



DECSAI

Departamento de Ciencias de la Computación e I.A.

Universidad de Granada



Inteligencia Computacional

© Fernando Berzal, berzal@acm.org

Inteligencia Artificial



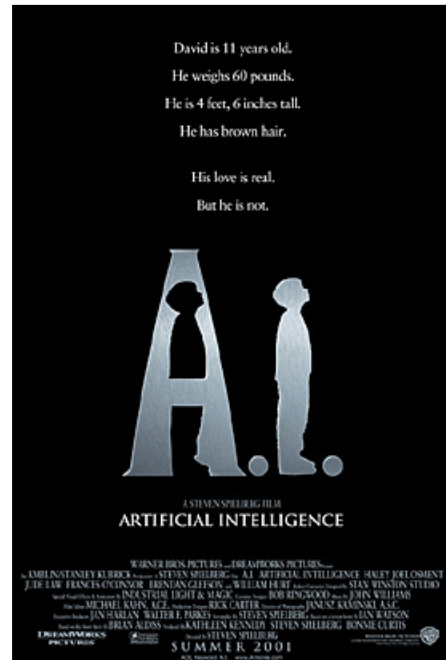
- ¿Qué es la Inteligencia Artificial?
 - Definiciones de Inteligencia Artificial
 - "Racionalidad computacional"
- Breve historia de la Inteligencia Artificial
- Inteligencia Computacional
- Capacidades de la I.A., aplicaciones y retos.



Inteligencia Artificial



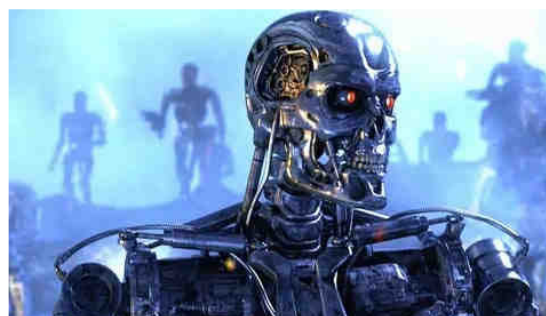
¿Algo que ver con la ciencia ficción?



Inteligencia Artificial



¿Algo que ver con la ciencia ficción?



Inteligencia Artificial



¿Qué significa ser “inteligente”?

inteligencia¹ +

Del lat. *intelligentia*.

1. f. Capacidad de entender o comprender.
2. f. Capacidad de resolver problemas.
3. f. Conocimiento, comprensión, acto de entender.
4. f. Sentido en que se puede tomar una proposición, un dicho o una expresión.
5. f. Habilidad, destreza y experiencia.
6. f. Trato y correspondencia secreta de dos o más personas o naciones entre sí.
7. f. Sustancia puramente espiritual.
8. f. **servicio de inteligencia**.

inteligencia artificial

1. f. *Inform*. Disciplina científica que se ocupa de crear programas informáticos que ejecutan operaciones comparables a las que realiza la mente humana, como el aprendizaje o el razonamiento lógico.



REAL ACADEMIA ESPAÑOLA

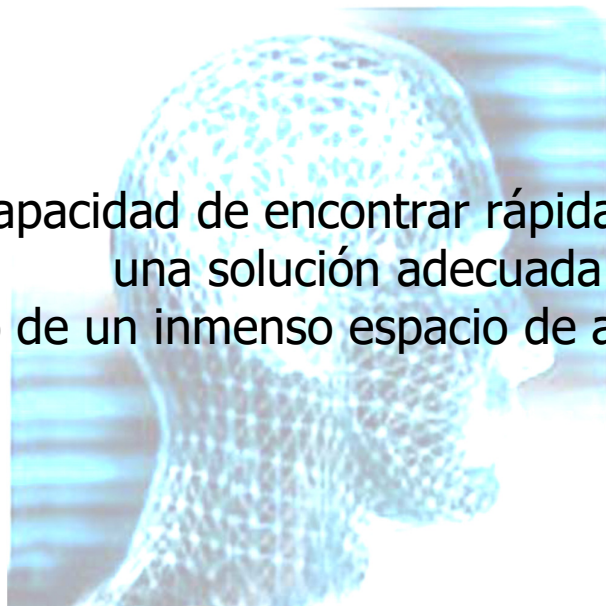


Inteligencia Artificial



¿Qué significa ser “inteligente”?

Capacidad de encontrar rápidamente
una solución adecuada
dentro de un inmenso espacio de alternativas.



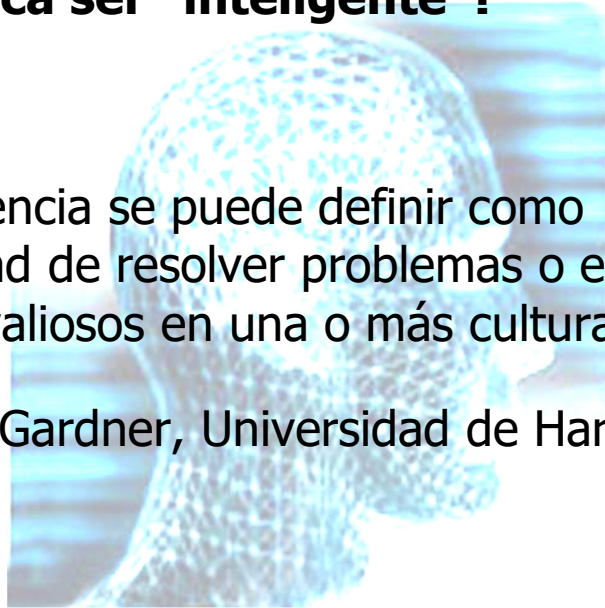
Inteligencia Artificial



¿Qué significa ser "inteligente"?

"La inteligencia se puede definir como la capacidad de resolver problemas o elaborar productos que sean valiosos en una o más culturas."

-- Howard Gardner, Universidad de Harvard



Inteligencia Artificial



Teoría de las inteligencias múltiples de Gardner

Para Gardner, la inteligencia no es una capacidad global y monolítica, sino que hay diversas formas de inteligencia, que no tienen por qué manifestarse juntas...



Teoría de las inteligencias múltiples de Gardner

- **Inteligencia lingüística:**

Capacidad de emplear de manera eficaz las palabras, manipulando la estructura o sintaxis del lenguaje, la fonética, la semántica y sus dimensiones prácticas.



- **Inteligencia física y cinestésica:**

Habilidad para usar el propio cuerpo para expresar ideas y sentimientos, y sus particularidades de coordinación, equilibrio, destreza, fuerza, flexibilidad y velocidad, así como perceptivas, táctiles y hápticas.



Teoría de las inteligencias múltiples de Gardner

- **Inteligencia lógica y matemática:**

Capacidad de manejar números, relaciones y patrones lógicos de manera eficaz, así como otras funciones y abstracciones de este tipo.



- **Inteligencia espacial:**

Habilidad de apreciar con certeza la imagen visual y espacial, de representar gráficamente las ideas, y de percibir el color, la línea, la forma, la figura, el espacio y sus relaciones.





Teoría de las inteligencias múltiples de Gardner

■ **Inteligencia musical:**

Capacidad de percibir, distinguir, transformar y expresar la duración, el tono, la intensidad, la melodía y el timbre de los sonidos musicales.



■ **La inteligencia interpersonal/emocional:**

Posibilidad de distinguir y percibir los estados emocionales y señales interpersonales de los demás, y responder de manera efectiva a dichas acciones de forma práctica.



Teoría de las inteligencias múltiples de Gardner

■ **Inteligencia intrapersonal:**

Capacidad de introspección y de actuar con ese conocimiento, de tener una autoimagen acertada, autodisciplina, comprensión y amor propio.



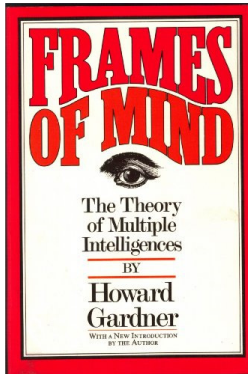
■ **Inteligencia naturalista (añadida en 1995):**

Capacidad para entender que el ser humano forma parte de un todo interconectado llamado Naturaleza.





Teoría de las inteligencias múltiples de Gardner



Howard Gardner:
"Frames of Mind:
The Theory of
Multiple Intelligences"
Basic Books, 1983
ISBN 0133306143



Otros autores han añadido más facetas:

- Inteligencia ético-religiosa
- Inteligencia existencial (1999)
- Inteligencia pedagógica
- Inteligencia digital (sic)
- ...



Definición de la AAI

American Association for Artificial Intelligence

- Disciplina científico-técnica que se ocupa de la comprensión de los mecanismos subyacentes en el pensamiento y la conducta inteligente y su incorporación en las máquinas.

Enfoque muy "simbólico"...



Inteligencia Artificial



Si recordamos...

Inteligencia:

Capacidad de encontrar rápidamente una solución adecuada dentro de un inmenso espacio de alternativas.

... aparece la **búsqueda** como elemento clave de todo sistema que manifieste un comportamiento inteligente.

- La búsqueda por fuerza bruta es inútil salvo para problemas muy simples.
- La búsqueda por fuerza bruta no es la forma humana de resolver problemas. Empleamos CONOCIMIENTO.



Inteligencia Artificial



- La búsqueda por fuerza bruta es inútil salvo para problemas muy simples.
- La búsqueda por fuerza bruta no es la forma humana de resolver problemas: empleamos **conocimiento**.

■ **Principio del conocimiento:**

Un sistema exhibe un comportamiento inteligente, debido principalmente al conocimiento que puede manejar: conceptos, hechos, representaciones, métodos, modelos, metáforas y heurísticas en su dominio de actuación.



Inteligencia Artificial



Inteligencia Artificial:

Búsqueda con conocimiento sobre el problema que se desea resolver

IA Clásica

basada en la representación simbólica y la manipulación del conocimiento experto

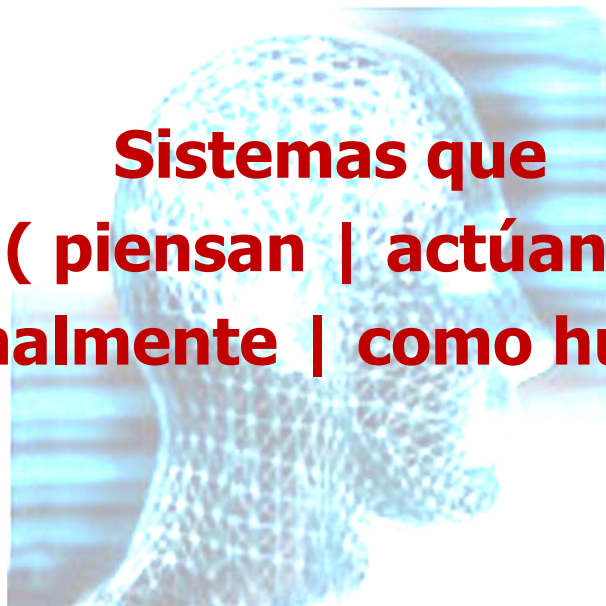


Inteligencia Artificial



Definiciones de Inteligencia Artificial

**Sistemas que
(piensan | actúan)
(racionalmente | como humanos)**





Definiciones de Inteligencia Artificial: Sistemas que piensan como humanos

- “El nuevo y excitante esfuerzo de hacer que los ordenadores piensen... máquinas con mentes en el más amplio sentido literal” (Haugeland, 1985)
- “[La automatización de] actividades que vinculamos con procesos de pensamiento humano, actividades como la toma de decisiones, resolución de problemas, aprendizaje...” (Bellman, 1978)



Definiciones de Inteligencia Artificial: Sistemas que piensan racionalmente

- “El estudio de las facultades mentales mediante el uso de los modelos computacionales” (Charniak & McDermott, 1985)
- “El estudio de cálculos que hacen posible percibir, razonar y actuar” (Winston, 1992)





Definiciones de Inteligencia Artificial: Sistemas que actúan racionalmente

- “La inteligencia computacional es el estudio del diseño de agentes inteligentes” (Poole et al., 1998)
- “IA... está relacionada con conductas inteligentes en artefactos” (Nilsson, 1998)
- “IA... construcción de agentes que se comportan racionalmente (dados los recursos disponibles)” (Russell & Norvig, 1995)



Definiciones de Inteligencia Artificial: Sistemas que actúan como humanos

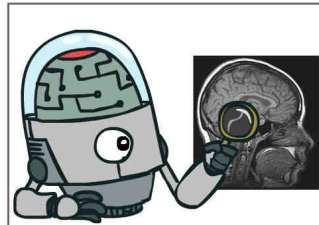
- “El arte de desarrollar máquinas con capacidad para realizar funciones que cuando son realizadas por personas requieren inteligencia” (Kurzweil, 1990)
- **“El estudio de cómo lograr que los computadores realicen tareas que, por el momento, los humanos hacen mejor”** (Rich & Knight, 1991)



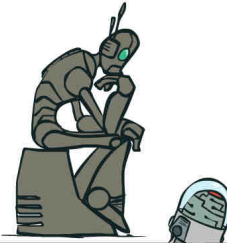


La ciencia de construir máquinas que...

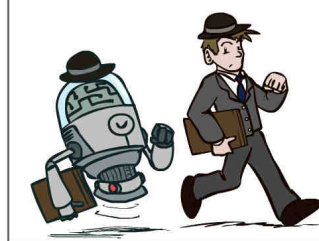
... piensen
como humanos



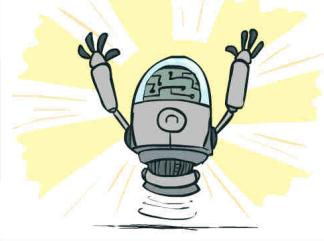
... piensen
racionalmente



... actúen
como humanos



... actúen
racionalmente



Berkeley CS188



22



¿Racionalmente?

- Objetivos predefinidos.
- Racionalidad referida a las decisiones que se toman, no al proceso mental utilizado: "el cerebro es a la inteligencia lo que las alas al vuelo"
- Objetivos definidos en términos de la utilidad de los resultados obtenidos (función de utilidad).
- Ser racional es, en este sentido, maximizar la utilidad esperada.

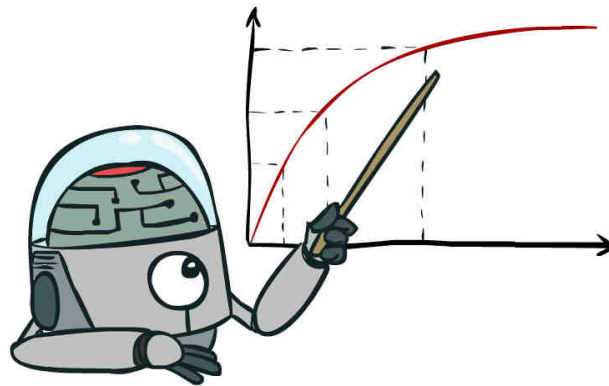


23



Un nombre alternativo para la I.A.

“Racionalidad Computacional”
o cómo maximizar la utilidad esperada



Berkeley CS188

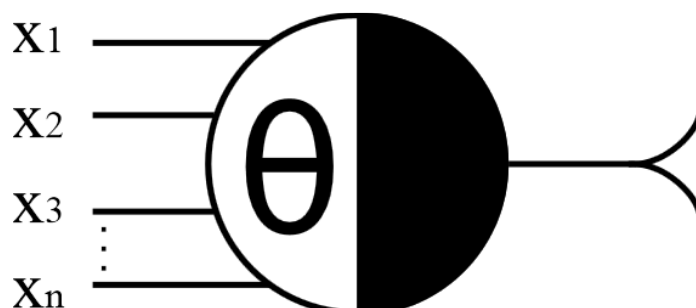


Historia



Nacimiento de la I.A.

1943 Circuitos booleanos como modelos del cerebro
McCulloch & Pitts: “A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity.” Bulletin of Mathematical Biophysics, 5:115-133.



Threshold Logic Unit (TLU):
Primer modelo de neurona artificial





Nacimiento de la I.A.

1950 Test de Turing

Alan M. Turing: "Computing Machinery and Intelligence",
Mind LIX 236:433–460, doi:10.1093/mind/LIX.236.433

Conducta inteligente

Capacidad de lograr eficiencia a nivel humano en todas las actividades de tipo cognoscitivo, suficiente para engañar a un evaluador humano



Nacimiento de la I.A.

1956 "Inteligencia Artificial"

Dartmouth Summer Research Conference on Artificial Intelligence
(John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester, Claude Shannon,
Ray Solomonoff, Oliver Selfridge, Trenchard More, Arthur Samuel,
Herbert Simon & Allen Newell)

Conjetura inicial

"Every aspect of learning or any other feature of intelligence can be so precisely described that a machine can be made to simulate it."

<http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html>



Historia



Primeros éxitos

Años 50: Primeros programas con IA

Juego de damas, 1952

Arthur Samuel, IBM

Poda α - β



Resolución de problemas:

Allen Newell, Herbert A. Simon & J. C. Shaw, RAND Corporation

- LT [Logic Theorist], 1955-1956
- GPS [General Problem Solver], 1959

Demostración de teoremas usando búsqueda heurística.



28

Historia



“Look, Ma, no hands!”

Principio de resolución, 1965

John Allan Robinson, Rice University

Algoritmo completo para razonamiento lógico

$$\frac{a \vee b, \neg a \vee c}{b \vee c}$$



29



Optimismo desbordado...

- Machines will be capable, within twenty years, of doing any work a man can do.
— Herbert Simon
- Within 10 years the problems of artificial intelligence will be substantially solved.
— Marvin Minsky
- I visualize a time when we will be to robots what dogs are to humans, and I'm rooting for the machines.
— Claude Shannon



... resultados decepcionantes

Traducción automática [Machine Translation]

The spirit is willing but the flesh is weak.



(Russian)



The vodka is good but the meat is rotten.

ALPAC report, 1966

Eliminación de la financiación gubernamental para sistemas MT





El invierno de la I.A.

- 1966 ALPAC report
(traducción automática)
- 1969 Marvin Minsky & Seymour Papert: "Perceptrons"
(abandono de modelos conexionistas,
la investigación en redes neuronales casi desaparece)
- 1973 Lighthill report
(investigación en IA en el Reino Unido)
- 1974 Decepción en DARPA con CMU
(programas de reconocimiento de voz)

Recortes de DARPA a la investigación en IA

http://en.wikipedia.org/wiki/AI_winter



Estudios sobre complejidad computacional

Años 70

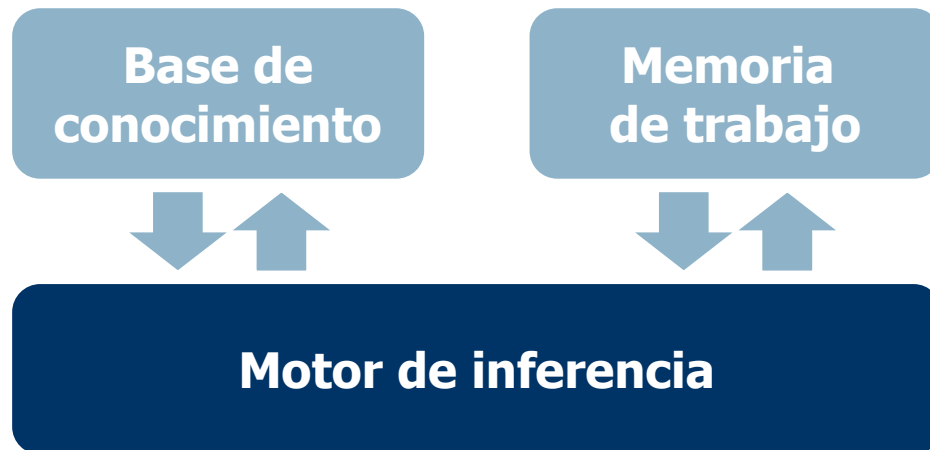
- Problemas NP-difíciles: Problemas que para resolverlos de forma exacta requieren realizar una búsqueda en un espacio de tamaño exponencial (nadie sabe cómo evitar esa búsqueda y no se espera que se consiga evitar).
- Todos los problemas de los que se ocupa la IA son NP-difíciles.
- Si tenemos un algoritmo que encuentra la solución de forma rápida y casi siempre correcta, podemos considerarlo "inteligente"
- **IA implica búsqueda sujeta a errores.**





Sistemas basados en el conocimiento

- Años 70: Primeros sistemas expertos
DENDRAL, MYCIN, PROSPECTOR, R1/XCON...
- Años 80: La industria de la I.A.
("boom" de los sistemas expertos)



Renacimiento de la I.A.

Años 80

- Modelo conexionista: "backpropagation", 1986
(las redes neuronales retoman su popularidad)
David E. Rumelhart, Geoffrey E. Hinton & Ronald J. Williams
"Learning representations by back-propagating errors"
Nature 323(6088):533–536, 1986. doi:[10.1038/323533a0](https://doi.org/10.1038/323533a0)
- SAT solvers
(problemas de satisfacción de restricciones)
- Modelos ocultos de Markov
(procesamiento del lenguaje natural)





I.A. moderna

Desde los años 90

- Knowledge Discovery & Data Mining
KDD workshop, Detroit, MI, August 20th, 1989.
- "Business rule engines"
(versión moderna de los sistemas expertos de los 80)
- Técnicas estadísticas (aprendizaje bajo incertidumbre)
- Agentes inteligentes



Inteligencia Computacional



Métodos tradicionales de IA (IA clásica/simbólica)

- Representan los estados del un sistema mediante símbolos y construyen un conjunto de reglas para describir las transiciones entre dichos estados.
- La base de conocimiento se enriquece con un gran número de reglas.

Limitaciones del enfoque simbólico

- Deficiencias del sistema de razonamiento.
- Degradación del rendimiento del sistema.
- Expectativas incumplidas y problemas sin resolver





A finales de los 80...

- Los ordenadores permiten el aprendizaje no simbólico.
- Simulación de procesos biológicos.
- Importancia creciente de los datos (disponibles de forma masiva)

Aparece la idea de **Inteligencia Computacional** basada en el manejo de datos más que de símbolos



El comportamiento "inteligente" surge de...

- El procesamiento de grandes cantidades de datos de forma masiva y paralela.
- El aprendizaje y la "evolución" para adaptarse mejor a los objetivos de un problema particular.
- El manejo robusto de datos con ruido y/o incertidumbre no aleatoria.
- La configuración automática en redes y la reconfiguración automática cuando parte del sistema se ha dañado o destruido.
- Un alto grado de autonomía.





Muchos organismos, incluyendo el ser humano, presentan las capacidades anteriores.

Por este motivo han servido de fuente de inspiración para desarrollar técnicas y algoritmos mas eficientes: emerge como disciplina la **Inteligencia Computacional**.



Enfoques inspirados en la Naturaleza

Desde los años 60 (incluso antes)

- Modelos y técnicas de aprendizaje automático como las **redes neuronales**.
- Modelos para la representación del conocimiento ambiguo y la imitación de los procesos de pensamiento con información vaga e imprecisa mediante la **lógica difusa**.
- Técnicas y algoritmos inspirados en los mecanismos de la evolución biológica (**computación evolutiva**), en el comportamiento de los enjambre de organismos sociales (**inteligencia de enjambres**), en el comportamiento del sistema inmune...



Inteligencia Computacional



- La IC se ocupa de la teoría, el diseño, el desarrollo y las aplicaciones de paradigmas computacionales motivados lingüística y biológicamente, poniendo énfasis en las redes neuronales, la computación evolutiva, los sistemas difusos y los sistemas inteligentes híbridos.
- La IC estudia problemas para los que no hay algoritmos efectivos, bien porque no es posible formularlos o porque requieren un esfuerzo que los hace inviables (p.ej. tiempos de ejecución exponenciales)
- En contraste con la IA clásica, centrada en llevar el conocimiento experto al ordenador, la IC se basa en explotar los datos disponibles.



Inteligencia Computacional



Paradigmas de la Inteligencia Computacional

Diversas propuestas que pueden incluirse en IC:

- Redes neuronales artificiales (a.k.a. deep learning)
- Computación evolutiva (e.g. algoritmos genéticos)
- Inteligencia de enjambres
- Sistemas inmunes artificiales
- Sistemas difusos
- Métodos probabilísticos





Paradigmas de la Inteligencia Computacional

Cada paradigma se inspira en algún sistema natural:

- ANN: Sistema neurológico.
- EC: Evolución natural.
- SI: Comportamiento de los animales sociales.
- AIS: Sistema inmune (humano).
- FS: Forma en que los humanos interactúan entre sí.
- ML: Técnicas de aprendizaje.



IC vs. IA clásica

- **Fuente de conocimiento:** Representación del conocimiento de los expertos (IA) vs. Extracción del conocimiento a partir de los datos disponibles (IC)
- **Mecanismos de procesamiento:** Métodos de razonamiento simbólico (IA) vs. Métodos numéricos de procesamiento de datos (IC).
- **Interacción con el entorno:** Entorno controlado, ajustado a las soluciones conocidas representadas por bases de conocimiento estáticas (IA) vs. Utilización de cualquier dato para aprender del entorno y adaptarse a él (IC).



Capacidades de la I.A.



¿Qué puede hacer actualmente la I.A.?

- ✓ ¿Jugar al ping-pong?
- ✓ ¿Conducir un vehículo por una carretera montañosa?
- ◇ ¿Conducir un vehículo por el centro de Granada?
- ✓ ¿Hacer la compra semanal por Internet?
- ✗ ¿Hacer la compra en un mercadillo?
- ✗ ¿Conversar con una persona durante una hora?
- ◇ ¿Realizar una operación quirúrgica?
- ✓ ¿Recoger los platos y doblar la ropa?
- ✓ ¿Jugar al 50x15 en España / Jeopardy! en USA?
- ✓ ¿Traducir un idioma hablado en tiempo real?
- ✗ ¿Escribir, a propósito, una historia divertida?



Capacidades de la I.A.

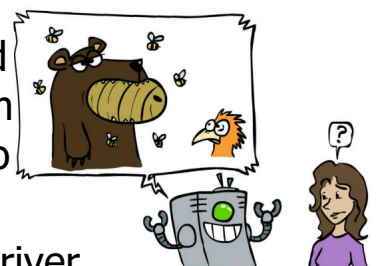


¿Creatividad? Historias "divertidas" (sin querer)

TALE-SPIN System, James Meehan, UC Irvine, 1976

http://en.wikipedia.org/wiki/Computational_creativity

- One day Joe Bear was hungry. He asked his friend Irving Bird where some honey was. Irving told him there was a beehive in the oak tree. Joe walked to the oak tree. He ate the beehive. The End.
- Henry Squirrel was thirsty. He walked over to the river bank where his good friend Bill Bird was sitting. Henry slipped and fell in the river. Gravity drowned. The End.
- Once upon a time there was a dishonest fox and a vain crow. One day the crow was sitting in his tree, holding a piece of cheese in his mouth. He noticed that he was holding the piece of cheese. He became hungry, and swallowed the cheese. The fox walked over to the crow. The End.



Berkeley CS188



Capacidades de la I.A.



¿Creatividad? ¿Alguna mejora?

Agentes conversacionales



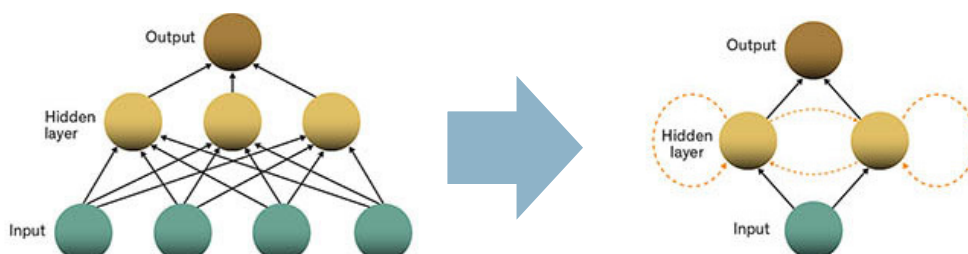
Capacidades de la I.A.



¿Creatividad? Redes neuronales recurrentes, 2016

<http://spectrum.ieee.org/computing/software/the-neural-network-that-remembers>

- "On tap at the brewpub. A nice dark red color with a nice head that left a lot of lace on the glass. Aroma is of raspberries and chocolate. Not much depth to speak of despite consisting of raspberries. The bourbon is pretty subtle as well. I really don't know that find a flavor this beer tastes like. I would prefer a little more carbonization to come through. It's pretty drinkable, but I wouldn't mind if this beer was available."
-- Review for a "fruit/vegetable beer".



Capacidades de la I.A.



RoboCup



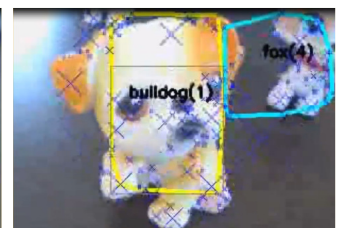
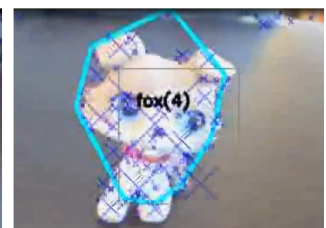
Aplicaciones



Visión artificial



Terminator @ 1984
(ciencia-ficción)

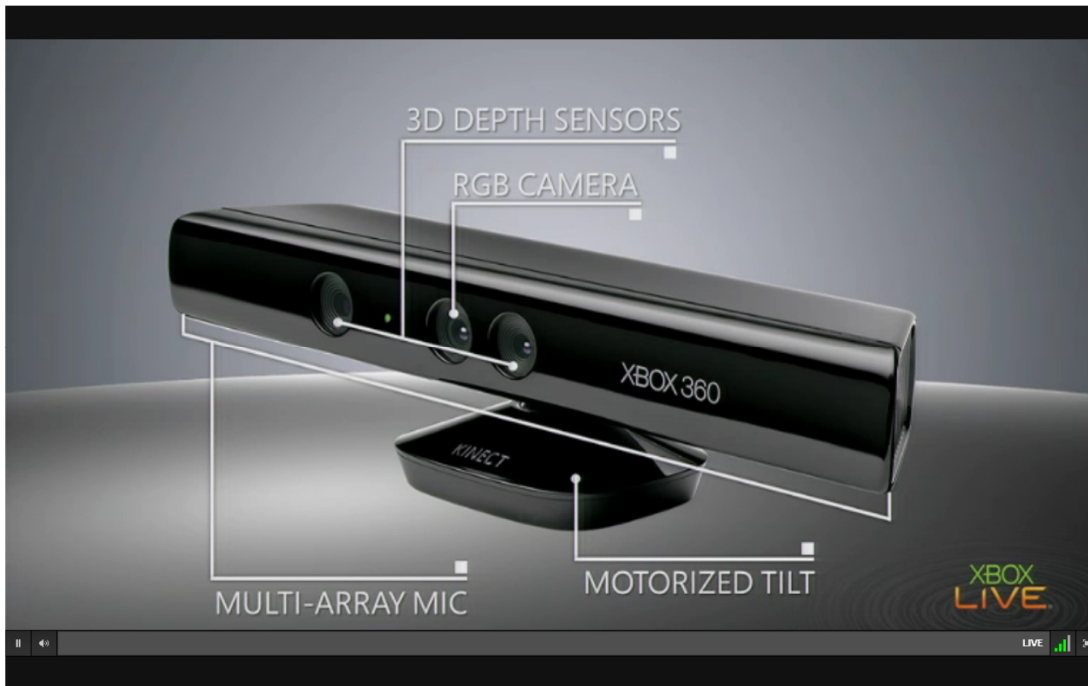


Reconocimiento de objetos
(realidad)

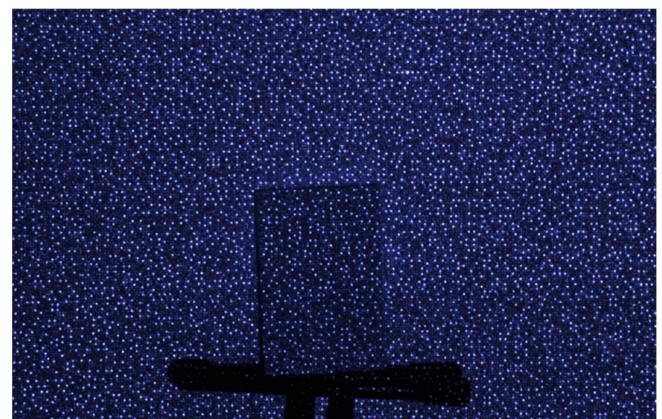
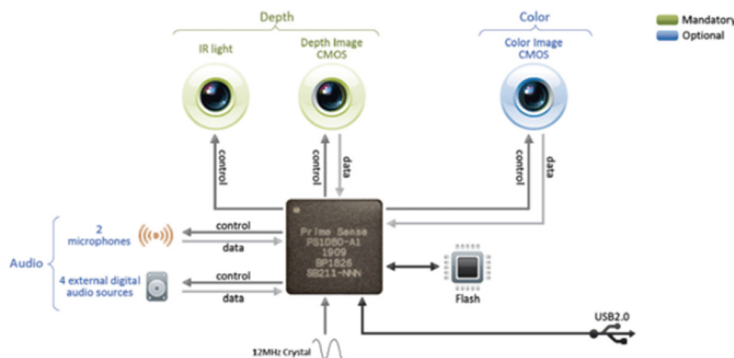




Visión artificial: Microsoft Kinect, 2010



Visión artificial 2010 Microsoft Kinect 2009 Project Natal



“Image-based 3D reconstruction”

Depth sensor = infrared projector (laser)

+ monochrome camera (CMOS)



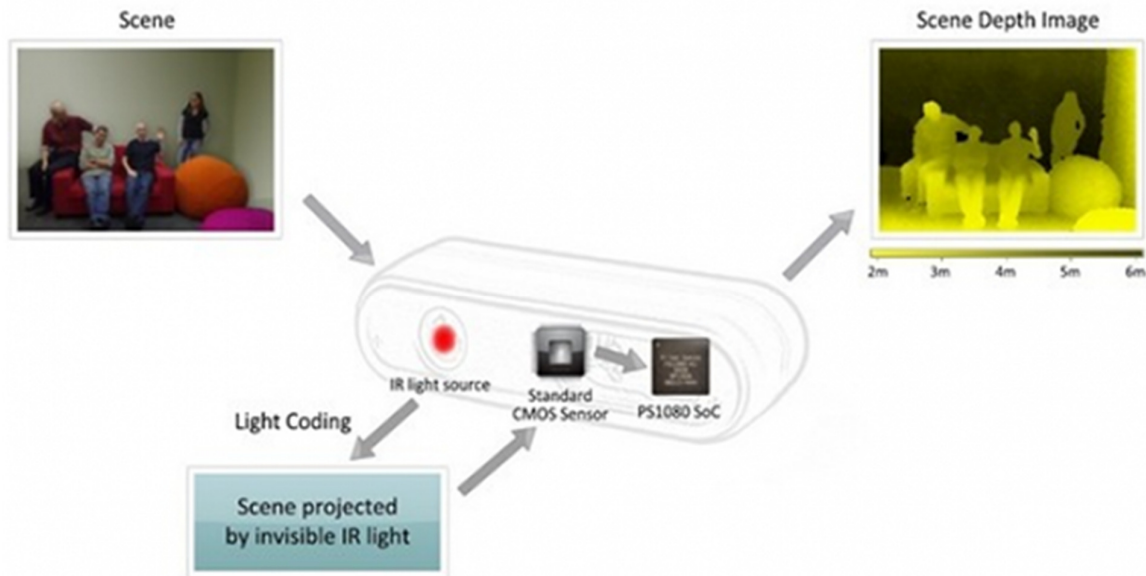
Aplicaciones



Visión artificial

2010 Microsoft Kinect

2009 Project Natal



Aplicaciones



Reconocimiento de voz



Android Voice Search



KINECT™
for XBOX 360.

Kinect (mic array)



Aplicaciones



Vehículos autónomos



Stanley — 2005 DARPA Grand Challenge Winner



Aplicaciones



Vehículos autónomos

2005 Stanley (DARPA Grand Challenge)

2007 Junior (DARPA Urban Challenge)

2010 Google driverless car



Sensores

Toyota Prius

- GPS: Google Street View
- Cámara de vídeo (parabrisas): Semáforos y obstáculos móviles
- LIDAR [Light Detection And Ranging]: Mapa 3D del entorno
- Radares (3 frontales, 1 trasero): Distancias a objetos lejanos
- Sensor de posición (rueda trasera): Pequeños movimientos



Aplicaciones



Vehículos autónomos

LIDAR



Aplicaciones



Vehículos autónomos

2005 Stanley (DARPA Grand Challenge)

2007 Junior (DARPA Urban Challenge)

2010 Google driverless car



Software

- **Localización** GPS + histogram/Kalman/particle filters
- **Navegación** A*, programación dinámica
- **Control** PID



Aplicaciones



Vehículos autónomos

Google (2015)

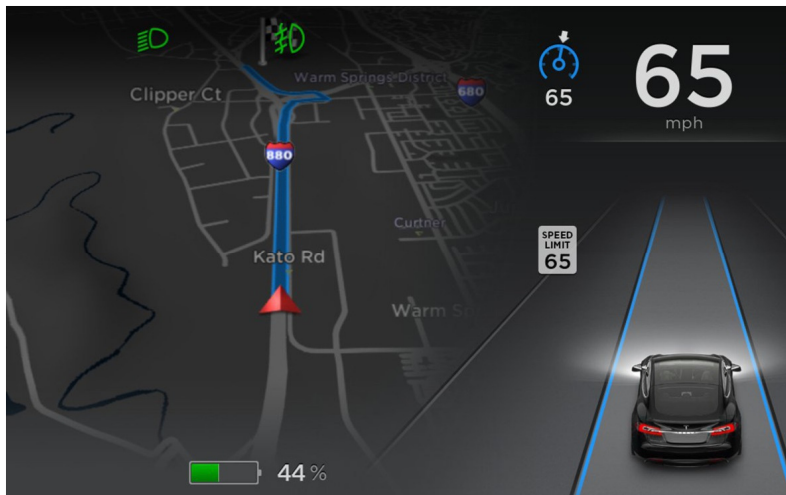


Aplicaciones



Vehículos autónomos

Tesla (2015)



Avg. Wh/mi
292

P R N D





Vehículos autónomos

MARTY (Stanford, 2015)



"... a vintage 1981 DeLorean ...
for researching the physical limits of autonomous driving."

<http://news.stanford.edu/news/2015/october/marty-autonomous-delorean-102015>



Cada paradigma de IC es especialmente adecuado para un conjunto de áreas de aplicación:

- **Redes neuronales:** aprendizaje automático, memorias asociativas, sistemas de control...
- **Computación evolutiva:** optimización, programación automática, vida artificial...
- **Lógica difusa:** sistemas expertos, sistemas de ayuda a la decisión, sistemas de control...

Ciertas aplicaciones pueden ser abordables desde distintos paradigmas, que pueden combinarse para conseguir mejores resultados (p.ej. sistemas neurodifusos o neuroevolución).





- Desarrollar sistemas de representación, almacenamiento y recuperación del conocimiento cada vez más próximos al cerebro humano.
- Desarrollar sistemas capaces de evolucionar, autoevaluarse y mejorar de forma autónoma.
- Mejorar las plataformas de computo dotándolas de mayor capacidad y velocidad de procesamiento de datos (¿computadoras de ADN? ¿computación cuántica?).



Acercarnos mediante sistemas computacionales a:

- La capacidad de los seres biológicos para realizar tareas complejas.
- La capacidad del ser humano para razonar, conversar, tomar decisiones... a partir de información imprecisa, incierta e incompleta.



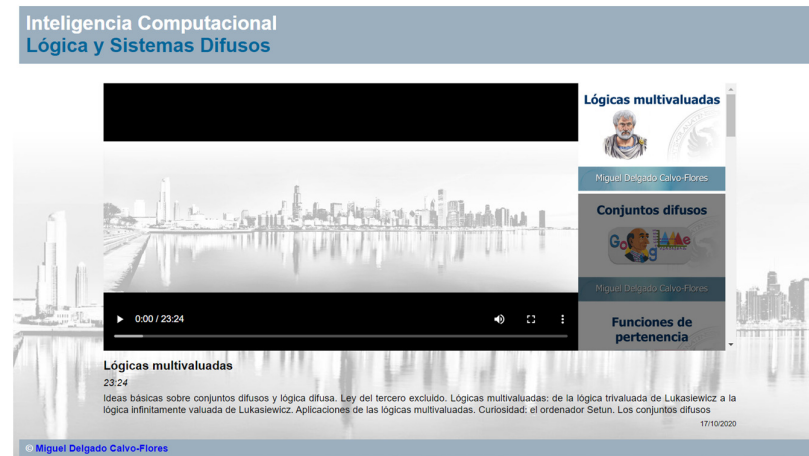
Bibliografía



Miguel Delgado:

Apuntes de Inteligencia Computacional

Universidad de Granada, hasta el curso 2021/2022



Sesiones grabadas en vídeo, curso 2020/2021:

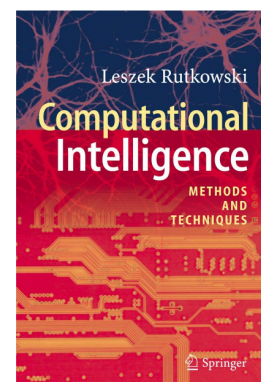
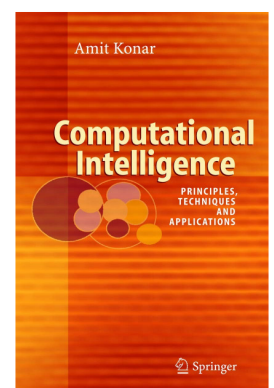
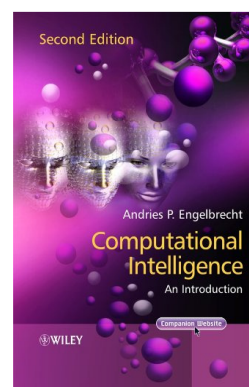
<https://elvex.ugr.es/decsai/computational-intelligence/video/fuzzy/>



Bibliografía



- Andries P. Engelbrecht:
Computational Intelligence. An Introduction,
2nd edition, John Wiley, 2007.
ISBN 0470035617.
- Amit Konar:
Computational Intelligence. Principles, Techniques and Applications,
Springer Verlag, 2005.
ISBN 3540208984.
- Leszek Rutkowski:
Computational Intelligence. Methods and Techniques,
Springer Verlag, 2008.
ISBN 3540762876.

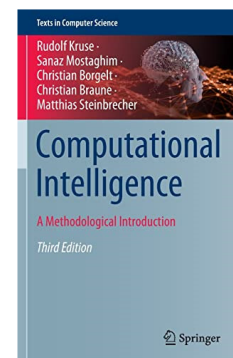
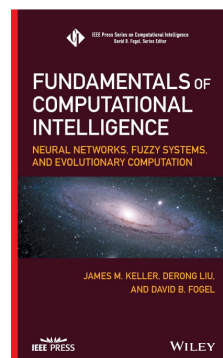


Bibliografía complementaria



Inteligencia Computacional

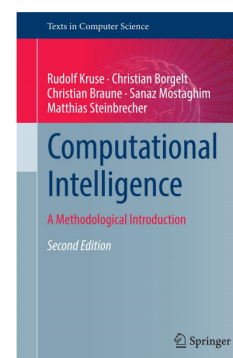
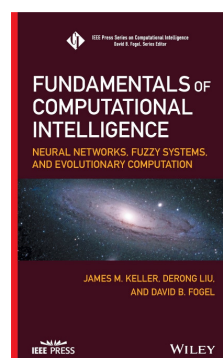
- James M. Keller, Derong Liu & David B. Fogel:
Fundamentals of Computational Intelligence: Neural Networks, Fuzzy Systems, and Evolutionary Computation, Wiley - IEEE Press, 2016. ISBN 1119214343
- Rudolf Kruse, Christian Borgelt, Christian Braune, Sanaz Mostaghim, Matthias Steinbrecher, Frank Klawonn & Christian Moewes: **Computational Intelligence: A Methodological Introduction**. Springer, 3rd edition, 2022. ISBN 3030422267



Bibliografía



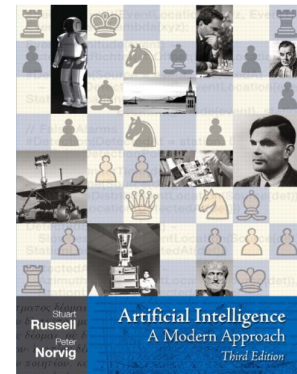
- James M. Keller, Derong Liu & David B. Fogel:
Fundamentals of Computational Intelligence: Neural Networks, Fuzzy Systems, and Evolutionary Computation, Wiley - IEEE Press, 2016. ISBN 1119214343
- Rudolf Kruse, Christian Borgelt, Christian Braune, Sanaz Mostaghim, Matthias Steinbrecher, Frank Klawonn & Christian Moewes: **Computational Intelligence: A Methodological Introduction**. Springer, 2nd edition, 2016. ISBN 1447172949



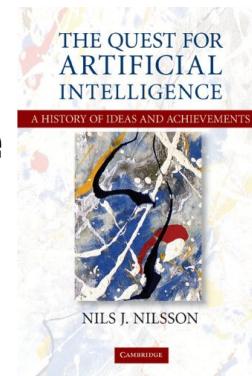
Bibliografía complementaria



- Stuart Russell & Peter Norvig:
**Artificial Intelligence:
A Modern Approach**
Prentice-Hall, 3rd edition, 2009
ISBN 0136042597
<http://aima.cs.berkeley.edu/>



- Nils J. Nilsson
The Quest for Artificial Intelligence
Cambridge University Press, 2009
ISBN 0521122937
<http://ai.stanford.edu/~nilsson/QAI/qai.pdf>



Bibliografía complementaria



- Elaine Rich & Kevin Knight: **Artificial Intelligence.** McGraw-Hill, 1991.
- Patrick Henry Winston: **Artificial Intelligence.** Addison-Wesley, 1992.
- Nils J. Nilsson: **Principles of Artificial Intelligence.** Morgan Kaufmann, 1986.
- Daniel Jurafsky & James H. Martin: **Speech and Language Processing.** Prentice Hall, 2008.
- Yoav Shoham & Kevin Leyton-Brown: **Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations.** Cambridge University Press, 2008.



Bibliografía complementaria



- Howard Gardner: **Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences**
Basic Books, 1st edition, 1983. ISBN 0133306143
Basic Books, 3rd edition, 2011. ISBN 0465024335
- Howard Gardner: **Intelligence Reframed: Multiple Intelligences for the 21st Century**
Basic Books, 1999. ISBN 0465026109

