

Computación inteligente con organismos vivos

Mario de Jesús Pérez Jiménez

Grupo de Investigación en Computación Natural
Dpto. Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial
Universidad de Sevilla

Lisboa, 31 de octubre de 2012

**International Symposium of Epistemology, Logic and Language
(ISELL 2012)**



Una eterna aspiración del hombre ...

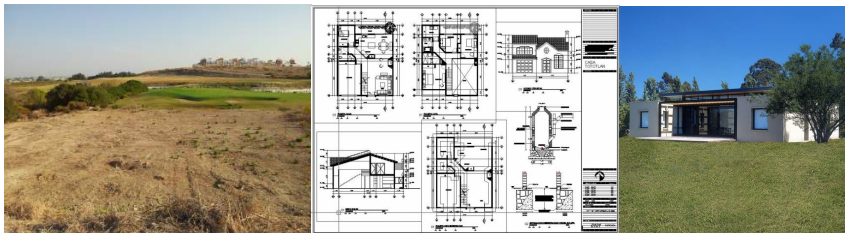


- ▶ Mejorar la calidad de Vida.

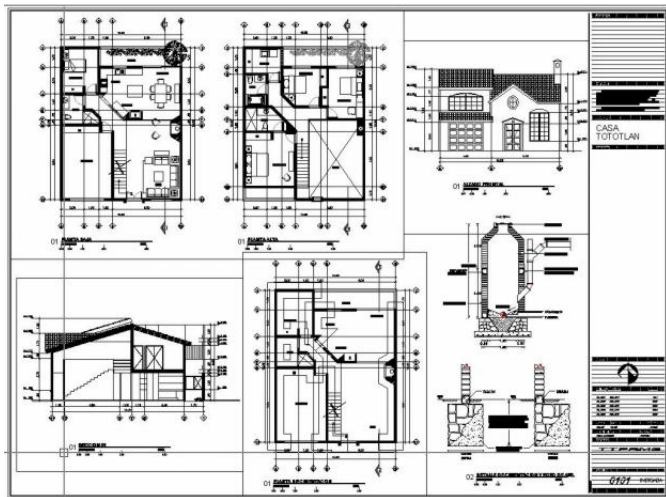
Para ello ...

- ▶ Necesidad de resolver problemas.
 - ▶ A ser posible usando **procedimientos mecánicos** ...
 - ▶ ... y recibiendo **ayuda** para su resolución.

Computación y Máquinas ... **VIVAS** e **INTELIGENTES**

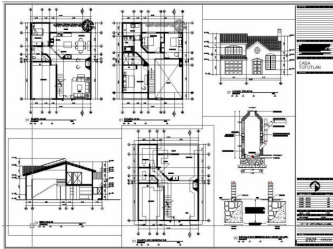


Modelo de computación



Modelo de computación

► Sintaxis.



► Semántica.

¿Qué existe en la trastienda de un modelo de computación?

Tres cosas: **Matemáticas**, **Matemáticas** y más **Matemáticas**.

Máquina del modelo



Diseño y construcción de máquinas.

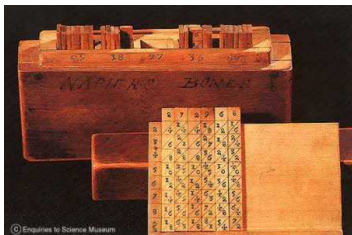
- ▶ Asistentes para el hombre.
 - ▶ Realización de tareas tediosas...
 - ▶ ... y otras tareas inteligentes.

Máquinas de propósito específico

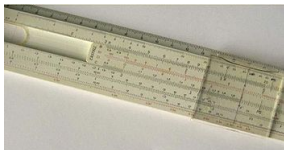
Desde el ábaco (aprox. año 1000 a.C.)



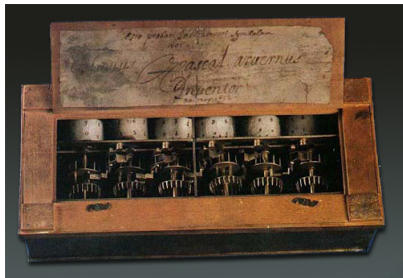
a las tablas de Néper (1617).



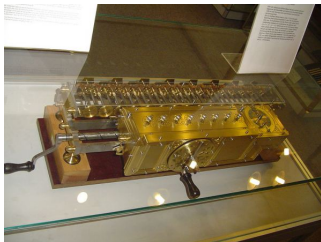
Pasando por la regla de cálculo (1620–1630),



.. la máquina de Pascal (1642),



... la máquina de Leibniz (1670-1694),



.. el telar de Jacquard (1801-1805),



... la máquina de diferencias de Charles Babbage (1821),

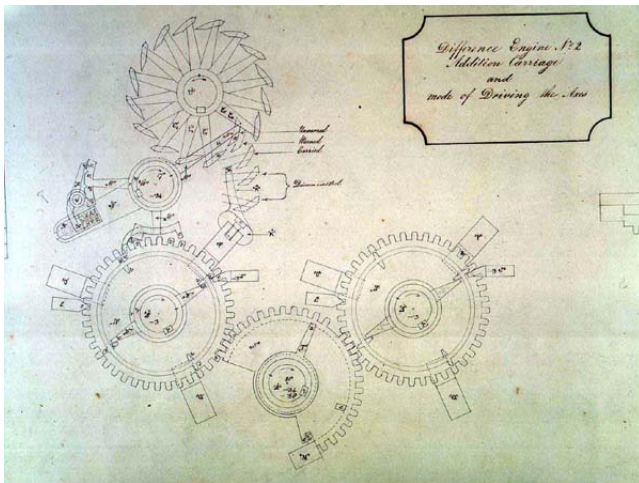


y la máquina tabuladora de Hermann Hollerith (1886).



Máquinas de propósito general

El sueño de la **máquina analítica** de Charles Babbage (1847-1849),



Aparición de los **ordenadores electromecánicos** (H. Aiken, 1944).



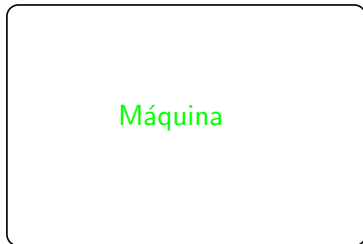
... y los primeros **ordenadores electrónicos** (J.W. Mauchly y J.P. Eckert, 1945).



Más ordenadores ...

- ▶ Ordenadores basados en los **transistores** (1954 - 1962).
 - ▶ Aparecen los primeros lenguajes de alto nivel.
- ▶ Ordenadores basados en **circuitos integrados** (1963 - 1972).
 - ▶ Aparecen los multiprocesadores.
- ▶ Ordenadores basados en **microprocesadores** (1972 - 1984).
- ▶ Ordenadores que incorporan **paralelismo** (1984 - 1990).
 - ▶ Aparecen familias de ordenadores compatibles.
- ▶ Ordenadores con **arquitecturas masivamente paralelas** (1990 - ...).
 - ▶ Aparecen los primeros sistemas de realidad virtual.

Programa + Dato entrada



Máquina



Solución



Un problema doméstico

En nuestro hogar tenemos material de todo tipo.

Se ha estropeado un interruptor de la luz ...

¿Cómo soluciono el problema?

Se necesitan

- ▶ Conocimientos.
- ▶ Capacidades.

De esta manera,

- ▶ **Sabemos resolver** el problema.
- ▶ **Somos capaces** de resolverlo.

¿Se puede resolver un problema sin tener conocimiento del mismo?

Sí

¿Qué se necesita para ello?

- ▶ Capacidades.
- ▶ Que alguien me diga cómo tengo que proceder.

Hay que distinguir entre:

- ▶ **Saber resolver** un problema.
- ▶ **Ser capaz** de resolver un problema.

Un problema de números

Dado un número natural, determinar si es par

¿Cómo puedo resolver el problema?

Por ejemplo, sería suficiente:

- ▶ Saber **reconocer números**.
- ▶ Conocer una **regla** que caracterice los números pares: **son los números cuya última cifra es 0,2,4,6,8**.

O bien, sería suficiente:

- ▶ Saber **dividir por 2**.
- ▶ Conocer una **regla** que caracterice los números pares: **son los números cuya división por 2 es exacta**.

AHORA BIEN, es posible que yo **no sepa resolver** ese problema...

- ▶ ... por motivos varios.

En ese caso ¿sería yo capaz de responder correctamente siempre?



¿Qué es una máquina de cálculo de propósito general?

Entidad capaz de realizar **de manera autónoma** las siguientes tareas:

- ▶ Sumar 1.
- ▶ Restar 1.
- ▶ Distinguir si un número es o no igual a 0.
- ▶ Y... ¡**OBEDECER!**

¿Qué puede resolver una máquina sabiendo realizar estas tareas?

- ▶ Prácticamente ... ¡**T O D O!**

¿Ejemplos de máquinas?

- ▶ Cada uno de ustedes.
- ▶ Este ordenador.

▶



Comunicación con la máquina

Problema: Dado un número natural, determinar si es par.

Un método mecánico de resolución:

Entrada: un número natural x .

- ▶ 1.- Si x vale 0, devuelve **SÍ**.
- ▶ 2.- Si no,
 - ▶ 3.- Al número x réstale 1 y sigue llamándolo x .
 - ▶ 4.- Si x vale 0, devuelve **NO**.
 - ▶ 5.- Si no,
 - ▶ 6.- Al número x réstale 1 y sigue llamándolo x .
 - ▶ 7.- Vuelve a empezar (vuelve a 1).

¡OJO! En este caso, la máquina no necesita saber sumar 1.



Lenguaje de comunicación con la máquina

Entrada: un número natural x .

1. Si $x = 0$, devuelve *SI*.
2. Si no,
 3. $x \leftarrow x - 1$
 4. Si $x = 0$, devuelve *NO*.
 5. Si no,
 6. $x \leftarrow x - 1$.
 7. Vuelve a 1.

[B] IF $X \neq 0$ GOTO A

$Y \leftarrow Y + 1$

IF $Y \neq 0$ GOTO E

[A] $X \leftarrow X - 1$

IF $X \neq 0$ GOTO B

Con una **máquina-humana** usaremos el lenguaje natural.

Pero una máquina no humana carece de oídos.

He de comunicarme con ella a través de algún medio (p.e. el teclado).

¿Y si la máquina sabe dividir por 2?

Problema: Dado un número natural, determinar si es par.

Entrada: un número natural x .

- ▶ 1.- Divide x por 2.
- ▶ 2.- Si el resto vale 0, devuelve **SÍ**.
- ▶ 3.- Si no, devuelve **NO**.

En este caso, el lenguaje de comunicación sería más simple.

Limitaciones de las máquinas electrónicas

Máquinas: dispositivos finitos.

Chips electrónicos.

Recursos: *espacio* (memoria) y en *tiempo*.

- ▶ Espacio: miniaturización (*R. Feymann, 1959*).
- ▶ Tiempo: velocidad de cálculo de procesadores (*R. Churchhouse, 1983*).

Consecuencia:

- ▶ Existen **problemas muy relevantes** de la vida real que **nunca** podrán ser resueltos por ordenadores electrónicos (**a menos que ...**)

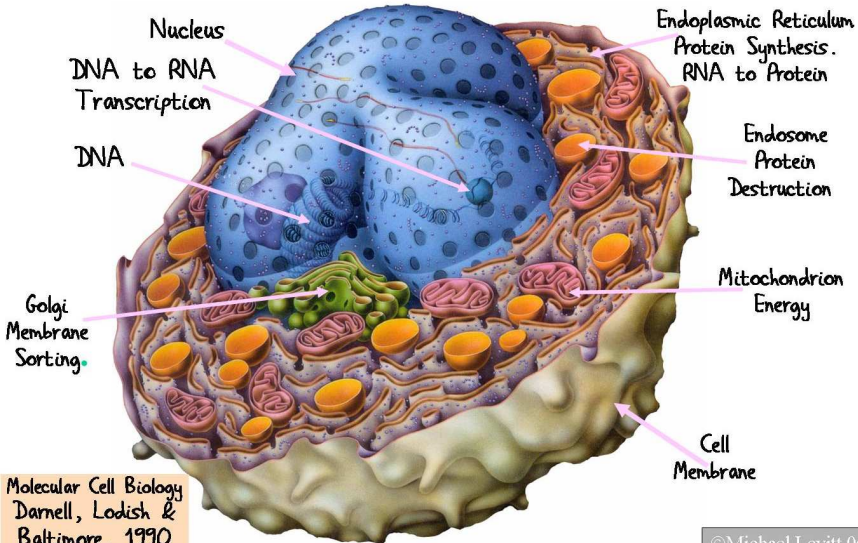
La Naturaleza viva: fuente de inspiración computacional

Célula: unidad fundamental de todo organismo vivo.

- ▶ Estructura compleja y, a la vez, muy organizada.
- ▶ Permite la ejecución simultánea de reacciones químicas.

Realiza unos procesos esenciales que caracterizan la **VIDA**:

- ▶ **Replicación** del ADN.
- ▶ Producción de **energía**.
- ▶ Síntesis de **proteínas**.
- ▶ Procesos **metabólicos**.



Molecular Cell Biology
Darnell, Lodish &
Baltimore, 1990

©Michael Levitt 06



Computación celular con Membranas: Gh. Păun, 1998–2000.

Los planos de una máquina celular: **comunicación inteligente de bacterias**

$$ME = (\Gamma, H, G, E_1, \dots, E_{25}, R_1, \dots, R_{25}, \Pi_1, N)$$

$\Gamma = \{\text{OHHL}\}$, $H = \{e\}$, G un grafo, $\Pi_1 = (\Sigma, L, \mu, M_1, R_1)$ en donde:

$\Sigma = \{\text{OHHL}, \text{LuxR}, \text{LuxR.OHHL}, \text{LuxBox}, \text{LuxR.OHHL.LuxBox}\}$, $L = \{b\}$, $\mu = []$, $M_1 = \{\text{LuxBox}\}$.

Reglas de los sistemas Π_1 (bacterias)

$$r_1 : [\text{LuxBox}]_b \xrightarrow{c_1} [\text{LuxBox} + \text{OHHL}]_b$$

$$r_2 : [\text{LuxBox}]_b \xrightarrow{c_2} [\text{LuxBox} + \text{LuxR}]_b$$

$$r_3 : [\text{LuxR} + \text{OHHL}]_b \xrightarrow{c_3} [\text{LuxR.OHHL}]_b$$

$$r_4 : [\text{LuxR.OHHL}]_b \xrightarrow{c_4} [\text{LuxR} + \text{OHHL}]_b$$

$$r_5 : [\text{LuxR.OHHL} + \text{LuxBox}]_b \xrightarrow{c_5} [\text{LuxR.OHHL.LuxBox}]_b$$

$$r_6 : [\text{LuxR.OHHL.LuxBox}]_b \xrightarrow{c_6} [\text{LuxR.OHHL} + \text{LuxBox}]_b$$

$$r_7 : [\text{LuxR.OHHL.LuxBox}]_b \xrightarrow{c_7} [\text{LuxR.OHHL.LuxBox} + \text{OHHL}]_b$$

$$r_8 : [\text{LuxR.OHHL.LuxBox}]_b \xrightarrow{c_8} [\text{LuxR.OHHL.LuxBox} + \text{LuxR}]_b$$

$$r_9 : [\text{OHHL}]_b \xrightarrow{c_9} \text{OHHL} []_b$$

$$r_{10} : [\text{OHHL}]_b \xrightarrow{c_{10}} []_b$$

$$r_{11} : [\text{LuxR}]_b \xrightarrow{c_{11}} []_b$$

$$r_{12} : [\text{LuxR.OHHL}]_b \xrightarrow{c_{12}} []_b$$

Reglas de los entornos:

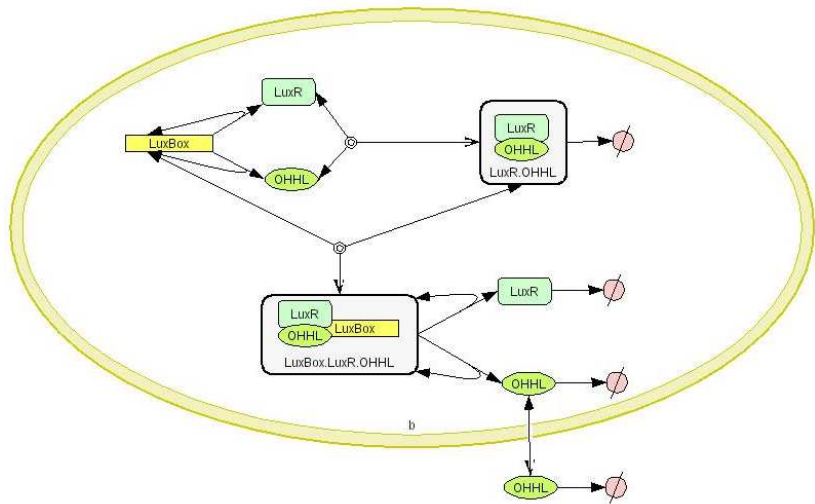
$$r_{13} : \text{OHHL} []_b \xrightarrow{c_{13}} [\text{OHHL}]_b$$

$$r_{14} : [\text{OHHL}]_e \xrightarrow{c_{14}} []_e$$

$$r_{15} : [\text{OHHL}]_e - []_e \xrightarrow{c_{15}} []_e - [\text{OHHL}]_e$$

$$r_{16} : [[]_b]_e - []_e \xrightarrow{c_{16}} []_e - [[]_b]_e$$





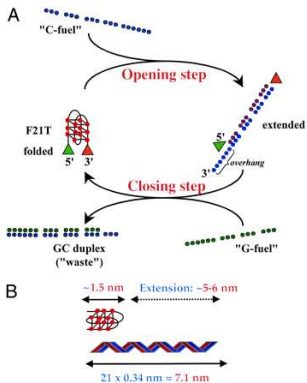
Representación gráfica del modelo

La Naturaleza como sustrato de implementación

Computación *in vitro*.

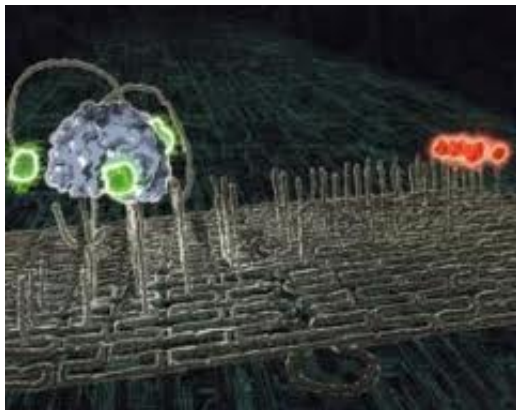
- ▶ Moléculas de **ADN** (J. Watson y F. Crick, 1951–1953):
 - ▶ Codifican toda la información genética.
- ▶ Modelos moleculares basados en ADN.
- ▶ Experimento de Adleman (1994).
- ▶ Programas moleculares.
- ▶ Máquinas moleculares basadas en ADN.

Una máquina de ADN que simula movimientos musculares



(P. Alberti, J.L. Mergny, 2003)

Nanorobots: Una araña molecular basada en ADN



(Lloyd Smith, abril 2010)

Nanorobots: Obreros moleculares basados en ADN



(Erik Winfree, febrero 2010)

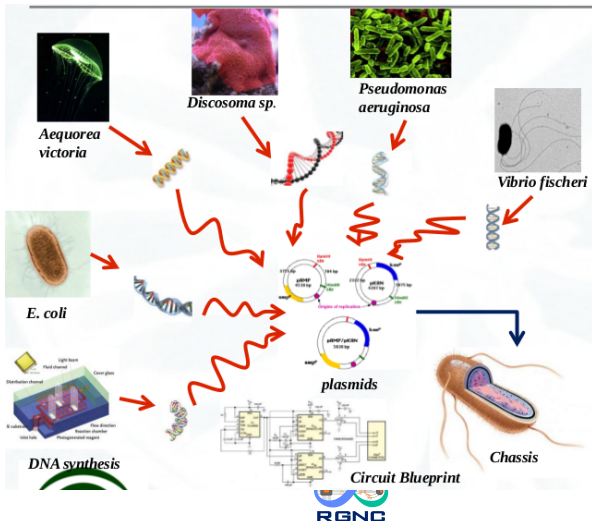
Una máquina de ADN que calcula raíces cuadradas



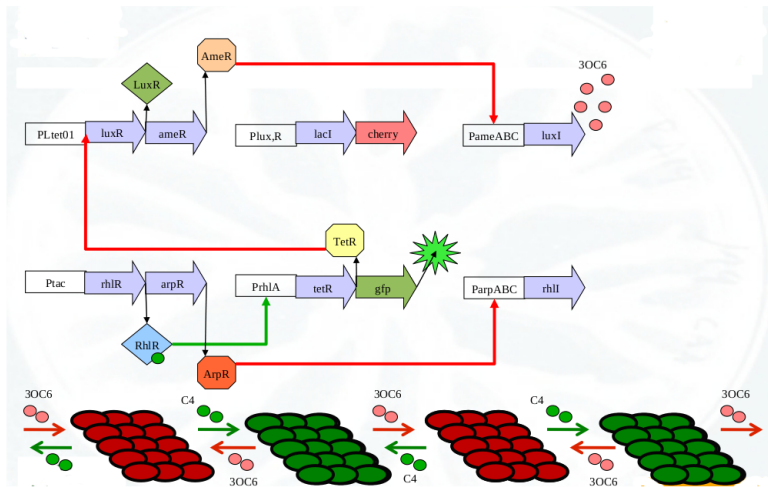
(Daniel Strain, Lulu Oian y Erik Winfree, junio 2011)

La Naturaleza como computación

Computación in vivo (I)

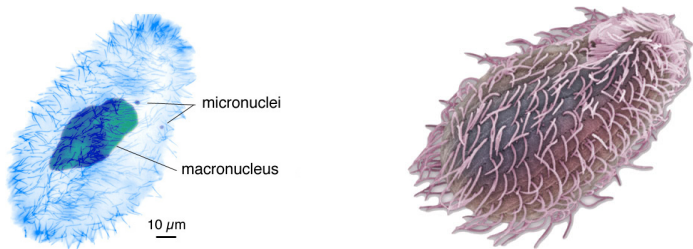


Computación in vivo (II)



Computación in vivo (III)

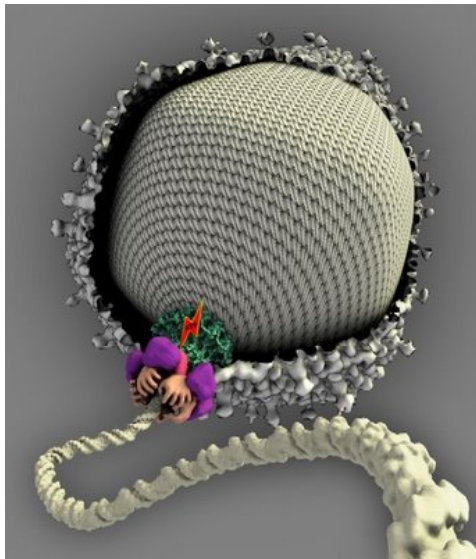
Ensamblaje de genes en ciliados (Grzegorz Rozenberg, 2003)



- ▶ Importantes computaciones tienen lugar en la vida de los ciliados.
- ▶ Uso de estructuras de datos clásicas (listas enlazadas).

Resolver problemas ... usando ¡ciliados!

Un virus con manos



G R A C I A S
P O R
V U E S T R A
A T E N C I Ó N