

# NANOTECNOLOGÍA



Alberto Hernández Pérez  
alberto.hernandez@electronica.cujae.edu.cu  
Maria Luisa Corona Herrera  
luisacorona@ceta.inf.cu

# Sumario

- Definición
- ¿Cuándo surgió?
- ¿Hay una sola nanotecnología?,  
¿tenemos en Cuba desarrollo en la  
nanotecnología?
- ¿ Quiénes trabajan en ella?
- Impacto de la nanotecnología

# Referencias

- **Nanotechnology and the next 50 years, R. E. Smalley, 1995.**
- **Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías, Comisión de las Comunidades Europeas, 2004.**
- **Nanotechnology Innovation for tomorrow's world\_EC, European Commission, Research DG, 2004.**
- **The High\_k Solution 45nm\_Intel\_2007, IEEE Spectrum, 10\_07.**
- **Introducción a la Nanoelectrónica, A. Hernández, M. L. Corona y A. Lastres, CIME\_CUJAE, 2004.**

La Nanotecnología engloba una amplia serie de técnicas usadas para modificar, caracterizar y controlar la materia a escala nanométrica.

UN NANÓMETRO ~ 10 RADIOS ATÓMICOS

La nanotecnología es el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a nano escala, y la explotación de fenómenos y propiedades de la materia a nano escala.

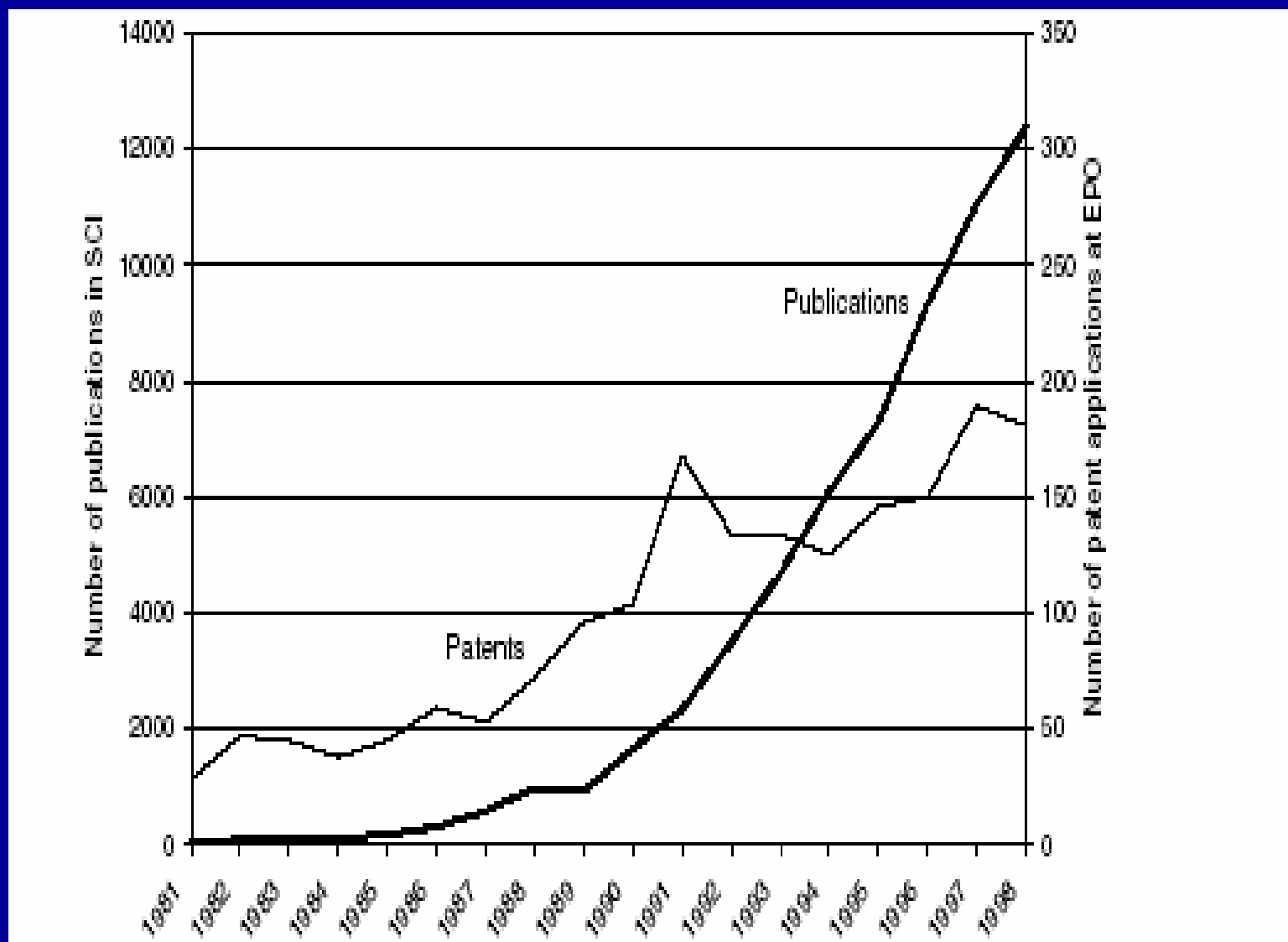
**“Nanotechnology has given us the tools...to play with the ultimate toy box of nature—atoms and molecules. Everything is made from it...The possibilities to create new things appear limitless.”**

**– Horst Stormer  
Lucent Technologies and  
Columbia University,  
Physics Nobel Prize Winner**

*“Capability to **manipulate**, **control**, **assemble**,  
**produce** and **manufacture** things at atomic  
precision”*

**Richard Feynman**  
**Nobel Prize in Physics 1965**

# ¿ Cuándo surgió la Nanotecnología?





La Nanotecnología surgió en los años 80 como resultado de los logros científicos :

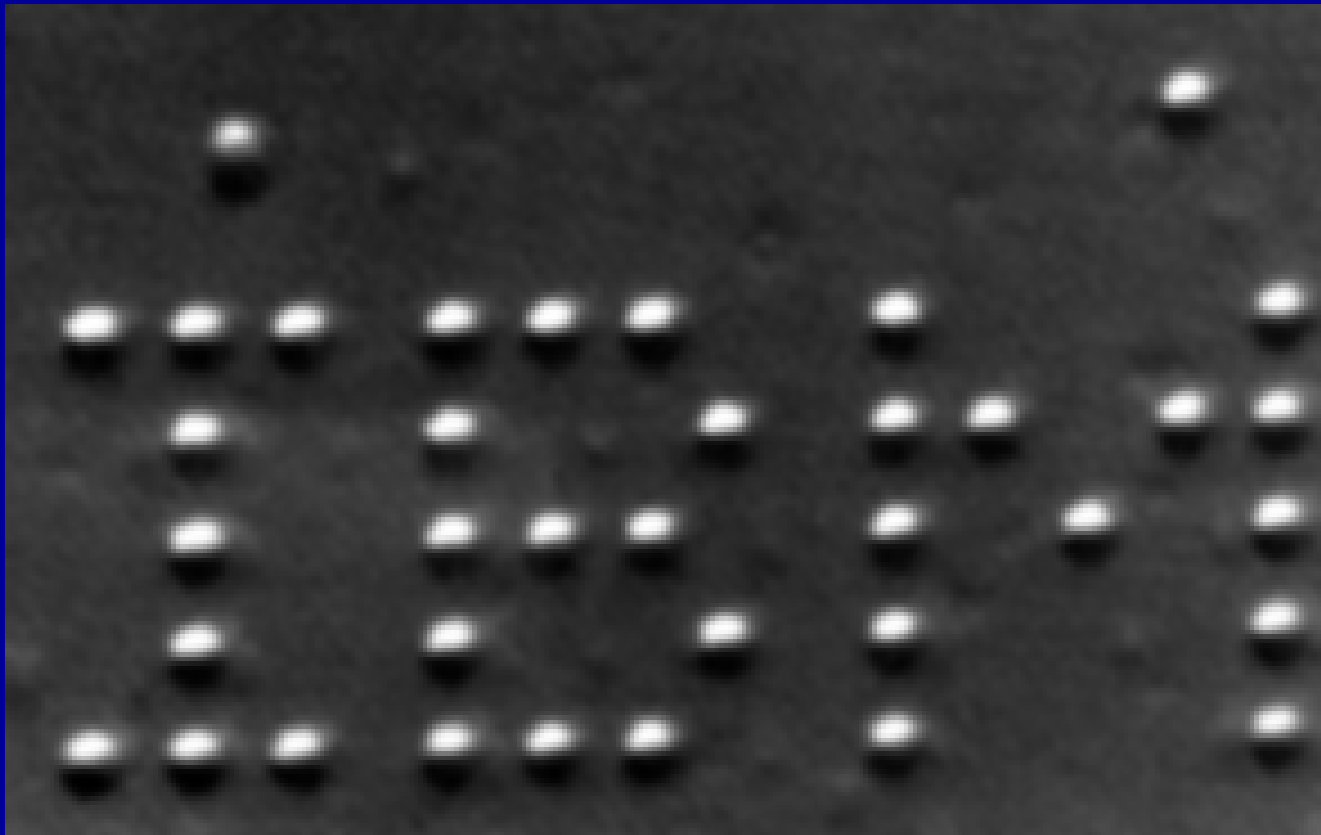
- ❖ La invención del Microscopio de Efecto Túnel
- ❖ Los avances en la Informática
- ❖ El descubrimiento y síntesis del "fullereno"
- ❖ El descubrimiento de los nanotubos de carbono

La nanotecnología incluye:

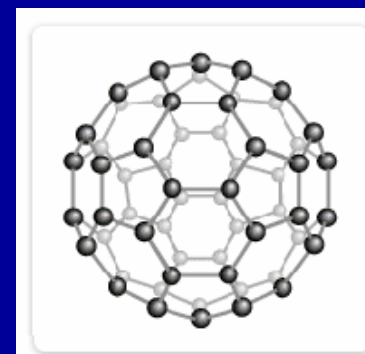
- ✦ La obtención de estructuras más pequeña
- ✦ Construir manipulando átomos.

La nanoescala NO es un paso en la minituarización

"Es una nueva Categoría"



**Buckminsterfullereno o Fullereno C<sub>60</sub>, una forma natural o alotrópica del carbono. Durante muchos años se pensó que el elemento carbono existía en dos formas alotrópicas (o distribuciones distintas de los átomos), el diamante y el grafito. El carbono es uno de los elementos más investigados, por lo que fue una gran sorpresa el descubrimiento en 1985 de una familia entera de formas alotrópicas distintas, los fullereros. Este descubrimiento fue el resultado de las investigaciones sobre la formación de compuestos de carbono en el interior de las estrellas realizadas por el británico Harold W. Kroto, en colaboración con los estadounidenses Robert F. Curl y Richard E. Smalley; por ello, los tres científicos recibieron el Premio Nobel de Química en 1996.**



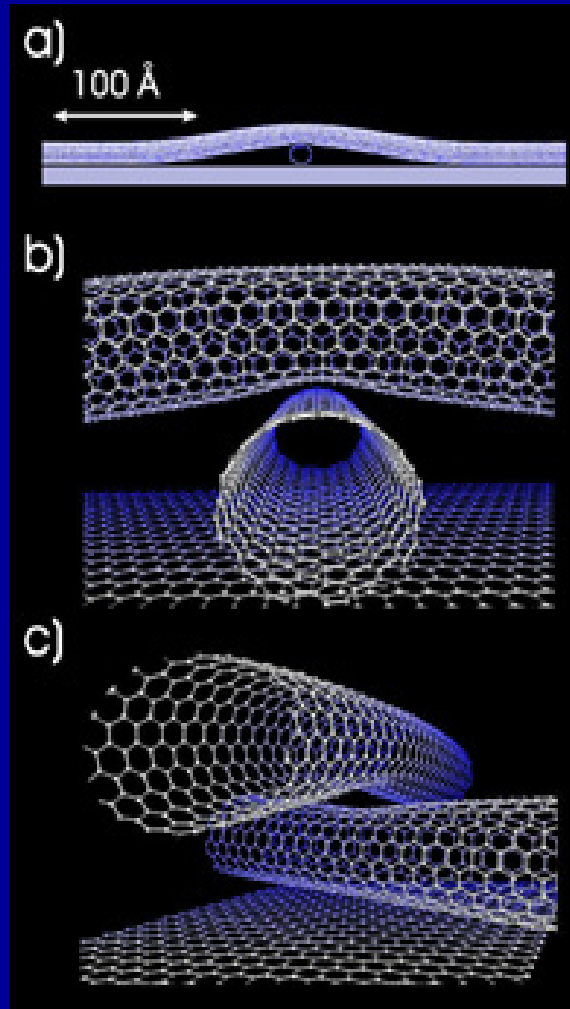
El buckminsterfullereno, la forma alotrópica más conocida del grupo de los fullerenos, consiste en 60 átomos de carbono unidos para formar una molécula  $C_{60}$  de hexágonos y pentágonos dispuestos en forma casi esférica, como la envoltura de una pelota de fútbol. La molécula recibe ese nombre porque su estructura se parece a las elaboradas estructuras geométricas inventadas por el arquitecto estadounidense Richard Buckminster Fuller. Existen otros fullerenos que poseen más átomos de carbono y sus formas son versiones alargadas del buckminsterfullereno inicial (en forma de pelota). Con el aumento en la producción de buckminsterfullereno, se llegó a obtener una forma sólida, la fullerita. En este sólido amarillo transparente, las moléculas forman una especie de conjunto de balas de cañón en una distribución compacta. Ahora existen también versiones tubulares de fullerenos en forma sólida.

Cuando los fullerenos empezaron a ser abundantes, los químicos comenzaron a investigar sus propiedades. Se piensa que los fullerenos podrían dar origen a un nuevo campo de la química, del mismo modo que la química orgánica aromática surgió a raíz del descubrimiento del benceno 150 años atrás. Una de las propiedades más sorprendentes de los fullerenos es que se pueden introducir átomos de elementos en el hueco existente en la 'jaula' de átomos de carbono; así se puede obtener una versión de 'envoltura contraída' de cada elemento del sistema periódico. Cuando se introducen átomos de metal en los tubos tipo fullereno mencionados anteriormente, el material resultante es como un alambre aislado unidimensional.

Otra propiedad importante es que ciertos compuestos de buckminsterfullereno (en especial el  $C_{60}$ ) son superconductores a bajas temperaturas. Se ha averiguado que los derivados del buckminsterfullereno son biológicamente activos y se están utilizando para atacar el cáncer: se cree que las moléculas en forma de pelota de fútbol pueden introducirse en los emplazamientos activos de las enzimas y bloquear su acción.

Biblioteca de Consulta Microsoft ® Encarta ® 2005.

# Nanotubos

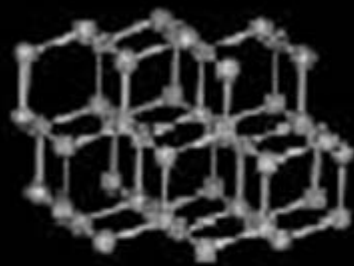


Simulación de la  
deformación de nanotubos

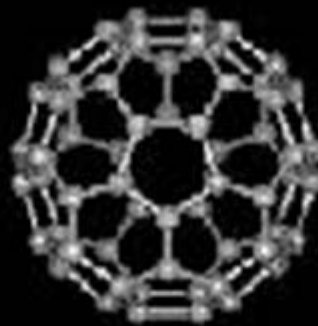
- Los nanotubos de carbono son estructuras relacionadas con los fullerenos. Consisten en cilindros de grafito cerrados por los extremos.
- Fueron descubiertos por *Sumio Iijima* en 1991, observando el material depositado en el cátodo durante la síntesis de fullereno mediante evaporación por arco de grafito.



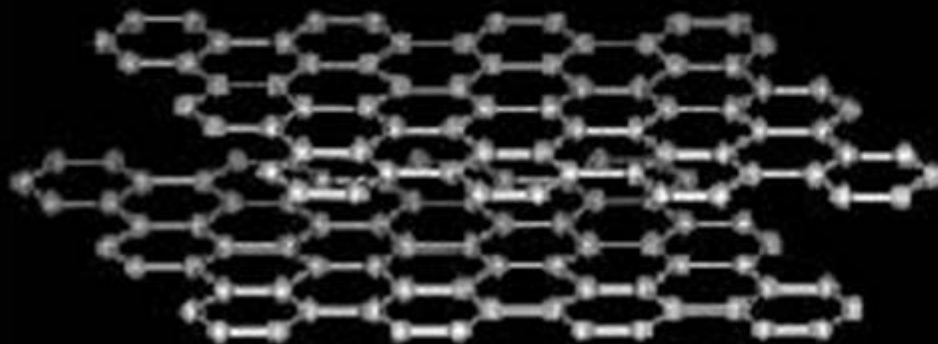
**IRVINE, Calif.--(BUSINESS WIRE)--June 9, 2005--**  
**UC Irvine scientists in The Henry Samueli School of Engineering have demonstrated for the first time that carbon nanotubes can route electrical signals on a chip faster than traditional copper or aluminum wires, at speeds of up to 10 GHz. The breakthrough could lead to faster and more efficient computers, and improved wireless network and cellular phone systems, adding to the growing enthusiasm about nanotechnology's revolutionary potential.**



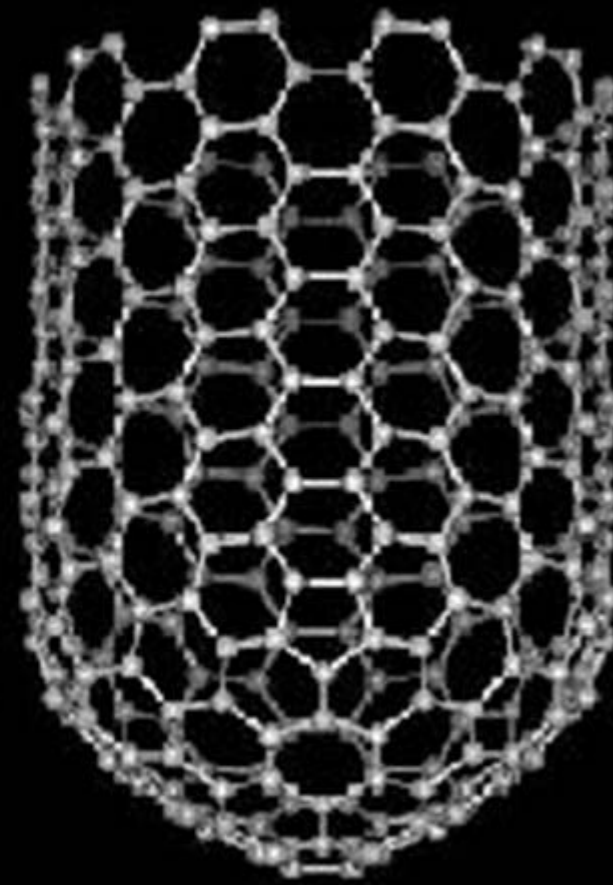
**Diamond**



$C_{60}$   
**Buckyball**



**Graphite**



**Nanotube**

# ¿Hay una sola nanotecnología?

- ❖ **Nanotecnología Húmeda  
(Biotecnología)**
- ❖ **Nanotecnología Seca**

## • Nanotecnología húmeda

**This wet nanotechnology is incredibly powerful. In fact, the more you get to know about it, the more you are drawn in absolute awe. You think of how beautiful your daughter is, or a flower, or how incredible a human eye is that it can see, or a brain that can think. And then you think, this wet side of nanotechnology (what most people call biotechnology) can do anything.**

**NANOTECHNOLOGY AND THE NEXT 50 YEARS**

R. E. Smalley Presentation

University of Dallas - Board of Councilors

December 7, 1995

# • Nanotecnología seca

**It's a tribute to the development of steam engines, and gasoline-powered motors, and all manner of electrical devices, including radios, telephones, TV's and computers -- all of which are technologies from the other side, the dry side. And increasingly I believe this is going to be an area of great development.**

**Imagine what our world would be like if we really could construct on the dry side, without water and living cells, objects with the degree of atomic perfection that life achieves routinely on the wet side. Imagine for a moment the power of what I like to call the "dry side" of nanotechnology. The list of things you could do with such a technology reads like much of the Christmas Wish List of our civilization...**

**NANOTECHNOLOGY AND THE NEXT 50 YEARS**

R. E. Smalley Presentation

University of Dallas - Board of Councilors

December 7, 1995

# *Dry Nanotechnology*

- Catalysts
- Photosynthesis
- Photocells
- Superconductors
- Lubricants
- Solar Energy
- Structural Cable, Wires, Composites
- Electrical Power Cable
- Magnets
- Nanomaterials
- Nanoelectronics
- Nanosensors
- Batteries
- Fuel Cells
- Filters
- Nano Manipulators
- Nano Probes

**NANOTECHNOLOGY AND THE NEXT 50 YEARS**

R. E. Smalley Presentation

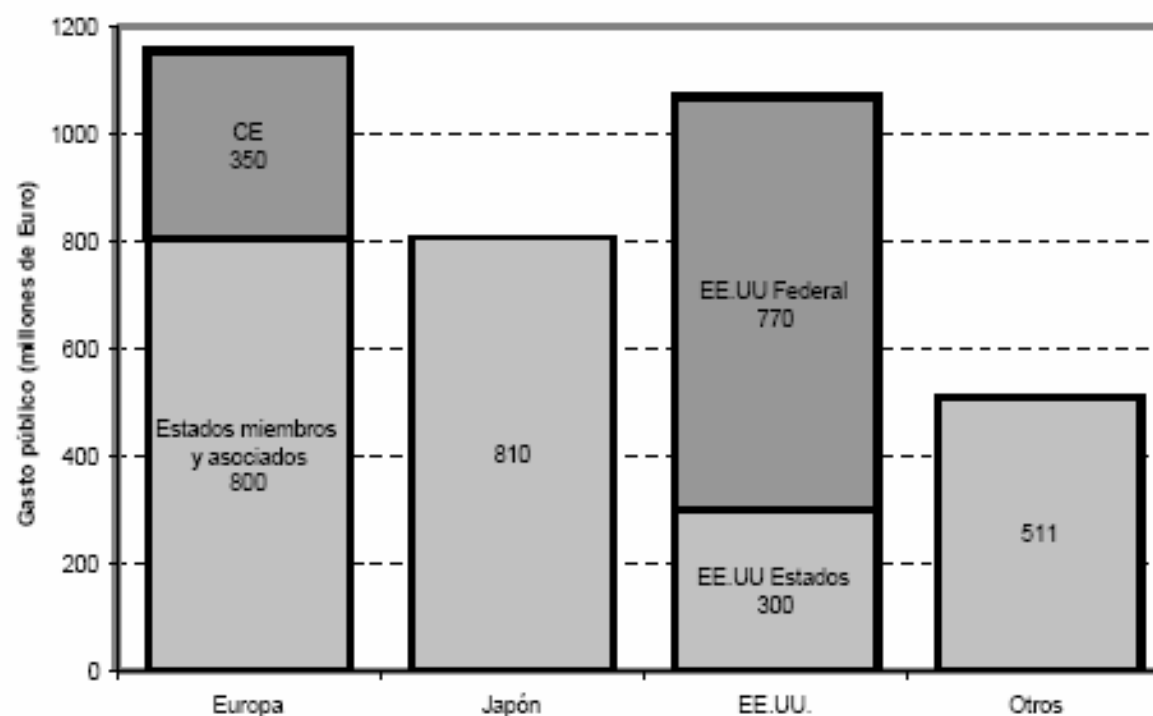
University of Dallas - Board of Councilors

December 7, 1995

## ¿ Quiénes trabajan en la nanotecnología?

Publications (1997–99) (%)			Patents EPO&PCT (1991–99) (%)		
1	23.7	USA	42.0	USA	
2	12.5	Japan	15.3	Germany	
3	10.7	Germany	12.6	Japan	
4	6.3	China	9.1	France	
5	6.3	France	4.7	UK	
6	5.4	UK	3.7	Switzerland	
7	4.6	Russia	2.0	Canada	
8	2.6	Italy	1.7	Belgium	
9	2.3	Switzerland	1.7	Netherlands	
10	2.1	Spain	1.7	Italy	
11	1.8	Canada	1.4	Australia	
12	1.8	South Korea	1.1	Israel	
13	1.6	Netherlands	1.1	Russia	
14	1.4	India	0.9	Sweden	
15	1.4	Sweden	0.5	Spain	

Fig. 1: Niveles globales del gasto público en nanotecnología en el año 2003. Se presentan datos de Europa, Japón, EE.UU. y otros países. Cambio considerado: 1€ = 1\$.



#### Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías



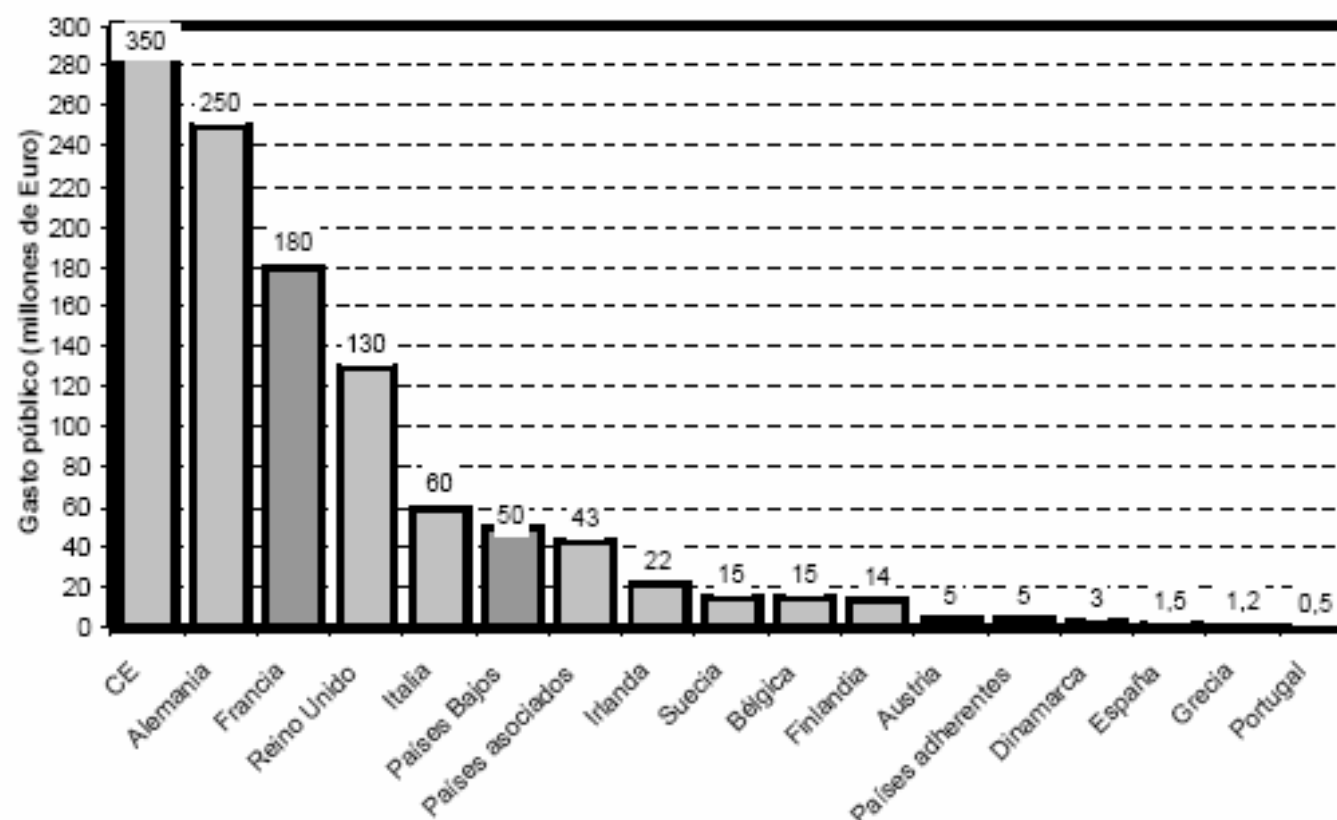
COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS

Bruselas, 12.5.2004

COM(2004) 338 final



Fig. 2: Niveles de financiación de la UE -15, algunos países adherentes (CZ, LV, LT, SI), los principales países asociados (CH, IL y NO) y la CE en el año 2003. Se presentan valores totales en euros (€).



Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías

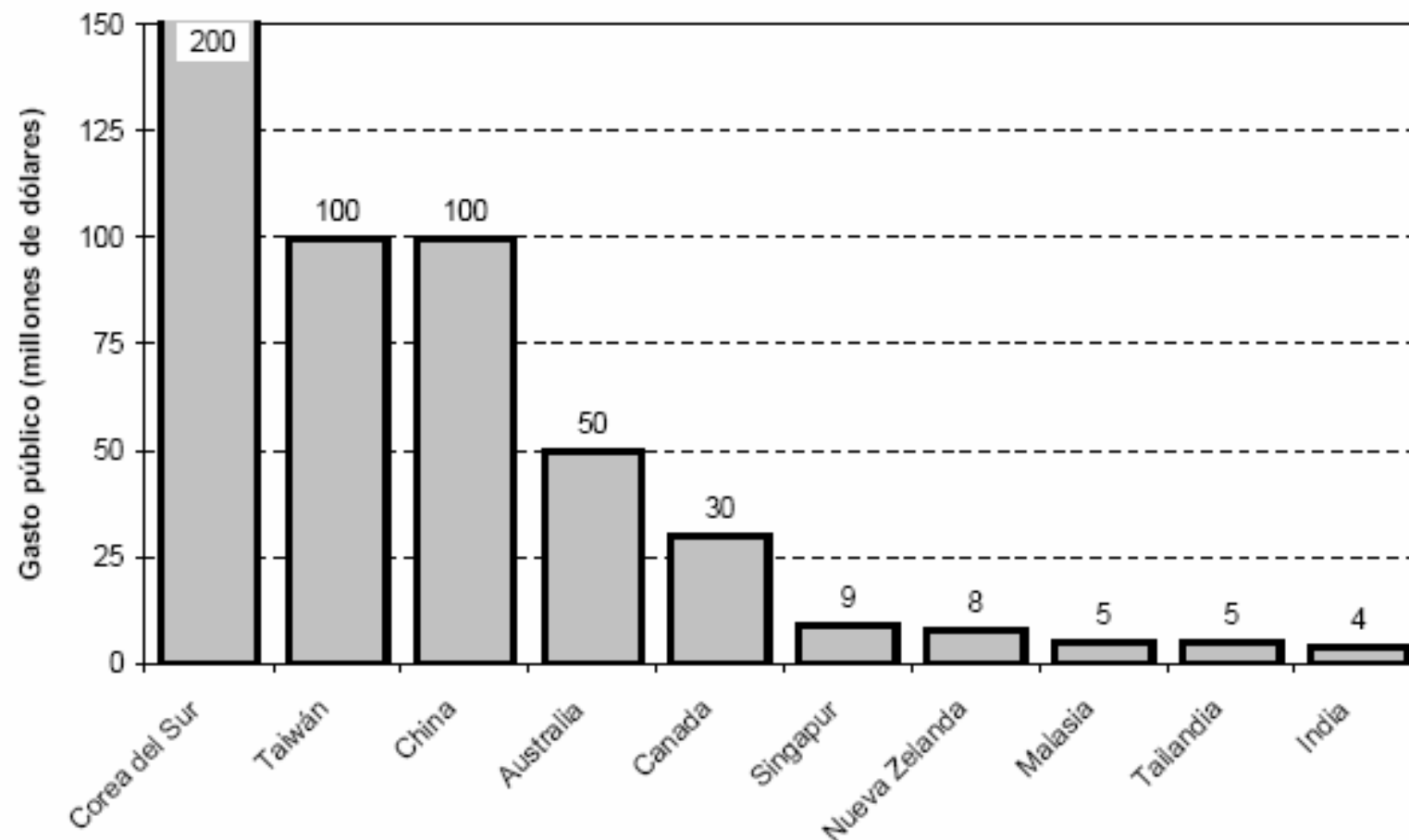


COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS

Bruselas, 12.5.2004

COM(2004) 338 final

Fig. 3: Niveles de financiación de los principales terceros países (a excepción de EE.UU. y Japón) con programas de desarrollo en nanotecnologías durante el año 2003. Se presentan valores totales en dólares (\$). Estas cifras han de interpretarse teniendo en cuenta las posibles grandes diferencias de poder de compra.



Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías

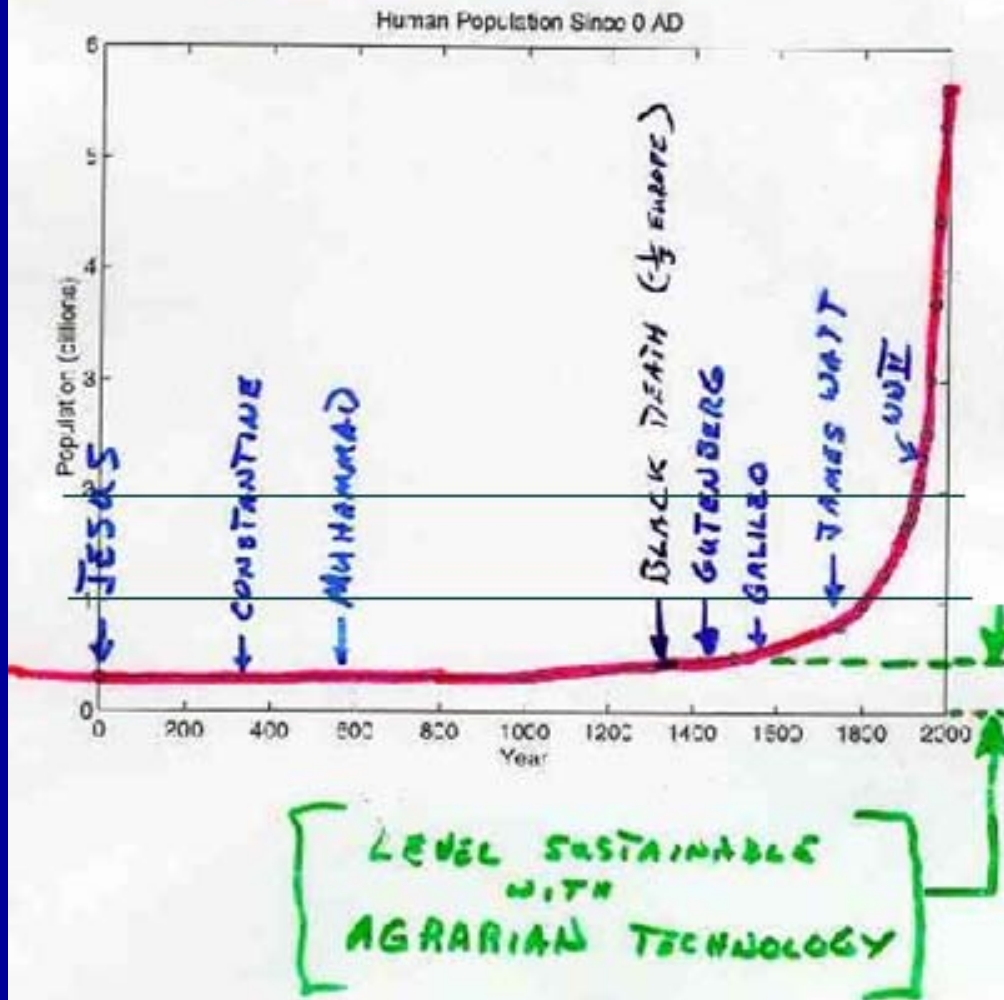


COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS

Bruselas, 12.5.2004  
COM(2004) 338 final

Impacto ...  
(de la Tecnología)

TECHNOLOGY  
GOT US INTO THIS



## NANOTECHNOLOGY AND THE NEXT 50 YEARS

R. E. Smalley Presentation  
University of Dallas - Board  
of Councilors  
December 7, 1995

**Even given that, even if we stop population growth somewhere between 6 and 10 billion people, we can't sustain even the current population with the current technology. So for the 50 years, there's really only one good alternative: we need more technology, not less...**

**... But right now the fraction in the world for energy production that is solar is laughably small-less than 1%...**

**Could it happen? Could we provide for all the world's energy needs with solar power? The answer is clearly, Yes! .....**

**NANOTECHNOLOGY AND THE NEXT 50 YEARS**

**R. E. Smalley Presentation**

**University of Dallas - Board of Councilors**

**December 7, 1995**

***Más Tecnología***

***Más Tecnología***  
***(NANOTECNOLOGIA)***

# ***IMPACTO DE LA NANOTECNOLOGÍA***



- Medicina e industria farmacéutica.
- Energía y medio ambiente.
- Sector automotriz.
- Control, Computación y Comunicaciones.
- Nuevos materiales y productos.
- Electrónica.
- Educación
- Amenazas

# AMENAZAS

- **CONTAMINACIÓN**
- **TOXICIDAD**
- **AUTOREPLICACIÓN**
- **USO MILITAR**
- **OTROS USOS NO ÉTICOS**

# MEDICINA E INDUSTRIA FARMACEUTICA

- **Tratamientos con liberación local de medicamentos**
- **Monitoreo remoto de los pacientes, sensores que detectan la enfermedad emergente.**
- **Tejidos y órganos artificiales mas duraderos y resistentes al rechazo.**
- **Otros**



# cancer NANOTECHNOLOGY

## **Going Small for Big Advances**

Using Nanotechnology to Advance  
Cancer Diagnosis, Prevention  
and Treatment

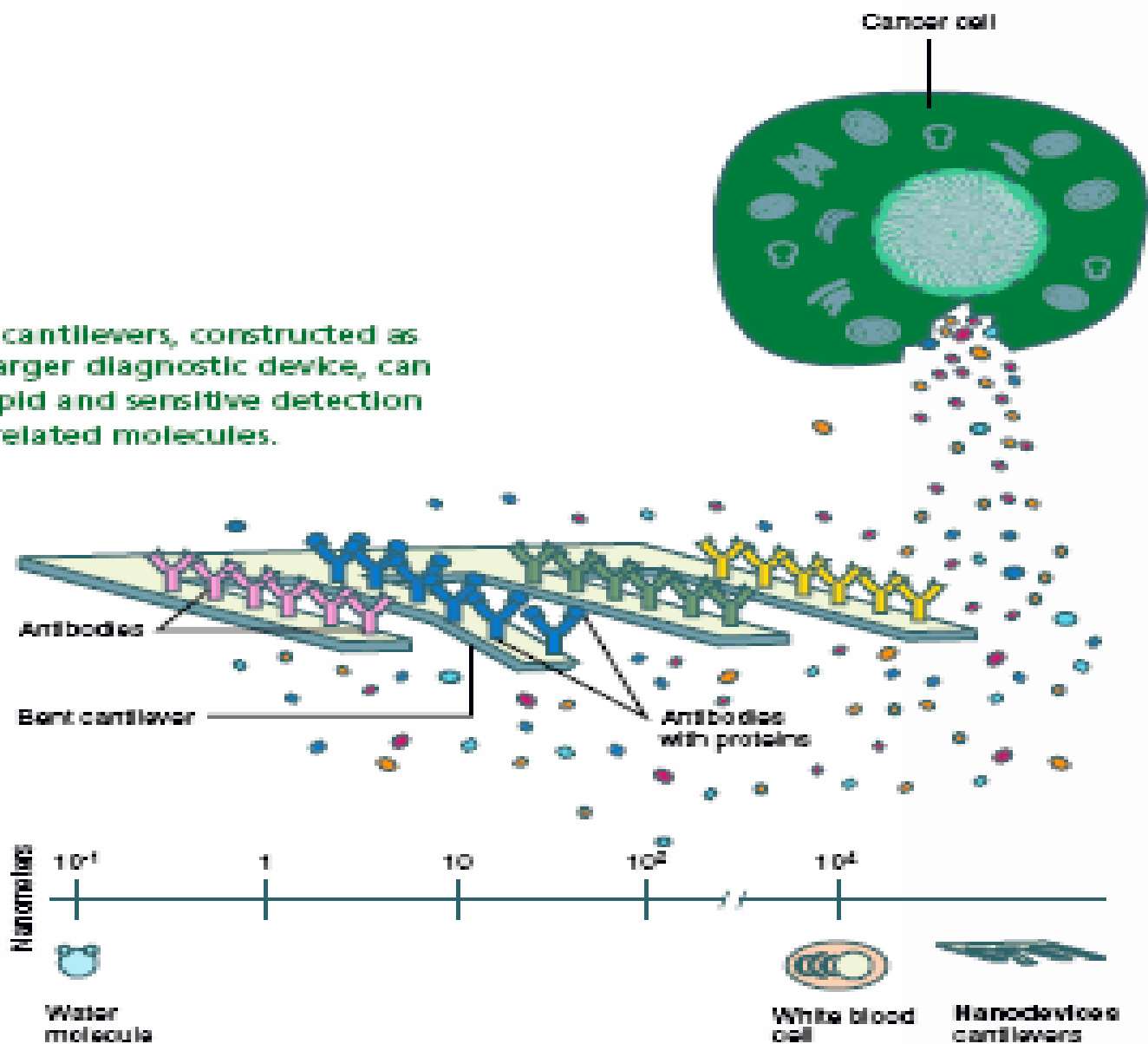
## Prevention and Control of Cancer

- ▶▶ Developing nanoscale devices that can deliver cancer prevention agents
- ▶▶ Designing multicomponent anticancer vaccines using nanoscale delivery vehicles

## Early Detection and Proteomics

- ▶▶ Creating implantable, biofouling-indifferent molecular sensors that can detect cancer-associated biomarkers that can be collected for *ex vivo* analysis or analyzed *in situ*, with the results being transmitted via wireless technology to the physician

Nanoscale cantilevers, constructed as part of a larger diagnostic device, can provide rapid and sensitive detection of cancer-related molecules.



# ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE

- **Nanodieléctricos.**
- **Celdas solares más eficientes**
- **Iluminación de alta eficiencia con LED.**
- **Almacenamiento seguro de hidrógeno.**
- **Otros.**



*The complete spectrum: The glassfacade of one of the halls of the Hotel Weggis on Lake Lucerne, illuminated in all the colours of the rainbow with 84 000 LEDs supplied by Osram.*



# SECTOR AUTOMOTRIZ

## Se espera:

- Disminuir el peso, el consumo de combustible y la contaminación producida por los vehículos.
- Aumentar la seguridad.
- Uso de nanocomposites de base polimérica, metálica o cerámica, convertidores catalíticos, lubricantes sólidos y mejores sistemas electrónicos.
- Otros

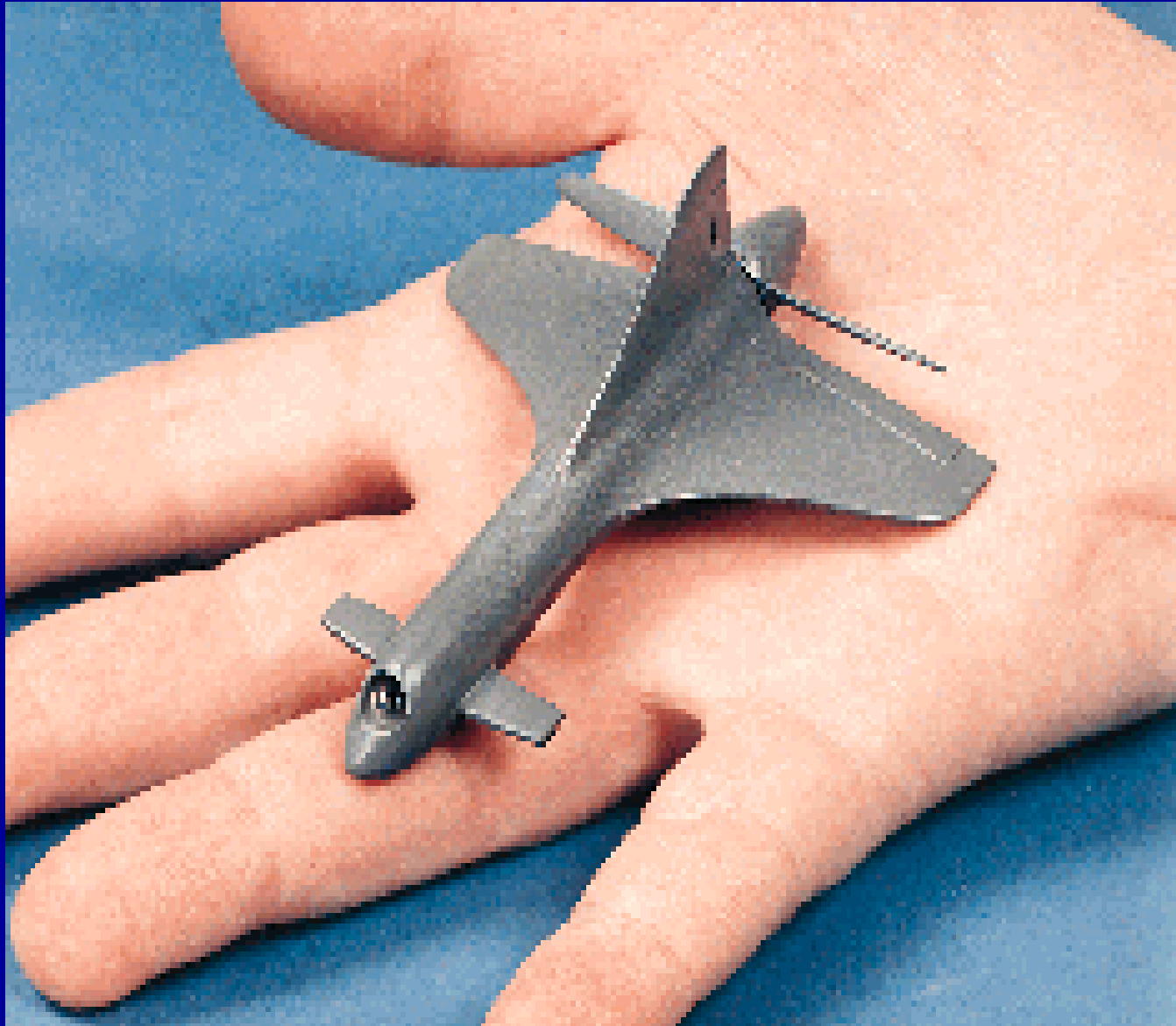
# CONTROL, COMPUTACION y COMUNICACIONES

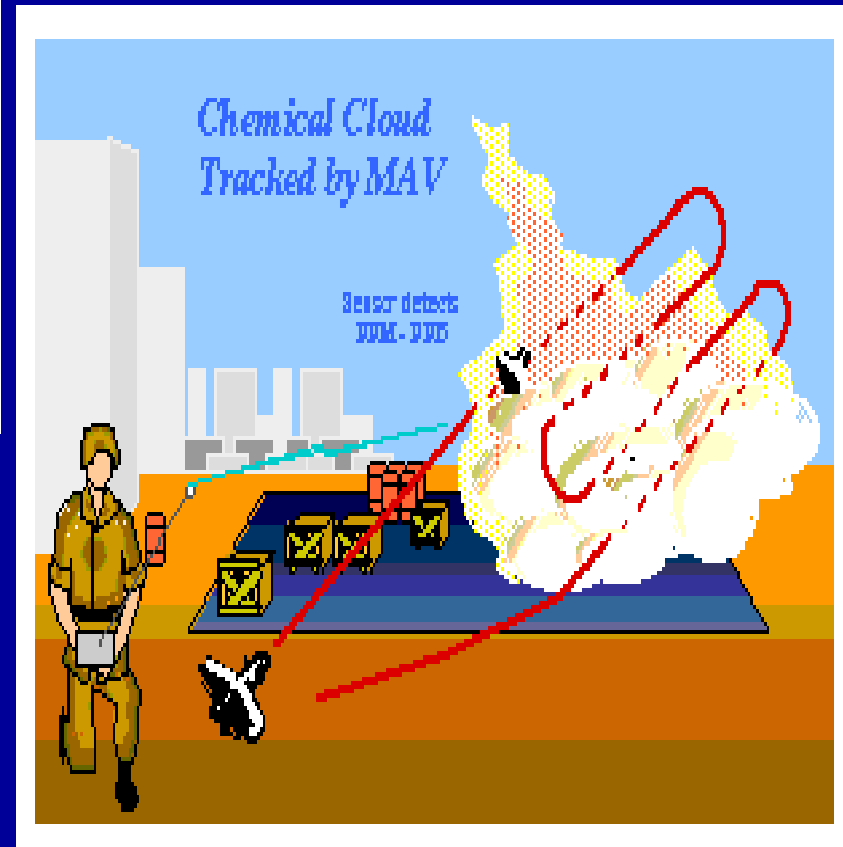
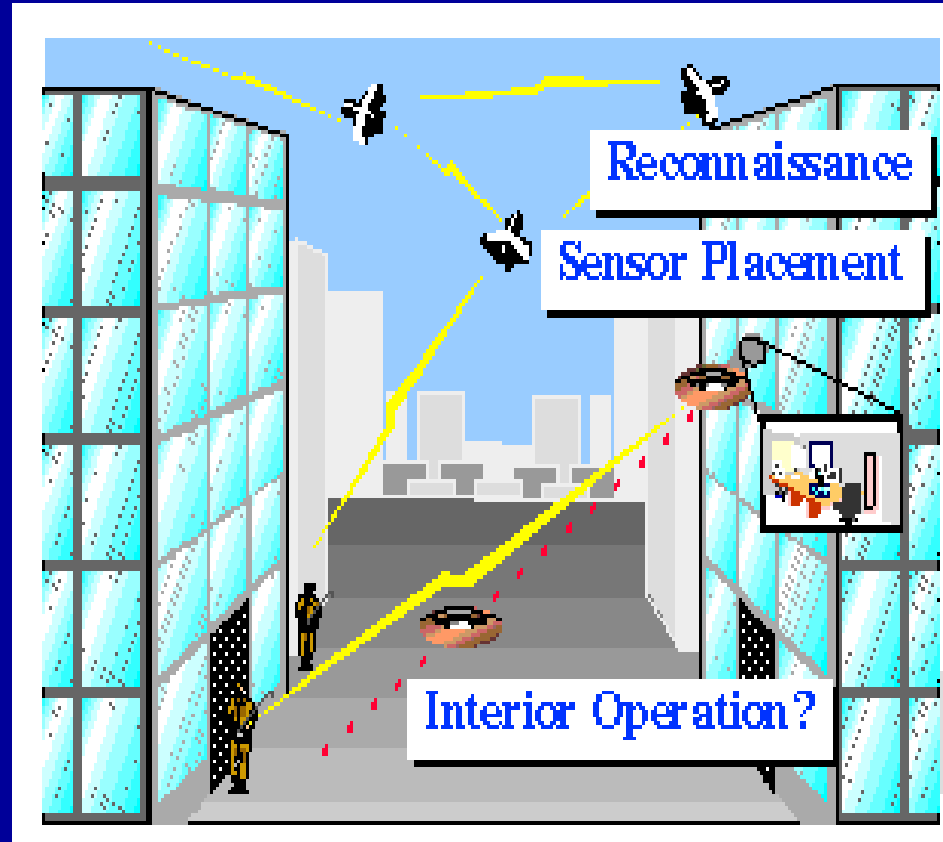
- Sensores nanométricos integrados.

Nanorrobots.

- Computadoras mas rápidas y eficientes. Menor consumo energético.
- Frecuencias de transmisión mas altas y ancho de banda mayores.
- Otros.

# MICRO VEHÍCULOS AÉREOS (MVA)

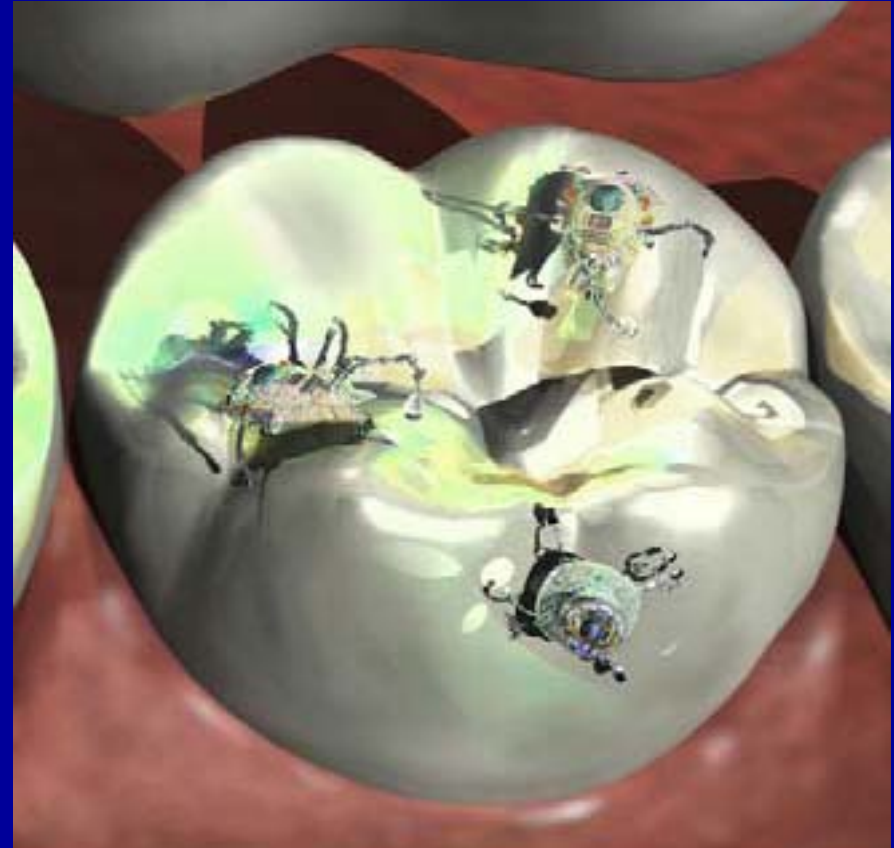




# NANOSUEÑOS



**Fabricar objetos  
macroscópicos  
ensamblando moléculas.**

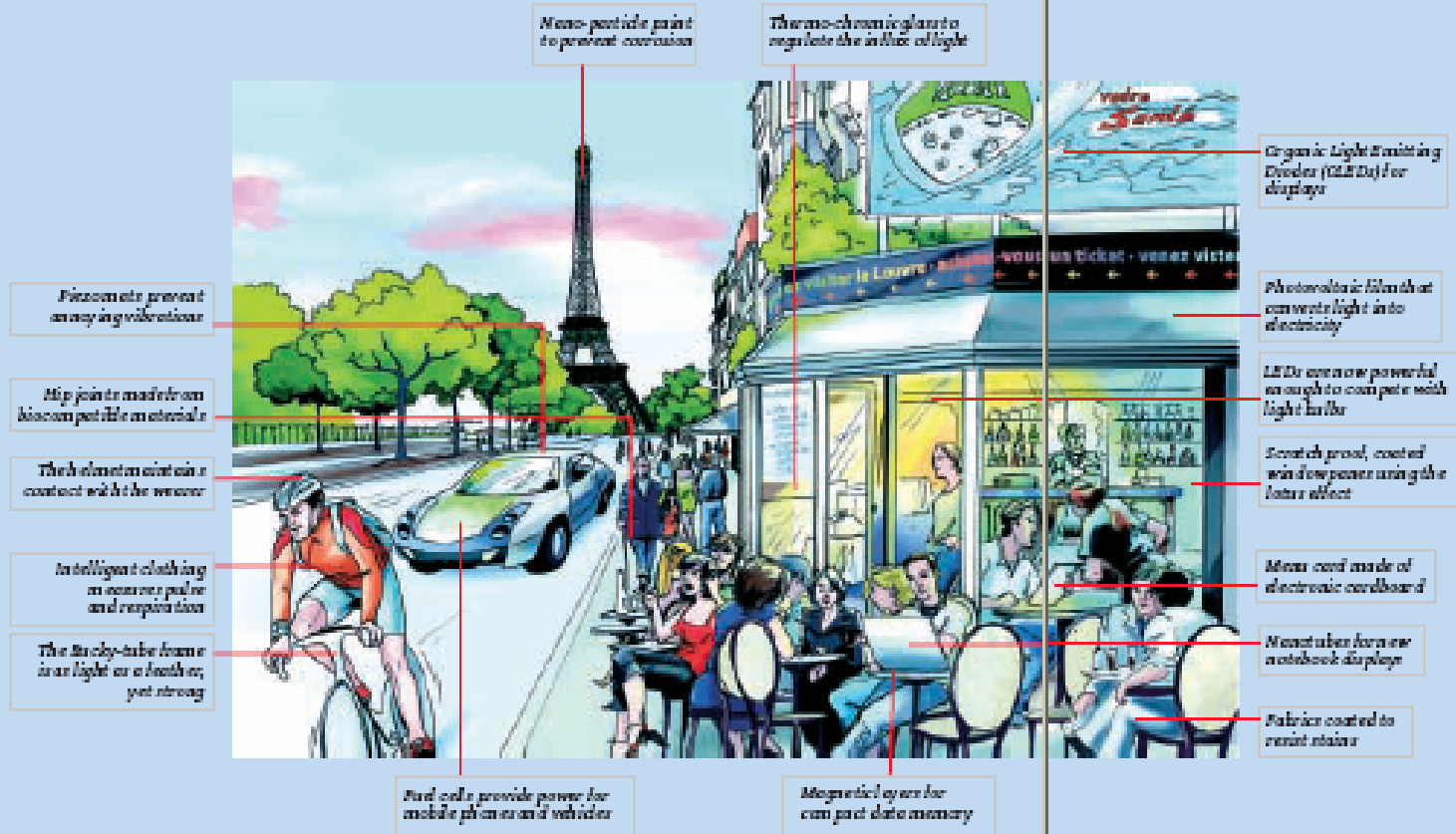


**Nano Robots**

# **NUEVOS MATERIALES y PRODUCTOS**

# Nanotechnology in society

## Nanotechnology in future everyday life



*Nano-particle paint  
to prevent corrosion*

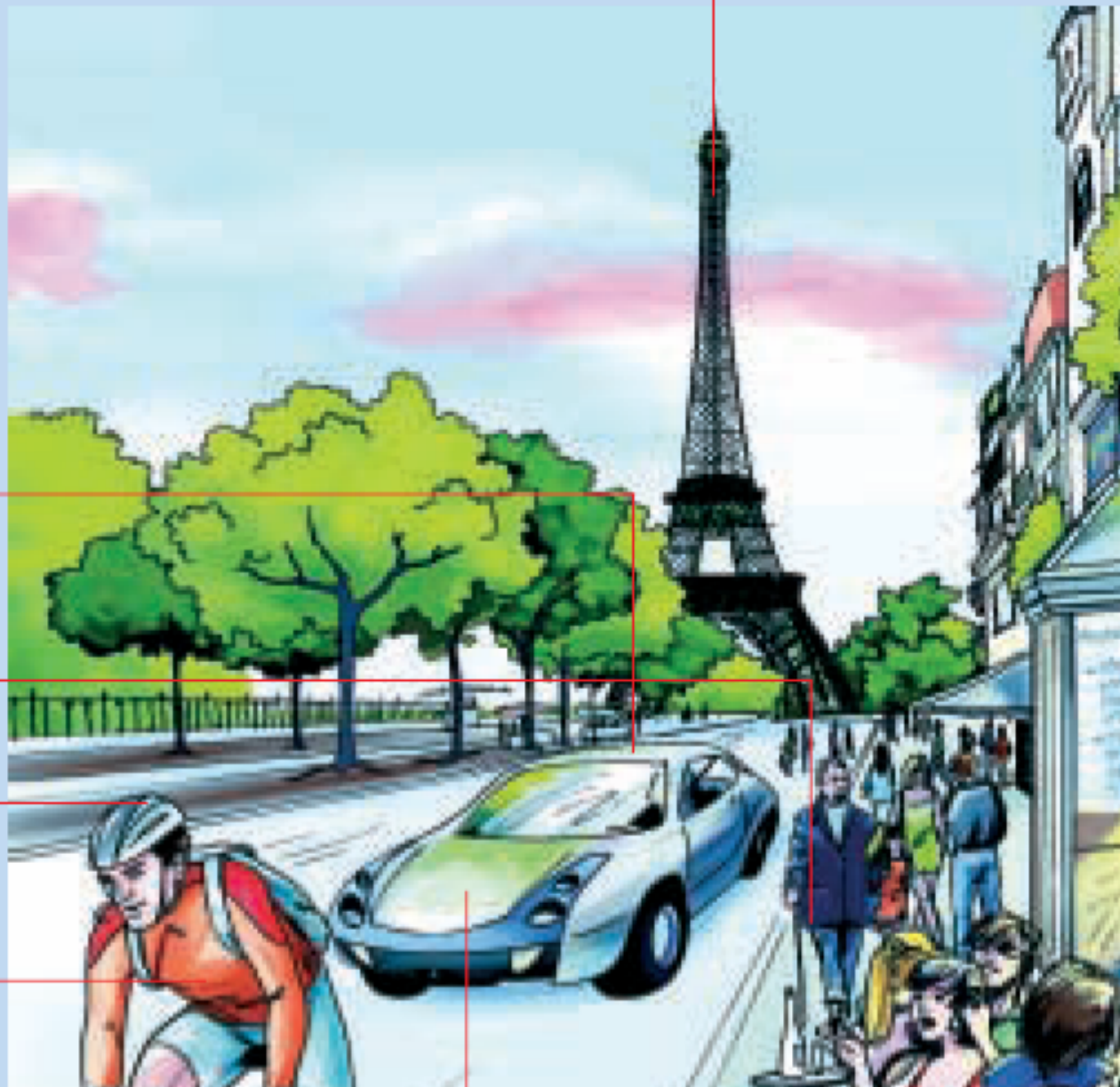
*Th  
re*

*Piezo mats prevent  
annoying vibrations*

*Hip joints made from  
biocompatible materials*

*The helmet maintains  
contact with the wearer*

*Intelligent clothing  
measures pulse  
and respiration*





*The helmet maintains contact with the wearer*

*Intelligent clothing measures pulse and respiration*

*The Bucky-tube frame is as light as a feather, yet strong*

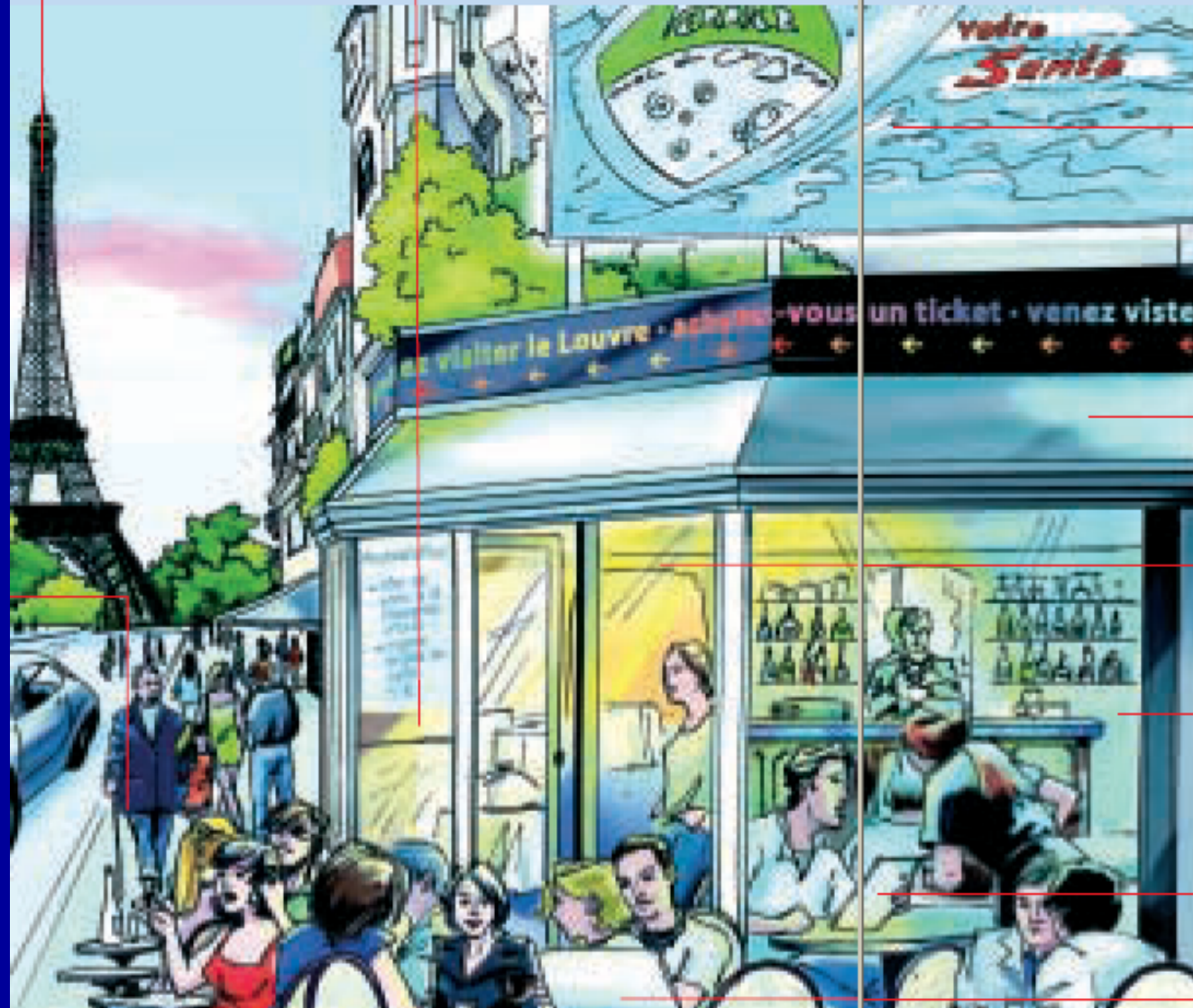


*Fuel cells provide power for mobile phones and vehicles*

*Magnetic layers for compact data memory*

*no-particle paint  
prevent corrosion*

*Thermo-chromic glass to  
regulate the influx of light*



*Organic Light Emitting  
Diodes (OLEDs) for  
displays*

*Photovoltaic film that  
converts light into  
electricity*

*LEDs are now powerful  
enough to compete with  
light bulbs*

*Scratchproof, coated  
windowpanes using the  
lotus effect*

*Menu card made of  
electronic cardboard*

*Nanotubes for new*





Figure 2.1.1.1

Scratchproof, coated windowpanes using the lotus effect

Menu card made of electronic cardboard

Nanotubes for new notebook displays

Fabrics coated to resist stains

Power for vehicles

Magnetic layers for compact data memory

## StoCoat™ Lotusan® - The Exterior Coating with Lotus-Effect®

Stocorp.com



Quicklinks

- ▶ StoCoat Lotusan® Brochure
- ▶ StoCoat Lotusan® Brochure (Spanish)
- ▶ StoCoat Lotusan® Product Bulletin
- ▶ StoCoat Lotusan® New Concrete Spec
- ▶ StoCoat Lotusan® Recoat Spec



**StoCoat Lotusan® protects your building**



**Lotus leaf - Inspiration for StoCoat Lotusan®**



Click here for Sto Lotusan Video

*\* File may take a few minutes to download*

# **ELECTRONICA**

- **Sustitución de la Micro por la Nano electrónica.**
- **Procedadores con varios billones de transistores. Memorias con capacidad de los Terabit.**
- **Irrupción del carbono como material fundamental de los circuitos integrados en lugar del silicio.**
- **Surgimiento de los circuitos integrados moleculares.**
- **Otros.**

# **Nanoelectrónica**

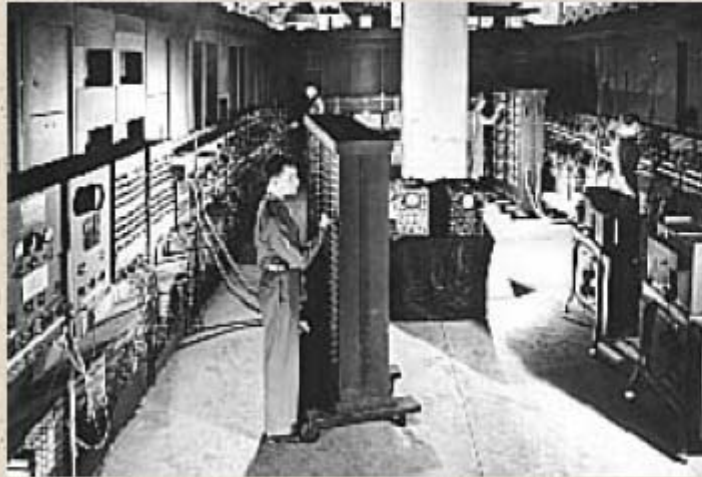
**Electrónica basada en  
dispositivos por debajo de los 100  
nanómetros.**

## Precedentes

- Descubrimiento del electrón (*J.J. Thomson, 1897*)
- Nacimiento de la electrónica basada en la tecnología de los tubos de vacío: el **tubo de rayos catódicos** (*K.F. Braum, 1897*), el **diodo** (*J.A. Fleming, 1904*), el **triódio** (*Lee de Forest, 1905*), etc.



## Antecedentes



- En 1946 el ENIAC, primer ordenador electrónico, demuestra las limitaciones de la electrónica basada en los tubos de vacío.



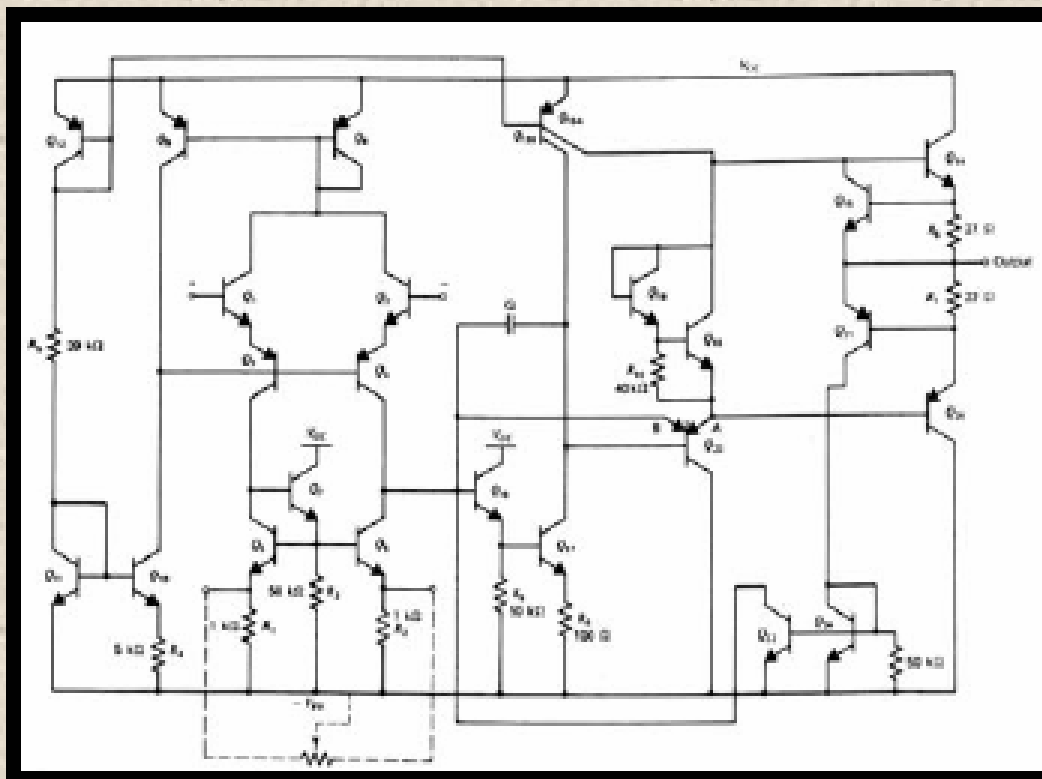
- Descubrimiento del **transistor** *W. Shockley, J. Bardeen y W. Brattain* de los Laboratorios Bell (1947).  
Premio Nobel Física de 1956.



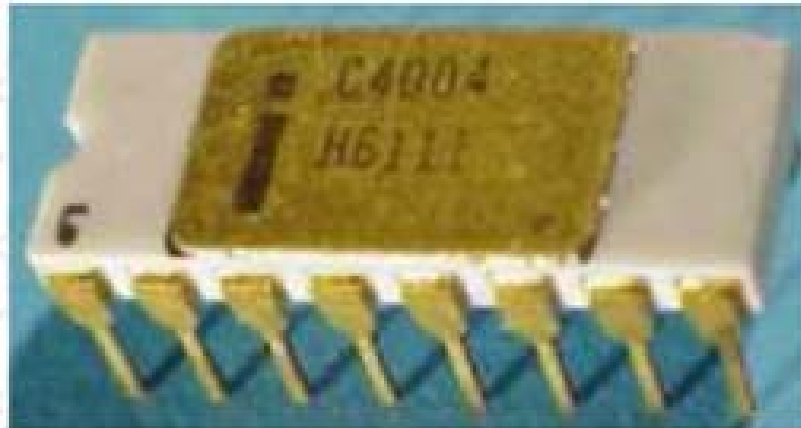
En los años 50 se fabricaban transistores discretos. Con ellos se produjeron, entre otras cosas, computadoras y los primeros radios portátiles.

En 1960 surge el circuito integrado.

Esquemático del  $\mu A$  741. 1968



Al comienzo de la década del 70 se fabrican las primeras memorias semiconductoras y los primeros  $\mu$ P.



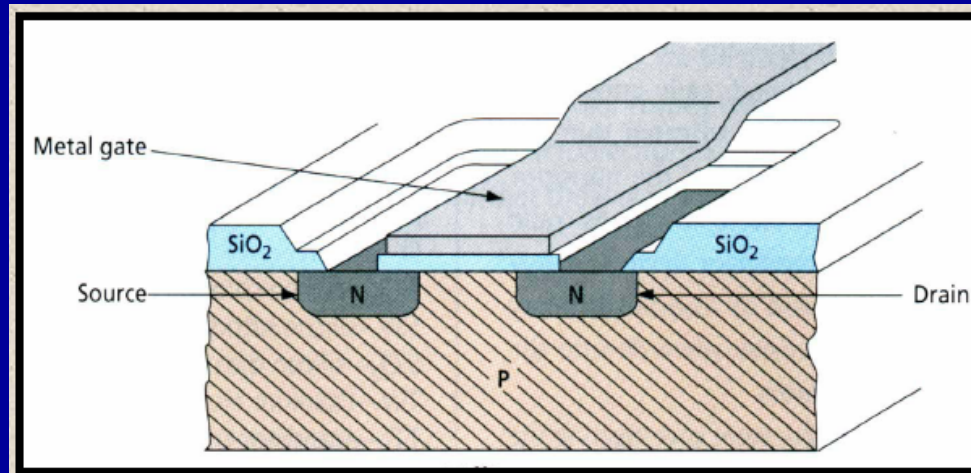
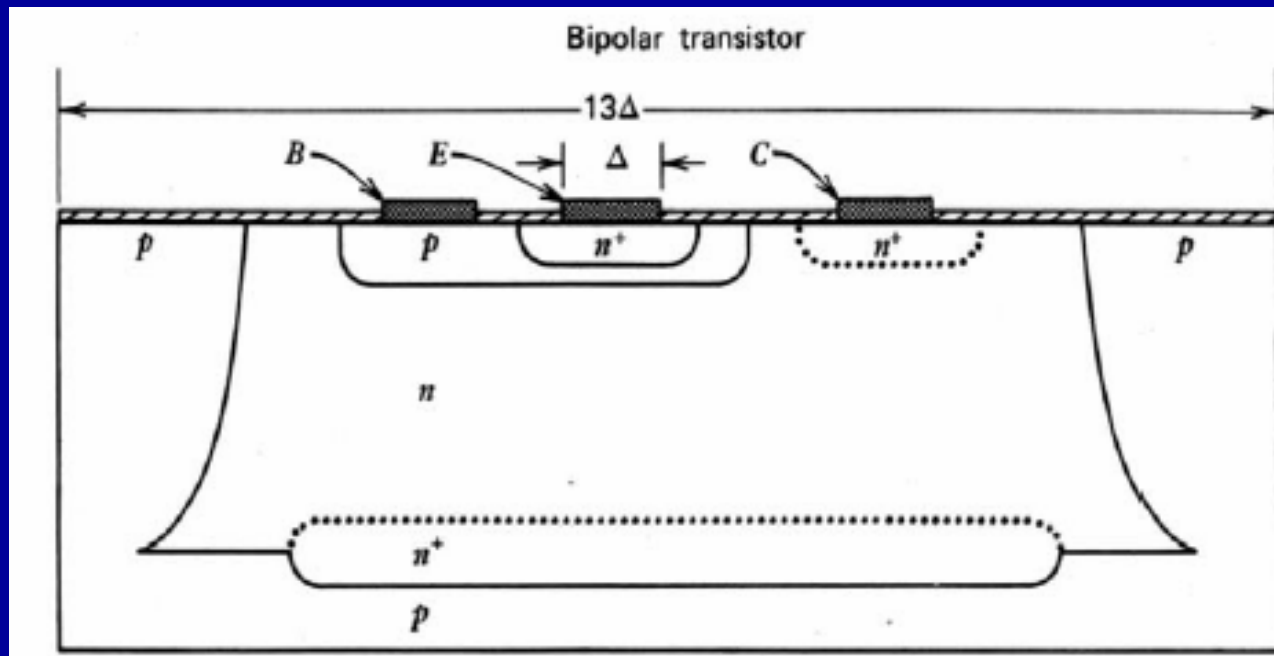
**Photograph of C4004 Microproces**



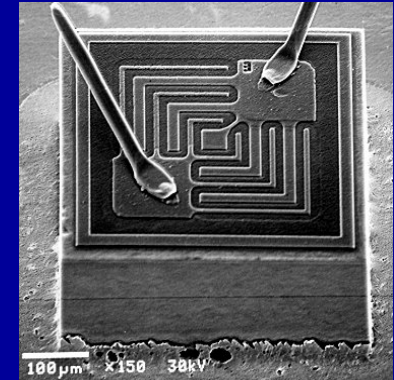
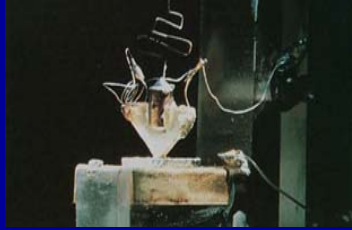
En 1946 el ENIAC,  
primer ordenador electrónico.

**Introduced in 1971, the Intel C4004 "Computer-on-a-Chip" is a 2300 transistor device capable of performing 60,000 operations per second. First-ever single-chip microprocessor and has approximately the same performance as the 18,000 vacuum tube ENIAC. The 4-bit Intel C4004 ran at a Clock Speed of 108 Kiloherzt. - Yes.... Kiloherzt.**

# El Transistor Convencional



## Transistor MOS de enriquecimiento

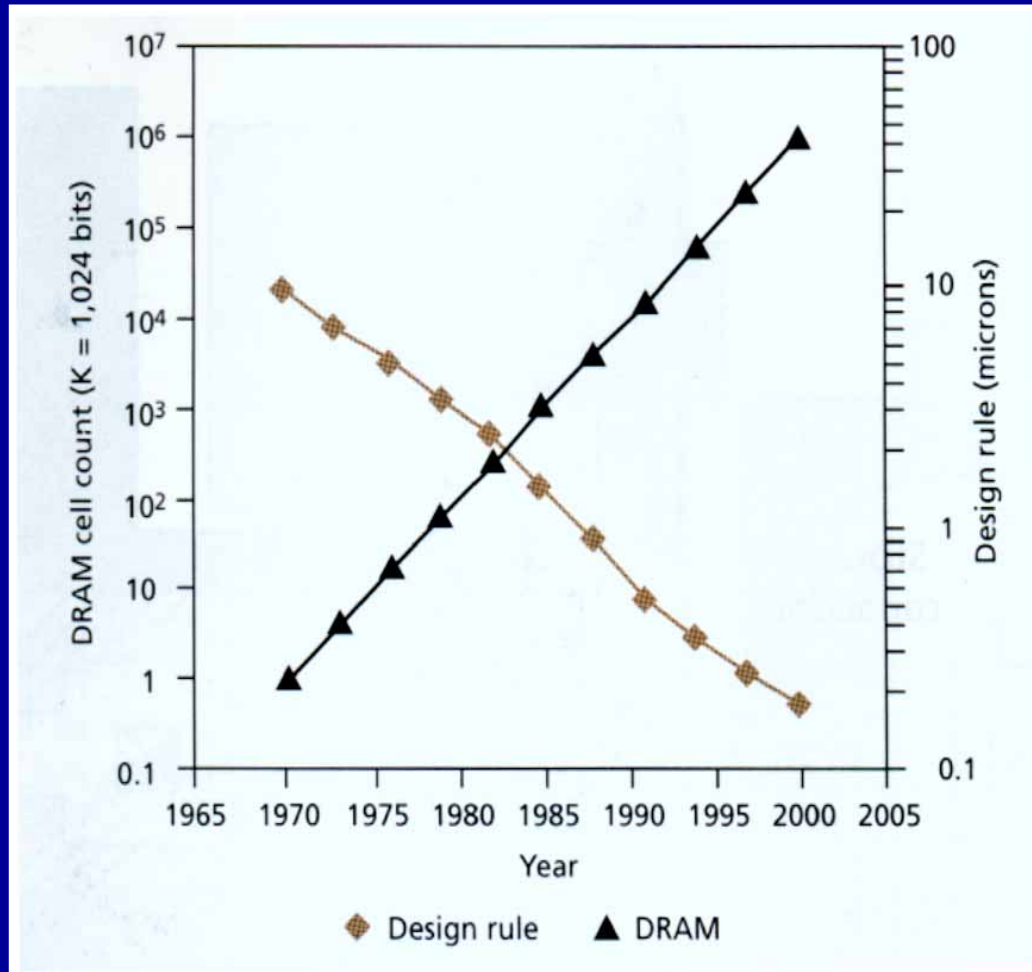


**En 1968 el costo de un Transistor era de 1 USD**

**Solo 35 años después por 1 USD se compran 50 millones de transistores**

**En 1965 un chip tenia 30 transistores, en el 2000 el chip de un procesador tenía 42 millones de transistores.**

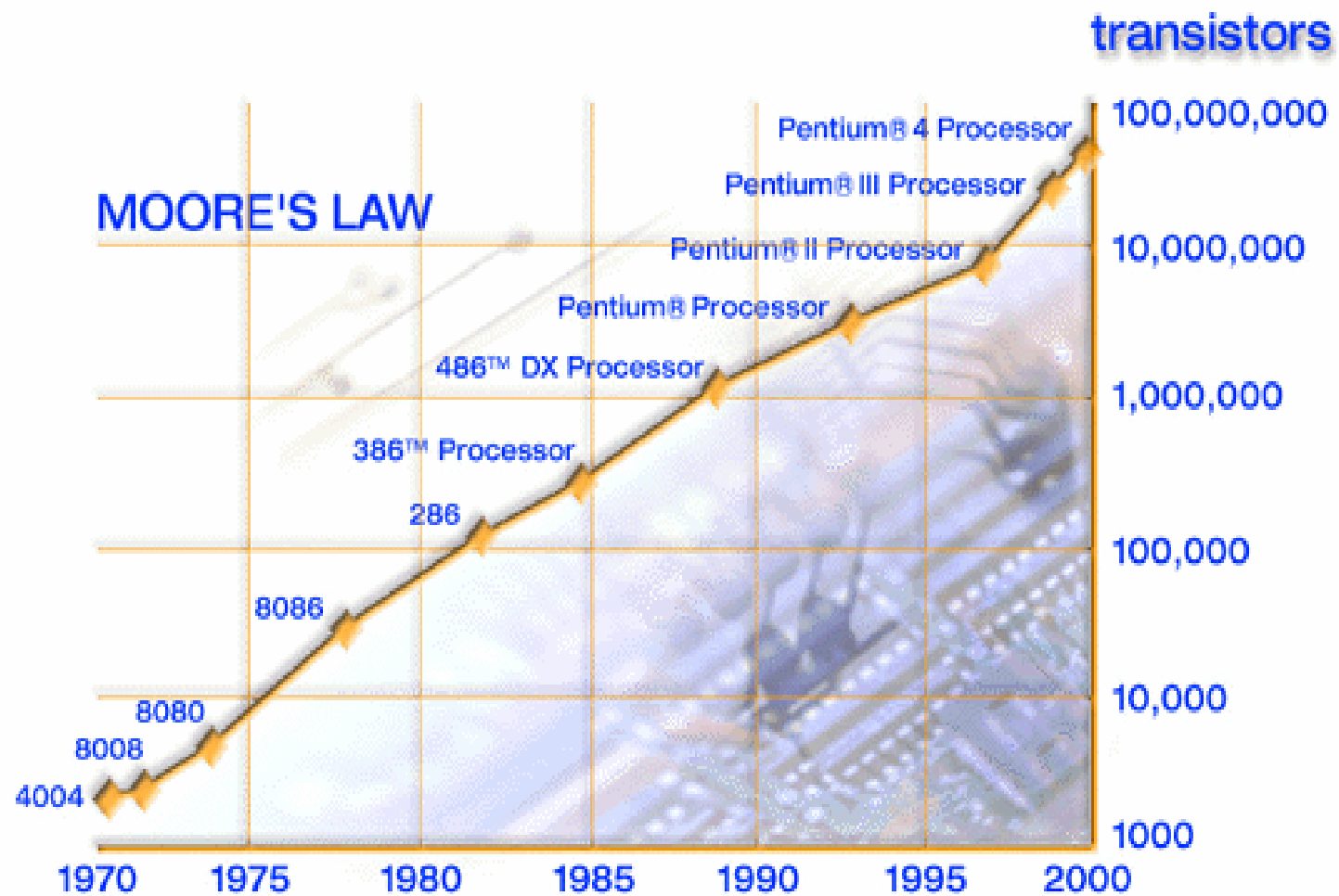
# Evolución del tamaño de los dispositivos



El tamaño mínimo del motivo fotolitográfico ha pasado de las 10 $\mu$  del año 1970 a las 0.13 $\mu$  del año 2000.

La capacidad de las DRAM han pasado de 1Kb a 1Gb.

	<b>Year of introduction</b>	<b>Transistors</b>
<b>4004</b>	<b>1971</b>	<b>2,300</b>
<b>8008</b>	<b>1972</b>	<b>2,500</b>
<b>8080</b>	<b>1974</b>	<b>5,000</b>
<b>8086</b>	<b>1978</b>	<b>29,000</b>
<b>286</b>	<b>1982</b>	<b>120,000</b>
<b>386™ processor</b>	<b>1985</b>	<b>275,000</b>
<b>486™ DX processor</b>	<b>1989</b>	<b>1,180,000</b>
<b>Pentium® processor</b>	<b>1993</b>	<b>3,100,000</b>
<b>Pentium II processor</b>	<b>1997</b>	<b>7,500,000</b>
<b>Pentium III processor</b>	<b>1999</b>	<b>24,000,000</b>
<b>Pentium 4 processor</b>	<b>2000</b>	<b>42,000,000</b>

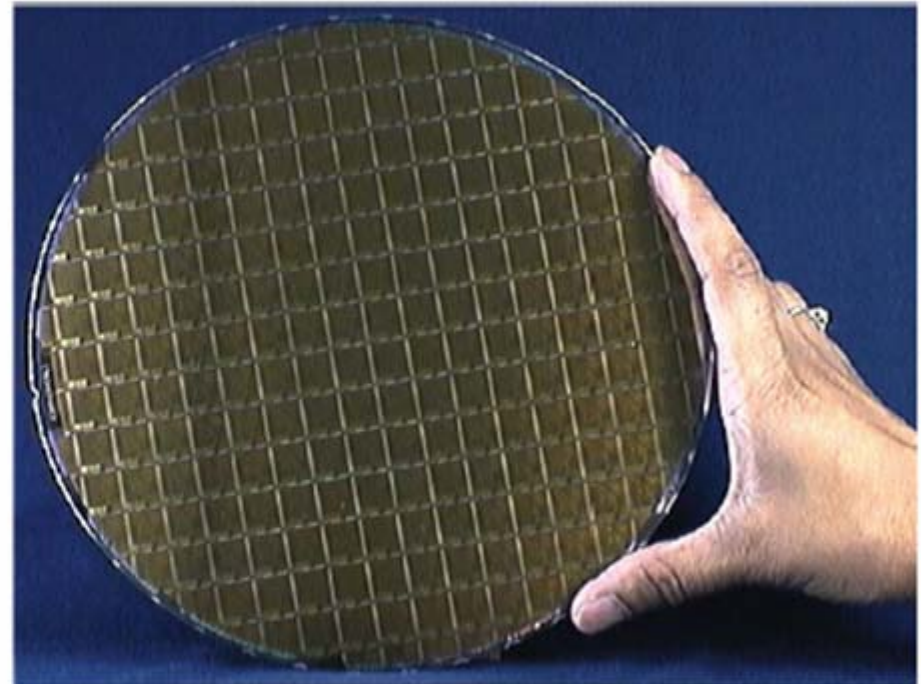




**Nanoscale = billionths ( $10^{-9}$ )**



6 billion people  
8000 mile diameter



10 billion components  
8 inch diameter



**La reducción del tamaño de los transistores implica una gran cantidad de problemas que ha sido necesario resolver para lograr su funcionamiento correcto.**

# SILICIO

- Los logros obtenidos y la experiencia de 40 años
- Posibilidades reales de que hasta el 2012 se pueda cumplir la Ley de Moore

# Dispositivos nanoelectrónicos

- La puesta a punto en los años 80 de tecnologías como la **epitaxia de haces moleculares** (*MBE*) y la **fotolitografía de haces de electrones** permitió el apilamiento de capas cuasi-monoatómicas de diferentes materiales semiconductores y delimitar estructuras nanométricas (**Nanoelectrónica**).
- Los dispositivos nanométricos se basan en la naturaleza cuántica de la conducción eléctrica en la materia.



- Los dispositivos nonoelectrónicos son la alternativa a los transistores MOS y bipolar clásicos.
- Existen dos grandes familias:

### **Dispositivos de efecto cuántico y de un solo electrón**

Su funcionamiento se basa en mecanismos de tipo cuántico.  
Aprovechan la experiencia tecnológica de los semiconductores de los últimos 50 años

### **Dispositivos electrónicos moleculares**

Utilizan materiales y principios de funcionamiento completamente nuevos

## Advanced 90-nm Process Packs 400 Million Transistors On-Chip

Ashok Bindra

ED Online ID #1614

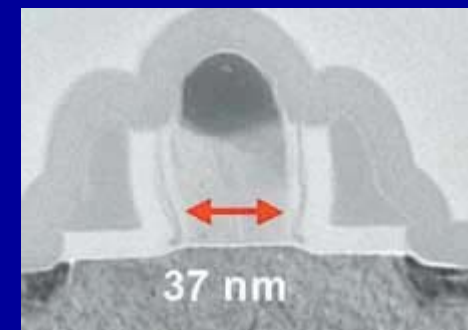
March 18, 2002

**Copyright © 2003 Penton Media, Inc., All rights reserved.**

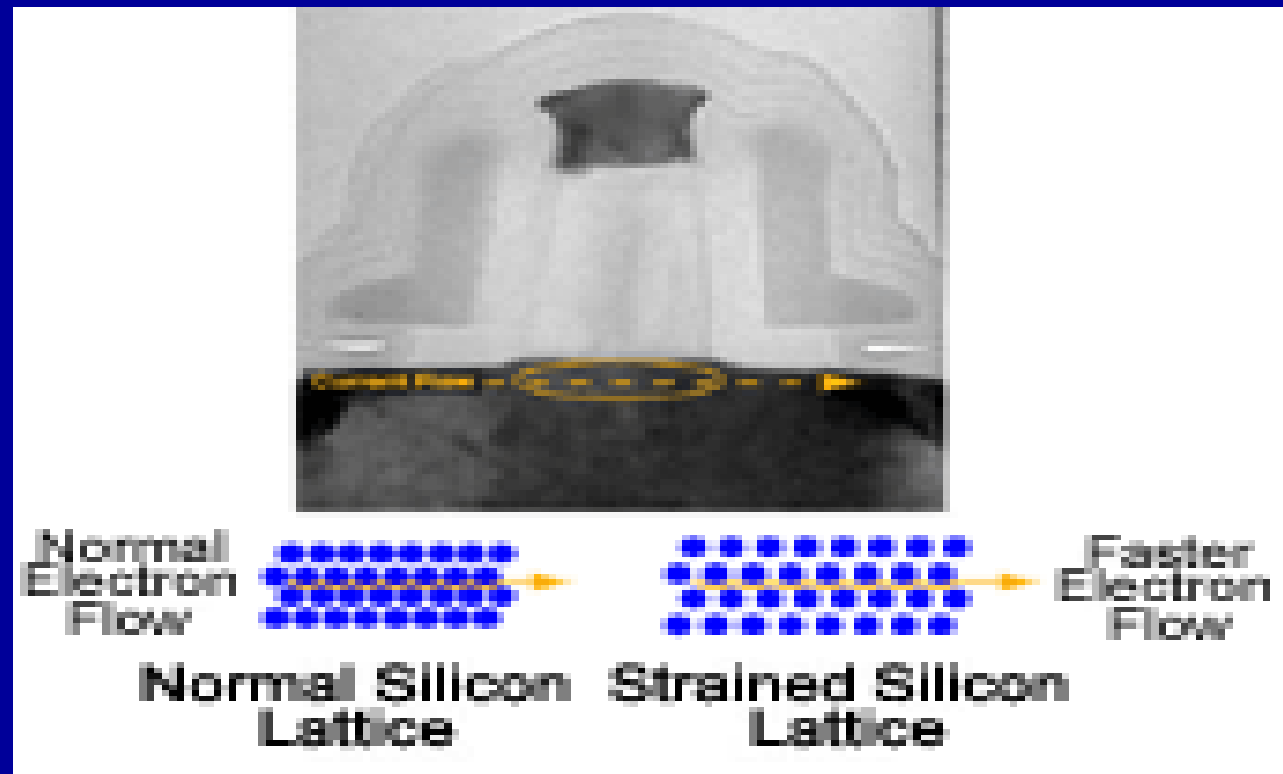
[For reprints of this or other articles, click here](#)

With over 400 million transistors on a single chip, Texas Instruments' next-generation 90-nm (0.09- $\mu\text{m}$ ) CMOS process will enable TI to pack DSP, microcontroller, memory, logic, analog, and RF functions on one CMOS die, with moderate power consumption. The process targets upcoming multigigahertz DSPs, UltraSparc processors, and highly integrated systems-on-a-chip (SoCs).

By permitting adjustment of transistors' gate lengths, threshold voltages, gate-oxide thickness, or bias conditions, the process makes possible transistors tuned for different functions on one chip. As a result, transistors with the highest performance can be used in performance-critical functions like signal processing, while those with lower power consumption can support stringent active and standby power needs. TI expects at least two-fold cut in power consumption.



## Proceso de 90 Nanómetros





« [LG-KF510 Thin Slider Phone](#)

## Intel Tukwila Chip

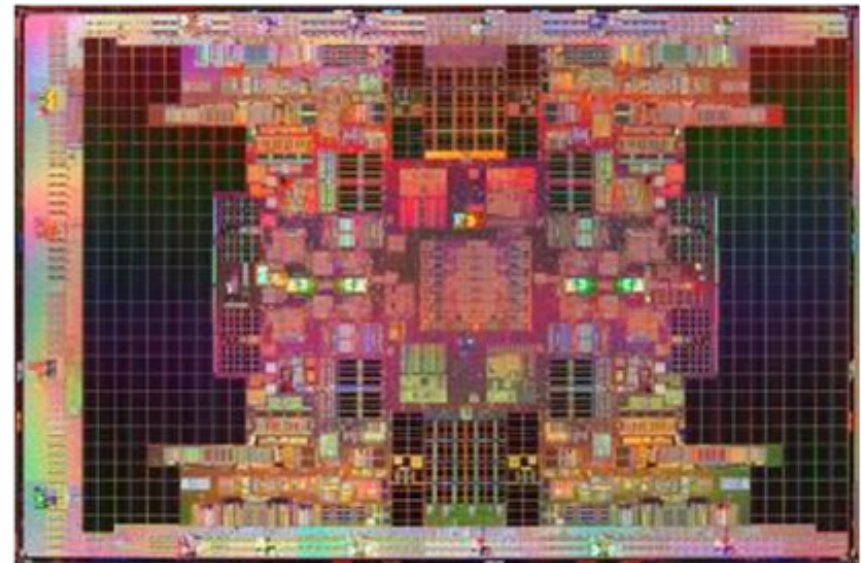
The forthcoming Tukwila chip from Intel will be their first such product to contain more than 2 billion transistors on a single chip.

The 2-Ghz 4-core 64-bit 65-nanometer Tukwila Itanium processor represents a (mid-sized) landmark confirmation of [Moore's Law](#).

...to which we say bleh. Why bother..just wait about 2 years, we can get you one with 4 billion transistors for about the same \$.

[Chips pass two billion milestone](#) - BBC, 4 February 2008

[CNet Loaded News - with Natali Del Conte](#) »

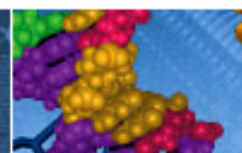


**News**[World News](#)**King News**[Subscribe](#)[Tech Week](#)[Technology](#)[Systems](#)[Conductors](#)[Cal-Pharm](#)[Ph-Genetics](#)[Materials](#)[Science](#)[Cal's Industry](#)[Business](#)[RSS News](#)**News****Breaking News**

## Intel Produces Semiconductor's First 45 Nanometer Chip

Jan 26, 2006

Most nano chip production today, including Intel's newer processors, are at the 65nm level, with the 45nm mark considered the next level. The creation of the 45nm chip means improved battery life for mobile devices and more opportunities to build smaller and more powerful platforms. The 45nm Static Random Access Memory (SRAM) chip is also an important first step towards mass production of complex electronics devices. The chip, which has more than 1 billion transistors, was developed at Intel's Oregon facility. The company plans to establish 45nm fabrication lines in Israel and Arizona, and expects to deliver production using 45nm processes by 2007.

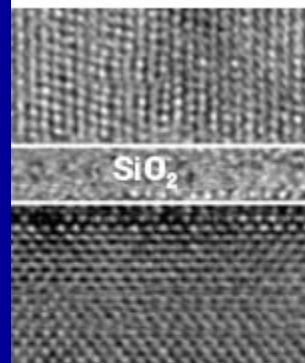
**Announcements**  
Houston, May 7-11, 2006**Conference Scientific Program Posted**

- **Submit Venture**
- **Nanotech Job Fair**
- **Exhibit and Sponsor**

  
TechConnect Summit 2006

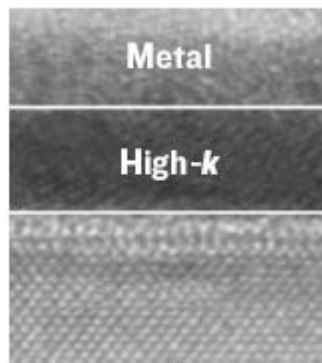


# Proceso de 45 Nanómetros



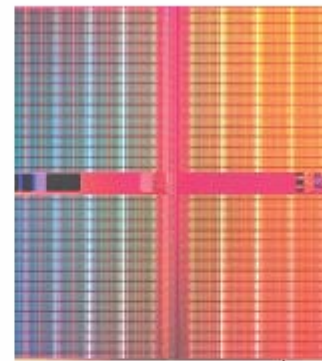
1990

**Late 1990s** SiO<sub>2</sub>'s limits realized. Search begins for a high-*k* dielectric to replace it



2004

**Nov. 2003** Working high-*k* plus metal gate (HK+MG) research transistors



2006

**Jan. 2006** Fully functional 1-billion-transistor 45-nm HK+MG memory chips

2007

**Jan. 2007** Working 45-nm HK+MG microprocessors demonstrated in systems

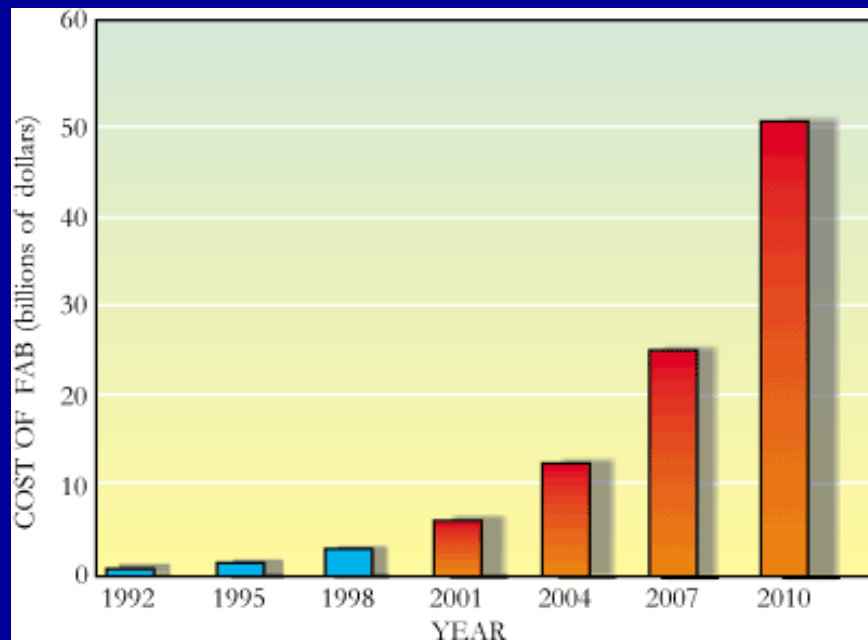
**2nd half 2007** High-volume production of 45-nm HK+MG microprocessors begins



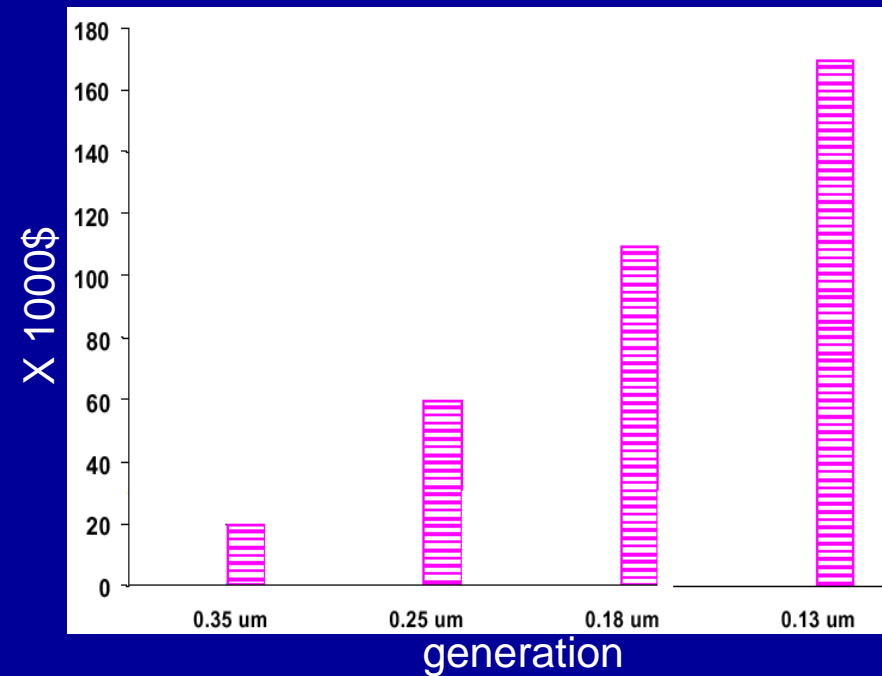
# NO SILICIO

- ✦ Limites Físicos (Efecto Túnel, Comportamientos Quánticos)
- ✦ Limites Tecnológicos (Disipación de Potencia, Diseños muy Complejos)
- ✦ Limites Económicos (Procesos tecnológicos mas costosos, segunda ley de Moore)

# Moore's Second Law

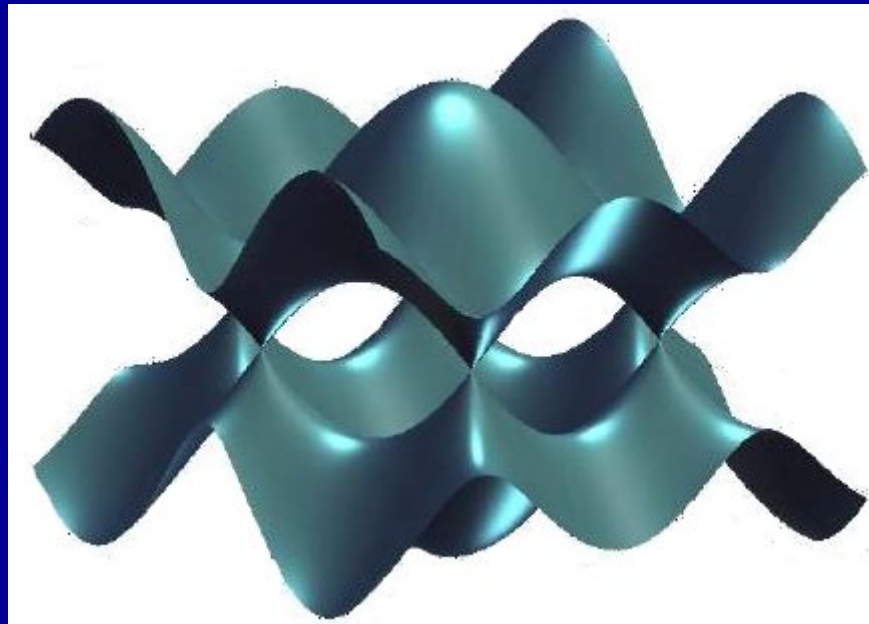


Plant cost



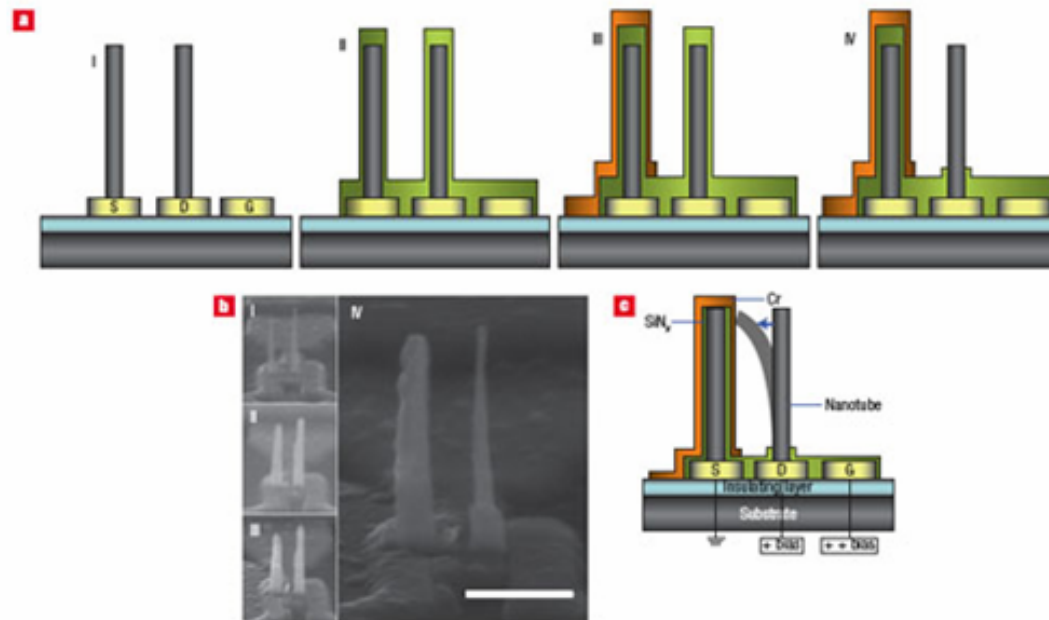
Mask cost

Adiós Mr.Silicio, hola Mr.Graphene



## Electromechanical nanotechnology switches as alternatives to transistors

one can make a vertically oriented switch on the nanoscale which works through the conversion of electrostatic force to mechanical movement.



A NEM switch based on vertically aligned multiwalled carbon nanotubes. Schematic diagram (a) and scanning electron micrographs (b) showing the fabrication process (see main text and Methods). Source S is connected to ground, and the drain D and gate G are connected to the bit line and the word line, respectively, to receive electrical signals. The substrate is Si and the insulating layer is SiO<sub>2</sub> (300 nm thick). Nb is used for the source, drain and gate electrodes and access lines. The nanotube (gray) in the capacitor (on the left) has diameter ~60 nm, the dielectric layer (green) is ~40 nm thick, and the metal layer (orange) is ~30 nm thick. The diameter of the capacitor structure is 200 nm and the scale bar in the micrograph corresponds to 500 nm. c, When positive bias voltages are applied to the drain and gate, electrostatic forces act to deflect the nanotube on the drain to make contact with the top metal of the capacitor on the source, causing it become charged. On removal of the gate bias voltage, if the combined electrostatic and van der Waals forces acting on the drain nanotube are weaker than the elastostatic force pulling it to the vertical, it will spring back to its original position, as shown in b, IV, leaving the nanoscale capacitor on the source in a charged state. (Reprinted with permission from Nature Publishing Group)

# A look at the future of nanoelectronics

---

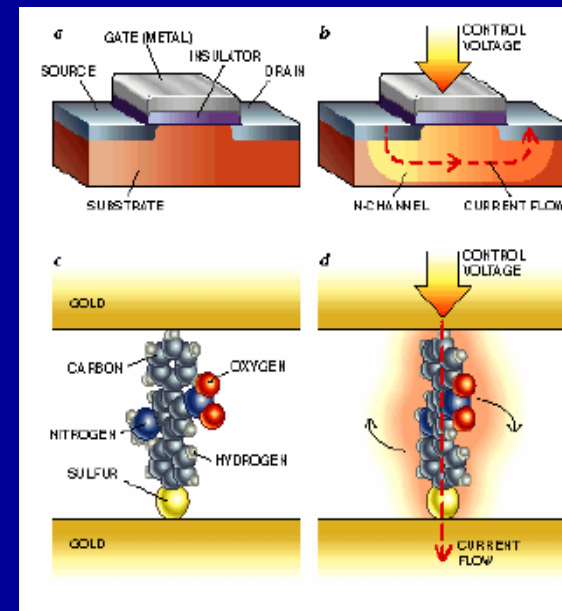
Nanotechnology will play a key role in the ultimate fulfillment of Moore's law. Carbon nanotubes and semiconducting nanowires are considered as possible gateways to the final shrink that will end the scaling around 5nm physical gate length.

---

But not only is there the transition from the 'era of happy scaling' to the more challenging ultimate-CMOS era, there is also a changing society impacting the demands put on the IC industry. Until 2000 the technological advancements in the IC world were driven by the growing computing power of the PC. But in the post-PC world in which we are living today, people want 'smart' home and car appliances, portable devices enabling secure trustworthy computing and communication at any place and at any time. The medical world and its patients want sensor networks allowing more safety, living comfort and better health monitoring. The post-PC world is an Ambient Intelligence world.

# Electrónica Molecular

La Electrónica Molecular constituye la etapa más novedosa en la miniaturización de los circuitos de las computadoras.



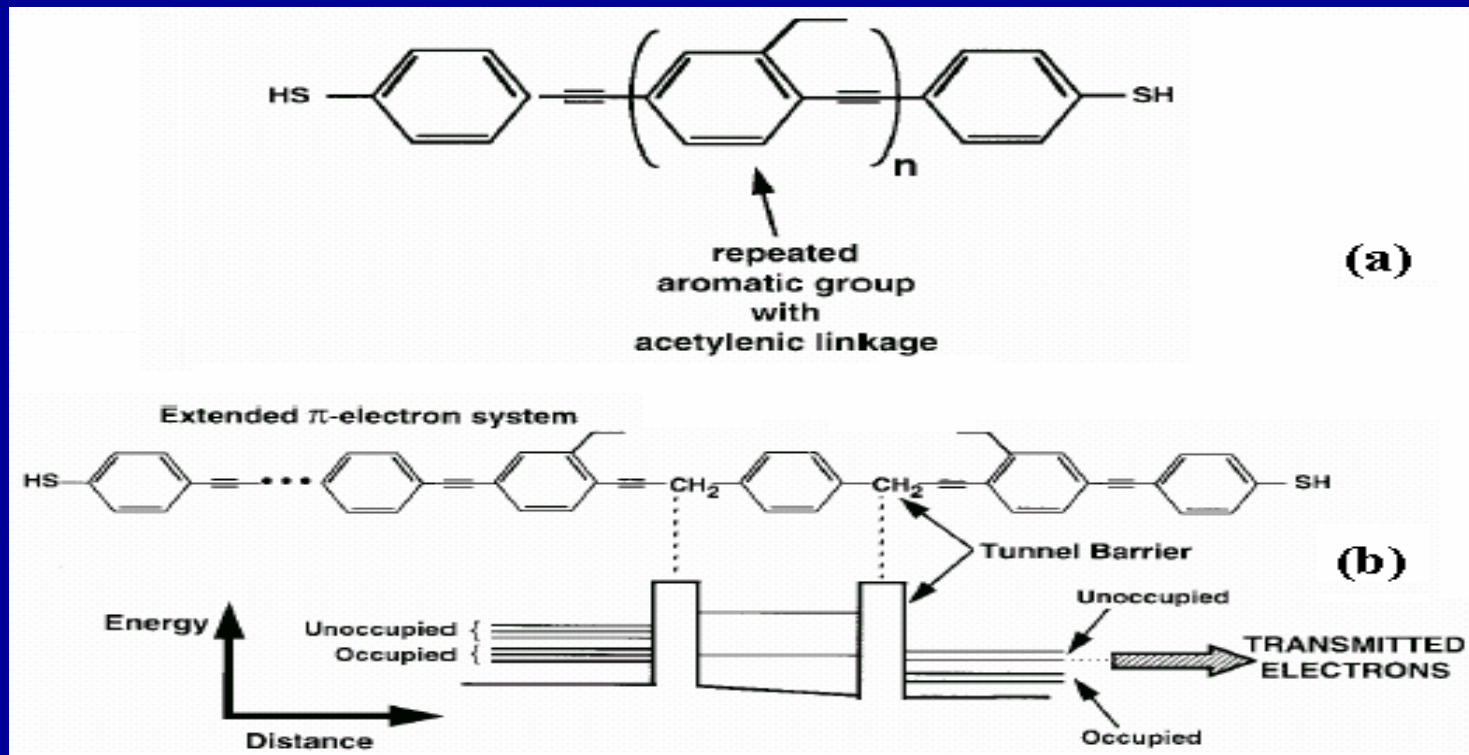


✓1974: A. Abraham y M. A. Ratner proponen un rectificador molecular.

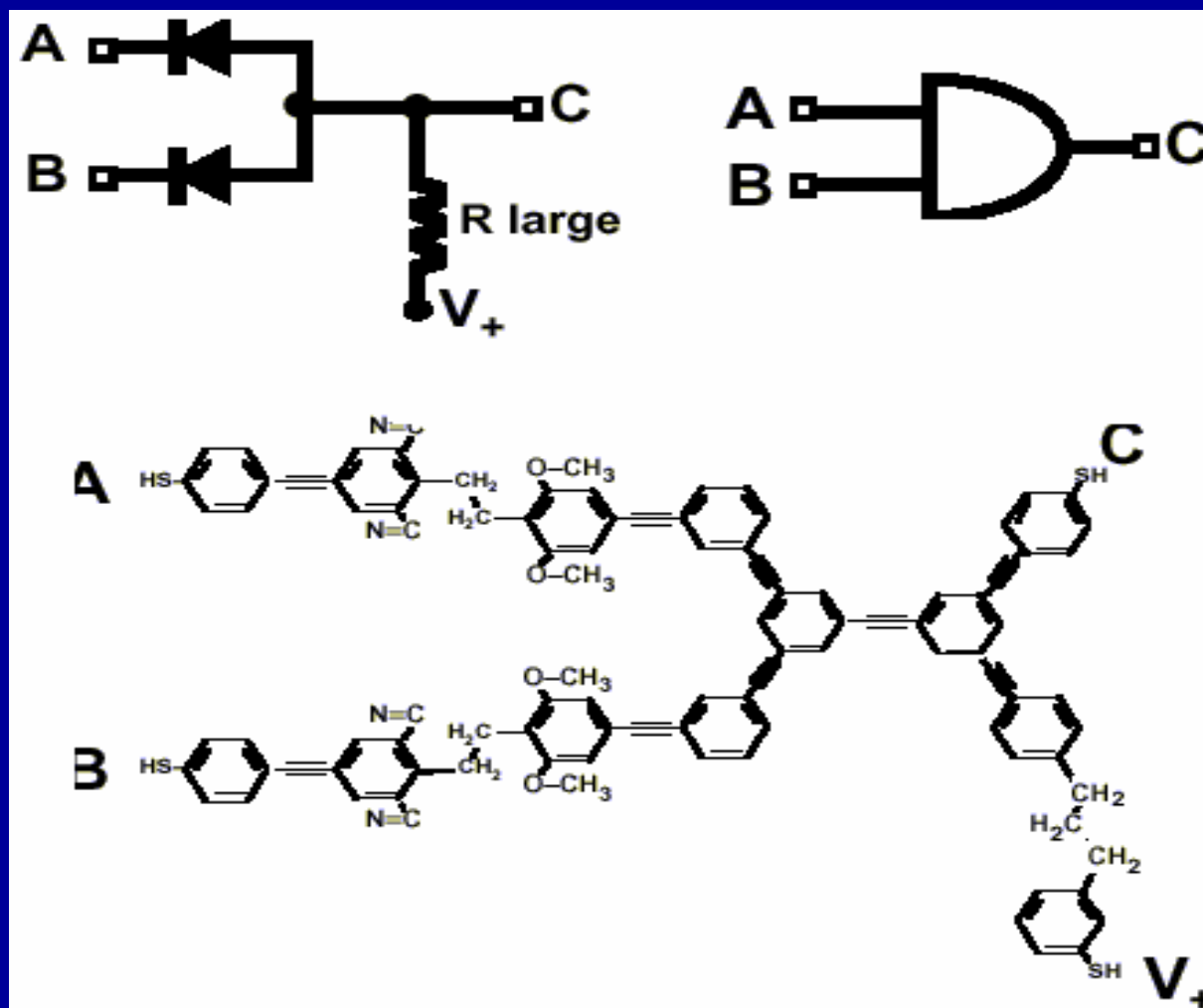
✓1997: C. Dekker y su grupo de Biofísica Molecular en la Universidad de Delft proponen el primer FET nanotubo.

✓1999: J. C. Ellenbogen y J.C. Love proponen un rectificador tipo Aviram\_Ratner mejorado. A partir de una lógica de diodos, proponen compuertas AND, OR, XOR y circuitos lógicos combinacionales sencillos.

# Diodo Resonante Molecular

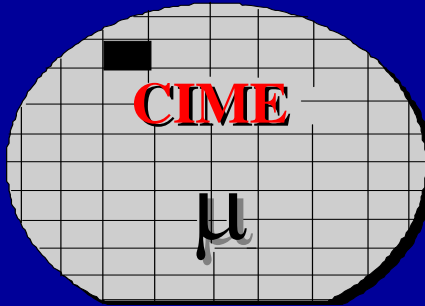


# J. Ellenbogen y J. Love (1999)



# EDUCACION

- Información a todas las personas sobre las posibilidades y los riesgos.
- Adecuación en los planes y programas de estudio existentes en todos los niveles de enseñanza.
- Surgimiento de nuevas carreras.
- La interdisciplinariedad alcanza una nueva dimensión .
- Otros.



# **INTRODUCCIÓN A LA NANO ELECTRÓNICA**

**Autores:** Ing. Alberto Hernández Pérez, Profesor Consultante  
Lic. María Luisa Corona Herrera, Profesora Auxiliar  
Ing. Alberto Lastres Capote, Profesor Titular

**Centro de Investigaciones en Microelectrónica  
Facultad de Ingeniería Eléctrica  
CUJAE**

## **Contenido**

**Nota introductoria 3**

**Introducción 4**

**Dispositivos Nanoelectrónicos 5**

**¿Que es la nanoelectrónica? 5**

**¿Qué avances científicos y tecnológicos han permitido el surgimiento de la nanoelectrónica? 5**

**¿Cuántos tipos de dispositivos nanoelectrónicos existen? 6**

**Dispositivos electrónicos moleculares 6**

**Dispositivos de conmutación moleculares activados por luz. 7**

**Dispositivos moleculares electroquímicos. 7**

**Dispositivos moleculares electromecánicos. 7**

**Dispositivos de conmutación electrónicos moleculares controlados por campo eléctrico. 8**

**Diodo molecular rectificador. 8**

**Diodo molecular túnel resonante. 12**

**Dispositivos de efecto cuántico y de un solo electrón de estado sólido. 14**

**Dispositivos de estado sólido de efecto túnel resonante 14**

**Puntos cuánticos (Quantum Dots). 18**

**Transistor de un solo electrón. 19**

**Dispositivos del tipo uniones túnel magnéticas, MTJ (Magnetic Tunnel Junctions). 20**

**Referencias 21**

**Anexo 1. Preguntas. 22**

**Anexo 2. Teoría del escalado. 23**

**Anexo 3. Otras figuras de interés. 25**

**Anexo 4. Algunos aspectos de Química Orgánica 31**