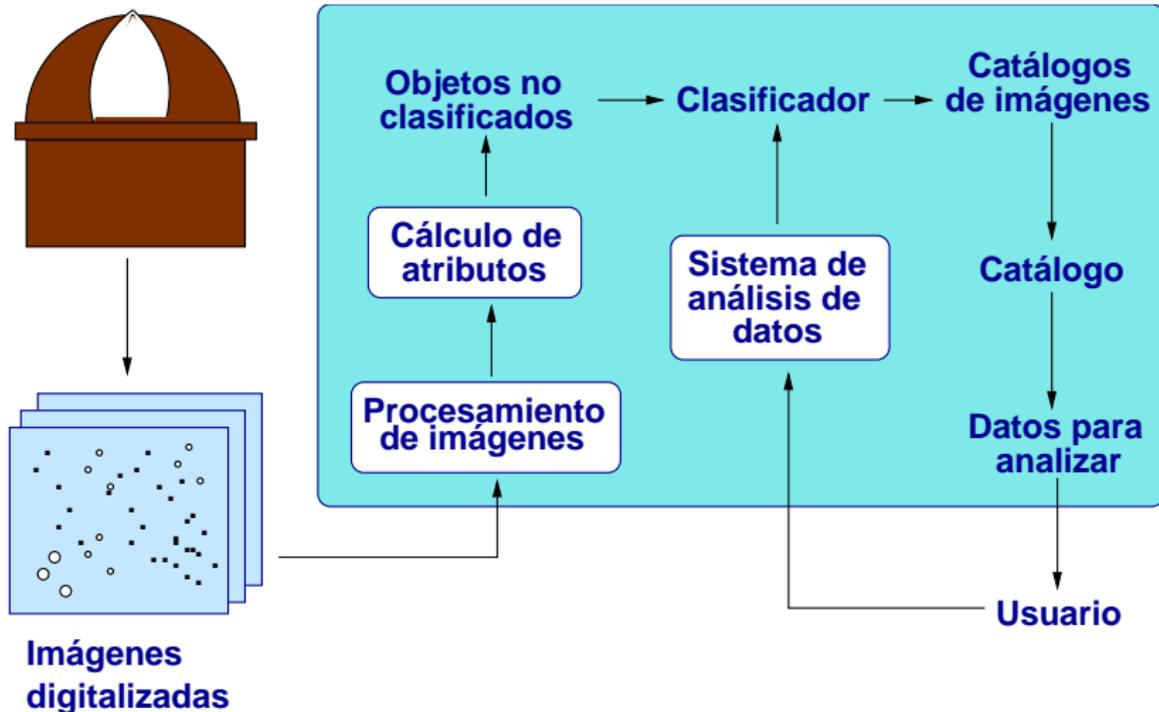
Máquinas científicas

- Otra veces, necesitan encontrar **secuencias de pasos** que describan un determinado fenómeno
 - **Molgen**: planificación de experimentos en genética
 - **Mechem**: descubrimiento de qué pasos intermedios han tenido lugar en una reacción química

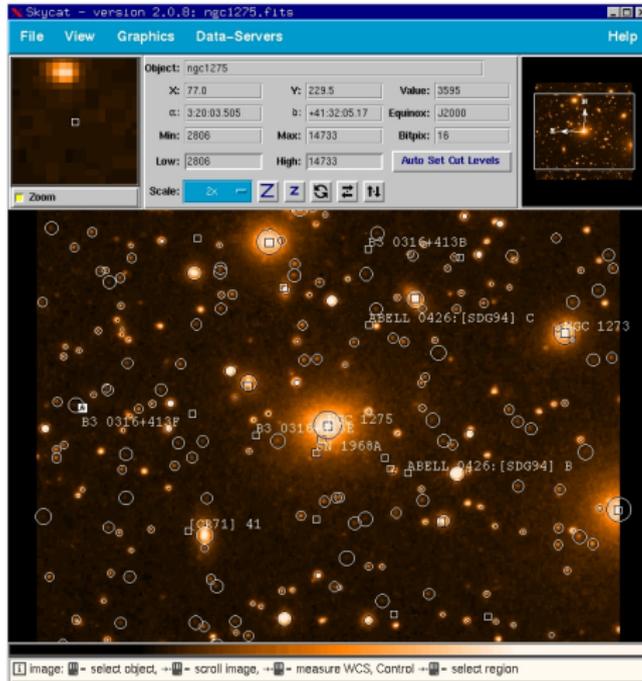
Skycat. Catalogación de imágenes del espacio

- Los expertos humanos no pueden mantener el ritmo de generación actual de imágenes por día
- Ejemplo: el segundo estudio celeste realizado en el observatorio del monte Palomar ha generado **tres terabytes de datos en imágenes**
- Problema: cómo catalogar automáticamente los **dos billones de objetos**
- Solución: **aprendizaje automático** aplicada a la catalogación
- Resultado: **94 % de acierto** en la catalogación
- El catálogo es **tres veces más grande** de lo que se podría tener sin ayuda del sistema
- **http:**
[//www-aig.jpl.nasa.gov/public/mls/skycat/skycat_home.html](http://www-aig.jpl.nasa.gov/public/mls/skycat/skycat_home.html)

Skycat. Catalogación de imágenes del espacio



Skycat



EICAP. Investigando la carcinogénesis

- La industria moderna genera gran cantidad de **compuestos químicos** diarios que son expulsados a la naturaleza. Los efectos de estos compuestos sobre los humanos no se conocen todavía
- El Instituto de salud americano ha creado un programa de **estudio del impacto** de los compuestos en el cáncer
- Los resultados de los estudios realizados en ratas tardan **dos años** en conocerse, por lo que **es necesario predecir** bastante antes los efectos de los compuestos en el ser humano
- Se parte de **varias bases de datos** que contienen información sobre la composición química de los compuestos, su estructura molecular, y la generación de cáncer o no en ratas después de los dos años
- Se ha creado un **reto internacional** para producir buenos predictores

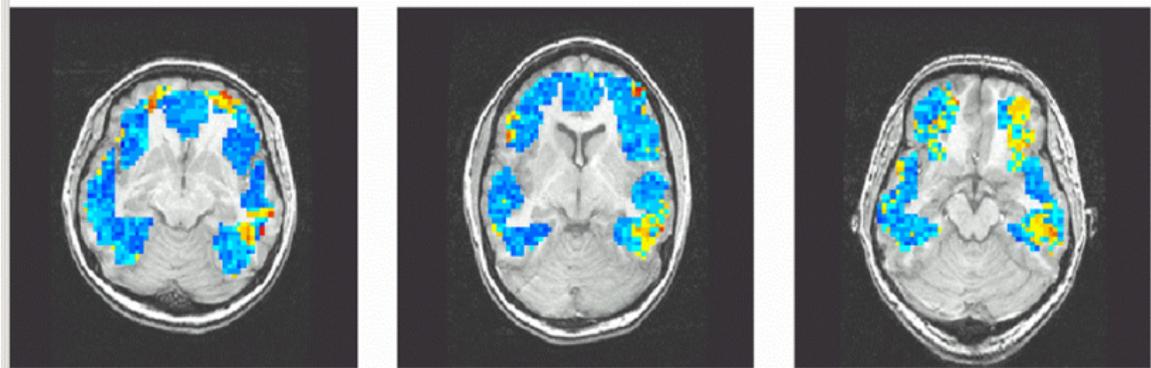
Análisis de imágenes cerebrales

Un fMRI permite obtener imágenes de la actividad de un cerebro humano

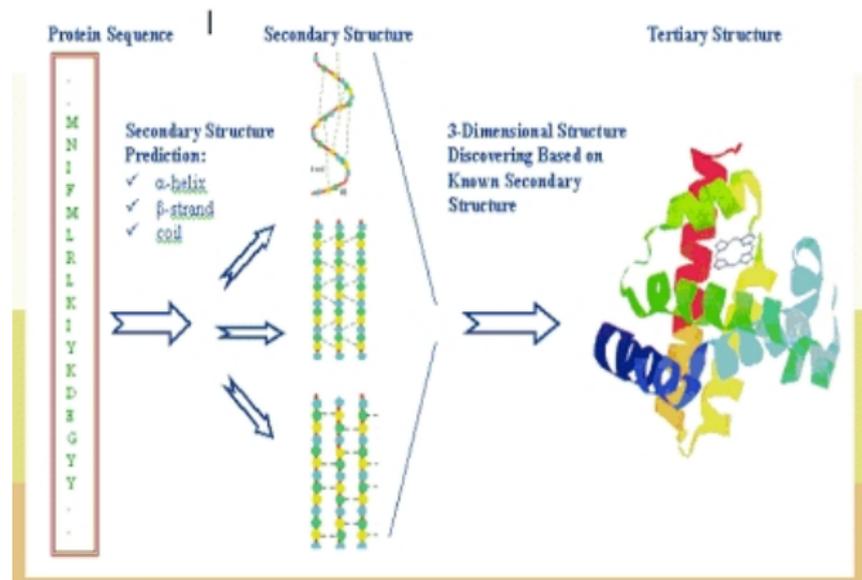
- dicha herramienta ofrece nuevas oportunidades para estudiar los mecanismos cerebrales
- Ejemplo:
 - decodificar si las palabras que está leyendo un humano son sobre herramientas, edificios, comida, u otras categorías semánticas
 - el clasificador obtenido acierta la categoría semántica un 90 % de las veces cuando, por ejemplo, el sujeto en estudio lee palabras sobre herramientas o edificios
- <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/project/theo-73/www/index.html>

Análisis de imágenes cerebrales

La figura muestra, para tres sujetos distintos, el grado con que diferentes localizaciones del cerebro ayudan a predecir la categoría semántica de la palabra. Las zonas rojas y amarillas son las que más ayudan. Las regiones predictivas en cada sujeto son similares.



Predicción de la estructura secundaria de las proteínas



Descubriendo regularidades

- ¿Cuál es el perfil de los clientes que se gastan al mes más de 10 Keuros?
- ¿Qué producto de nuestra empresa es el que compran los clientes después de comprar el detergente dependiendo de su perfil?
- ¿Debo invertir en la empresa X mañana y cuánto?
- ¿Cómo puedo hacer mantenimiento predictivo de una central hidroeléctrica?
- ¿A qué tipos de números de teléfono llaman nuestros clientes?
- ¿Cuándo concedo un crédito hipotecario? ¿por cuánto?
- Un cliente de tarjeta de crédito está realizando una compra, ¿pagará? ¿se la han robado?

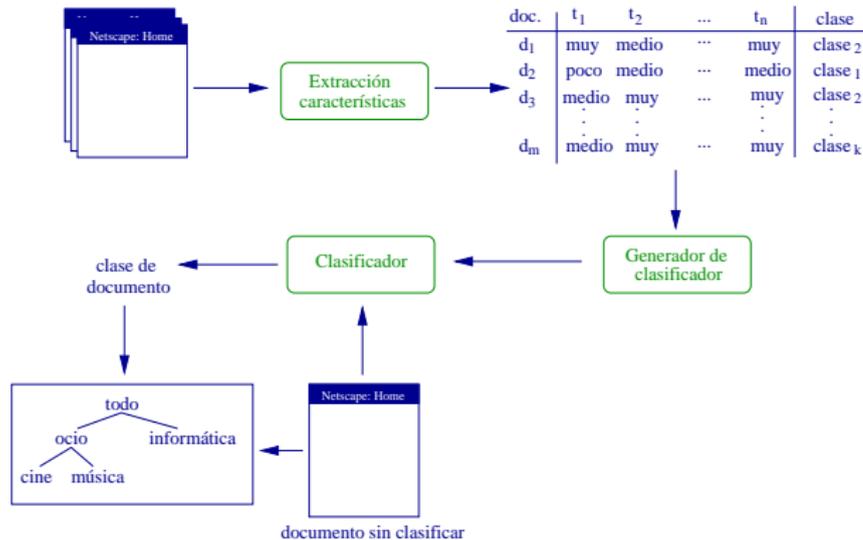
Data Mining

- Descubrimiento en bases de datos o extracción del conocimiento
- Proceso que extrae relaciones, tendencias o patrones que existen entre gran cantidad de datos
- Unión entre:
 - bases de datos,
 - estadística,
 - predicción de series temporales,
 - técnicas de agrupación,
 - aprendizaje automático, y
 - técnicas de visualización
- Muy unido a los almacenes de datos (*data warehouse*)
- Es muy importante la comprensibilidad de la salida
- <http://www.kdnuggets.com/>

Regularidades en textos (*Text mining*)

- Construcción automática de portales
- Construcción de buscadores semánticos
- Buscadores personalizados
- Noticias personalizadas
- Venta personalizada
- Sistemas automáticos de filtrado (email, noticias)
- Determinación de la semántica correcta de una palabra
- Establecimiento de vínculos comerciales con otras empresas

Análisis de textos



Generación automática de portales

Arte y cultura

[Literatura](#), [Teatro](#), [Museos](#), [Guías](#)...

Ciencia y tecnología

[Astronomía](#), [Biología](#), [Ingeniería](#)...

Ciencia Sociales

[Filosofía](#), [Historia](#), [Idiomas](#), [Psicología](#)...

Deportes y ocio

[Deportes](#), [Fútbol](#), [Juegos](#), [Turismo](#)...

Economía y negocios

[Empresas](#), [Inmobiliarias](#), [Empleo](#)...

Educación y formación

[Primaria](#), [Secundaria](#), [Universidades](#)...

Espectáculos y diversión

[Cine](#), [Actores](#), [Música](#), [Humor](#), [¡Genial!](#)...

Internet y ordenadores

[WWW](#), [Software](#), [Chat](#), [Redes](#)...

Materiales de consulta

[Bibliotecas](#), [Diccionarios](#)...

Medios de comunicación

[Radio](#), [TV](#), [Revistas](#), [Periódicos](#)...

Política y gobierno

[Elecciones](#), [Boletines oficiales](#), [Hacienda](#)...

Salud

[Medicina](#), [Enfermedades](#), [Embarazo](#)...

Sociedad

[Gastronomía](#), [Religión](#), [Para niños](#)...

Zonas geográficas

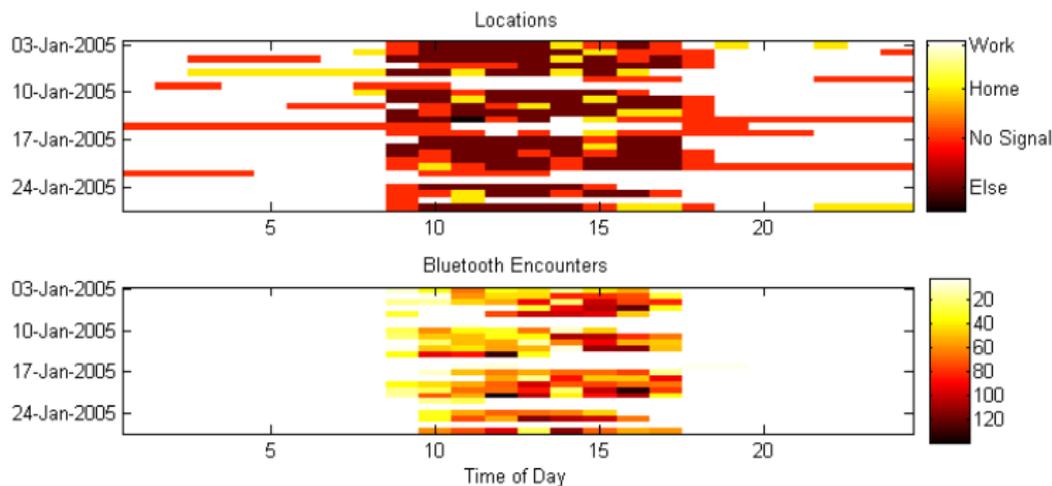
[Países](#), [Europa](#), [España](#), [C.C.AA.](#)...

Los mejores sitios web - Novedades

Reality Mining

- Define la colección de datos de entorno percibidos por máquinas (vídeo, sonido, etc.) asociados al comportamiento social humano
- Objetivo: modelado del contexto de conversaciones, localización espacio-temporal, a través de grandes comunidades
- La captura de información se realiza a través de los teléfonos móvil (o dispositivos similares)
- Evaluación
 - Captura de información sobre comunicación, proximidad, localización e información de actividades de 100 sujetos del MIT del curso académico 2004-2005
 - Representa unos 350,000 horas (unos 40 años) de datos continuos sobre comportamiento humano
- Otros: Google-Gmail-GChat-...
- <http://reality.media.mit.edu/>

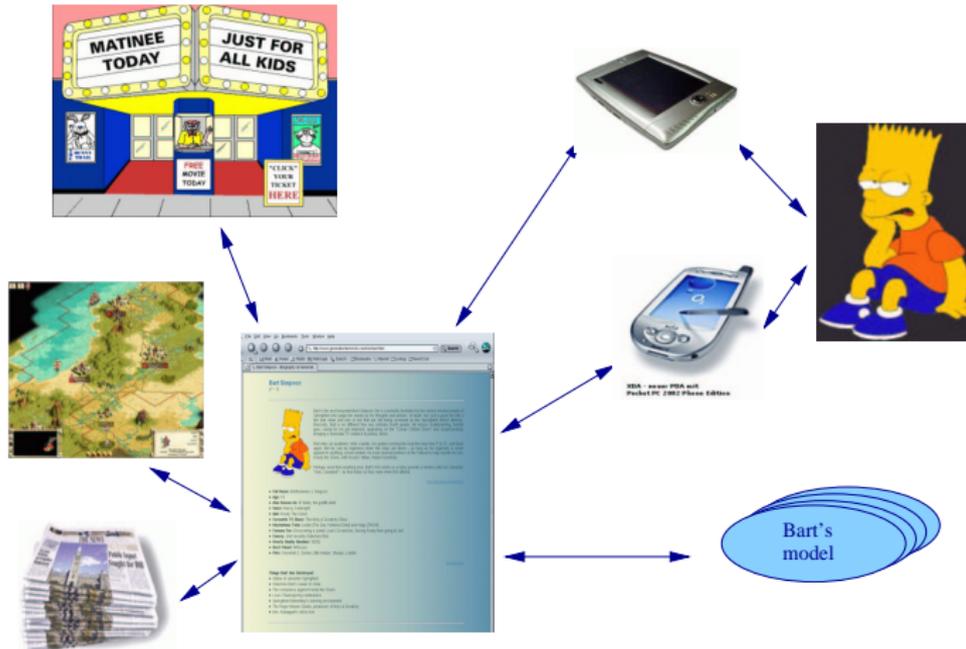
Ejemplo de visualización



Aprendizaje e Ingeniería del Software

- *“Find a bug in a program, and fix it, and the program will work today. Show the program how to find and fix a bug, and the program will work forever.”* Oliver G. Selfridge
- Aplicaciones de aprendizaje automático en IS:
 - Reutilización de software
 - Predicción y estimación de: índices de calidad del software, tamaño, coste, duración de proyectos, esfuerzo de desarrollo y/o mantenimiento, etc.
 - Descubrimiento de modelos y propiedades: invariantes de bucles, tipos de datos abstractos, etc.
 - Transformación: paralelización de software, mejorar la modularidad, etc.
 - Generación y síntesis: generación de casos de prueba
 - Construcción de librerías, adquisición de requisitos, etc.

Personalización



Asistentes personales

- Vivimos en una sociedad en la que, en la mayor parte de los casos, no vale el **café para todos**
- Cada persona desea conducir un coche personalizado, recibir propaganda personalizada, tener un trato personalizado en el banco, etc.
- Es necesario la construcción de sistemas que permitan **adaptarse a su dueño**
- Ejemplos:
 - Gestores de agendas personales y en grupo
 - Reconocedores de voz
 - Reconocedores de letra
 - Buscadores de Web adaptables al usuario
 - Periódicos electrónicos con noticias personalizadas
 - Casas que se adaptan a los usuarios

Asistentes personales

- Vivimos en una sociedad en la que, en la mayor parte de los casos, no vale el **café para todos**
- Cada persona desea conducir un coche personalizado, recibir propaganda personalizada, tener un trato personalizado en el banco, etc.
- Es necesario la construcción de sistemas que permitan **adaptarse a su dueño**
- Ejemplos:
 - Gestores de agendas personales y en grupo
 - Reconocedores de voz
 - Reconocedores de letra
 - Buscadores de Web adaptables al usuario
 - Periódicos electrónicos con noticias personalizadas
 - Casas que se adaptan a los usuarios

Personalización



Razonamiento basado en casos

- Gran cantidad de problemas resueltos por los humanos se basan en la combinación de conocimiento de fondo y de casos pasados
- Ejemplos de **actividades basadas en casos**
 - médicos
 - abogados, especialmente en EEUU
 - arquitectos, especialmente con los chalets adosados,
 - informáticos (fenómeno *copy-paste*),
 - empresarios (*best practices*), etc.
- Necesitamos recuperar y utilizar varios casos **parecidos** a los anteriores

Ejemplos de sistemas basados en casos

- Servicios de ayuda *front desk*
- Entrenamiento de militares
- Sistemas de ayuda a la compra de coches
- Corte de planchas
- Diagnóstico de errores en motores de aviones
- Composición de jazz

Interfaces inteligentes

- Aprenden los movimientos de ratón del usuario
- Aprenden los comandos Linux más utilizados y en qué orden
- Predicen los parámetros a suministrar a un comando
- Determinan cuándo necesita ayuda el usuario

Robots que conducen y reparten correo

- **Última meta** de la Inteligencia Artificial: construir modelos computacionales (hardware y software) capaces de realizar las mismas tareas que realizamos los humanos
- En el límite está la **construcción de robots**
- Hasta hace poco sólo se construían robots industriales
- Problema: **pre-programados** por medio de complejas fórmulas matemáticas para realizar una tarea muy concreta
- Pero, la robótica autónoma
 - no se puede pre-programar (entornos desconocidos)
 - necesita adaptarse al contexto

Robots que conducen y reparten correo

- **Última meta** de la Inteligencia Artificial: construir modelos computacionales (hardware y software) capaces de realizar las mismas tareas que realizamos los humanos
- En el límite está la **construcción de robots**
- Hasta hace poco sólo se construían robots industriales
- Problema: **pre-programados** por medio de complejas fórmulas matemáticas para realizar una tarea muy concreta
- Pero, la robótica autónoma
 - no se puede pre-programar (entornos desconocidos)
 - necesita adaptarse al contexto

Robots que conducen y reparten correo

- **Última meta** de la Inteligencia Artificial: construir modelos computacionales (hardware y software) capaces de realizar las mismas tareas que realizamos los humanos
- En el límite está la **construcción de robots**
- Hasta hace poco sólo se construían robots industriales
- Problema: **pre-programados** por medio de complejas fórmulas matemáticas para realizar una tarea muy concreta
- Pero, la robótica autónoma
 - no se puede pre-programar (entornos desconocidos)
 - necesita adaptarse al contexto

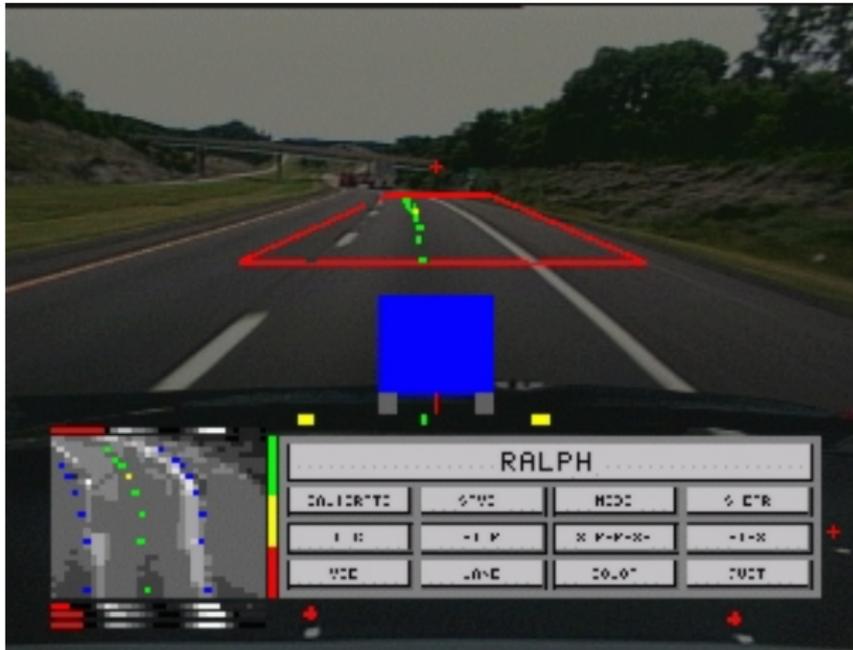
Ejemplos

- **Simulaciones:**
 - Simulador de vuelo
 - Fútbol con robots, que necesita aprendizaje, planificación, visión, ejecución, comunicación, etc.
 - Rescate después de un desastre natural
- **Aplicaciones:**
 - Ralph ha conducido 2797 millas desde Pittsburgh a San Diego
 - Rhino y Minerva conducen a visitantes en museos
 - Sojourner, Spirit, Opportunity realizan experimentos científicos en Marte

Ejemplos

- **Simulaciones:**
 - Simulador de vuelo
 - Fútbol con robots, que necesita aprendizaje, planificación, visión, ejecución, comunicación, etc.
 - Rescate después de un desastre natural
- **Aplicaciones:**
 - Ralph ha conducido 2797 millas desde Pittsburgh a San Diego
 - Rhino y Minerva conducen a visitantes en museos
 - Sojourner, Spirit, Opportunity realizan experimentos científicos en Marte

RALPH. Aprender a conducir



Robots que juegan al fútbol. Simulador



Robots que juegan al fútbol



Robots que juegan al fútbol. Aibo



¿Cómo jugar mejor?

- **Enfoque de fuerza bruta:**
 - Ajedrez: Campbell (Deep Thought and Deep Blue)
 - Damas: Schaeffer (Chinook)
- **Enfoques adaptativos:**
 - Damas: Samuel (Checkers)
 - Backgammon: Tesauro (TD-Gammon)

Problemas no técnicos

- Las máquinas no son **responsables** de los diagnósticos, predicciones, o clasificaciones que hacen
- Los humanos **no se fían** de los resultados
- La salida no es **entendible** por el humano
- Leyes de protección de datos
- Miedo de los humanos a la **pérdida de control**

Tareas

- **Clasificación**
dados unos datos sobre un cliente, determinar si devolverá el crédito o no
- **Predicción**
dados varios valores de la bolsa de varios días, determinar el valor que tendrá un determinado índice mañana
- **Diagnóstico**
dados unos síntomas de un paciente, determinar la enfermedad que tiene

Tareas (II)

- **Agrupación**
dados datos sobre las compras realizadas por un conjunto de personas, determinar qué subconjuntos de personas se parecen entre sí
- **Caracterización**
dados varios conjuntos de personas que compran de forma parecida, determinar en qué se parecen entre sí
- **Mejorar la eficiencia**
dado un sistema que planifica las rutas óptimas de un conjunto de transportes para llevar paquetes de un lugar a otro, conseguir que lo haga en menos tiempo y con mejores soluciones

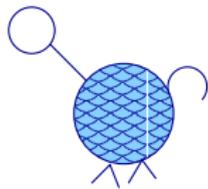
Conclusiones

- Campo de estudio y aplicación **multi-disciplinar**
- Ha tenido **mucho éxito**
- ¿Cuándo es útil?
 - **Extracción de conocimiento** a partir de grandes cantidades de datos
 - Aplicaciones **difíciles de programar**
 - **Mantenimiento automático** de sistemas
 - Aplicaciones software **personalizadas**
- Sus aplicaciones tienen que **integrarse** con lo ya construido

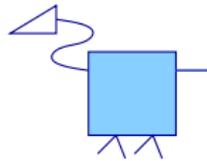
En Esta Sección:

- 1 Introducción al Aprendizaje Automático
 - Motivación
 - Aplicaciones
 - Máquinas científicas
 - Descubriendo regularidades
 - Asistentes personales
 - Resolver problemas en función del pasado
 - Robots
 - Otras cuestiones
- 2 Aprendizaje Inductivo

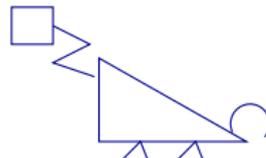
Ejemplo Aprendizaje Inductivo



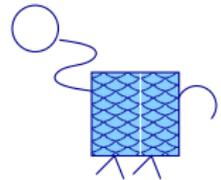
Ejemplo 1



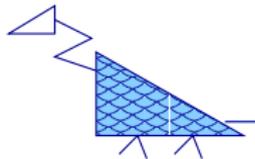
Ejemplo 2



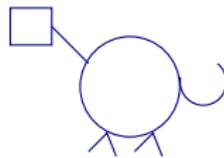
Ejemplo 3



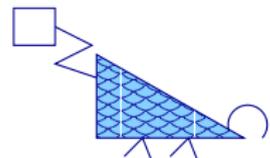
Ejemplo 4



Ejemplo 5



Ejemplo 6



Ejemplo 7



Ejemplo de representación

Ej.	Cabeza	Cuello	Forma Cuerpo	Color Cuerpo	Cola	Clase
1	Círculo	Recto	Círculo	Rayado	Abajo	+
2	Triángulo	Curvo	Cuadrado	Negro	Recta	-
3	Cuadrado	Triangular	Triángulo	Blanco	Abajo	-
4	Círculo	Curvo	Cuadrado	Rayado	Abajo	+
5	Triángulo	Triangular	Triángulo	Rayado	Recta	-
6	Cuadrado	Recto	Círculo	Blanco	Arriba	-
7	Cuadrado	Triangular	Triángulo	Rayado	Abajo	+

Definiciones previas

- **Atributo**: característica que define a una elemento de un conjunto
- **Instancia**: colección de valores de atributos
- **Clase**: cada uno de los subconjuntos disjuntos en los que se quiere dividir el conjunto de instancias
- **Ejemplo** (positivo) de una clase: instancia que pertenece al subconjunto definido por la clase
- **Ejemplo negativo** de una clase: instancia que no pertenece al subconjunto definido por la clase
- **Generalización** de un conjunto de ejemplos de una clase (**hipótesis**): descripción que representa al subconjunto de instancias de la clase y no representa a instancias de las otras clases

Introducción al aprendizaje inductivo

Hipótesis del aprendizaje inductivo

Si una hipótesis describe bien el concepto meta, de acuerdo a un número suficientemente grande/significativo de ejemplos de aprendizaje, también describirá bien el concepto meta en futuros ejemplos

Representación

- Uno de los principales problemas de todo método de aprendizaje automático es el lenguaje elegido para representar el conocimiento
- El problema consiste en saber si el concepto meta puede ser representable en el lenguaje escogido
- Una solución es elegir un lenguaje lo suficientemente general para que cualquier concepto se pueda representar
- Todo sistema de aprendizaje automático asume un lenguaje de representación:
 - Árboles y/o reglas
 - Funciones lineales o no lineales
 - Redes de Neuronas
 - Funciones de densidad de probabilidad
 - Vectores de soporte

Bias o Sesgo

- Cuando se generaliza, se está dispuesto a aceptar como positivos ejemplos que todavía no se han visto.
- En cuanto se acepta la bias como cierta, el paso inductivo de generalización es correcto.
- Formalmente, el bias es lo que permite que la siguiente expresión sea correcta: $\text{Ejemplos} \wedge \text{Bias} \rightarrow \text{Nuevas clasificaciones}$
- La bias permite también clasificar los algoritmos, o medir como son de arriesgados en la generalización