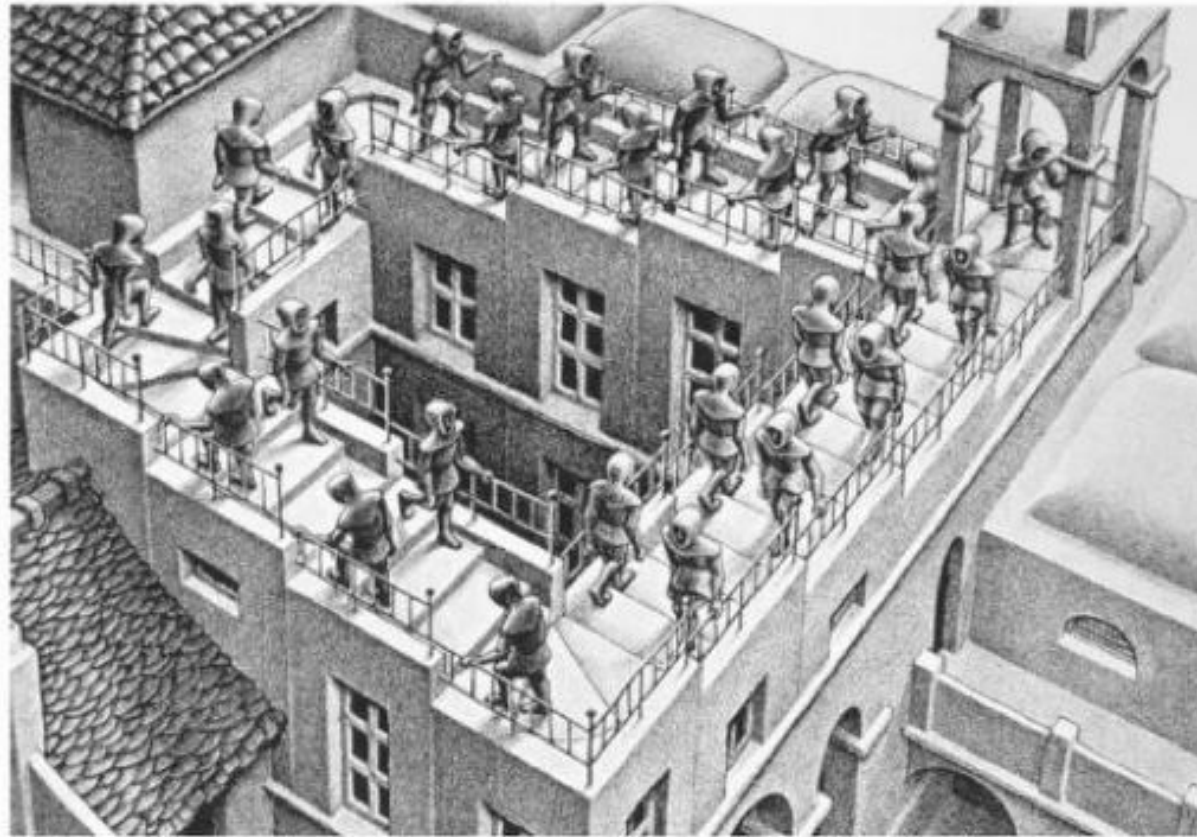


**Raúl Jiménez (ICREA & Universitat de  
Barcelona)**

<https://sites.google.com/site/rauljimenez/>

## **Entendiendo el Universo: La Cosmología sin Modelos**



# Coincidencias



# La Cosmología es especial

Tenemos que utilizar todo el Universo (observable) como detector:

El detector está dado, no podemos jugar con él.



 **LOOK BUT**   
**DON'T TOUCH**

No podemos hacer **experimentos, solo observaciones**

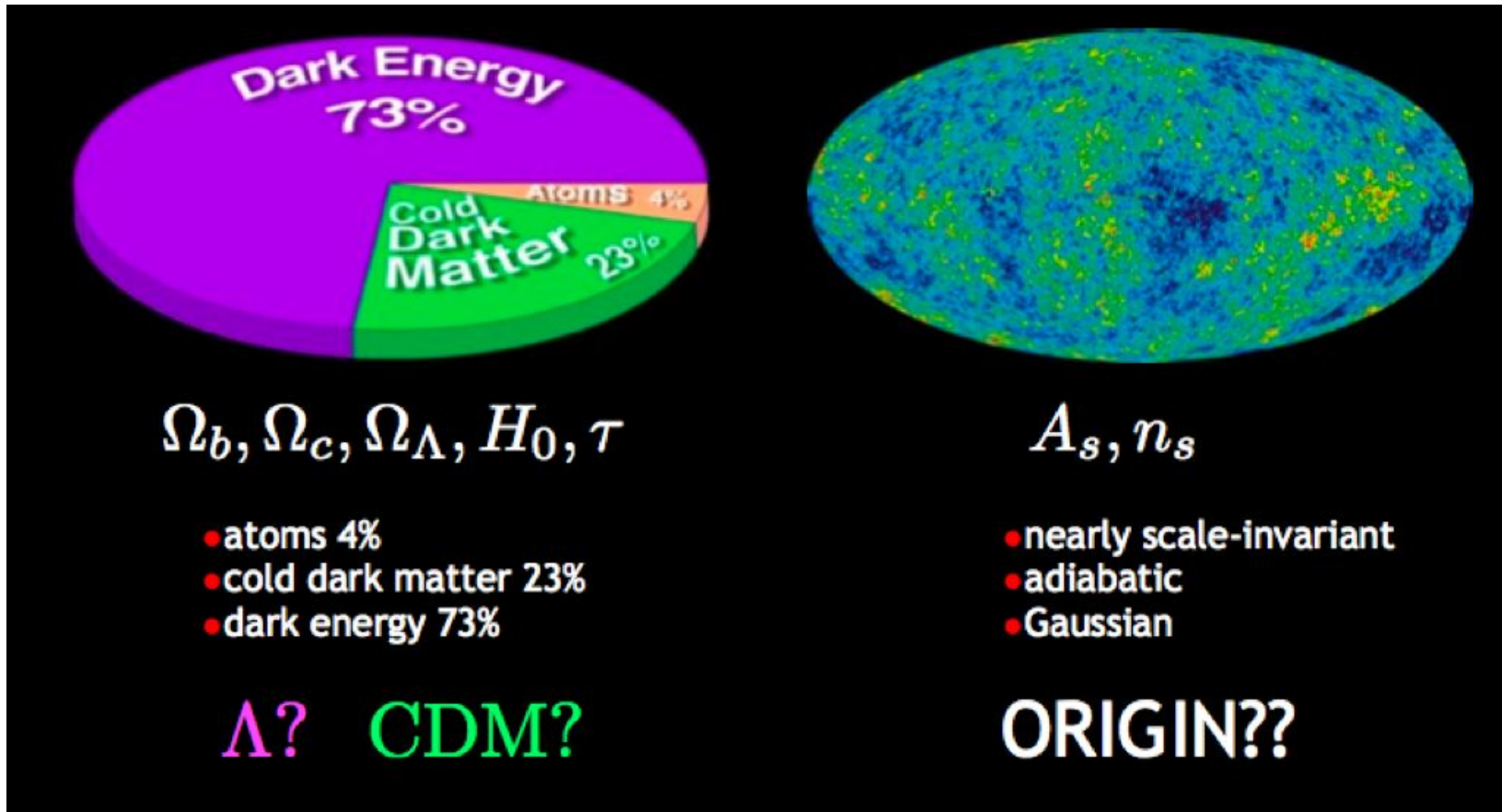
# $\Lambda$ CDM: El Modelo Cosmológico Estándar

Sólo **7** números.....

...describen la composición y evolución del Universo

El soporte es homogéneo e isótropo

Perturbaciones



# Reverend Thomas Bayes



- 1701 – born in London
- Presbyterian Minister
- Amateur Mathematician
- Published one paper on theology and one on mathematics
- 1761 – died in Kent
- 1763 - “Bayes Theorem” paper published by friend Richard Price

<https://bayesian.org/bayes>

Juegos de cartas: necesidad de desarrollar las matemáticas para “ganar” siempre (siglo XVIII - presente)



Usamos Bayes **todos los días!**



# El Problema de los Tanques Nazis: primer uso de la inferencia Bayesiana

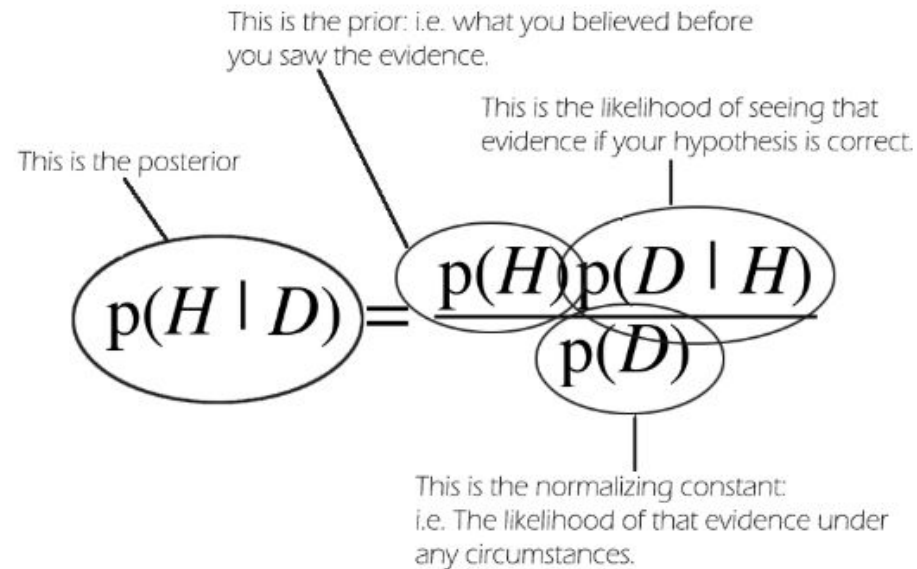
“en beneficio de la sociedad”





# La Maquinaria

“Big data”;  
La  
cosmología  
es especial,  
sólo  
observamos  
un cielo; solo  
ajustamos  
modelos



$$p(D|\mathcal{H}) = \int p(D|\alpha, \mathcal{H})p(\alpha|\mathcal{H})d\alpha$$

Evidence Likelihood prior

Exp(accuracy-complexity)

¿Qué es un  
conocimiento previo

“prior”?

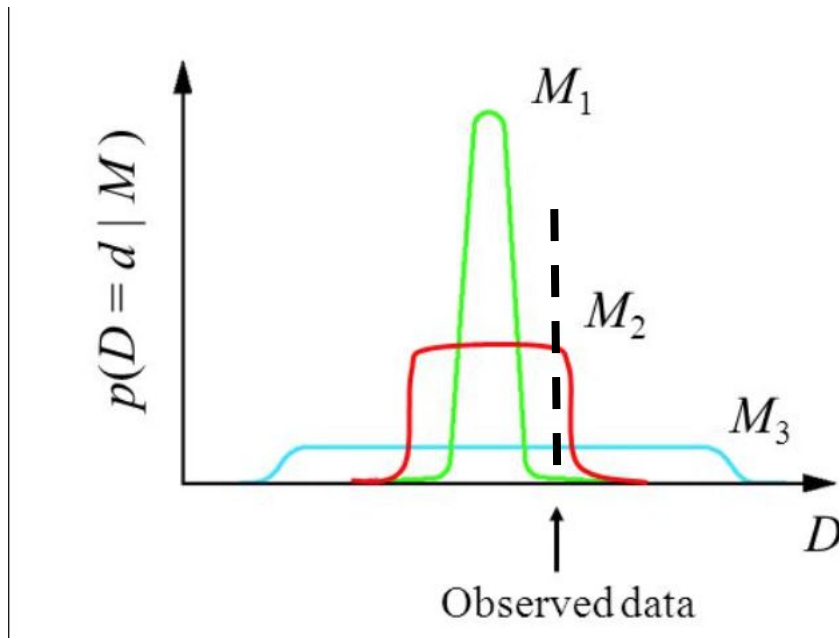
¿Qué usar?

# Cómo se selecciona el modelo: evidencia bayesiana

Al comparar dos modelos o hipótesis se utiliza la evidencia bayesiana y el factor de Bayes

$$p(D|\mathcal{H}) = \int p(D|\alpha, \mathcal{H})p(\alpha|\mathcal{H})d\alpha$$

Evidence      Likelihood      prior  
Exp(accuracy-complexity)



Ejemplo “de andar por casa” en 1 dimensión

$M_1$ : demasiado simple, muy improbable que genere los datos

$M_2$ : “just right”

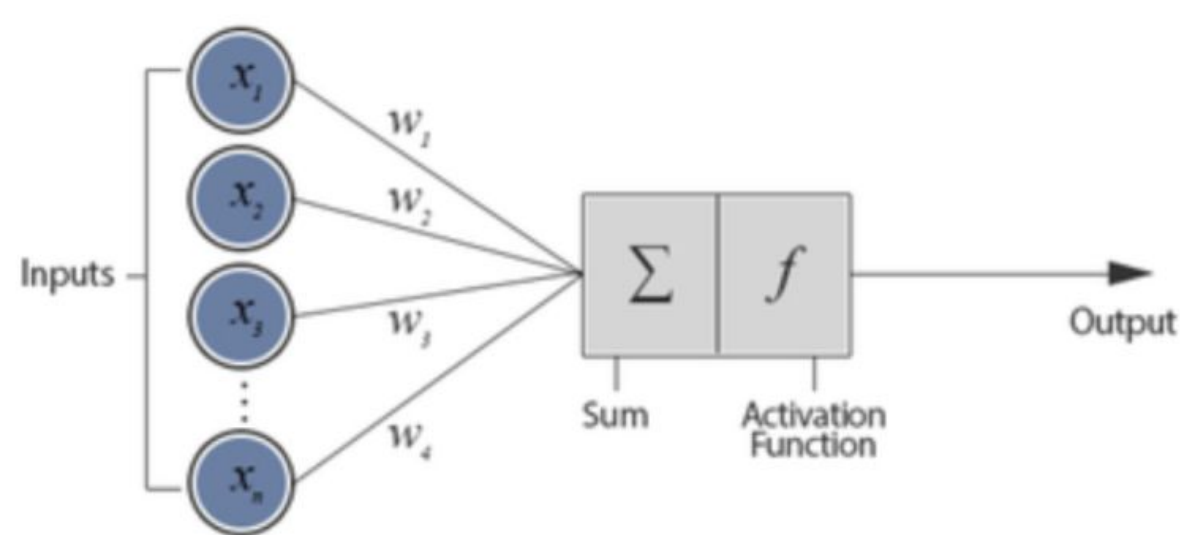
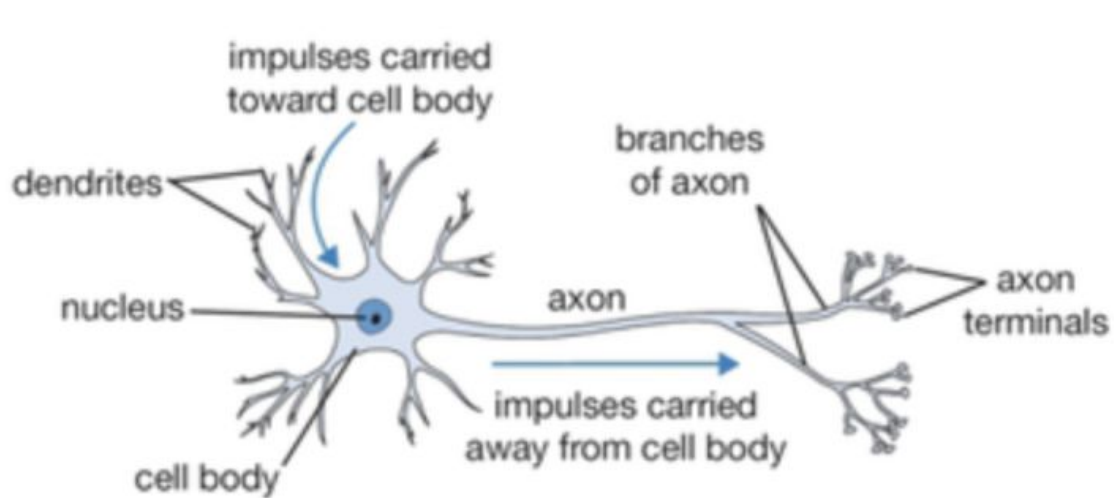
$M_3$ : demasiado general, puede generar cualquier dato  
why this one?

Heavy dependence on prior choice

# El Mundo sin Modelos

El Perceptrón: primer ejemplo de una red neuronal  
(inventado en los 60s...completamente inútil)

## Biological Neuron versus Artificial Neural Network



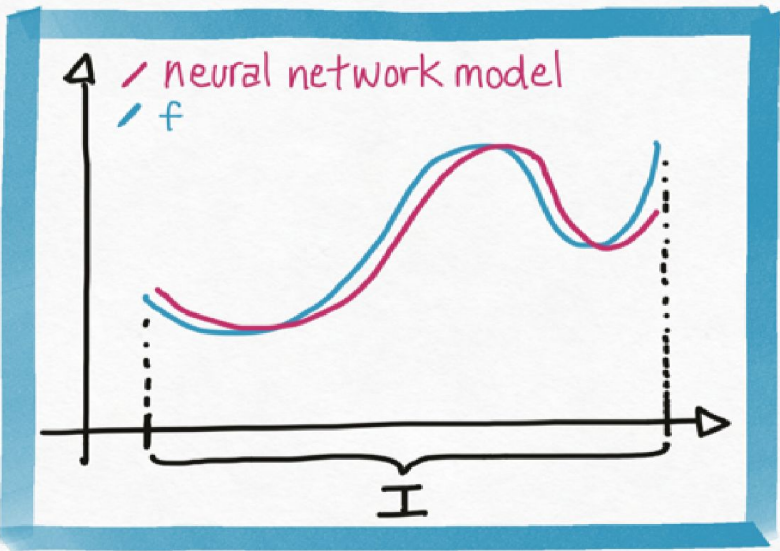
approach to solve problems of classification or regression.

# Redes neuronales como aproximadores universales

Las redes neuronales pueden representar funciones complejas, pero ¿existen limitaciones sobre lo que una red neuronal puede expresar?

## Teorema:

Para cualquier función continua  $f$  definida en un dominio acotado, podemos encontrar una red neuronal que se aproxime a  $f$  con un grado arbitrario de precisión.

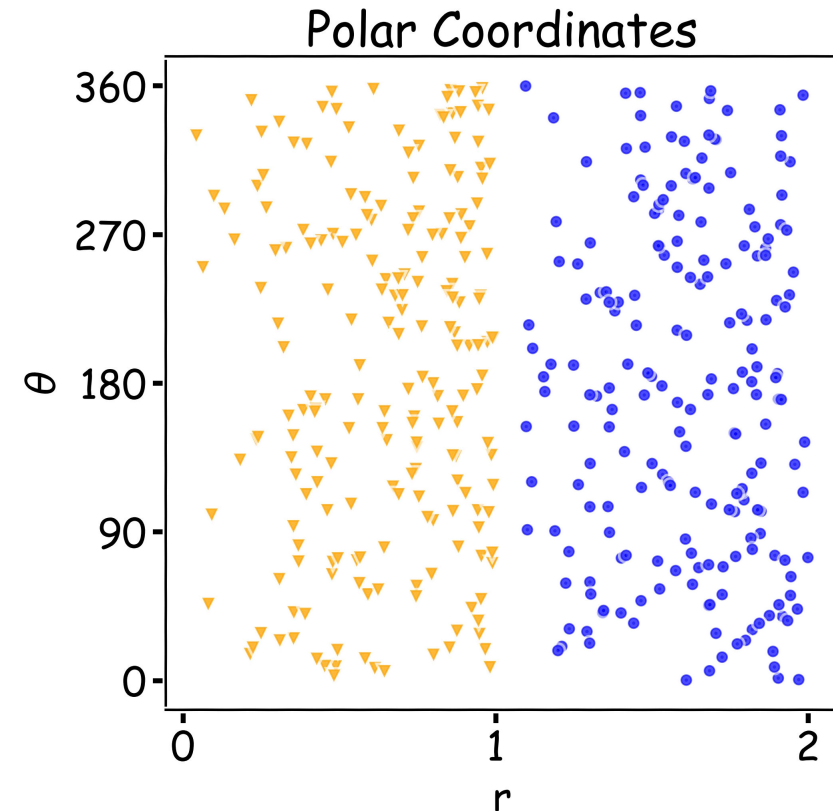
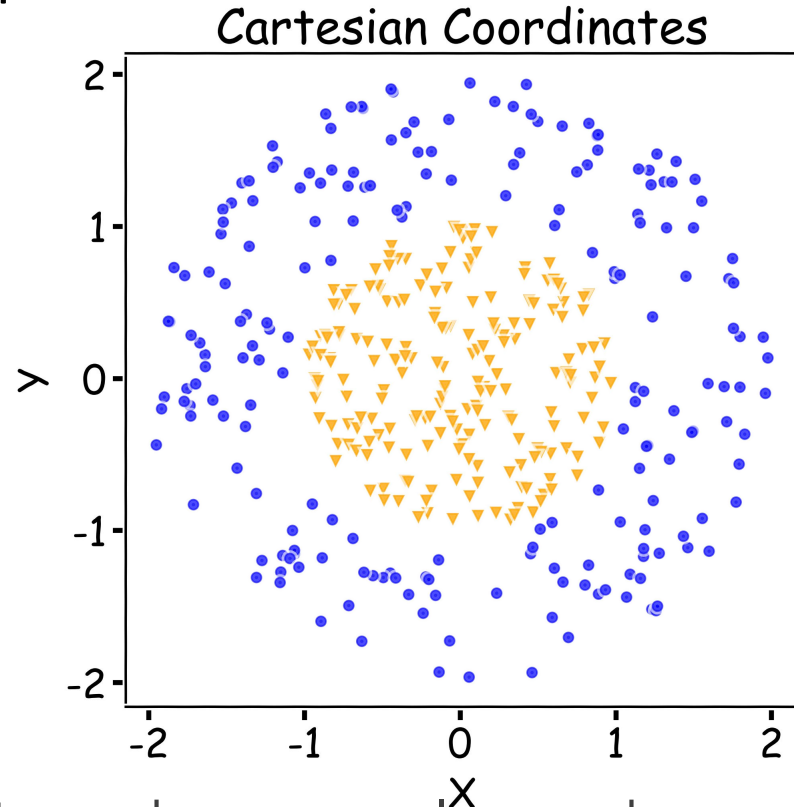


Una capa oculta es suficiente para representar una aproximación de cualquier función con un grado arbitrario de precisión.

**Entonces, ¿por qué más profundo?**

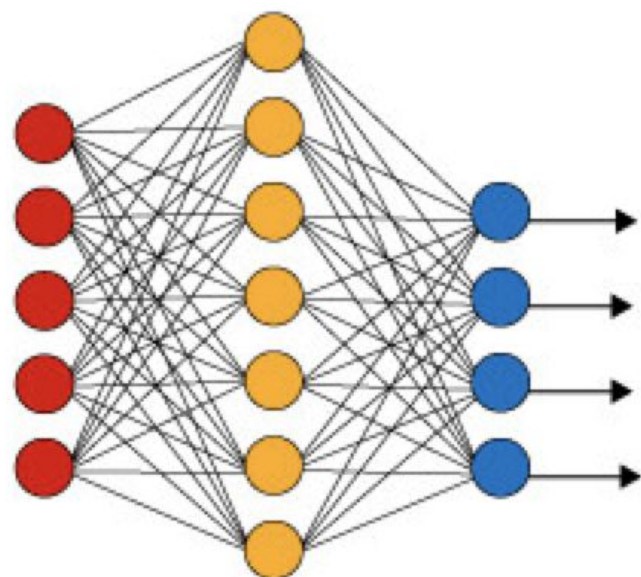
# ¿Por qué más de una capa?

- Representation matters!



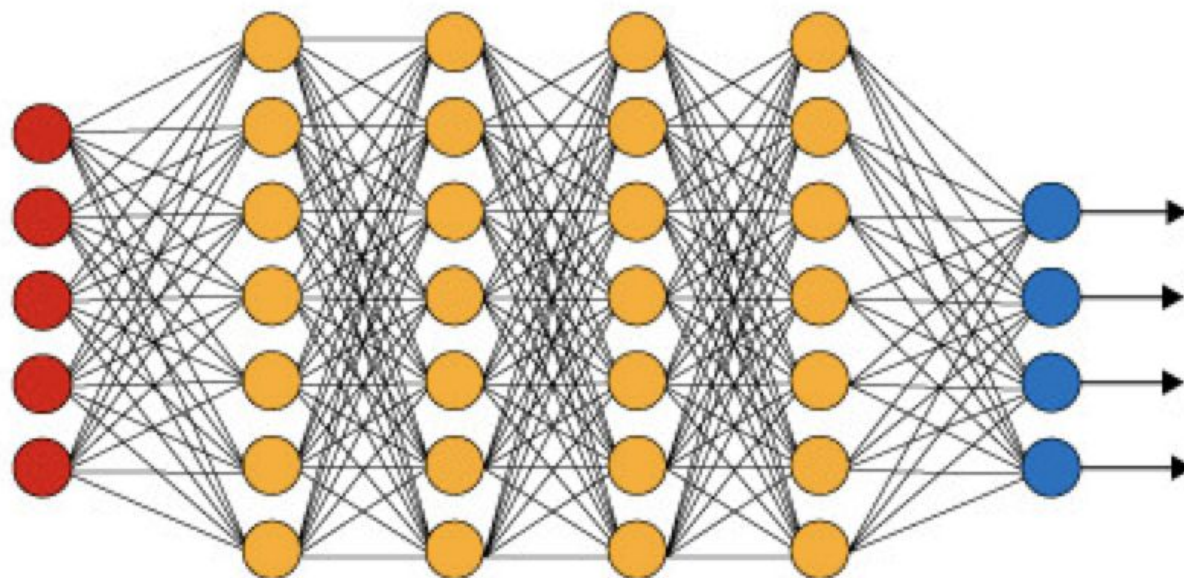
Las redes neuronales pueden aprender representaciones útiles para el problema. ¡Esta es otra razón por la que pueden ser tan poderosos!

## Simple Neural Network



● Input Layer

## Deep Learning Neural Network



● Hidden Layer

● Output Layer

Let us play a **(fun) game**

Math Quiz #1 - Teacher's Answer Key

1) 2 4 5 = 3

2) 5 2 8 = 2

3) 2 2 1 =

4) 4 2 2 =

TEST

“No podemos vivir en un estado de duda perpetua, por eso inventamos la mejor historia posible y vivimos como si fuera cierta.”

Daniel Kahneman sobre teorías

La cosmología tiende a depender en gran medida de modelos (tanto de “señal” como de “ruido”)

Sistemática en los datos.

Sistemática en el modelo (análisis)

Básicamente, todos los modelos son incorrectos, pero algunos son útiles. (Box and Draper 1987)



Se puede ir más allá de los Modelos y de los Datos;  
algo que llamo **“conceptos”** Hay dos ejemplos en Física:

La Teoría general de la Relatividad

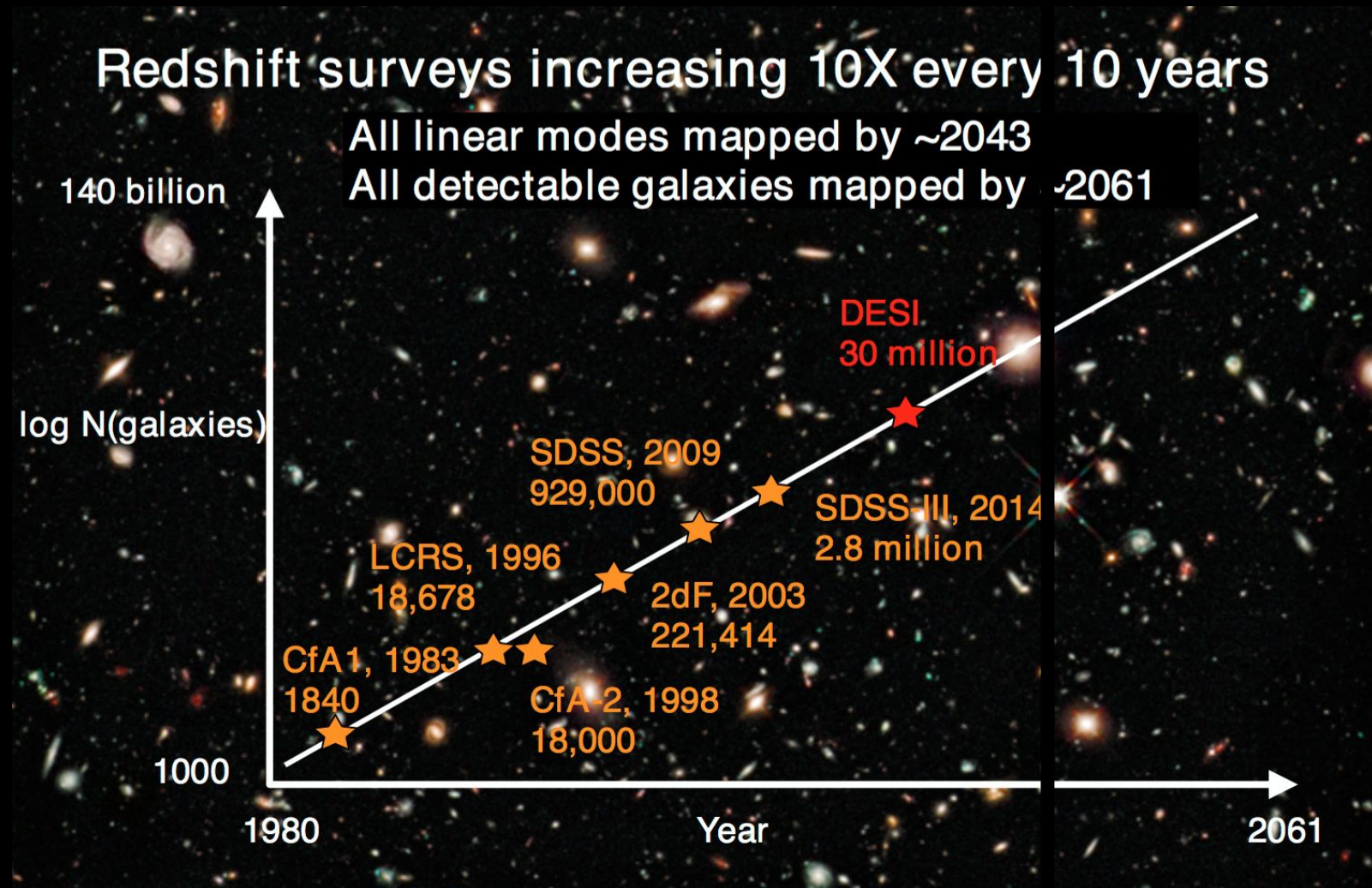
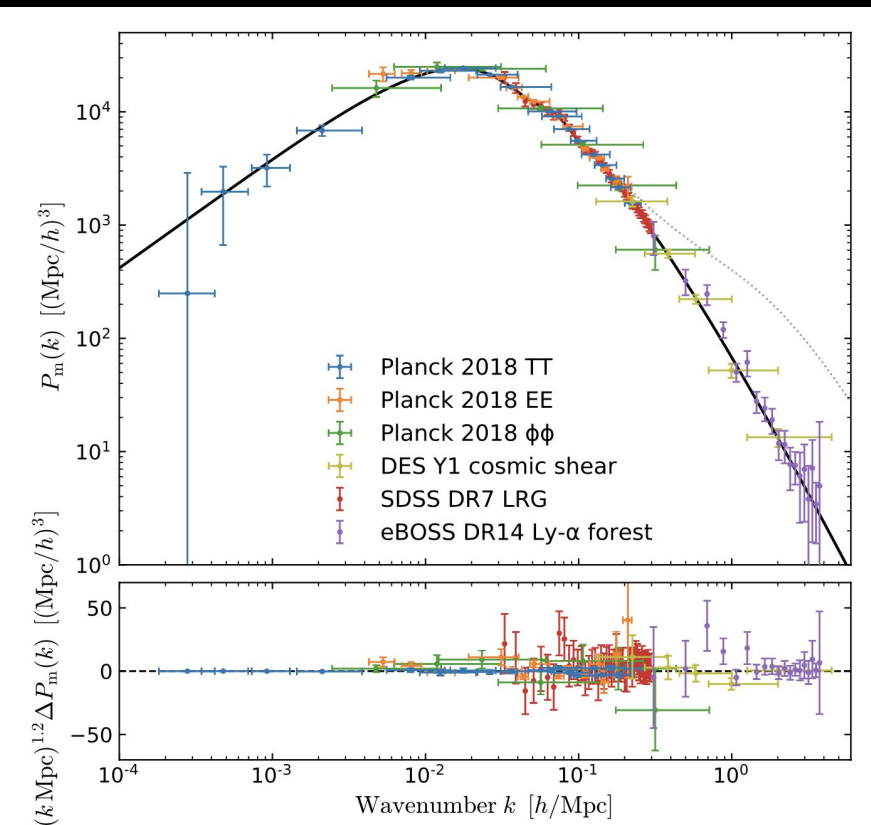
El Grupo de Renormalización/Simetrías

La Mecánica Cuántica

**Esta última es nuestra mejor opción para describir no solo como se formaron las galaxias sino el mismo Universo.**

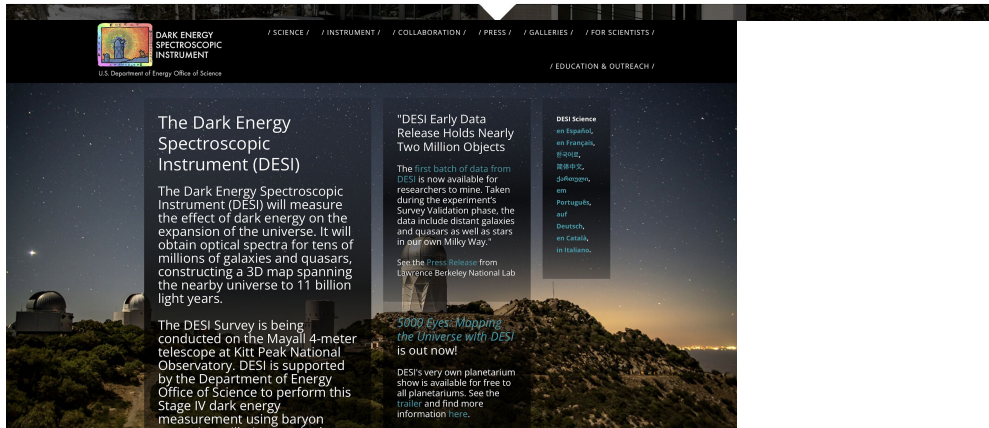
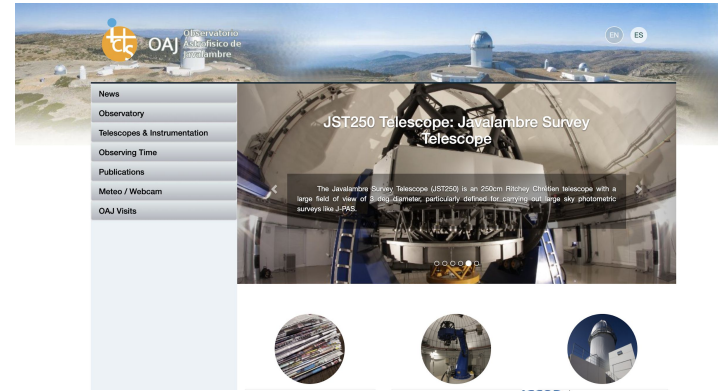
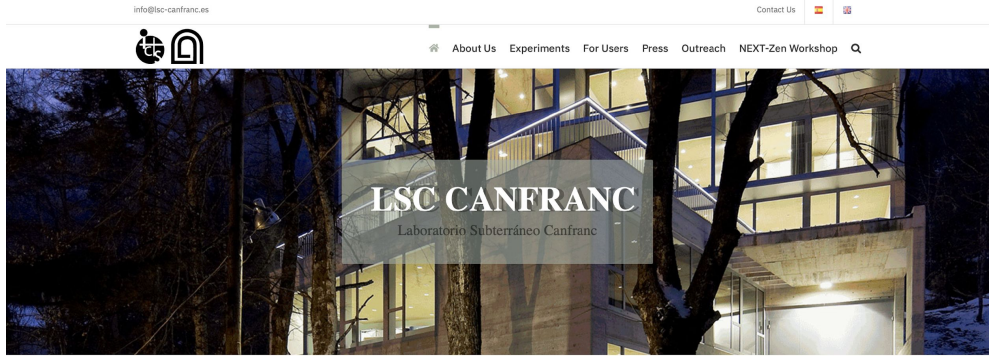
# Golden age or Gold rush?

Chabanier et al. 2019

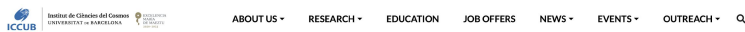


Courtesy of D. Schlegel

# Algunos Ejemplos del Papel de Los Cosmólogos del ICCUB en Hacer Progresar la Frontera de la Cosmología

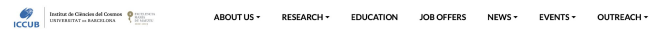


## The 2023 Giuseppe and Vanna Cocconi Prize in cosmology awarded to the SDSS/BOSS/eBOSS collaborations



### ICCUB joins the Einstein Telescope Collaboration

DATE | Monday, 28 November, 2022 at 10:01



### Gravitational Wave Detectors Start Next Observing Run to Explore the Secrets of the Universe

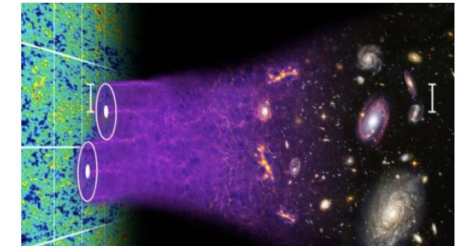
DATE | Thursday, 25 May, 2023 at 10:07

This observing run counts with upgraded instruments, new and even more accurate signal models, and more advanced data analysis methods which promise to take gravitational-wave astronomy to the next level



DATE | Thursday, 27 April, 2023 at 15:35

For their outstanding contributions to observational cosmology, including the development of the baryon acoustic oscillation measurement into a prime cosmological tool, using it to robustly probe the history of the expansion rate of the Universe



# DEMOCRACIAS ROBOTIZADAS

ESCENARIOS FUTUROS  
EN ESTADOS UNIDOS  
Y LA UNIÓN EUROPEA

LUIS  
MORENO  
RAÚL  
JIMÉNEZ



Luis Moreno (Madrid 1950-2023)

