



DECSAI

Departamento de Ciencias de la Computación e I.A.

Universidad de Granada



Redes Neuronales – Aplicaciones

Fernando Berzal, berzal@acm.org

Aplicaciones



¿Para qué sirven...

- ... las técnicas de aprendizaje automático?
- ... la inteligencia computacional?
- ... las redes neuronales artificiales?

**Existen problemas para los que es
extremadamente difícil desarrollar manualmente
un programa de ordenador que los resuelva.**



Aplicaciones



Ejemplos: Visión artificial

Reconocer un objeto tridimensional dentro de una escena, de la que tenemos un punto de vista nuevo, con condiciones de iluminación cambiantes...



[Terminator, 1984]



Aplicaciones



Ejemplos: Visión artificial

De hecho, el reconocimiento de objetos...

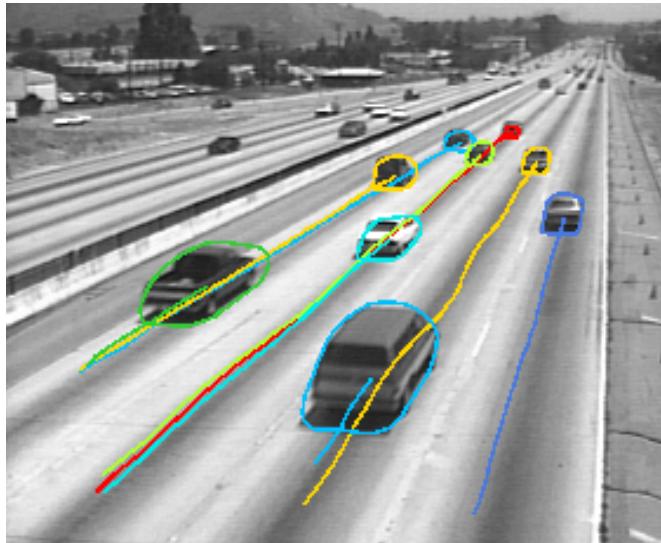
- Ni siquiera sabemos cómo se hace realmente en nuestro cerebro (por lo que difícilmente podremos diseñar un algoritmo que haga exactamente lo mismo).
- Incluso aunque tuviésemos una idea más precisa de cómo se hace en nuestro cerebro, el programa necesario podría ser tremadamente complicado :-(



Aplicaciones



Ejemplos: Visión artificial...



UC Berkeley project, funded by Caltrans, 1994



Aplicaciones



Ejemplos: Vehículos autónomos



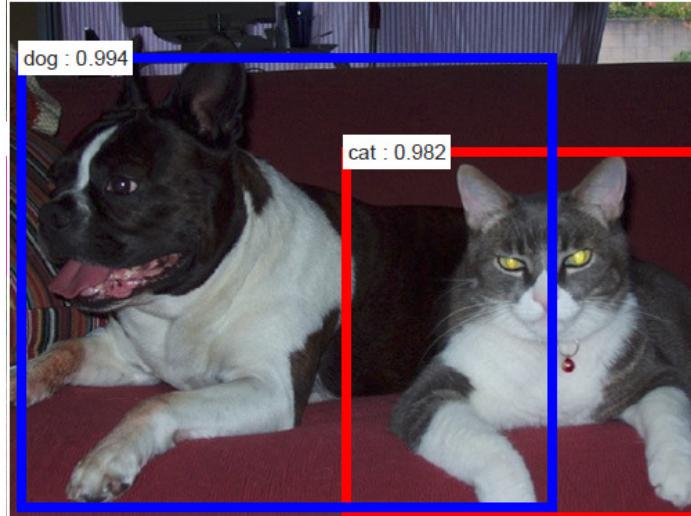
Autonomous Land Vehicle In a Neural Network (ALVINN)
NAVigational LABoratory II (NAVLAB II)
Control de dirección de un vehículo, CMU Ph.D. thesis, 1992



Aplicaciones



Ejemplos: Visión artificial...



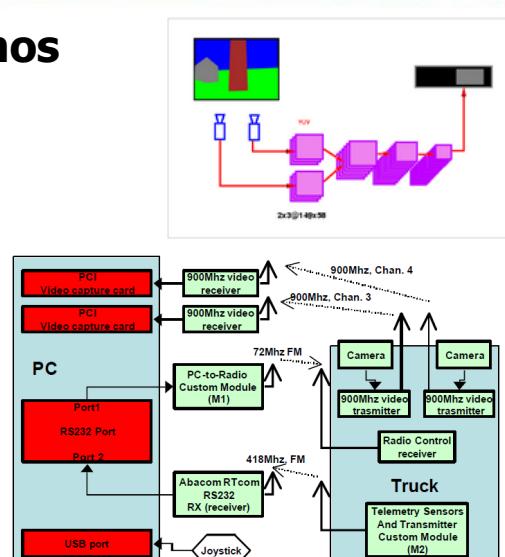
Detección de objetos usando redes convolutivas, 2017



Aplicaciones



Ejemplos: Vehículos autónomos



DAVE, 2004

Autonomous Off-Road Vehicle Control using End-to-End Learning

NYU Courant Institute / CBLL [Computational & Biological Learning Lab]

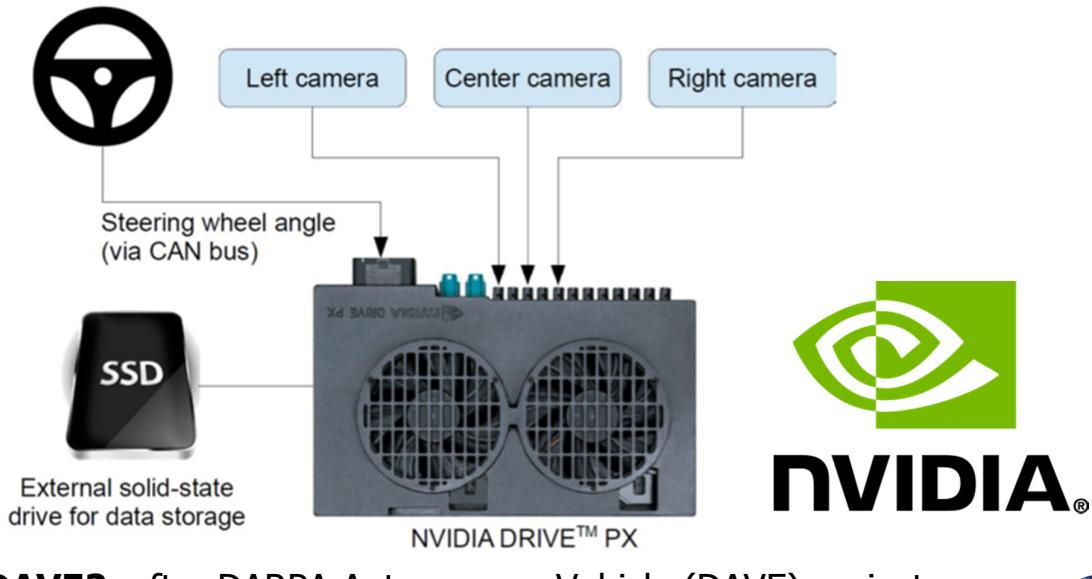
<http://www.cs.nyu.edu/~yann/research/dave/>



Aplicaciones



Ejemplos: Vehículos autónomos



DAVE2, after DARPA Autonomous Vehicle (DAVE) project

NVIDIA, 2016. <http://arxiv.org/abs/1604.07316>

Completamente autónomo con sólo 100 horas de entrenamiento!!!



Aplicaciones



Ejemplos: Detección de fraudes

Calcular la probabilidad con la que una transacción realizada con una tarjeta de crédito es fraudulenta...

- No existen reglas simples que sean fiables (hay que combinar múltiples reglas que no siempre indican la presencia de fraude).
- Los tipos de fraude van cambiando, por lo que el programa que los detecte debe ir evolucionando.



Aplicaciones



La solución

Aprendizaje automático / Inteligencia computacional / RNA

- En vez de diseñar un algoritmo que resuelva el problema, recopilamos un montón de datos (ejemplos).
- Diseñamos un algoritmo que aprenda de esos datos y cree el programa necesario para resolver el problema.



Aplicaciones



La solución

- El programa generado automáticamente no tiene por qué parecerse a un programa implementado manualmente (en el caso de las redes neuronales, puede contener millones de números reales).
- Si tenemos éxito, el programa funcionará bien para nuevos ejemplos, aunque sean diferentes a los que utilizamos para su entrenamiento.
- Si los datos cambian, el programa puede cambiar entrenándolo de nuevo.



Aplicaciones



Más ejemplos

Tareas que se resuelven con éxito usando ML/CI/ANN

- Reconocimiento de patrones

- Reconocimiento de objetos en imágenes
- Reconocimiento facial
- Reconocimiento de voz

- Detección de anomalías

- Transacciones bancarias / tarjetas de crédito
- Sensores en sistemas de control (p.ej. centrales nucleares)
- Sistemas de detección de intrusiones

- Predicción

- Cotizaciones de acciones / cambios de divisa
- Sistemas de recomendación (películas, libros...)



Aplicaciones



The MNIST database of handwritten digits

<http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>

7	9	6	5	8	7	4	4	1	0
0	7	3	3	2	4	8	4	5	1
6	6	3	2	9	1	3	3	2	6
1	3	7	1	5	6	5	2	4	4
7	0	9	2	7	5	8	9	5	4
4	6	6	5	0	2	1	3	6	9
8	5	1	8	9	7	8	7	3	6
1	0	2	8	2	3	0	5	1	5
6	7	8	2	5	3	9	7	0	0
7	9	3	9	8	5	7	2	9	8



Aplicaciones



The MNIST database of handwritten digits

<http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>

- Benchmark estándar.

2	9	6	1	3
3	9	4	0	3
6	9	4	1	9
9	5	0	8	5
8	8	3	5	0

- Usaremos esta base de datos en prácticas para probar distintos algoritmos de aprendizaje y diferentes tipos de redes neuronales.



Aplicaciones



The MNIST database of handwritten digits

<http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>

0 0 0 1 1 1 1 1 2
2 2 2 2 2 2 2 3 3
3 4 4 4 4 5 5 5
4 4 7 7 7 7 7 8 8
8 8 9 8 9 9 9 9

No siempre es tan fácil como puede parecer...



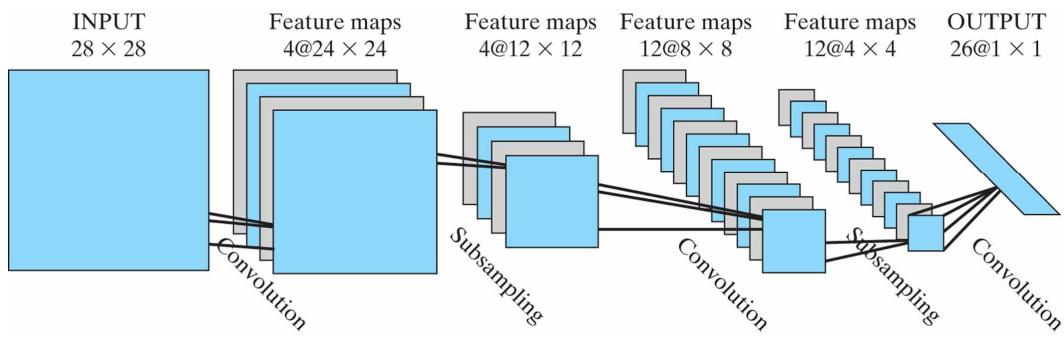
Aplicaciones



LeNet

<http://yann.lecun.com/exdb/lenet/>

Red neuronal con varias capas diseñada específicamente para reconocer dígitos y que, en su momento, se encargó de procesar automáticamente sobre el 10% de los cheques de EEUU.

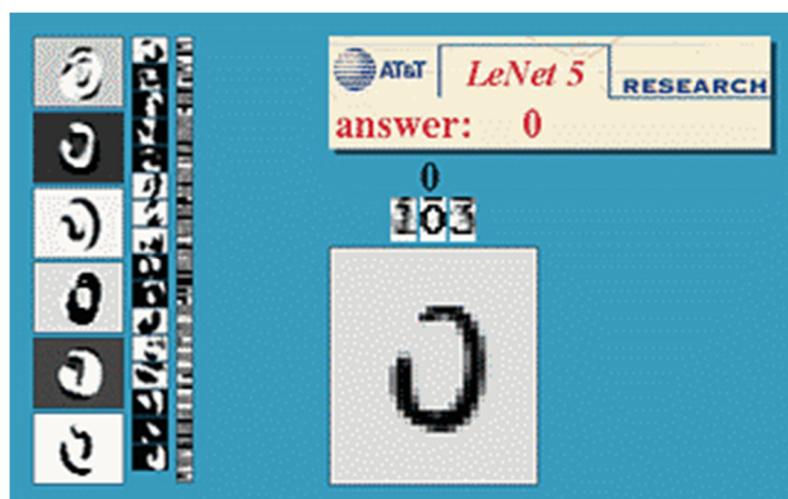


Aplicaciones



LeNet

<http://yann.lecun.com/exdb/lenet/>



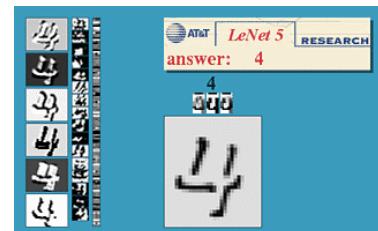
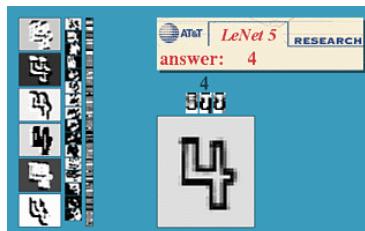
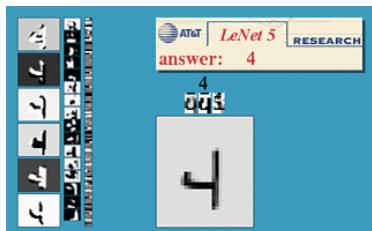
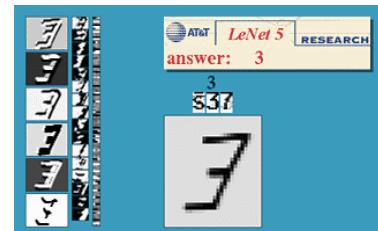
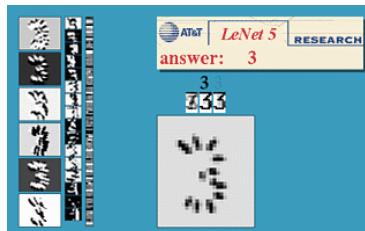
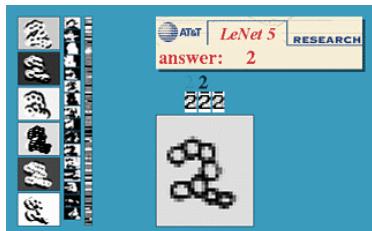
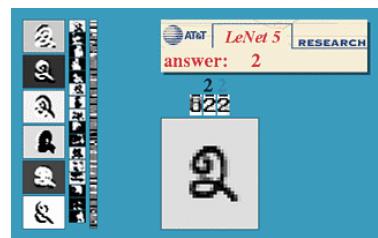
Aplicaciones



LeNet

<http://yann.lecun.com/exdb/lenet/>

Ejemplos



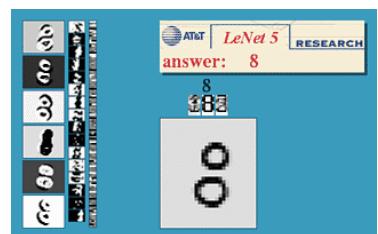
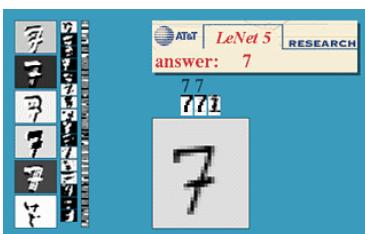
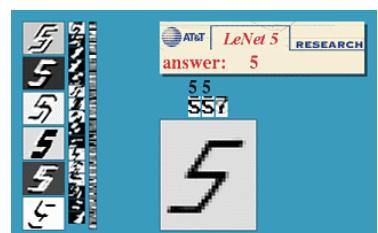
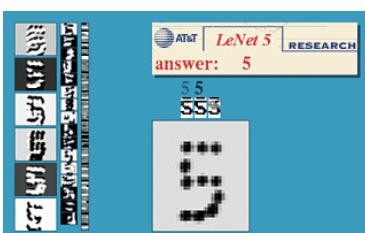
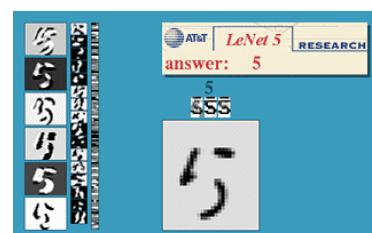
Aplicaciones



LeNet

<http://yann.lecun.com/exdb/lenet/>

Ejemplos



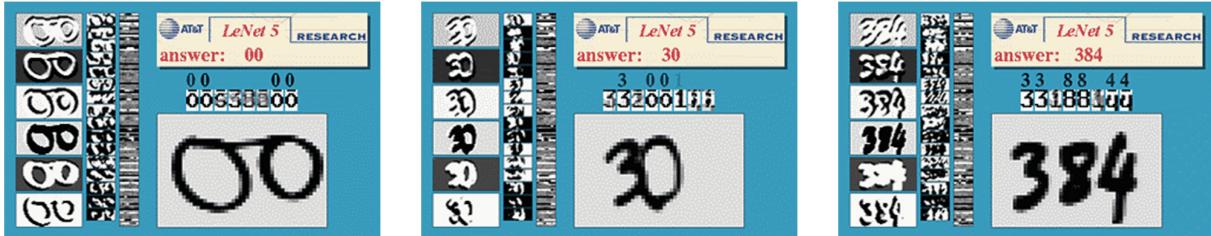
Aplicaciones



LeNet

<http://yann.lecun.com/exdb/lenet/>

Variaciones en los datos de entrada



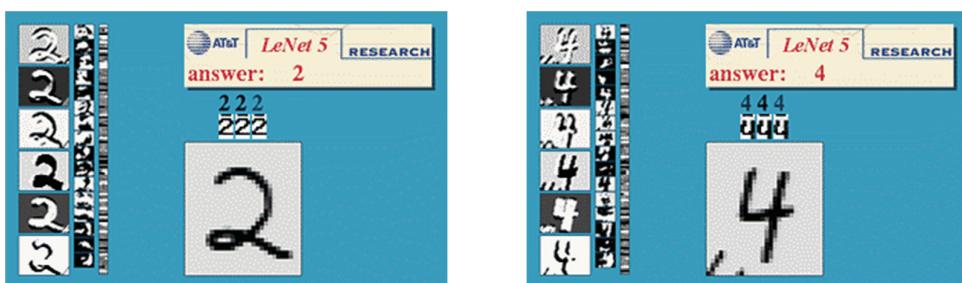
Aplicaciones



LeNet

<http://yann.lecun.com/exdb/lenet/>

Robustez frente a la presencia de ruido en la imagen...



Aplicaciones



LeNet

<http://yann.lecun.com/exdb/lenet/>

Casos curiosos



Aplicaciones



IMAGENET

Large Scale Visual Recognition Challenge

Reconocimiento de objetos reales en imágenes.

Mucho más difícil que OCR:

- Muchas más clases (1000 ImageNet vs. 10 MNIST).
- Más píxeles (256x256 color vs. 28x28 escala de grises)
- Vista bidimensional de una escena tridimensional.
- Múltiples objetos en la misma imagen.
- Solapamientos y desorden.



Aplicaciones



IM⁺GENET

Large Scale Visual Recognition Challenge

ILSVRC'2012: 1.2M imágenes, 1000 clases

Problemas planteados:

- **Clasificación:** Acertar la clase “correcta” (dentro de las cinco más probables).
- **Localización:** Identificar la zona de la imagen en la que se encuentra el objeto de interés (la región debe solaparse al menos al 50% con la zona correcta).



Aplicaciones



IM⁺GENET

Large Scale Visual Recognition Challenge

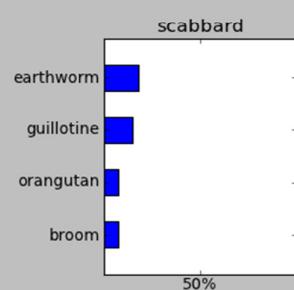
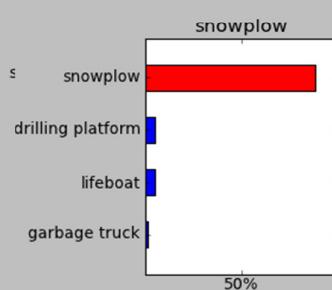
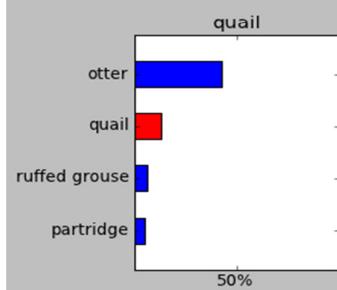


Aplicaciones



IMAGENET

Large Scale Visual Recognition Challenge

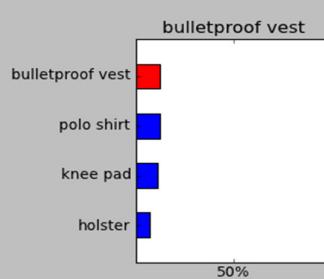
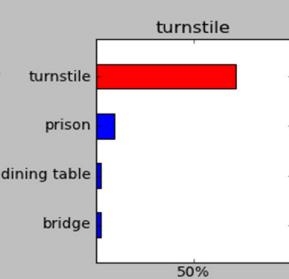
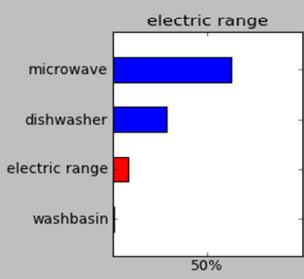


Aplicaciones



IMAGENET

Large Scale Visual Recognition Challenge

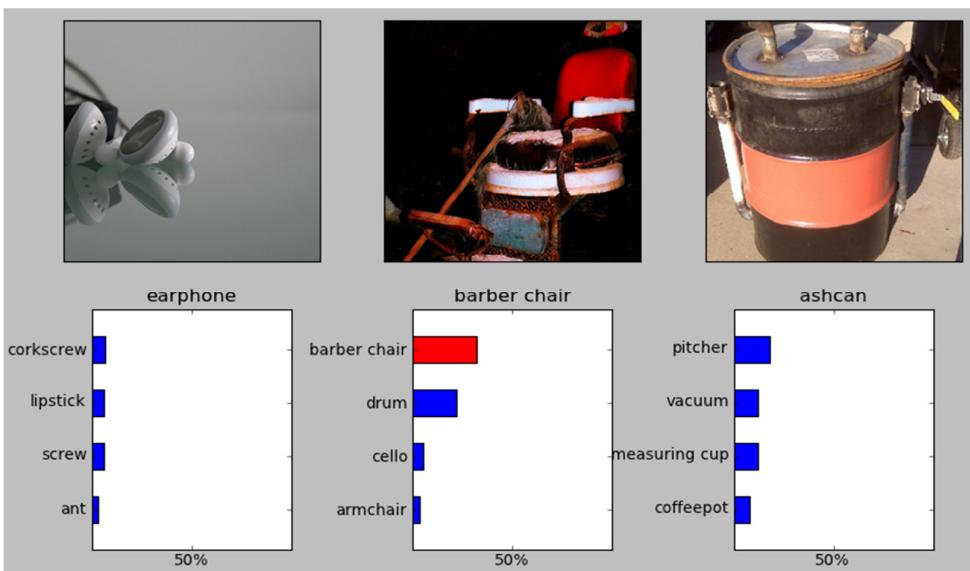


Aplicaciones



IMAGENET

Large Scale Visual Recognition Challenge



Aplicaciones

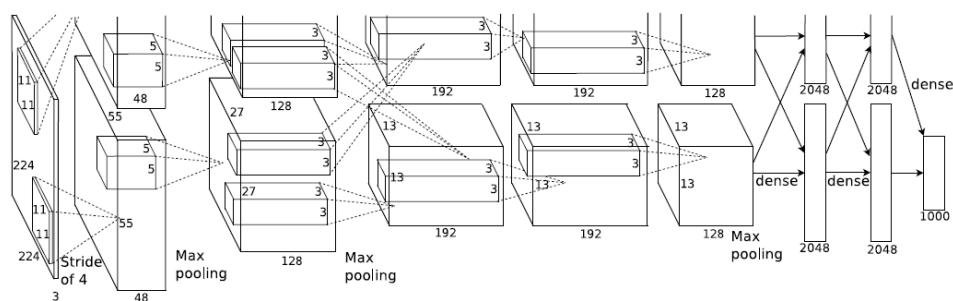


IMAGENET

Large Scale Visual Recognition Challenge

Red neuronal diseñada por Alex Krizhevsky (NIPS 2012)

- “Deep network” con topología compleja: 7 capas ocultas (las primeras convolutivas, las últimas completamente conectadas).



- Múltiples trucos para mejorar su capacidad de generalización (“image patches” & “dropout”).



Aplicaciones



IM²GENET

Large Scale Visual Recognition Challenge

Red neuronal diseñada por Alex Krizhevsky (NIPS 2012)

- Implementación usando 2 GPUs NVIDIA (procesadores SIMD con miles de núcleos y un ancho de banda muy alto con memoria, para acelerar la multiplicación de matrices y el tiempo de entrenamiento [1 semana]).



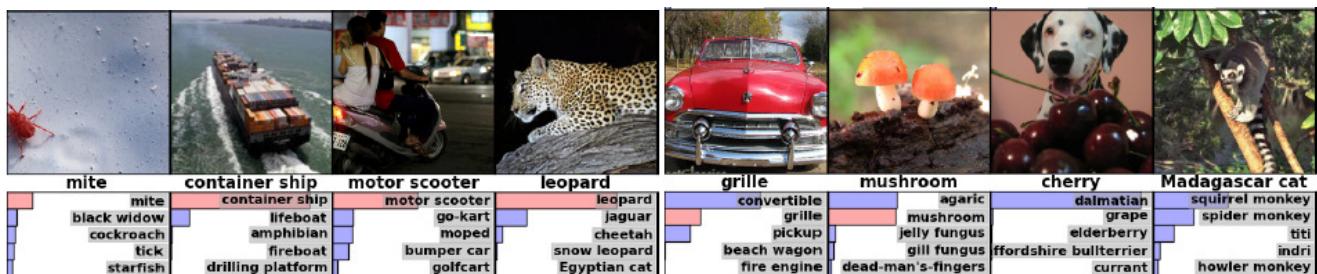
Aplicaciones



IM²GENET

Large Scale Visual Recognition Challenge

Red neuronal diseñada por Alex Krizhevsky (NIPS 2012)



Tasa de error

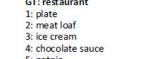
- Clasificación: **16.4%** vs. 25% (2010)
- Clasificación & localización: **34.1%**



Aplicaciones



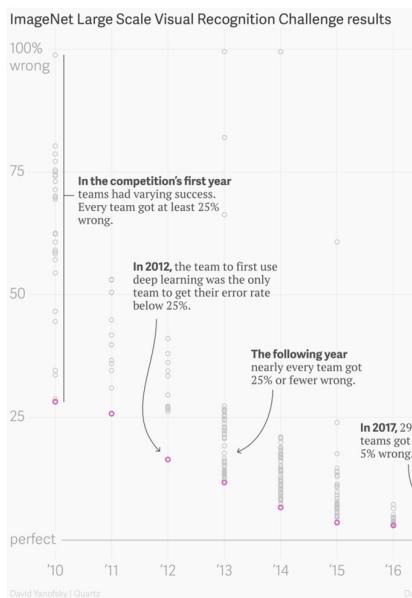
IMAGENET Large Scale Visual Recognition Challenge MSR'2015



Aplicaciones



IMAGENET Large Scale Visual Recognition Challenge



Tasa de error

16.4% Alex Krizhevsky @ NIPS 2012

6.66% GoogLeNet @ ILSVRC'2014

4.94% PreLU-nets (MSR) @ 2015

**"Delving Deep into Rectifiers:
Surpassing Human-Level Performance
on ImageNet Classification"**

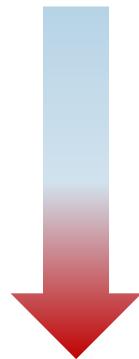
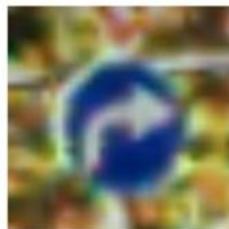
<http://arxiv.org/pdf/1502.01852v1.pdf>



Aplicaciones



¡OJO! No sólo se equivocan,
sino que se les puede engañar a propósito...



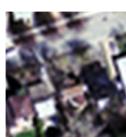
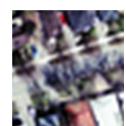
34

Aplicaciones



Detección de carreteras

- Se dispone de muchos datos ya etiquetados.
- Problemas prácticos:
 - Oclusiones (edificios, árboles, coches...)
 - Sombras y cambios de iluminación
 - Distintos puntos de vista (objetivos & subjetivos)
 - Errores en los mapas
- Las redes neuronales artificiales son “nuestra única esperanza”...



35

Aplicaciones



Detección de carreteras

Vlad Mnih (ICML 2012)

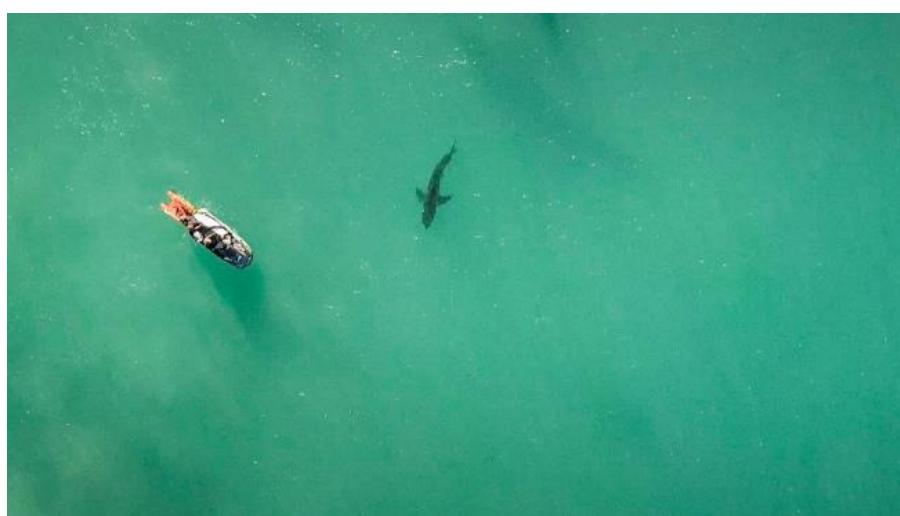


Aplicaciones



Detección de tiburones

SharkSpotter, Australia, 2017

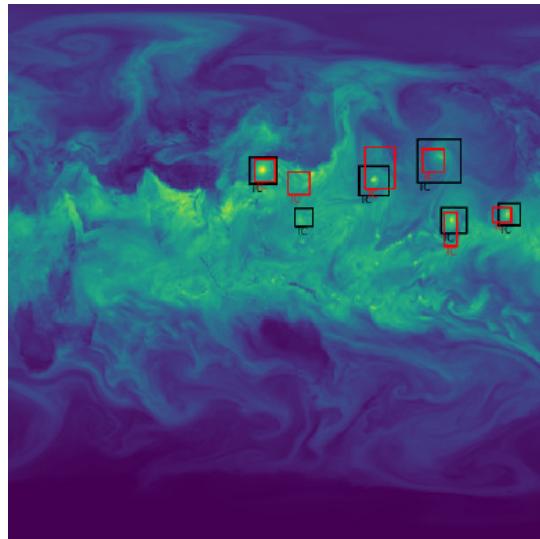


Aplicaciones



Observación meteorológica

Deep Learning at 15PF: Supervised and Semi-Supervised Classification for Scientific Data, 2017, arXiv:1708.05256



Aplicaciones



Geolocalización de imágenes

PlaNet

CNN 377MB

Mejor que los humanos en
<http://www.geoguessr.com/>



(a)



(b)



(c)

<http://arxiv.org/abs/1602.05314>



Aplicaciones



Compresión de imágenes



<http://www.piedpiper.com/>

Full Resolution Image Compression with Recurrent Neural Networks
arXiv, August 2016, <http://arxiv.org/abs/1608.05148>

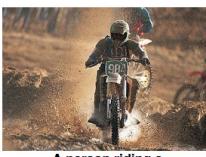


Aplicaciones



Descripción textual de imágenes

"Google's Brain-Inspired Software Describes What It Sees in Complex Images"
MIT Technology Review, November 2014

Describes without errors	Describes with minor errors	Somewhat related to the image	Unrelated to the image
 A person riding a motorcycle on a dirt road.	 Two dogs play in the grass.	 A skateboarder does a trick on a ramp.	 A dog is jumping to catch a frisbee.
 A group of young people playing a game of frisbee.	 Two hockey players are fighting over the puck.	 A little girl in a pink hat is blowing bubbles.	 A refrigerator filled with lots of food and drinks.
 A herd of elephants walking across a dry grass field.	 A close up of a cat laying on a couch.	 A red motorcycle parked on the side of the road.	 A yellow school bus parked in a parking lot.



Aplicaciones



Descripción textual de imágenes

“La inteligencia visual de un niño de 3 años...”

-- Fei-Fei Li (Stanford)



“man in black shirt is playing guitar.”



“construction worker in orange safety vest is working on road.”



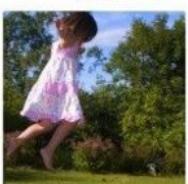
“two young girls are playing with legos toy.”



“boy is doing backflip on wakeboard.”



a young boy is holding a baseball bat.



“girl in pink dress is jumping in air.”



“black and white dog jumps over bar.”



“young girl in pink shirt is swinging on swing.”



“man in blue wetsuit is surfing on STANFORD UNIVERSITY

“The search for a thinking machine”

BBC News, 17 September 2015

<http://www.bbc.com/news/technology-32334573>



Aplicaciones



Microsoft
Common Objects in Context



Microsoft COCO Competition

<http://mscoco.org/>

ICCV'2015

Reconocimiento, segmentación y descripción textual de imágenes

- > 300 000 imágenes
- > 2M objetos
- 80 categorías
- 5 “captions” [leyendas] por imagen



Aplicaciones

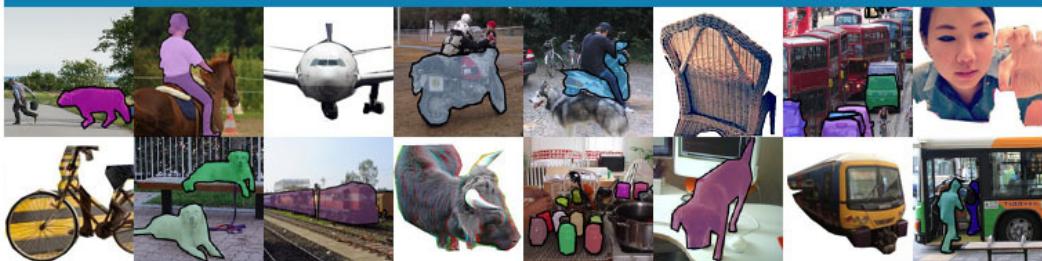


Microsoft COCO Competition

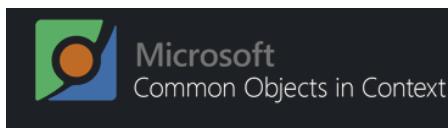
<http://mscoco.org/>

Reconocimiento, segmentación y descripción textual de imágenes

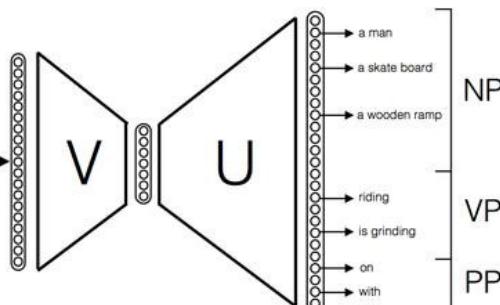
Dataset examples



Aplicaciones



A man in a helmet skateboarding before an audience.
Man riding on edge of an oval ramp with a skate board.
A man riding a skateboard up the side of a wooden ramp.
A man on a skateboard is doing a trick.
A man is grinding a ramp on a skateboard.



Rémi Lebret, Pedro O. Pinheiro & Ronan Collobert:

Phrase-based Image Captioning. ICML 2015:2085-2094

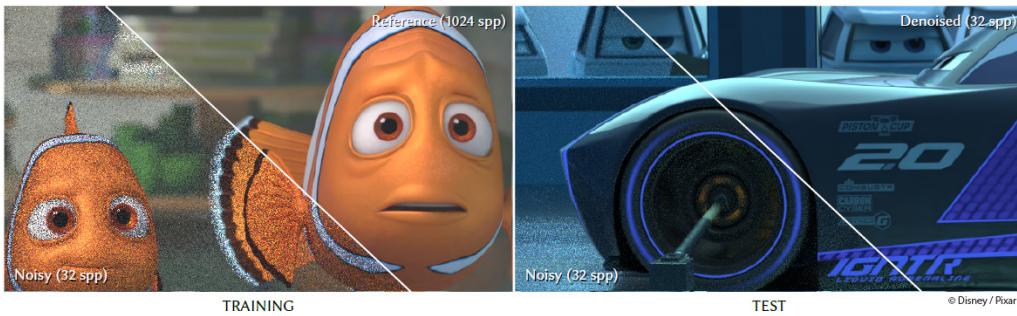
<http://jmlr.org/proceedings/papers/v37/lebret15.pdf>



Aplicaciones



Síntesis de imágenes
Eliminación de ruido
@ UCSB, Disney & Pixar



SIGGRAPH 2017

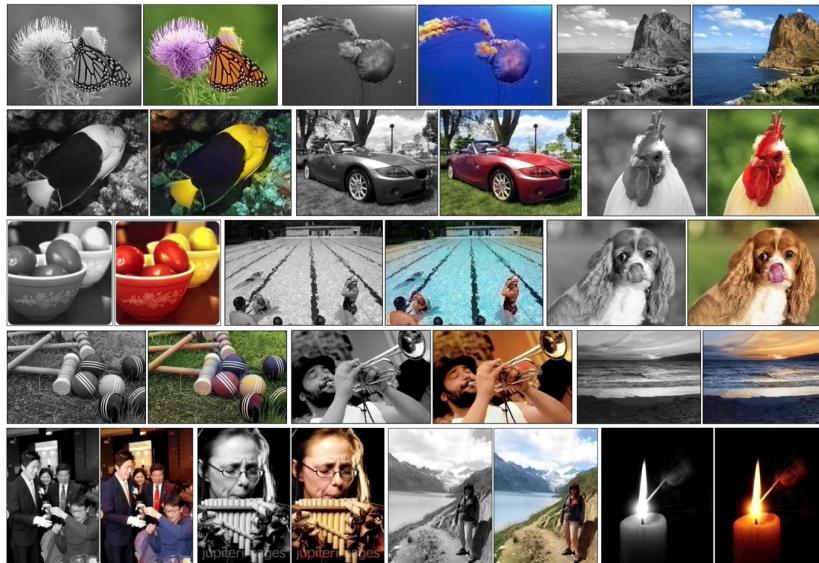
http://cvc.ucsb.edu/graphics/Papers/SIGGRAPH2017_KPCN/



Aplicaciones



Síntesis de imágenes
Coloreado de fotografías



ECCV 2016 <http://richzhang.github.io/colorization/>

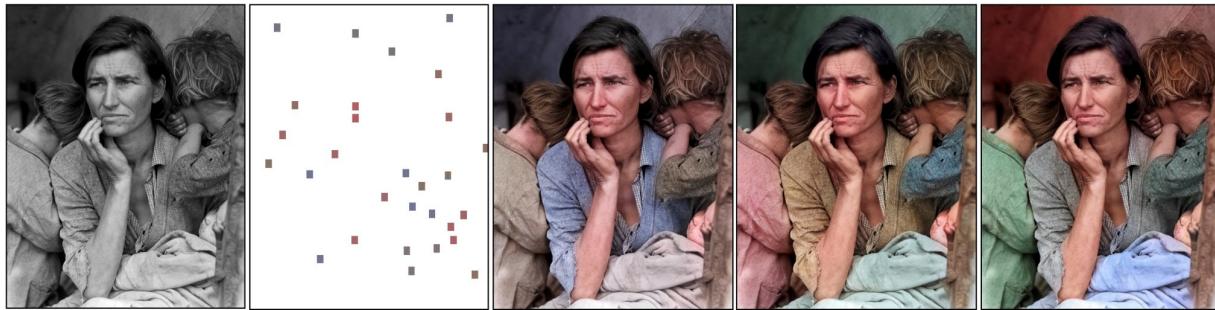


Aplicaciones



Síntesis de imágenes

Coloreado de fotografías interactivo



SIGGRAPH 2017

<https://richzhang.github.io/ideepcolor/>

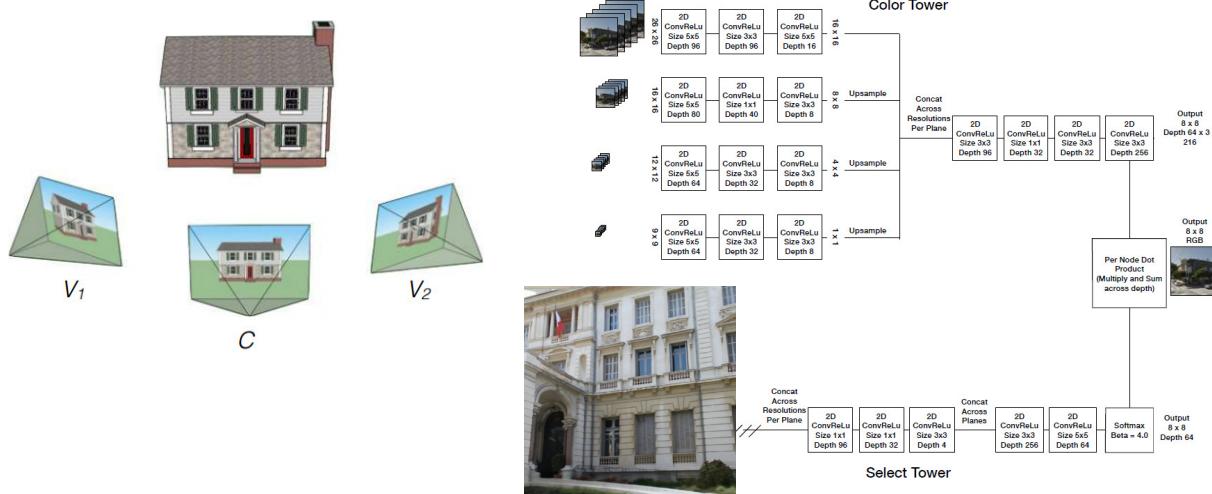


Aplicaciones



Síntesis de imágenes, e.g. Google Street View

Generación de nuevas perspectivas a partir de imágenes 2D



John Flynn, Ivan Neulander, James Philbin & Noah Snavely

DeepStereo: Learning to Predict New Views from the World's Imagery

CoRR, arXiv:1506.06825, June 2015.



Aplicaciones



Síntesis de imágenes: "Inceptionism"

Usando una red ya entrenada para reconocer objetos...

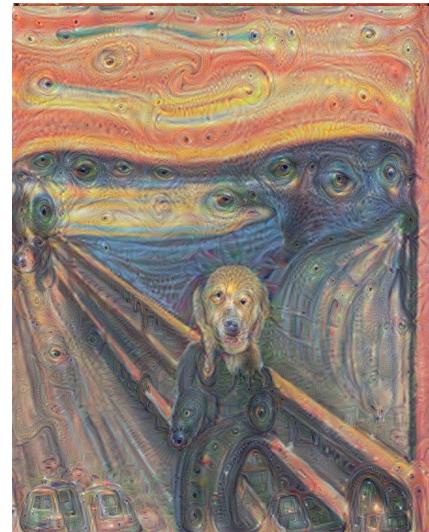
"El grito"

Edvard Munch

... visto por una red neuronal

<http://deepr dreamgenerator.com>

<https://github.com/google/deepr dream>



Aplicaciones



Síntesis de imágenes

... combinando fotografías con distintos estilos:

A



D



Leon A. Gatys, Alexander S. Ecker & Matthias Bethge:

A Neural Algorithm of Artistic Style

arXiv, 2015. <http://arxiv.org/abs/1508.06576>



Aplicaciones



Síntesis de imágenes

... combinando fotografías con distintos estilos:

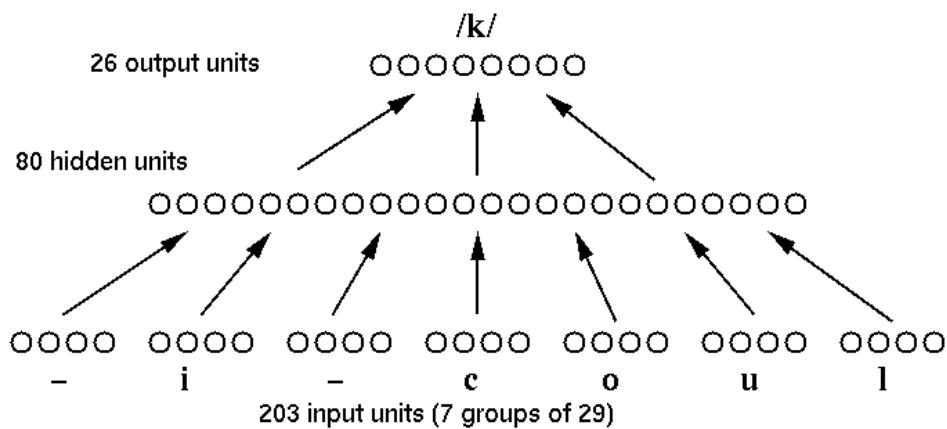


Aplicaciones



Síntesis de voz: NETtalk

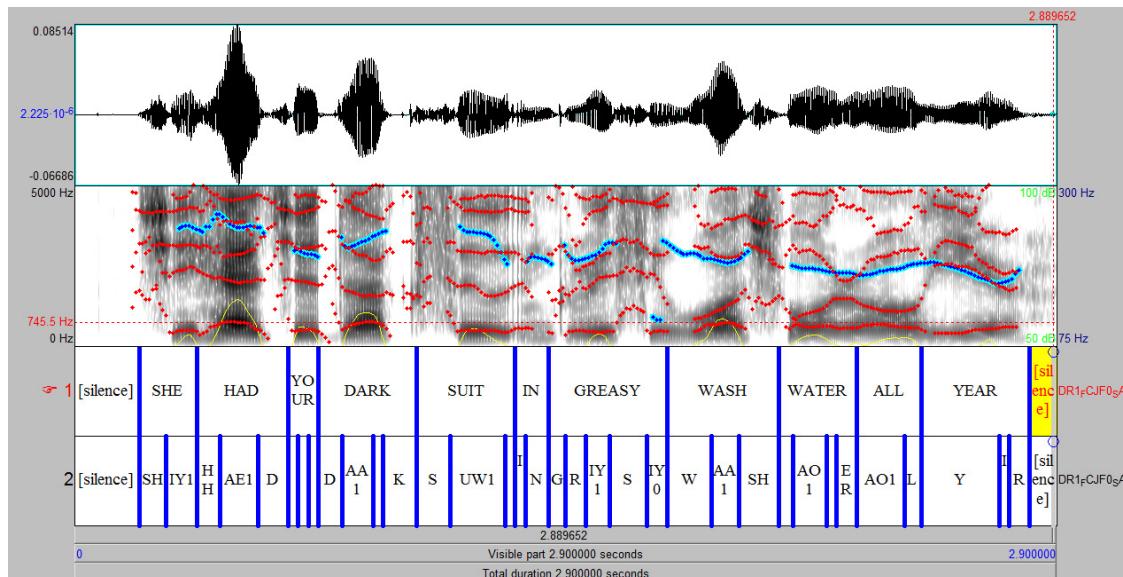
Terrence J. Sejnowski & Charles Rosenberg:
NETtalk: a parallel network that learns to read aloud,
Cognitive Science, 14, 179-211, 1986.



Aplicaciones



Reconocimiento de voz

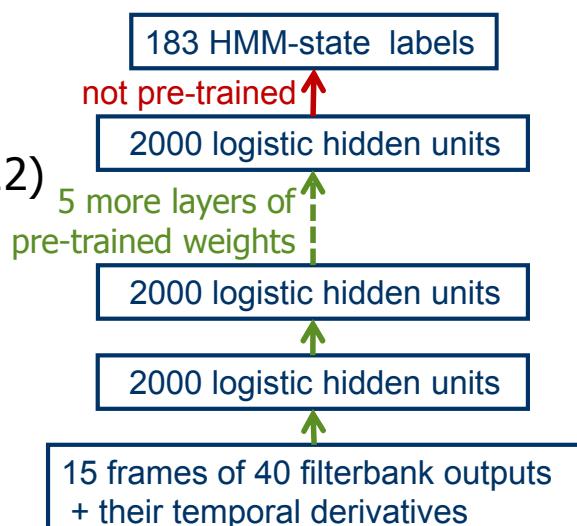


Aplicaciones



Reconocimiento de voz

Identificación de fonemas
usando “deep networks”
(Mohamed, Dahl, & Hinton, 2012)



TIMIT benchmark

- “Deep network”: 20.7% error en la identificación de fonemas (frente al 24.4% del mejor sistema previo)



Aplicaciones



Reconocimiento de voz

(Hinton et al.: IEEE Signal Processing Magazine, 2012)

Microsoft®
Research

IBM

Google

Task	Hours of training data	Deep Neural Network	Gaussian Mixture Model	GMM with more data
Switchboard (Microsoft Research)	309	18.5%	27.4%	18.6% (2000 hrs)
English broadcast news (IBM)	50	17.5%	18.8%	
Google Voice Search (Android 4.1)	5,870	12.3% (and falling)		16.0% (>>5,870 hrs)



Aplicaciones



Reconocimiento de voz

Traducción simultánea [Machine Translation]

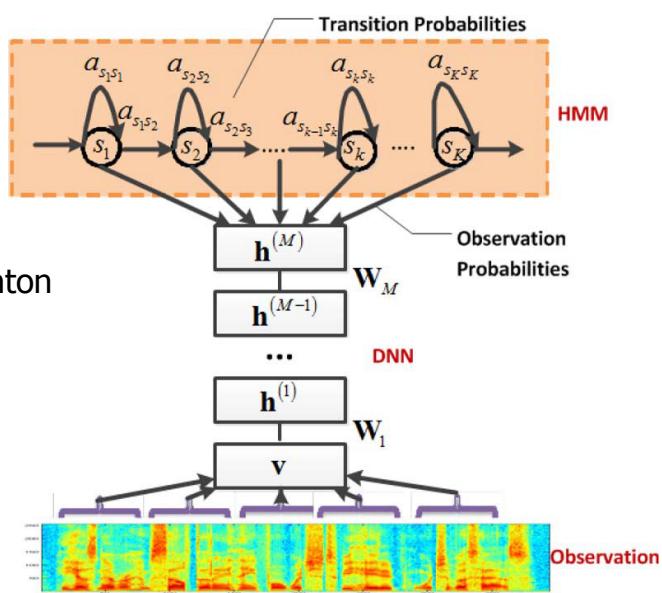
Microsoft®
Research



Li Deng (MSR) & Geoff Hinton



Dong Yu (MSR)



Aplicaciones



Traducción automática de señales Google app



Otavio Good (Google Translate):

How Google Translate squeezes deep learning onto a phone

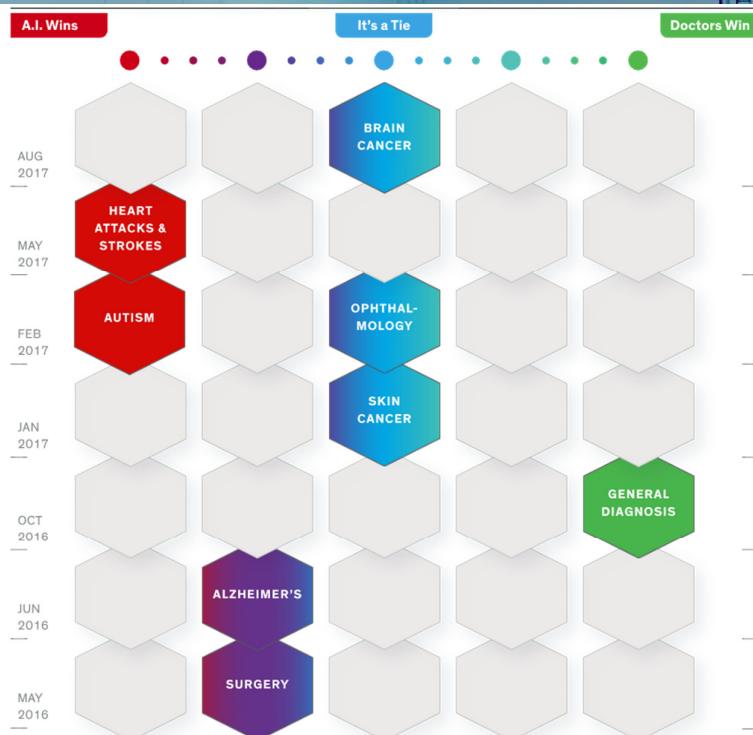
<http://googleresearch.blogspot.com.es/2015/07/how-google-translate-squeezes-deep.html>



Aplicaciones



Medicina



AI vs. Doctors
IEEE Spectrum
September 2017

<https://spectrum.ieee.org/static/ai-vs-doctors>



Aplicaciones

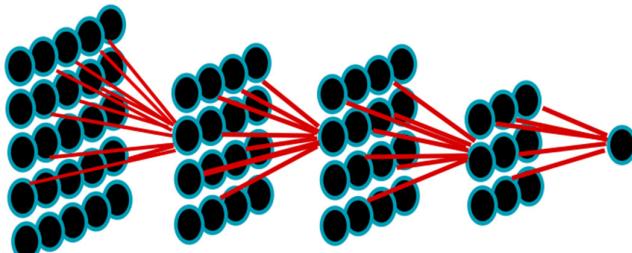


Citas por Internet, e.g. Tinder & OKCupid.com

Input Layer 1 Layer 2 Layer 3 Output



Like



Harm De Vries & Jason Yosinski:

Can deep learning help you find the perfect match?

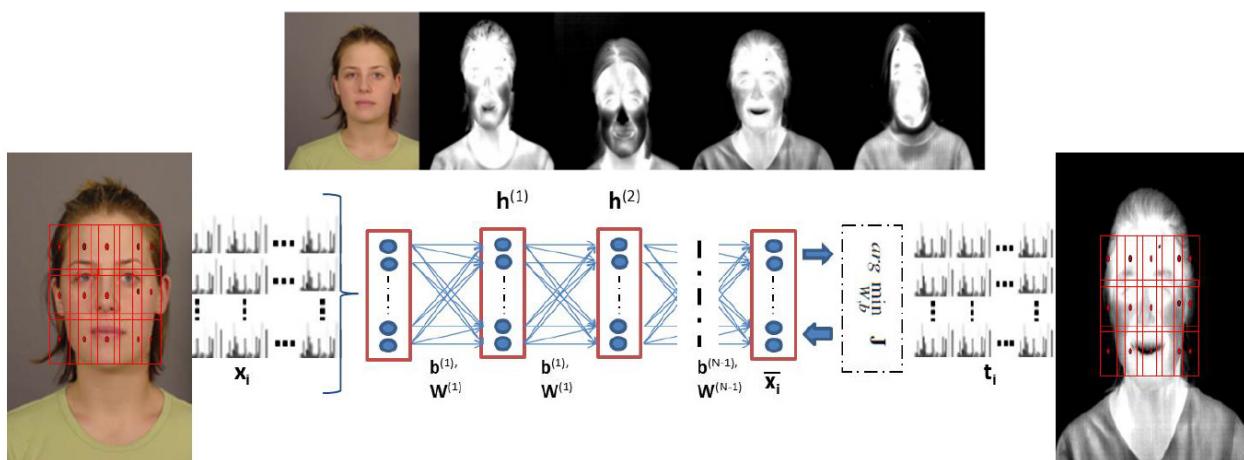
ICML'2015 Deep Learning Workshop



Aplicaciones



Reconocimiento de caras en imágenes térmicas (cámaras de infrarrojos)



M. Saquib Sarfraz & Rainer Stiefelhagen:

Deep Perceptual Mapping for Thermal to Visible Face Recognition

BMVC'2015



Aplicaciones

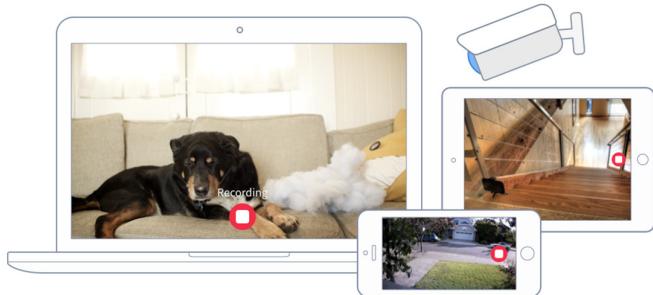


Videovigilancia

camio



If people are approaching the storage room,
then call my phone.



Recipe



if this then that

Trigger

Action



Rachel Metz:

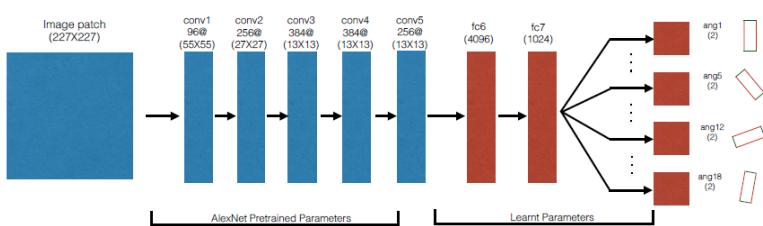
Using Deep Learning to Make Video Surveillance Smarter

MIT Technology Review, August 2015

Aplicaciones



Robótica



Lerrel Pinto & Abhinav Gupta (CMU): **Supersizing Self-supervision: Learning to Grasp from 50K Tries and 700 Robot Hours**
arXiv, September 2015. <http://arxiv.org/abs/1509.06825>

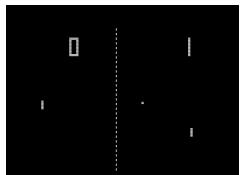


Aplicaciones



Videojuegos (Atari 2600)

Google DeepMind



"Google AI beats humans at more classic arcade games than ever before"

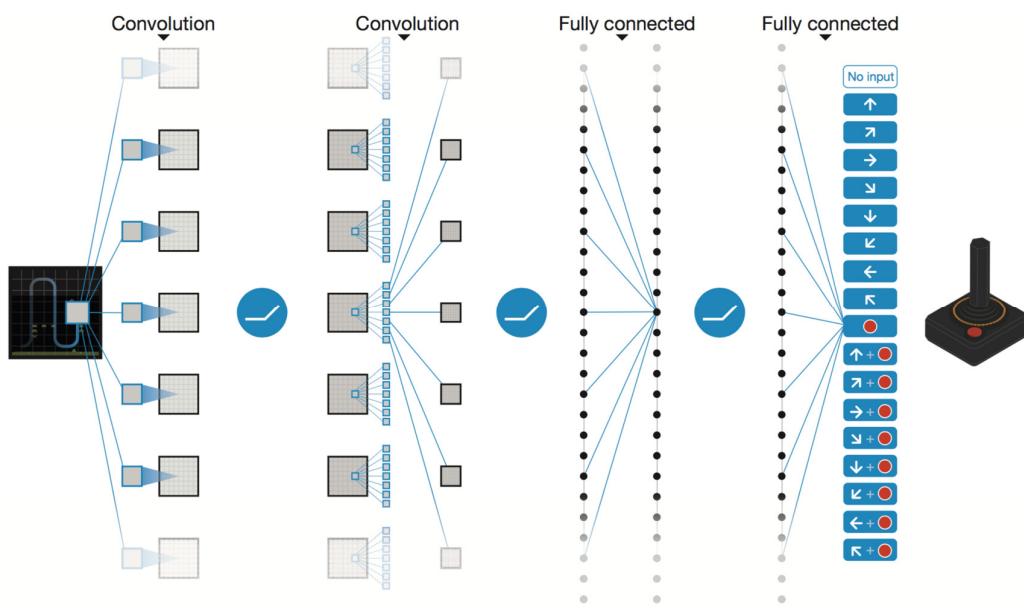
<http://arxiv.org/pdf/1509.06461v1.pdf> (September 2015)

Aplicaciones



Videojuegos

Deep Q Learning (Nature, 2015)

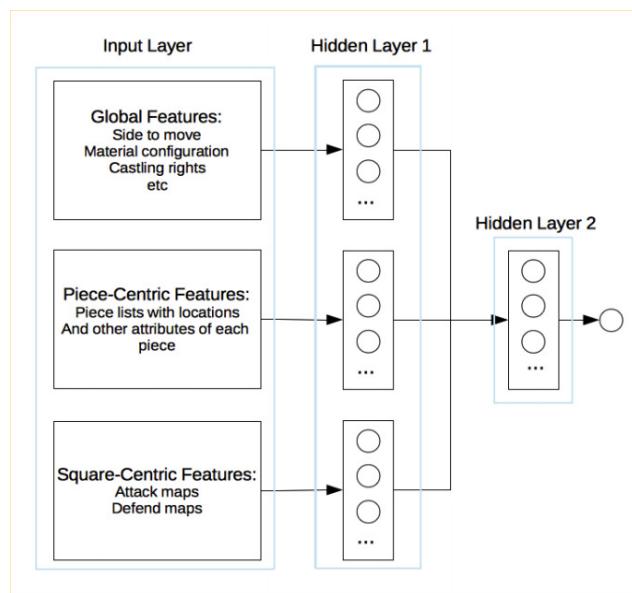


Aplicaciones



Juegos

Ajedrez



Matthew Lai (Imperial College London):

“Giraffe: Using Deep Reinforcement Learning to Play Chess”

<http://arxiv.org/abs/1509.01549> (September 2015)



Aplicaciones



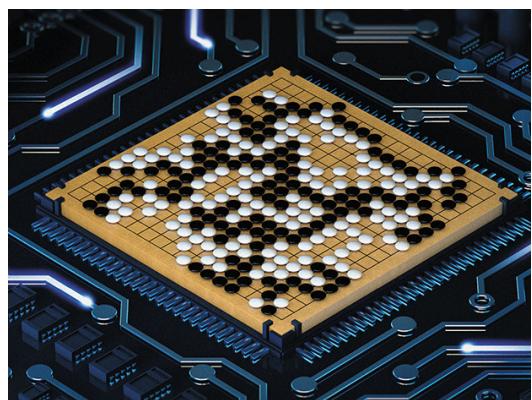
Juegos

Go: Los campeones humanos se negaban a jugar contra ordenadores porque eran demasiado malos ($b > 300$)...

Octubre 2015, Londres:

AlphaGo (Google DeepMind) vence al campeón europeo Fan Hui [2-dan], 5-0.

Marzo de 2016, Seúl: \$1M
AlphaGo (Google DeepMind)
vence a Lee Sedol [9-dan], 4-1.



<https://en.wikipedia.org/wiki/AlphaGo>



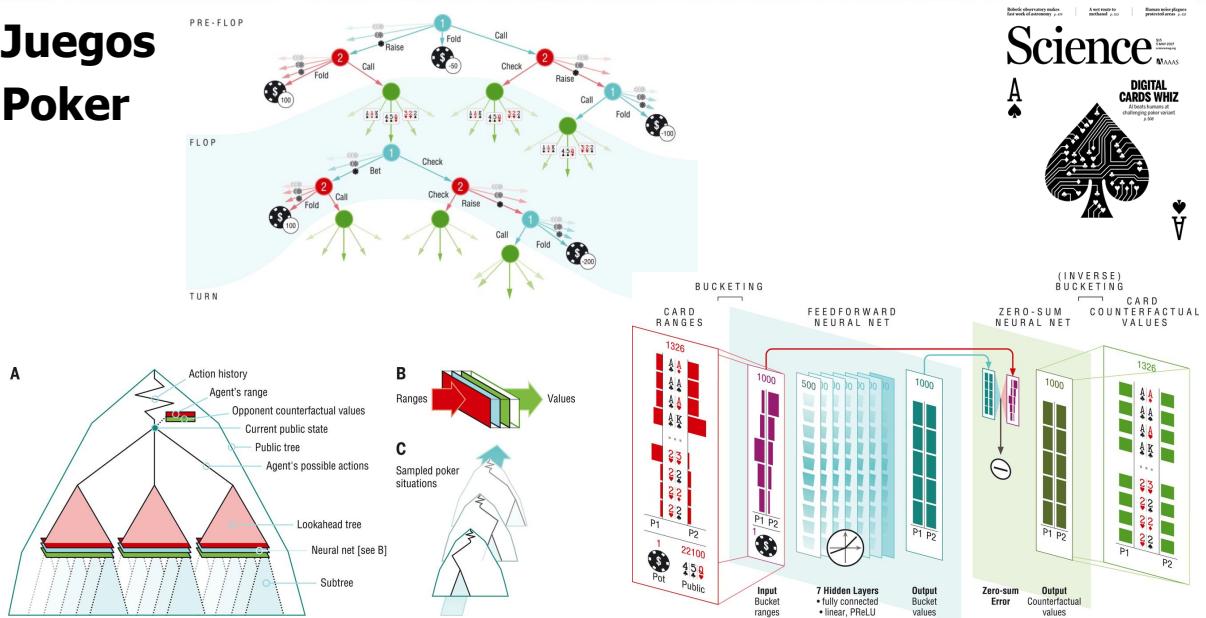
• AlphaGo



Aplicaciones



Juegos Poker



DeepStack: Expert-level artificial intelligence in heads-up no-limit poker
Science, Vol. 356, Issue 6337, pp. 508-513, 5 May 2017
DOI: [10.1126/science.aam6960](https://doi.org/10.1126/science.aam6960)



Cursos

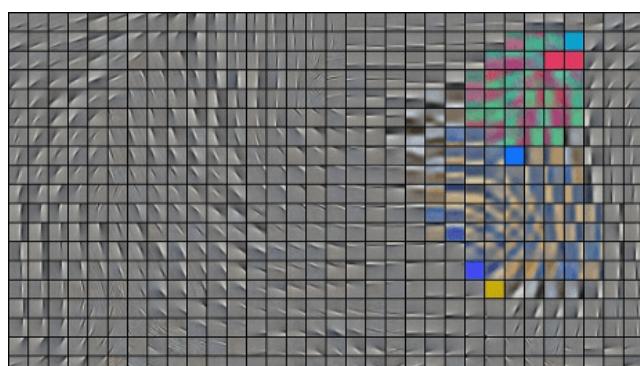


Neural Networks for Machine Learning

by Geoffrey Hinton

(University of Toronto & Google)

<https://www.coursera.org/course/neuralnets>



Cursos



Deep Learning Specialization

by Andrew Ng, 2017

- Neural Networks and Deep Learning
- Improving Deep Neural Networks: Hyperparameter tuning, Regularization and Optimization
- Structuring Machine Learning Projects
- Convolutional Neural Networks
- Sequence Models



deeplearning.ai



<https://www.coursera.org/specializations/deep-learning>

Cursos & Tutoriales



■ Deep Learning Tutorial

Andrew Ng et al. (Stanford University)

<http://ufldl.stanford.edu/tutorial/>

■ Deep Learning: Methods and Applications

Li Deng & Dong Yu (Microsoft Research)

<http://research.microsoft.com/apps/pubs/default.aspx?id=209355>

■ Deep Learning for Natural Language Processing

Richard Socher et al. (Stanford University CS224d)

<http://cs224d.stanford.edu/>

■ Convolutional Neural Networks for Visual Recognition

Andrej Karpathy (Stanford University CS231n)

<http://cs231n.github.io/>

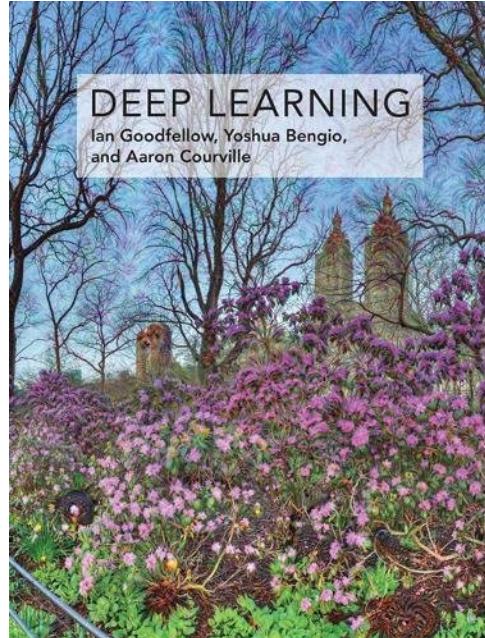


Bibliografía



Lecturas recomendadas

Ian Goodfellow,
Yoshua Bengio
& Aaron Courville:
Deep Learning
MIT Press, 2016
ISBN 0262035618



<http://www.deeplearningbook.org>

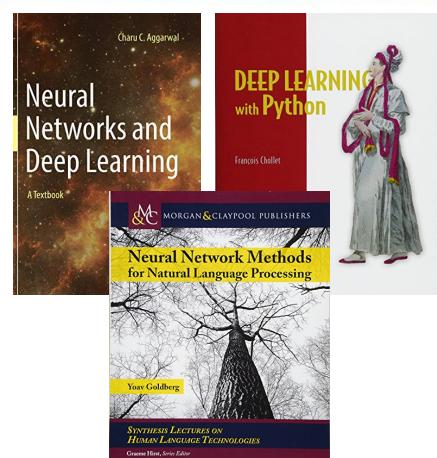


Bibliografía



Lecturas complementarias

- Charu C. Aggarwal:
Neural Networks and Deep Learning: A Textbook. Springer, 2018
ISBN 3319944622
<http://link.springer.com/978-3-319-94463-0>
- François Chollet:
Deep Learning with Python
Manning Publications, 2018
ISBN 1617294438
<https://www.manning.com/books/deep-learning-with-python>
- Yoav Goldberg:
Neural Network Methods in Natural Language Processing
Morgan & Claypool Publishers,, 2017
ISBN 1627052984
<https://doi.org/10.2200/S00762ED1V01Y201703HLT037>

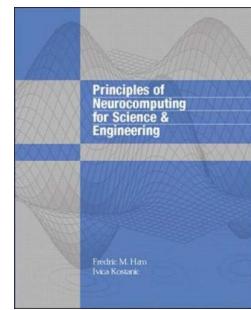
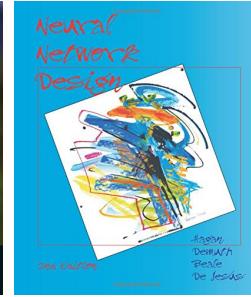
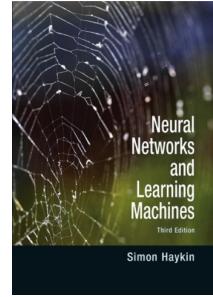


Bibliografía



Lecturas complementarias

- Simon Haykin:
Neural Networks and Learning Machines
Prentice Hall, 3rd edition, 2008
ISBN 0131471392
- Martin T. Hagan, Howard B. Demuth, Mark H. Beale & Orlando de Jesús:
Neural Network Design
Martin Hagan, 2nd edition, 2014
ISBN 0971732116
<http://hagan.okstate.edu/NNDesign.pdf>
- Fredric M. Ham & Ivica Kostanic:
Principles of Neurocomputing for Science and Engineering
McGraw-Hill Higher Education, 2000
ISBN 0070259666

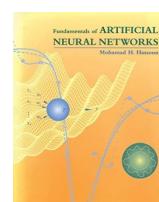
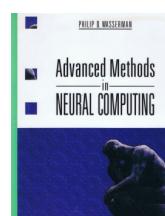
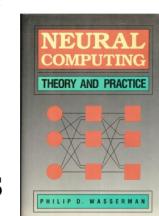
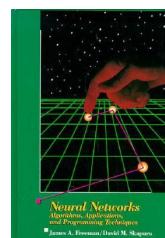
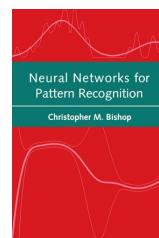


Bibliografía complementaria



Redes neuronales artificiales

- Christopher M. Bishop:
Neural Networks for Pattern Recognition
Oxford University Press, 1995. ISBN 0198538642
- James A. Freeman & David M. Skapura:
Neural Networks: Algorithms, Applications, and Programming Techniques
Addison-Wesley, 1991. ISBN 0201513765
- Mohamad Hassoun:
Fundamentals of Artificial Neural Networks
MIT Press, 2003. ISBN 0262514672
- Philip D. Wasserman:
Neural Computing: Theory and Practice,
Van Nostrand Reinhold, 1989. ISBN 0442207433
Advanced Methods in Neural Computing
Van Nostrand Reinhold, 1993. ISBN 0442004613

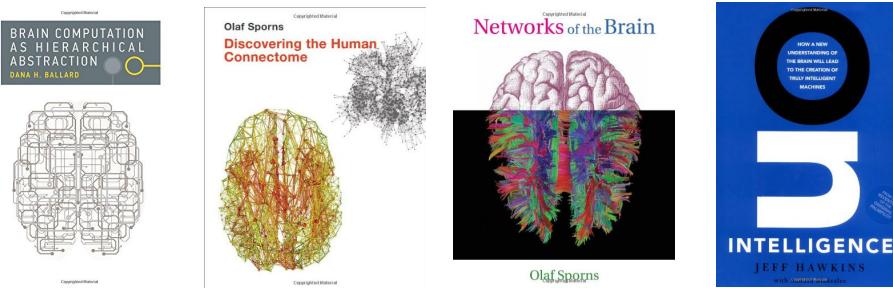


Bibliografía complementaria



“wetware”

- Dana H. Ballard: **Brain Computation as Hierarchical Abstraction.** MIT Press, 2015. ISBN 0262028611
- Olaf Sporns: **Discovering the Human Connectome.** MIT Press, 2012. ISBN 0262017903
- Olaf Sporns: **Networks of the Brain.** MIT Press, 2010. ISBN 0262014696
- Jeff Hawkins: **On Intelligence.** Times Books, 2004. ISBN 0805074562

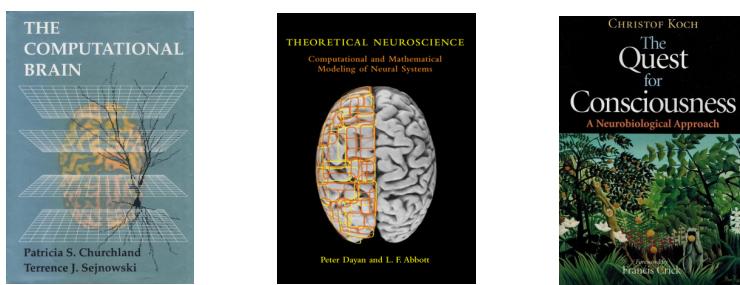


Bibliografía complementaria



Computational Neuroscience

- Patricia S. Churchland & Terrence J. Sejnowski: **The Computational Brain.** MIT Press, 1992. ISBN 0262031884
- Peter Dayan & L.F. Abbott: **Theoretical Neuroscience: Computational and Mathematical Modeling of Neural Systems.** MIT Press, 2001. ISBN 0262041995.
- Christof Koch: **The Quest for Consciousness: A Neurobiological Approach.** Roberts & Company Publishers, 2004. ISBN 0974707708

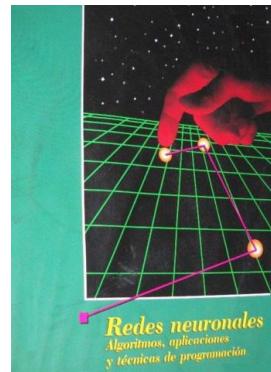


Bibliografía



Bibliografía en castellano

- James A. Freeman & David M. Skapura:
**Redes Neuronales: Algoritmos, aplicaciones
y técnicas de programación**
Addison-Wesley / Díaz de Santos, 1993.
ISBN 020160115X



Bibliografía



Bibliografía en castellano

- Fernando Berzal:
**Redes Neuronales
& Deep Learning**
Edición independiente, 2018
ISBN 1-7312-6538-7 (b&n)
ISBN 1-7313-1433-7 (color)
<http://deep-learning.ikor.org>

