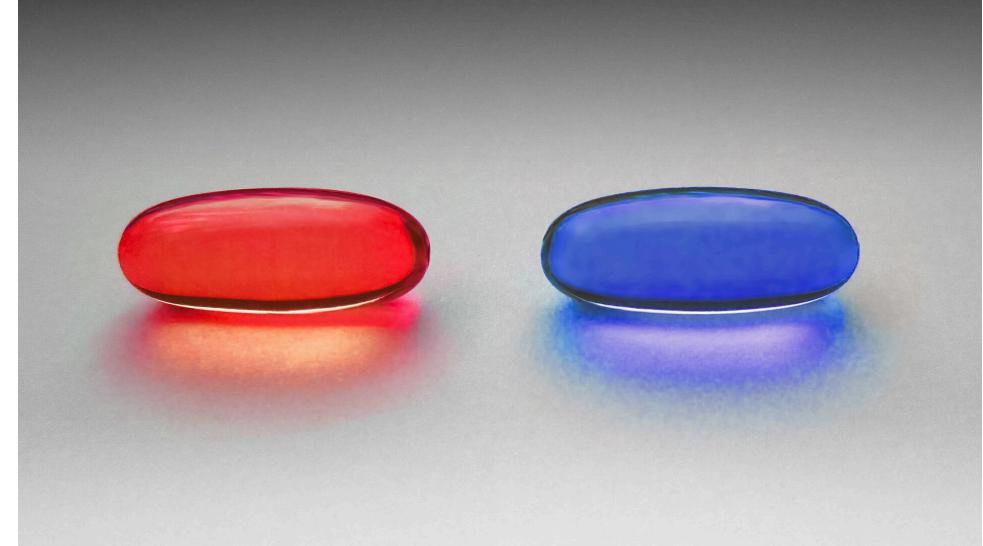
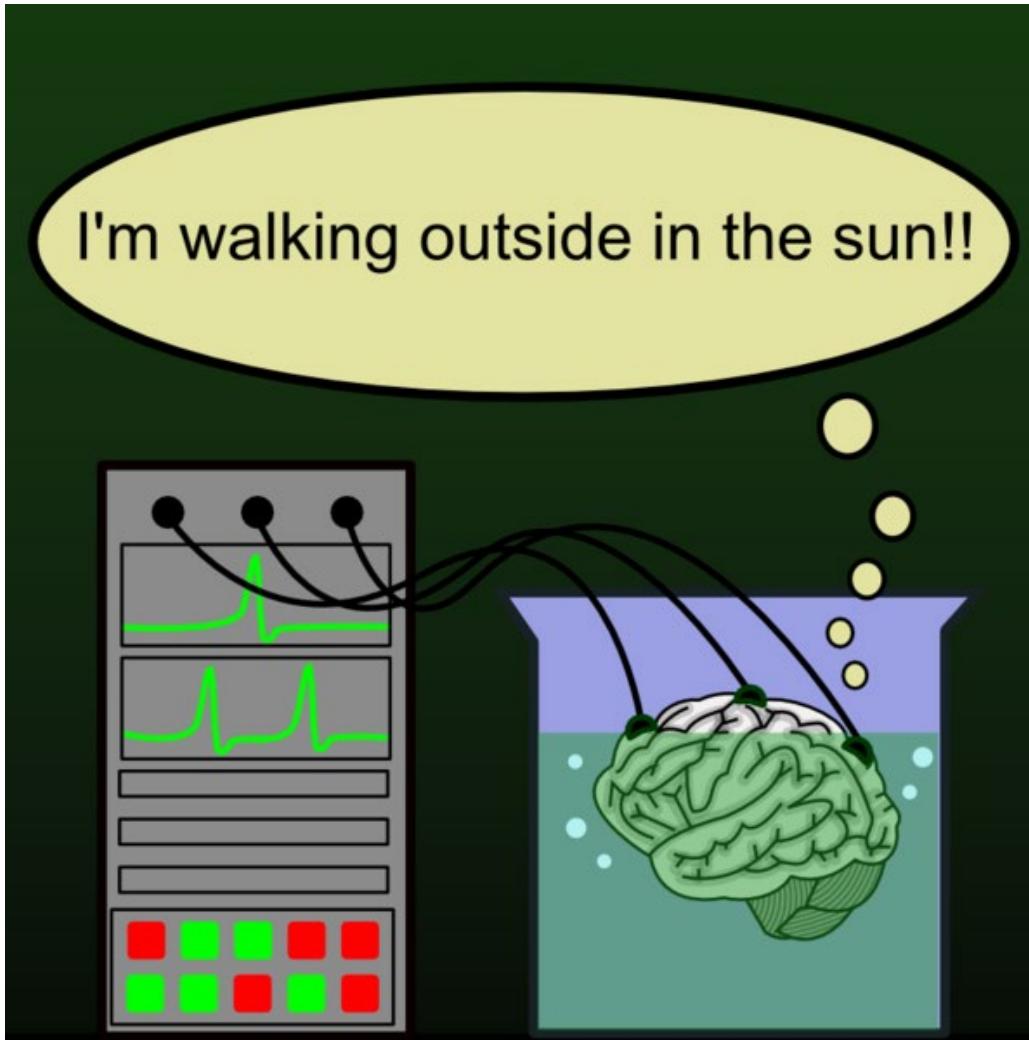


# SIMULACIÓ, INTRODUCCIÓ

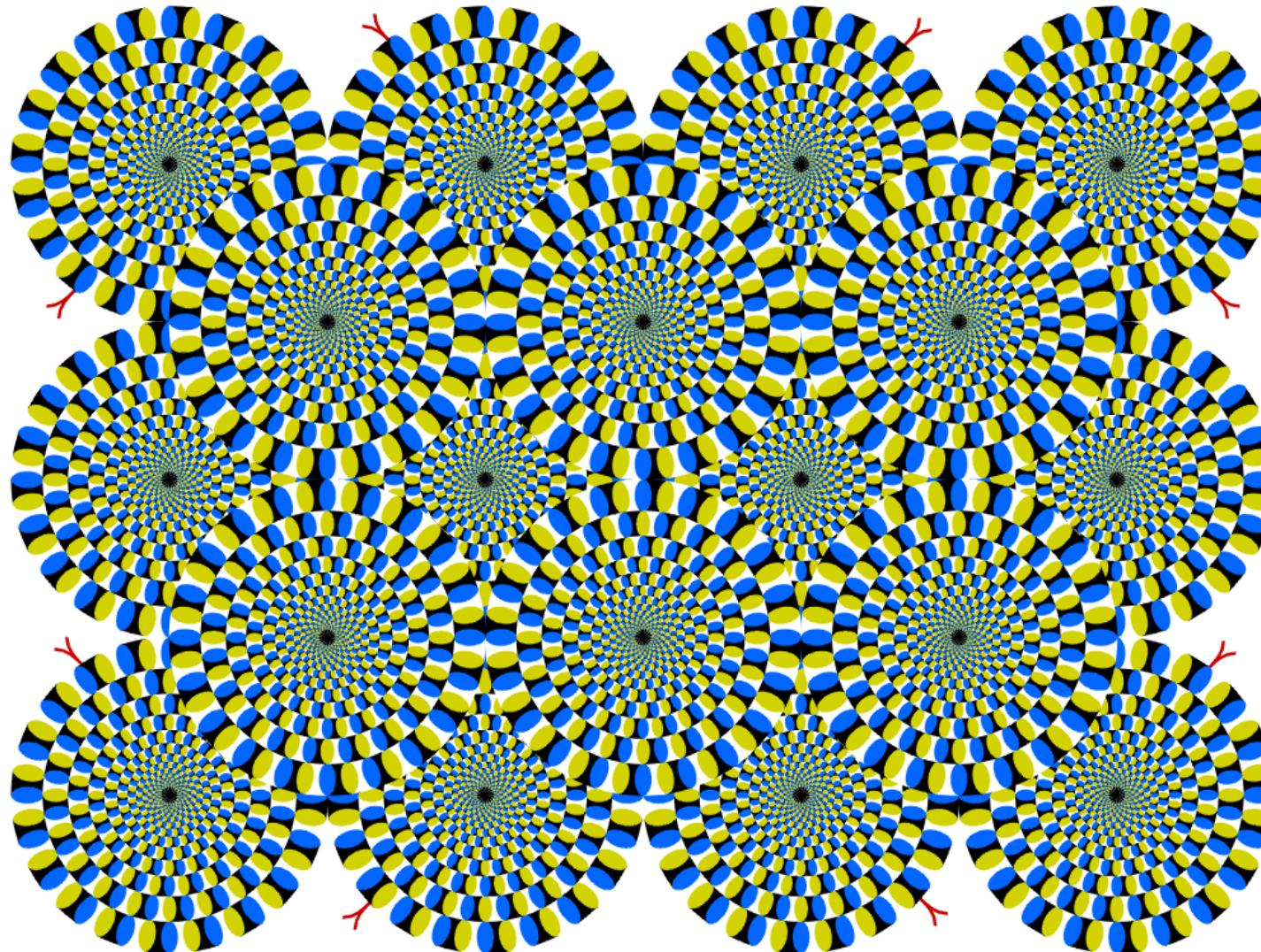
Pau Fonseca i Casas, pau@fib.upc.edu

# La realitat...

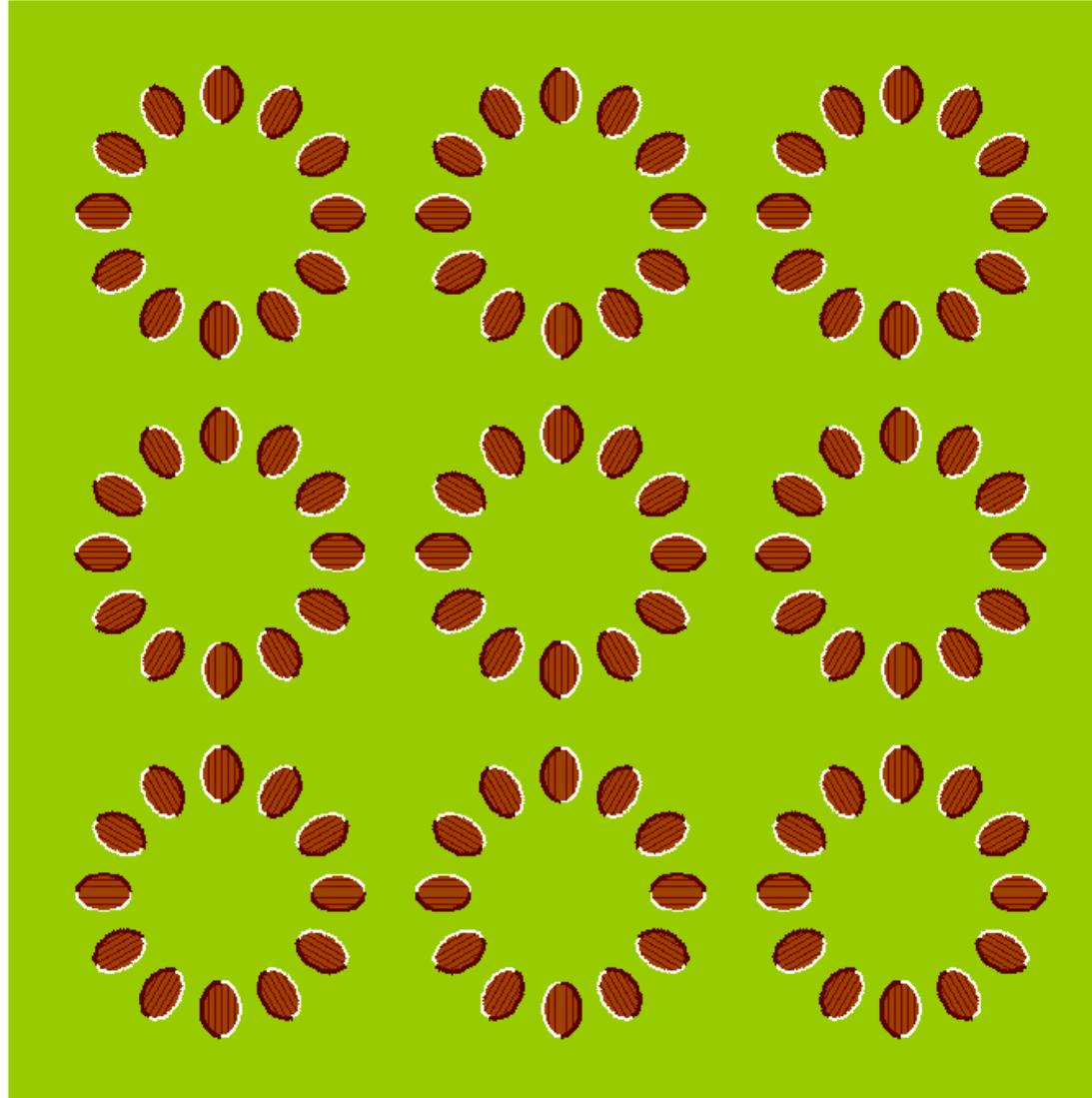


Por W.carter - Trabajo propio, CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=34979655>

# Que es la realitat?

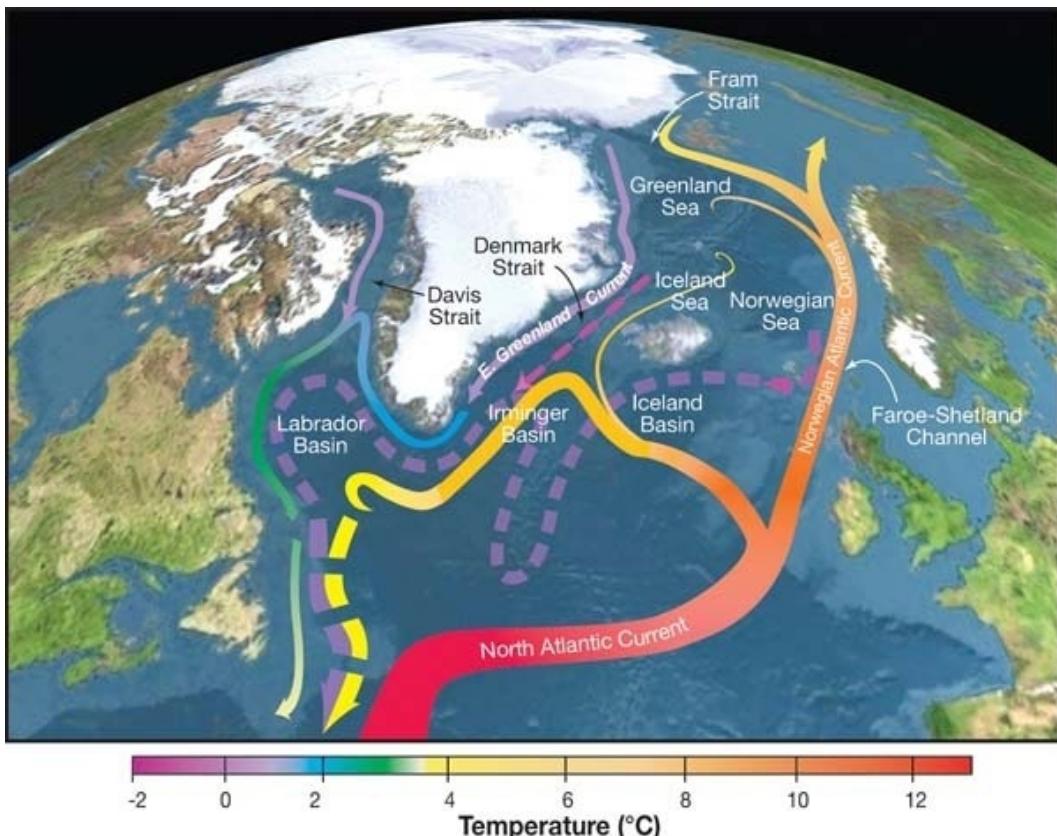


# Que fan els científics?



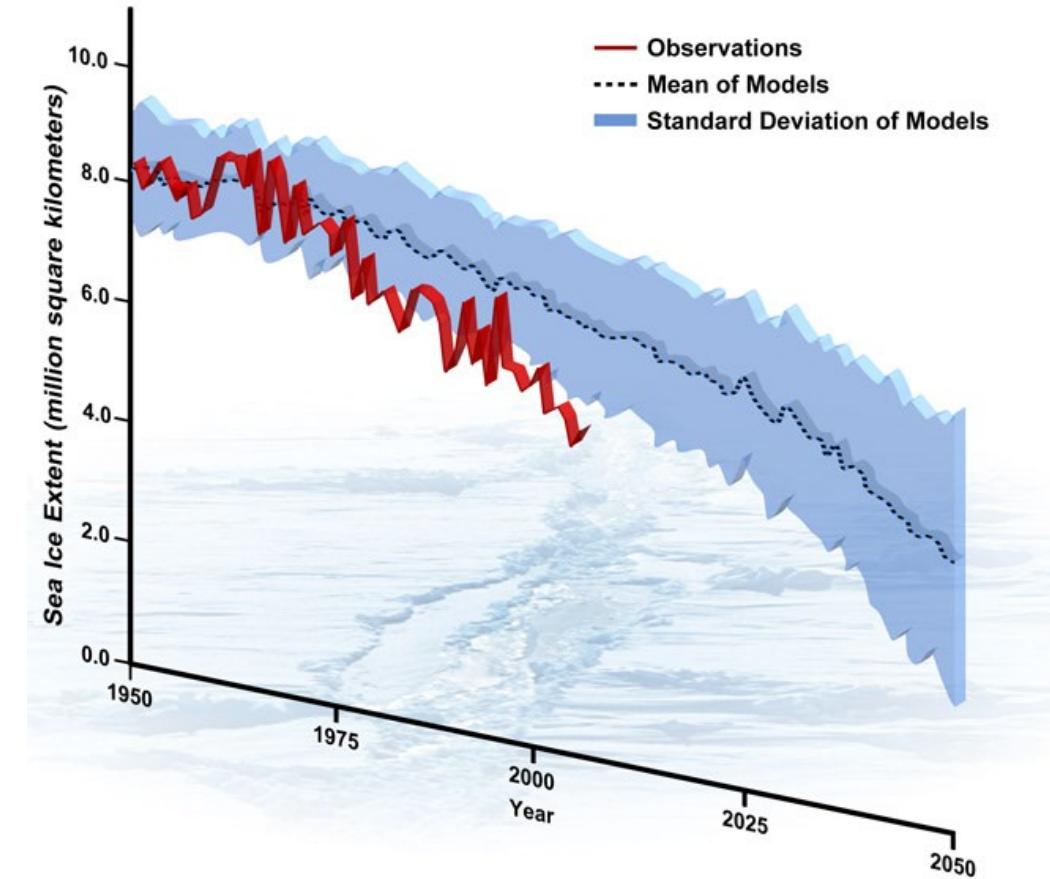
# Per exemple...

## □ El canvi climàtic.



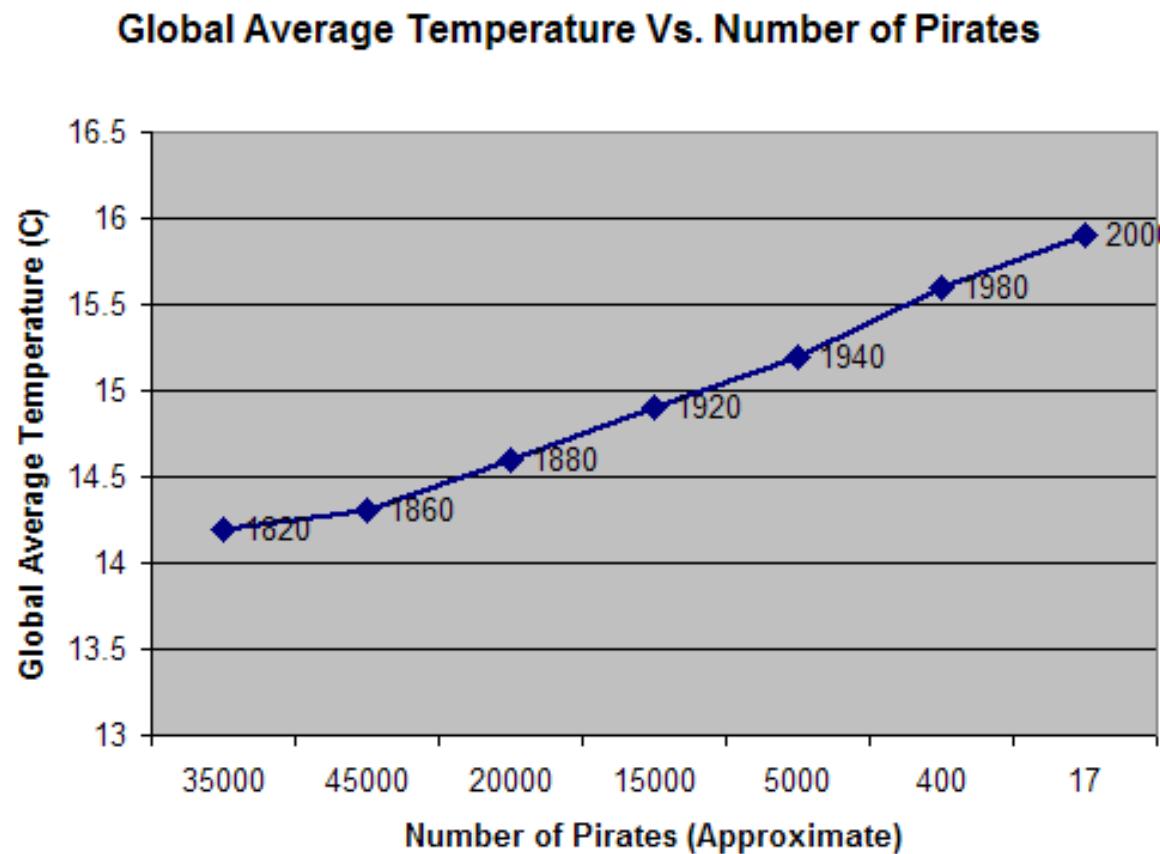
R. Curry, Woods Hole Oceanographic Institution/Science/USGCRP., CC BY 3.0  
<<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0>>, via Wikimedia Commons

Arctic September Sea Ice Extent:  
Observations and Model Runs



# Però...

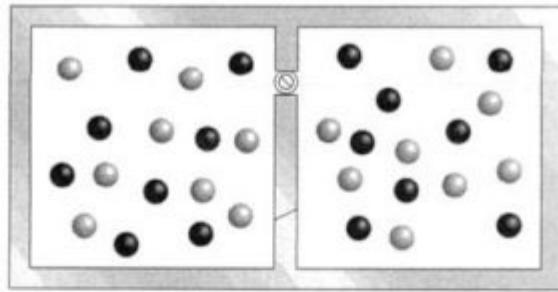
- Definitivament, no es tant fàcil...



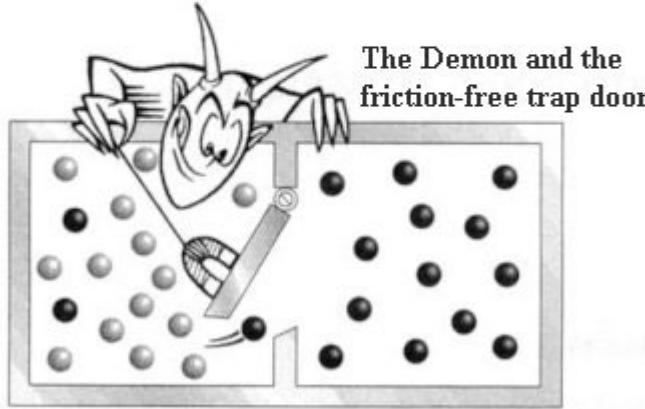
# Models

Models de tot tipus.

# Models, experiments...



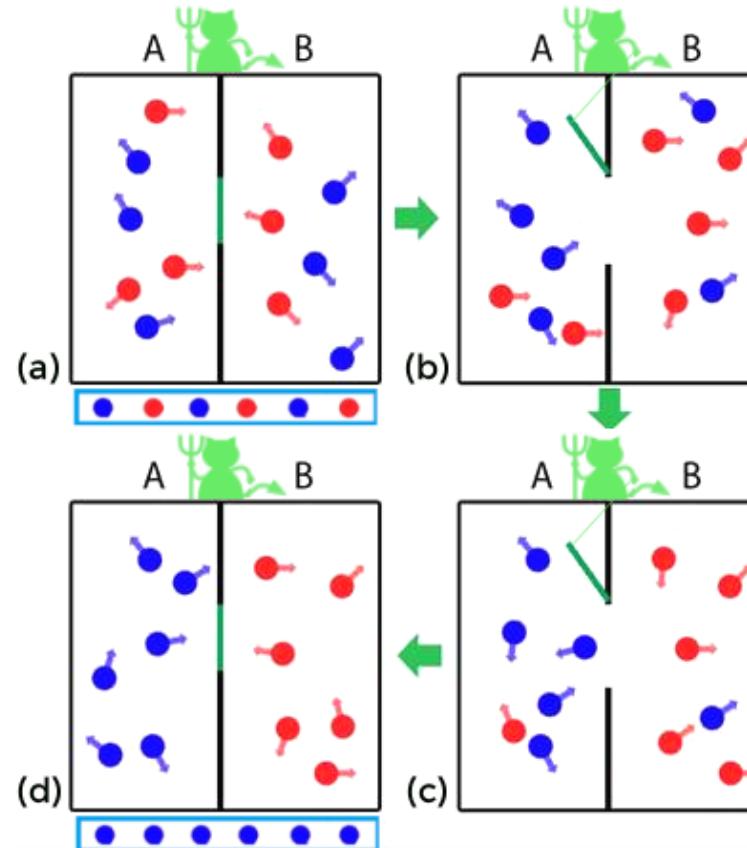
System at Equilibrium



System with Lower Entropy  
(in violation of the Second Law)

## Maxwell's demon

Source: <http://universe-review.ca/R01-02-z1-information.htm>



# Exorcitzant el dimoni de Maxwell

TUTORIAL | OPEN ACCESS

## A Friendly Guide to Exorcising Maxwell's Demon

[A. de Oliveira Junior](#) <sup>1,\*</sup>, [Jonatan Bohr Brask](#) <sup>1</sup>, and [Rafael Chaves](#) <sup>2,3</sup>

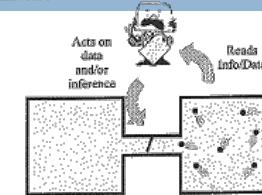
Show more ▾

PRX Quantum 6, 030201 – Published 11 August, 2025

DOI: <https://doi.org/10.1103/prxquantum.10.030201>

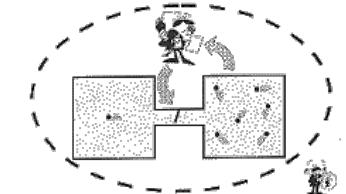
<https://journals.aps.org/prxquantum/abstract/10.1103/prxquantum.030201>

1: Maxwell's Demon



When treated as a holistically integrated system, the particle information is shared with the sub-component called "demon". That information is transduced into an action.

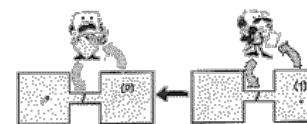
2: Maxwell's Demon



The demon is an integrated component, and the action changes the configuration of the "whole system" not just chambers' states.

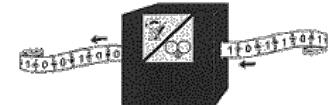
3: Maxwell's Demon

This is true even if the data and action involve a "single" state.



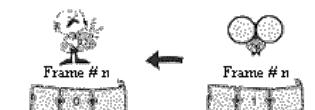
1: Turing Machine

The Turing Machine is a "read/react" device.



2: Turing Machine

For each binary state, info/data is received, then acted on



3: Turing Machine

Which is the same as ...



Maxwell's Demon & Turing Machine

DATA WITHOUT INTERACTION



IS NEITHER COMPLEX NOR CONSCIOUS



Continuity of recursive behaviors in holistic systems constitute complexity + consciousness

The Turing read/write head is the Demon . . . capable of imposing both entropic and negentropic shifts in energy/information  $0 > 1 \& 1 > 0$ . Systems require : 1)available information, 2)processing capacity,

3) interaction opportunities (channels and time) "External" information . . . once encountered . . . becomes integrated by transduction. Such encounter is the complexity-fixing event. Seen holistically as coordinated enactors of Heisenberg's interaction principles, both Turing Machine/Tape Demon/gas chambers are fully integrated complex conscious systems, as long as there is continual recursive functioning. "Rules of function/behavior" act as the first-line "memory" of such systems.

"Demon, Machine & Mind" JamesNRose(c)1996, 1997(ASCI)

# Complexity

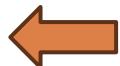
Complexity As	Definition	Example(s)	Problem
Size	Larger size means higher complexity	Size of body or genome	Some simple organisms have larger genome size than human's
Entropy	More variation signifies more complex message	HHH... has no variation and zero entropy, the random sequence DXW... has lot of variation	The most complex object is in between most orderly and complete randomness
Algorithmic Content	Shorter computer program to describe the object corresponds to lesser complexity	HHH... requires very short description, garbled message cannot be compressed	Random object leads to high information content
Logical Depth	Complexity is measured by how difficult to construct the object	HHH... is very easy to construct, while a specific message requires more work	It is difficult to measure the difficulty
Fractal Dimension	Higher fractal dimension equals to higher complexity	The coastal line is more complex than a straight line	There are other kinds of complexity not defined by fractal dimension
Degree of Hierarchy	Complexity is equated to the number of sub-systems	Organ to cells to organelles to macro-molecules to ...	It is difficult to separate the whole into parts

System	Structure	Alphabetical Arrangement	Natural System	Order	Information
Randomness	random	HSIA TESHO SR I	molecules in the air	none	none
Order	periodic	HHHHHHHH HHH	crystal	lot	none
Complexity	aperiodic	HORSE THIS A IS	Nucleotides C, T, A, G	some	some
Specified Complexity	aperiodic	THIS IS A HORSE	Viable genes to produce proteins	lot	lot

# Tipus de models

## □ Models deterministes

- EDO's



- Simplex

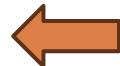
## □ Models no deterministes

- Models de cues (MEIO)

- Models de Markov

- Models de simulació de Monte Carlo

- Models de simulació discreta



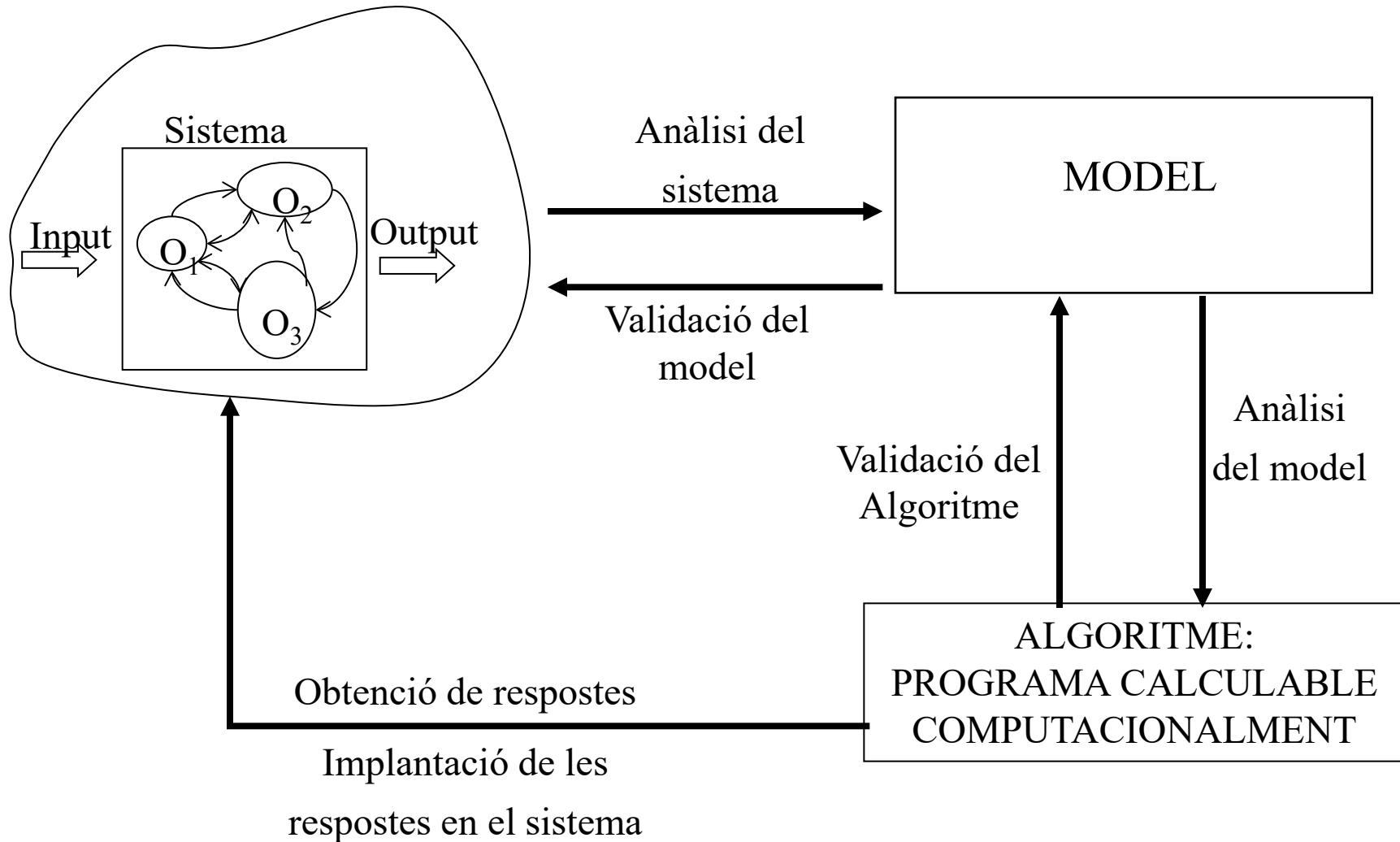
- Models de simulació contínua



# Simulació

- “Definirem la simulació com el procés de dissenyar un model d'un sistema real i dur a terme experiments amb aquest model amb l'objectiu d'entendre el comportament del sistema i/o avaluar diverses estratègies per al funcionament del sistema.“
- “We will define simulation as the process of designing a model of a real system and conducting experiments with this model for the purpose of understanding the behavior of the system and/or evaluating various strategies for the operation of the system.”
- R. E. Shannon.

# Creació De Models



# Els models son importants!

- Galileo Galilei
- Johannes Kepler
- Sir Isaac Newton
- Max Planck
- Albert Einstein
- Werner Heisenberg
- Niels Bohr
- Erwin Schrödinger
- Stephen Hawking



# El llenguatge també...

- Pitàgores de Samos
  - Aristòtil
  - Fermat
  - Gottfried Leibniz
  - Georg Cantor
  - Lewis Carroll
  - Hilbert
  - Gödel
  - John von Neumann

$E_1 = \text{m m m m m m m m m m m m m m m m}$   
 $E_2 = \text{w w w w w w w w w w w w w w w w}$   
 $E_3 = \text{m w m w m w m w m w m w m w m w}$   
 $E_4 = \text{w m m w m w m w m w m w m w m w}$   
 $E_5 = \text{m w m w w m w m w m w m w m w m w}$   
 $E_6 = \text{m w m w w m w m w m w m w m w m w}$   
 $E_7 = \text{w m m w m w m w m w m w m w m w m w}$   
 $E_8 = \text{m m w m w m w m w m w m w m w m w m w}$   
 $E_9 = \text{w m w m m w w m w w m w w m w m w m w}$   
 $E_{10} = \text{w w m w m w m w m w m w m w m w m w m w}$   
 $E_{11} = \text{m w m w w m w m w m w m w m w m w m w m w}$   
  
 $E_{12} = \text{w m w w m w m w m w m w m w m w m w m w m w}$

# I l'eina...

- Hero of Alexandria
- Ramon Llull
- Al-Jazari
- Leonardo
- Alan Turing
- George Stibitz



# Història

Els orígens de la I.O.

# El desenvolupament dels ordinadors



- Desenvolupament dels ordinadors durant la dècada dels 60.
- Permeten tractar problemes fins llavors intractables.
- L'augment de la potència de càlcul dels ordinadors ha permès que moltes disciplines científiques es poguessin aprofitar enormement. Una d'aquestes disciplines va ser la investigació operativa.

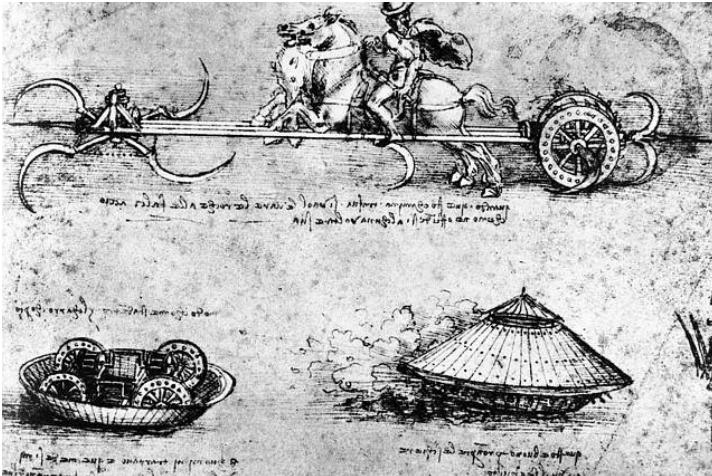
# Les Guerres Púniques.

- Aplicacions d'Arquímedes basades en els seus coneixements científics durant la defensa de la ciutat de Siracusa contra els romans (segona Guerra Púnica).
- La catapulta o un enginyós sistema de miralls que incendiava els vaixells enemics al concentrar la llum solar en ells.



# L'enginy de Leonardo

- Leonardo Da Vinci, potser un dels personatges més universals que ha existit mai, va usar els seus coneixements científics com enginyer militar. De Leonardo son els primers desenvolupaments d'un tanc o d'un submarí.



# Leonardo da Vinci descifró cómo funciona la gravedad más de 100 años antes de la teoría de Newton

ANDREA FISCHER – 15 FEBRERO, 2023



<https://www.sciencealert.com/sketches-hint-leonardo-da-vinci-grasped-gravity-a-century-ahead-of-newton>

[https://doi.org/10.1162/leon\\_a\\_02322](https://doi.org/10.1162/leon_a_02322)

# El Penny Post

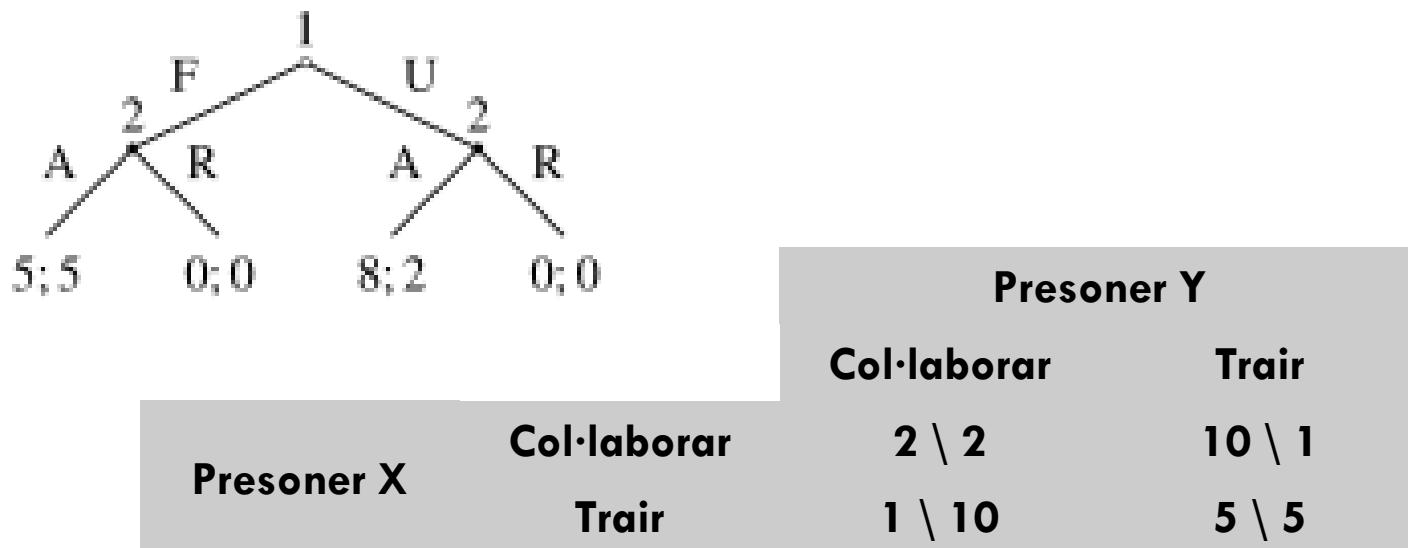
- El "Penny Post" es un dels diferents sistemes postals a través dels que es poden enviar cartes normals per un penic (UK).
- **Charles Babbage** va ser un dels primers impulsors de la investigació operativa, a través de la recerca que va desenvolupar per determinar la despesa relacionada amb el transport i l'ordenació del "Penny Post".

# Les Lleis de Lanchester

- Posteriorment **Frederick William Lanchester** va desenvolupar les “Lleis de Lanchester”, que permetia determinar les forces d'un sistema depredador presa i que es va aplicar per a confrontaments militars durant el marc de la primera Guerra Mundial. Aquestes lleis tenien com a objectiu predir el comportament de les batalles aèries. El 1916 va publicar les seves idees sobre les batalles aèries en un llibre titulat “Aircraft in Warfare: the Dawn of the Fourth Arm”, que incloïa en forma d'equacions diferencials les Lleis de Lanchester.

# La teoria de jocs.

- El 1928 **John von Neumann** va publicar el seu treball sobre la teoria de jocs. Aquest treball va proporcionar els fonaments matemàtics per a la programació lineal.



# El problema de la dieta.

- Una altra interessant aplicació va ser la plantejada per **George Joseph Stigler**, a finals dels anys 30 i principis dels 40, “el problema de la dieta”. Aquest problema va sorgir a partir de la preocupació del exèrcit americà per assegurar uns requeriments nutricionals adequats al menor cost possible per les seves tropes.

# La segona Guerra Mundial

- L'estació d'investigació de Bawdsey
- El “Circ de **Blackett**”.
  - Combois.
  - Proteccions dels bombarders.
- Mines antisubmarines.
- **Frank Yates** i l'agricultura.
- **George Bernard Dantzig**.

# Actualment



# Actualment

Home | TOP500 Supercomputing Sites - Windows Internet Explorer  
http://top500.org/ Live Search

Links RusTurn v.1.5 — Asistente de citas Edicions UPC - Nàutica The Glycemic Index SMAC Course Chapter 8 Technical Preparation

Home | TOP500 Superc... Los Alamos National Lab: ... Page Tools

**TOP 500®**  
SUPERCOMPUTER SITES

GET THE FULL PROOF NOW.

Windows HPC Server 2008

PROJECT LISTS STATISTICS RESOURCES NEWS CONTACT SUBMISSIONS LINKS HOME

**TOP 10 Systems - 11/2008**

1	Roadrunner - BladeCenter QS22/LS21 Cluster, PowerXCell 8i 3.2 Ghz / Opteron DC 1.8 GHz , Voltaire Infiniband
2	Jaguar - Cray XT5 QC 2.3 GHz
3	Pleiades - SGI Altix ICE 8200EX, Xeon QC 3.0/2.8 GHz
4	BlueGene/L - eServer Blue Gene Solution
5	Blue Gene/P Solution
6	Ranger - SunBlade x6420, Opteron QC 2.3 Ghz, Infiniband
7	Franklin - Cray XT4 QuadCore 2.3 GHz

► **Jaguar Chases Roadrunner, but Can't Grab Top Spot on Latest List of World's TOP500 Supercomputers**  
Fri, 2008-11-14 05:56

The 32nd edition of the closely watched list of the world's TOP500 supercomputers has just been issued, with the 1.105 petaflop/s IBM supercomputer at Los Alamos National Laboratory holding on to the top spot it first achieved in June 2008.

The Los Alamos system, nicknamed Roadrunner, was slightly enhanced since June and narrowly fended off a challenge by the Cray XT5 supercomputer at Oak Ridge National Laboratory called Jaguar. The system, only the second to break the petaflop/s barrier, posted a top performance

**APPRO Xtreme-X2 Supercomputer**  
Reduce TCO with Green Architecture

**DELL**

**APPRO**  
Scale out to 1000TF of computing power

**Statistics Charts Development**

**Top500 List:**  
11/2008

**Statistics Type:**  
Vendors

Internet | Protected Mode: On 100%

# Actualment

Los Alamos National Lab: National Security Science - Windows Internet Explorer  
http://www.lanl.gov/ Live Search

Links RusTurn v.1.5 — Asistente de citas Edicions UPC - Náutica The Glycemic Index SMAC Course Chapter 8 Technical Preparation

Roadrunner | TOP500 Supercomputer Los Alamos National La... Page Tools

Los Alamos NATIONAL LABORATORY EST. 1943

PLANET » Earth and Environmental Science, Ecology SECURITY » Nonproliferation, Threat Reduction COMPUTING » Supercomputing and Analysis HEALTH » Biology, Chemistry, Life Sciences SCIENCE » Engineering, Research, Technology UNIVERSE » Astronomy, Space, Astrophysics

Safer Soil and Water Computer modeling predicts underground substance flow

DISCOVER LANL 1 2 3 4 5 6 LEARN MORE...

Lab Pushes Frontiers in Science, Safety, Security, Business, Community LANL advances frontiers of science in multiple arenas

Watch more LANL science videos

News Highlights Laboratory closed on Monday

News Center About LANL Community Doing Business Education Employment Environment Tech Transfer

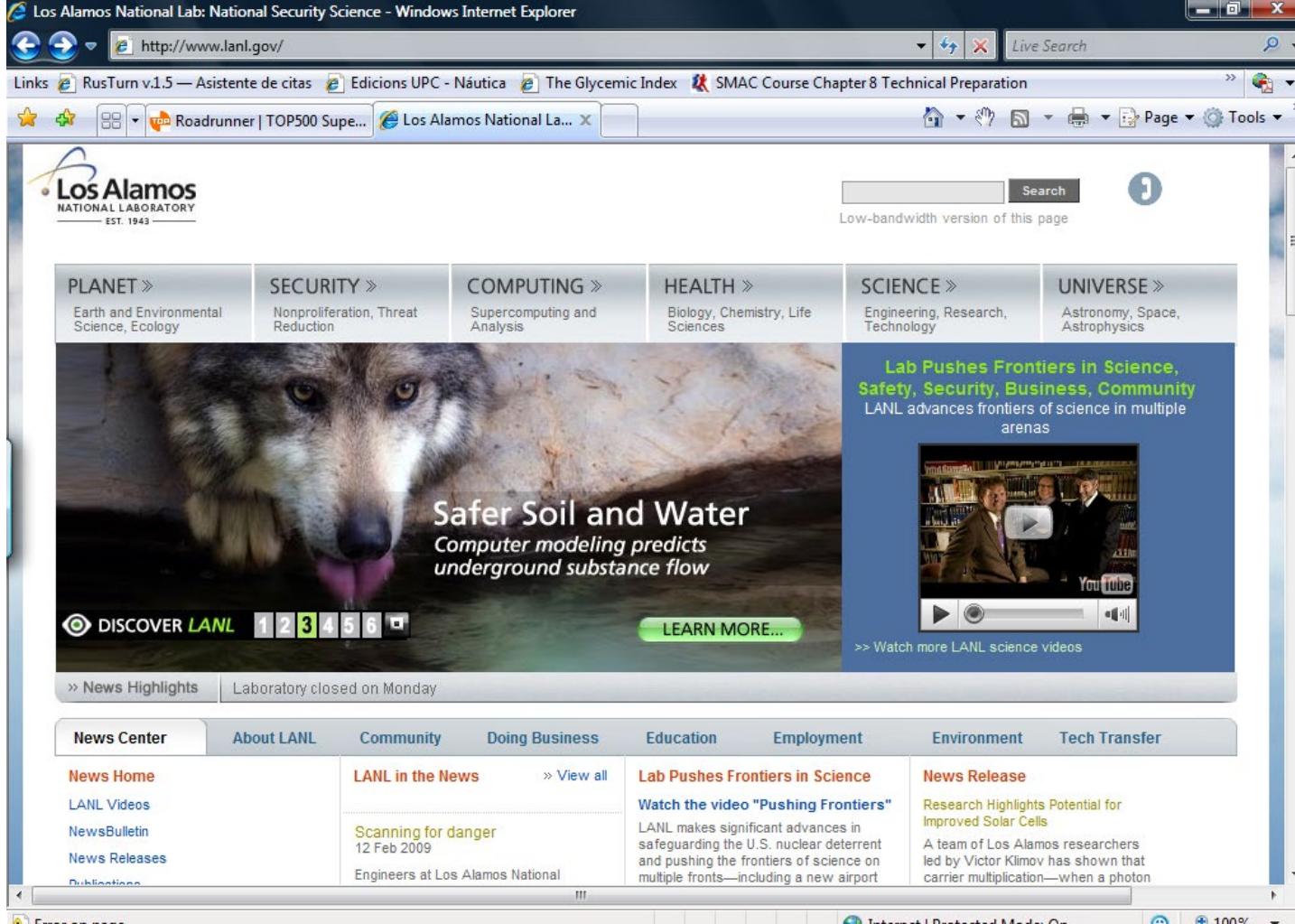
News Home LANL in the News View all Lab Pushes Frontiers in Science News Release

LANL Videos Scanning for danger 12 Feb 2009 Watch the video "Pushing Frontiers"

NewsBulletin Engineers at Los Alamos National LANL makes significant advances in safeguarding the U.S. nuclear deterrent and pushing the frontiers of science on multiple fronts—including a new airport

News Releases Publications Research Highlights Potential for Improved Solar Cells

Error on page. Internet | Protected Mode: On 100%



# Classificació dels models de simulació

Criteris bàsics per classificar els diferents models de simulació que podem trobar.

# Tipus de simulacions (I)

## **Persona - Persona:**

Simulacions de tipus social on s'estudien reaccions de persones o de col·lectius. Per exemple: Entrenament d'entrevistes de feina.

## **De Sistema:**

Simulacions on es reproduueix físicament un sistema físic, químic, biològic, etc, sota unes condicions controlades.

# Tipus de simulacions (II)

## **Persona - Ordinador:**

Simulacions on la persona respon a unes qüestions plantejades per l'ordinador. Per exemple: Entrenament mitjançant jocs d'estratègia finançera, Simuladors de vol, etc.

## **Per Ordinador:**

No requereixen d'interacció. A partir d'una entrada, un programa (conjunt de regles de decisió) la transforma obtenint una sortida. Normalment responen a sistemes estocàstics.

# Tipus de simulacions per ordinador

- **Tipus Monte Carlo:**
  - No hi intervé el temps i es basen en l'aleatorietat i la probabilitat. Per exemple: càlcul de jocs de solitari realitzables. (*Podeu trobar un recull històric d'aquests mètodes a:*  
<http://landau.mines.edu/~jscales/inverse/node154.html>)
  - <http://www.angelfire.com/wa/hurben/buff.html>
- **Simulacions Continues:**
  - Sistemes modelats per equacions diferencials o algèbriques que depenen del pas del temps de forma contínua. Per exemple: Sistemes Tom i Jerry (o Depredador-Presa ).
- **Per Esdeveniments discrets:**
  - Es caracteritzen pel pas de blocs de temps "en els que no passa res" i on puntuen esdeveniments que canvien l'estat del sistema. Es basen en teoria de cues. Per exemple: Estudi d'un peatge o d'un caixer automàtic.

# Simuladors Genèrics VS Simuladors a mida

- Simuladors Genèrics:
  - Arena, Witness, LeanSim, GPSS/H,...
- Simuladors a mida:
  - Programats a partir de les necessitats del model.
- Com triar?:
  - Avaluar les característiques de cada alternativa.
  - Decidir en cada cas quin és el tipus de simulador més adequat.

# Simuladors Genèrics

- Veure quin d'ells s'ajusta més al sistema.
  - Continu.
  - Discret.
- Forma de modelar (quina s'ajusta mes a la que emprarem)
  - Processos.
  - Màquines (PUSH/PULL).
- Estadístics.
- Representació del model.
- Facilitat d'ús.
- Facilitat de re-disseny. (Molt en funció del model a construir).

# Simuladors a mida

- Capacitat de ajustar el model al problema.
  - Crear les màquines adients.
  - Crear la lògica del sistema adient.
  - Personalitzar la representació.
  - Personalitzar els estadístics a recollir.
  - Definir alternatives, i/o la possibilitat de alteracions en el layout.
- Dificultat de implementar un sistema ajustat.
- Tenir en compte els temps de desenvolupament
  - Acostumen a ser elevats.

# Exemples de models de simulació

Models de sistema, d'ordinador i de persona ordinador.

# Model de sistema

- El LK (Lunniy Korabl) és el mòdul que hauria d'haver transportat a un rus a la superfície de la Lluna a finals dels anys 70 principis dels 80. Mai va ser tripulat i tots els tests es van desenvolupar en la òrbita terrestre. No va acomplir el seu objectiu per les falles sistemàtiques en el seu coet portador, N1. La maqueta representa al LK i el seu únic tripulant e la superfície lunar a una escala de 1/100.



# Model de sistema



**Mòdul de la estació espacial internacional.**

# Model de sistema.



**Mòdul de la estació espacial internacional.**

# Model de sistema: FMARS

- In order to help develop key knowledge needed to prepare for human Mars exploration, and to inspire the public by making real the vision of human exploration of Mars, the Mars Society has initiated the Mars Analog Research Station (MARS) project. The Flashline Mars Arctic Research Station is the first station in this project.

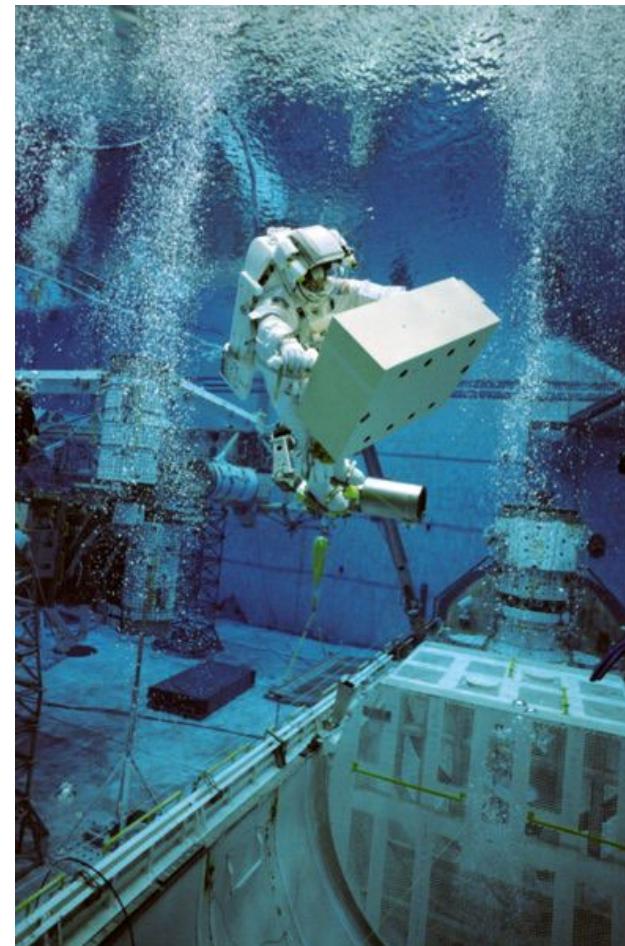


# Model de sistema: Mart

- <http://fmars.marsociety.org/>
- <https://hypatiamars.com/>



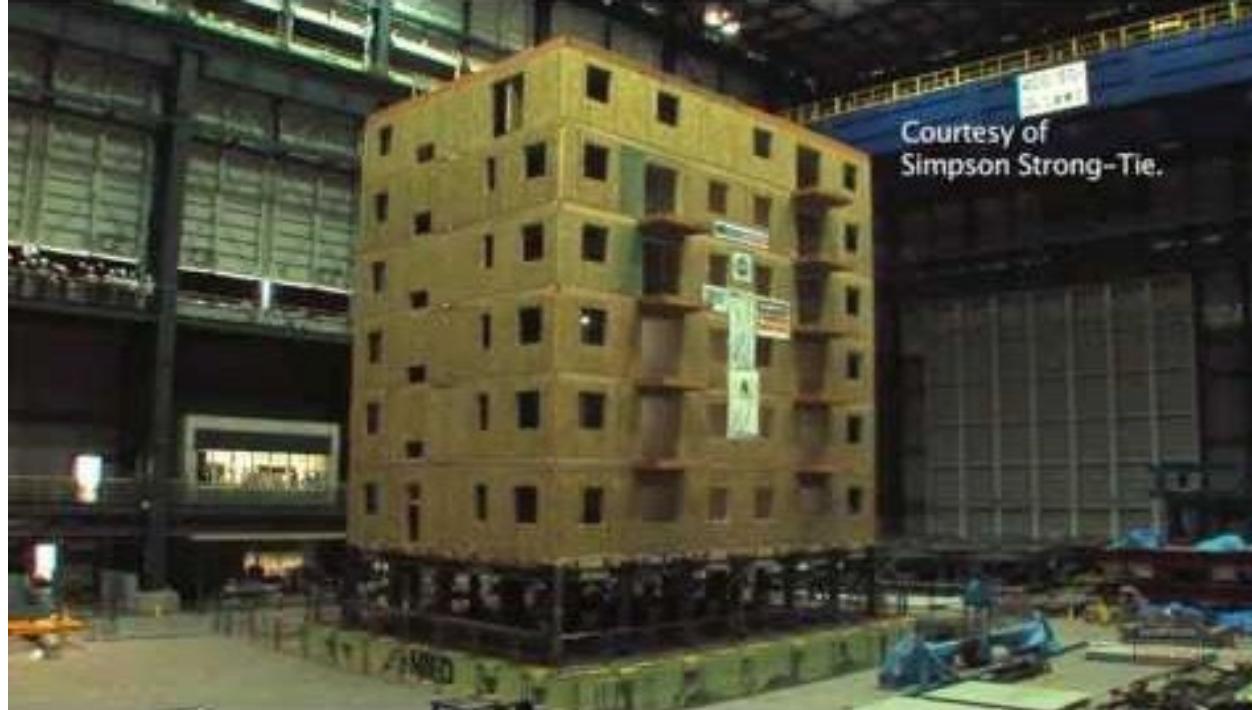
# Model de sistema



# Model de sistema



# System Simulation - earthquake



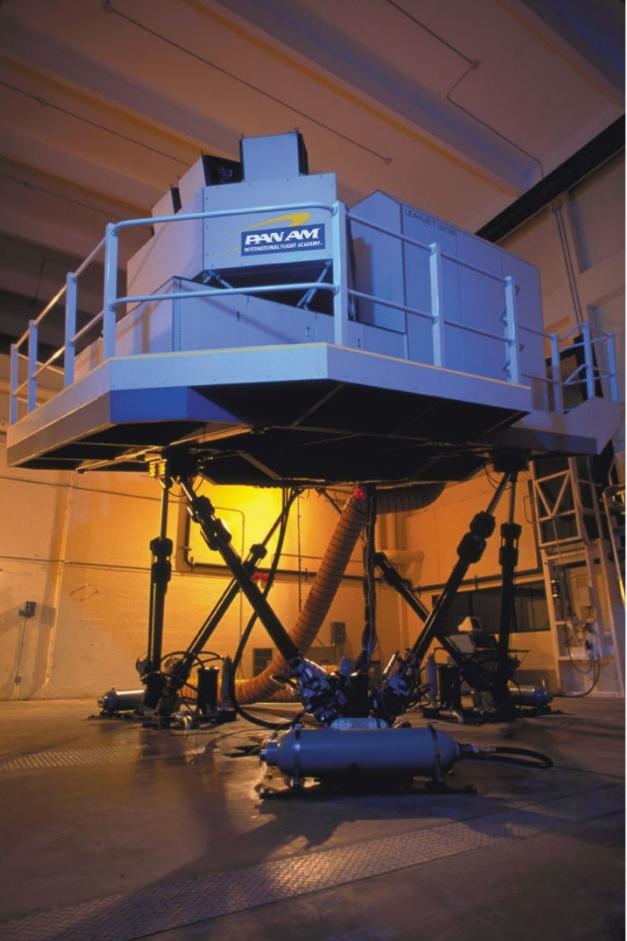
<https://www.youtube.com/watch?v=hSwjkG3nv1c>

[https://www.youtube.com/watch?v=nGV\\_JS9j4JE](https://www.youtube.com/watch?v=nGV_JS9j4JE)

# Persona – Ordinador



# Persona – Ordinador



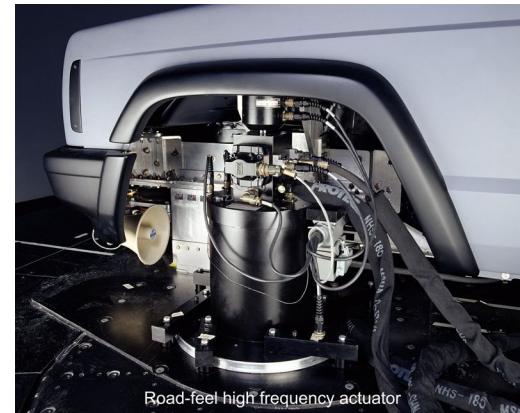
Learjet simulator  
Pam Am International Flight  
Academy

# Persona – Ordinador

- Keesler AFB
- Control del tràfic aeri.
- Simulacions de torre i radar.

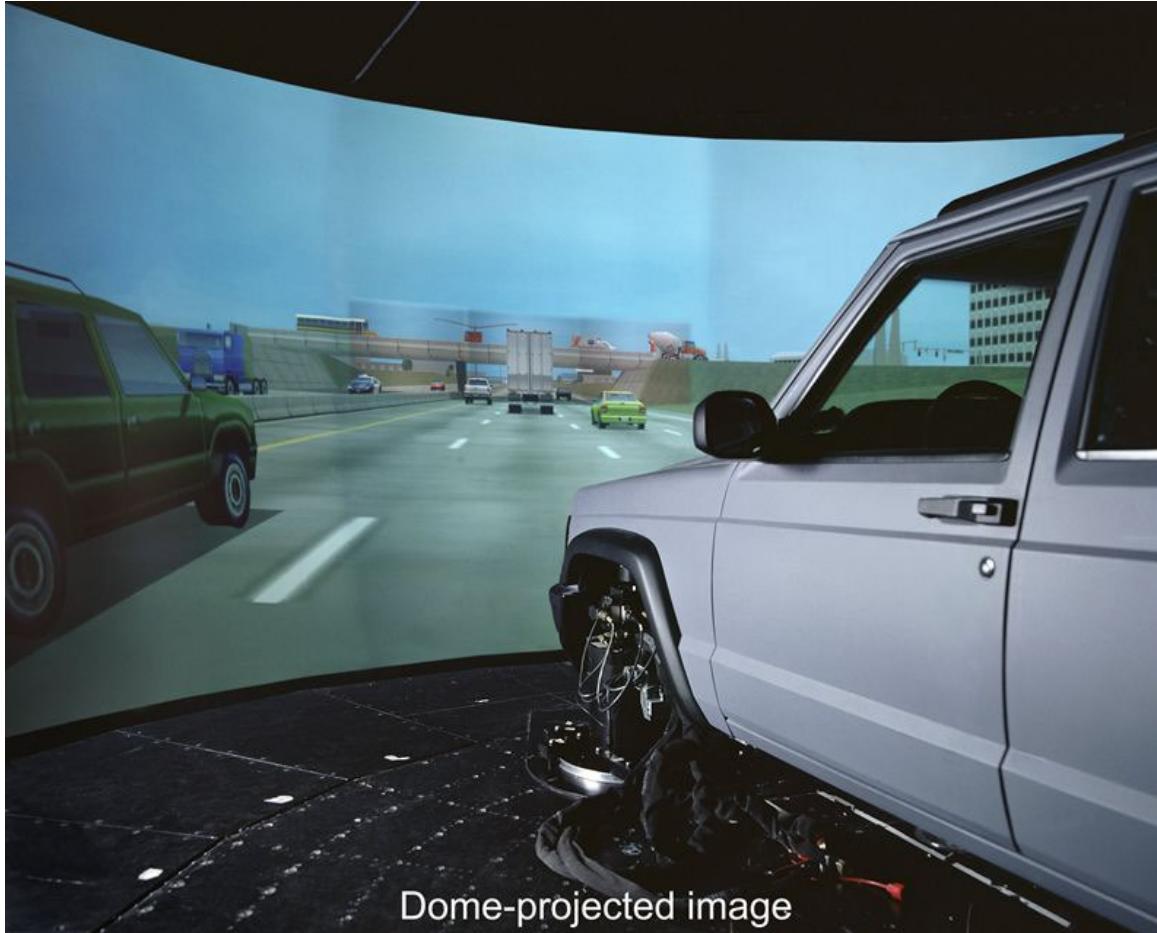


# Persona – Ordinador



NADS (National Advanced Driving Simulator)  
University of Iowa, Iowa City, USA  
[http://www.youtube.com/watch?v=Bi\\_GkDqON\\_s](http://www.youtube.com/watch?v=Bi_GkDqON_s)

# Persona – Ordinador





Jan 22, 2020

<https://www.youtube.com/watch?v=NsyogMDjtw>



<https://www.youtube.com/watch?v=kS1YfBaYzUM>



# Elements bàsics d'un model de simulació

Les nostres peces de “LEGO”.



# Objectes de simulació (genèrics)

- Elements bàsics de tot model de simulació:
  - Entitat
  - Activitats / Màquines / Operacions
  - Processos

# Entitat

- Elements finals o intermitjos que apareixen en el sistema i sobre el que es realitzen un o més tractaments.
  - No tindria sentit definir entitats sobre les que no es realitza cap tractament. No formarien part del model a simular.
- Definir els processos en els que participa.
  - Cada entitat pot participar en 1 o més processos.
- Definir els atributs de l'entitat.
  - Cada entitat pot tenir cap o n atributs.

# Entitat

- Estadístics associats
  - Temps de vida (permanència en el sistema).
  - Màquines per les que passa.
  - Temps d'espera a cada màquina.
- Tipus
- Ruta de destins

# Processos

- Conjunt d'operacions que es realitzen sobre una entitat en un subconjunt dels objectes de simulació.
  - El subconjunt no pot ser buit.
  - Pot contenir tots els objectes de simulació.
- Dues formes d'aconseguir-ho
  - A partir de les màquines.
  - A partir de les entitats.

# A partir de les màquines

- Les màquines del model determinen el moviment de les entitats.
  - A favor
    - Entitats simples → menys necessitat de recursos.
  - En contra
    - Màniques més complexes, han de contenir la lògica de enrutament.
    - Dificultat per afegir nous tipus de màquines.
    - Es perd la visió de la ruta.

# A partir de les entitats

- Les entitats saben per on han de passar.
  - A favor
    - Màquines més simples.
    - Es manté una visió dels processos.
  - En contra
    - Entitats mes complexes.
    - Requereix un objecte propi per implementar-la com a mínim.

# Exemple

- Entitat guia el procés
  - GPSS/H®
  - SimProces®
  - LeanSim®
- Màquines guien el procés
  - Witness®

# Màquines de Simulació (Objectes)

- Generadors.
- Destructors.
- Màquines genèriques (simple, complexa).
- Recursos.
- Cintes transportadores.
- Transports.
- En funció del motor de simulació podem tenir objectes més o més aproximat als objectes del sistema real.

# Propietats de les màquines (I)

## □ Característiques fonamentals:

- Estat

- Indicarà en quin estat es troba la màquina en cada moment.

- Número de elements de la cua.

- Indica el nombre d'elements que hi han a la cua.

- Estadístics associats

- Quins són els estadístics que recollirà.

- Tipus de Objecte

- El tipus de objecte que es.

# Propietats de les màquines (II)

## □ Característiques secundàries:

- Atributs
- Senyals
- Avaries
- Operacions
- Cues
  - Màxim i mínim valor
- Representació

# Propietats de les màquines (III)

- Cal determinar quins objectes pertanyen al model.
- Cal determinar com canvien d'estat.
  - Diagrames SDL.
  - Diagrames Petri.
  - Models DEVS.
  - Etc.

# Generador

- Permet introduir entitats dintre del model.
- Cal determinar:
  - Temps entre generacions
  - Mida del lot a generar
  - Quantitat màxima d'entitats a generar

# Destructor

- Elimina les entitats del model i actualitza els seus estadístics.
- Cal parametritzar:
  - Temps que triga en fer la destrucció (opcional, molts sistemes no ho tenen en compte)

# Màquina simple

- Recurs, que acostuma a tenir associat una demora.
- Admet 1 entitat dintre seu per unitat de temps.
- Pot tenir activitats dintre seu per transformar l'entitat.
  - Batch.
  - Assign.

# Màquina complexa

- Conjunt de recursos.
- Admet dintre seu mes de una entitat.
- Pot tenir activitats dintre seu associades.
  - Batch.
  - Assign.

# Recursos

- Elements necessaris per desenvolupar alguna activitat.
- Poden ser:
  - Fixes: Recursos que mantenen ell seu nombre sempre constant.
  - Consumibles: En usar-se es consumeixen Cal reomplir-los.

# Transports

- Elements que permeten moure entitats de un lloc a un altre.
- Normalment es defineixen sobre una MATRIU de CAMINS, o GRAF.

# Simulador

- Pot tenir incorporats els següents elements:
  - Rellotge de simulació
  - Llista d'esdeveniments
- El bucle central de simulació tracta els diferents esdeveniments del nostre model.  
Motor de simulació.
- Parametritzar els paràmetres del model.

# Objectes del simulador

- Rellotge de simulació
- Motor de simulació
- Objectes de simulació
- Llista d'esdeveniments
- Esdeveniments
- Entitat

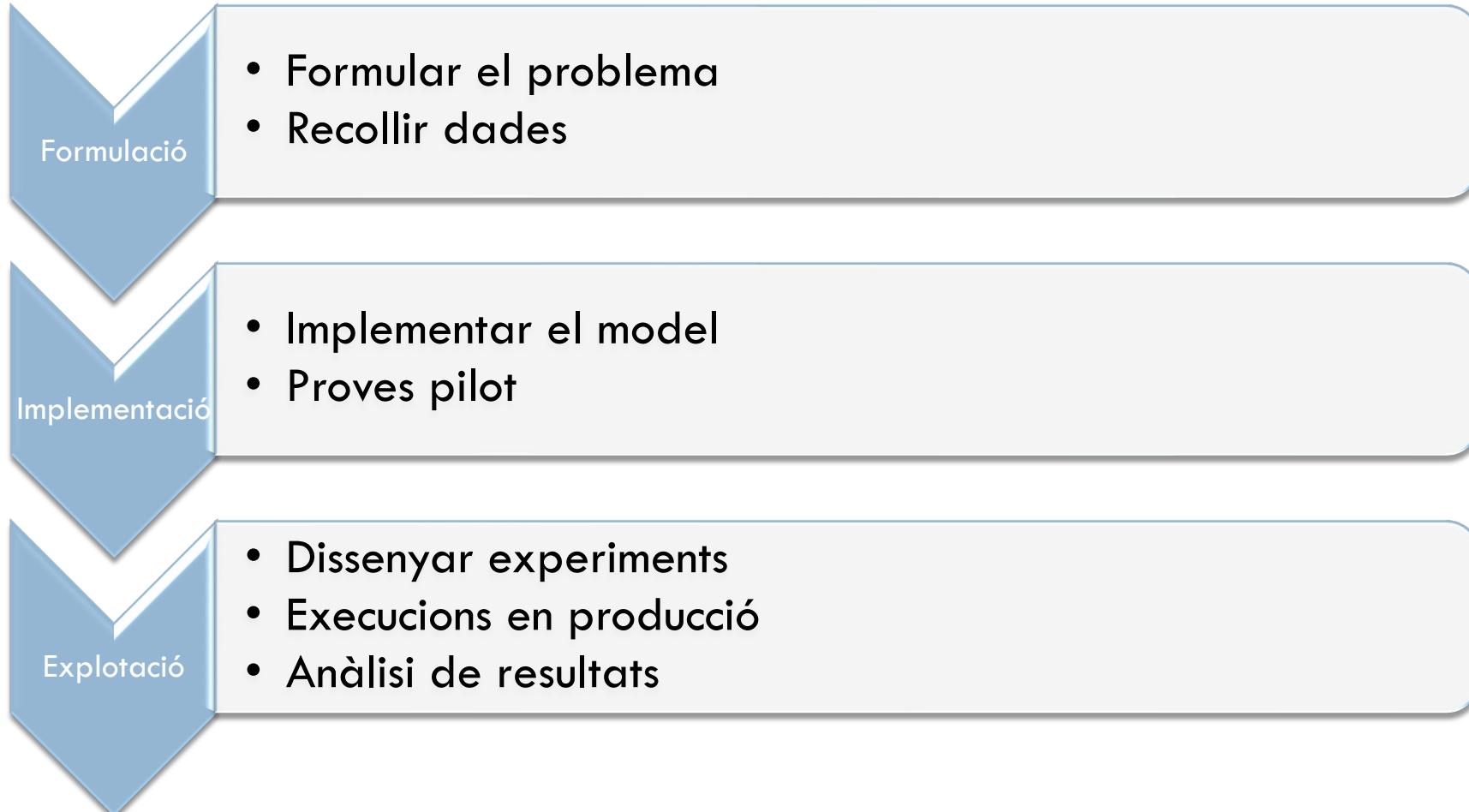
# Construcció de models de simulació

- Identificació de les entitats
- Identificació dels objectes, màquines de simulació
- Identificació dels processos que es desenvolupen dintre del sistema.
- Configuració dels objectes de simulació.

# Simulació a mida

- Previ a lo vist cal:
- Determinar el paradigma amb el que treballarem.
- Construir els objectes que intervindran en el model.
  - Rellotge de simulació
  - Motor de simulació
  - Objectes de simulació específics
  - Llista d'esdeveniments
  - Esdeveniments
  - Entitat

# Fases d'un estudi de simulació



# Simuladors

- <http://www.eai.com/solutions/VF/>
  - Virtual Factory
- [www.lanner.com](http://www.lanner.com)
  - Witness
- <http://www.caci.com/>
  - Gestora
- <http://www.simprocess.com/>
  - Simprocess i simscript.
- <http://www.adeptscience.com/products/mathsim/vissim/>
  - Vissim
- <http://www.vensim.com/>
  - Vensim
- <https://cloud.anylogic.com/models?public=true&orderType=BEST&selectedCategory=All%20Models&textSearch=airport>
  - Anylogic