

Internet Electronic Journal
Nanociencia et Moletrónica
Octubre 2004, Vol. 2; N°2, (2004)

NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA
La nueva revolución científico-tecnológica

Alfred F.K. Zehe
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias de la Electrónica

<http://www.revista-nanociencia.ece.buap.mx>

ESAFI 2004, 9-20 Agosto 2004, Lima, Perú
NANOTRON 2004

NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA

La nueva revolución científico-tecnológica



Alfred F.K. Zehe
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias de la Electrónica

NANOTECNOLOGÍA

1. Revoluciones científico-tecnológicas, que crearon la Sociedad de Información
2. Nanotecnología a escala molecular, la nueva revolución hacia el *homo nano sapiens*
3. Herramientas conocidas de la nanotecnología
4. Auto-organización, biomimética y nanobiotecnología
5. Unas conclusiones

Alfred F.K. Zehe

Universidad Autónoma de Puebla, México
Technische Universität Dresden, Alemania

LA REVOLUCIÓN, que catapultó la FÍSICA CLÁSICA A LA FÍSICA MODERNA

14. 12. 1900 **MAX PLANCK**

Reunión de la Deutsche Physikalische Gesellschaft

$$h = 6.6256 \cdot 10^{-34} \text{ Ws}^2$$

Nace la Mecánica Cuántica

$$H\psi = E\psi$$

Ecuación de Schrödinger

$$|\psi\rangle = a|\psi_1\rangle + b|\psi_2\rangle$$

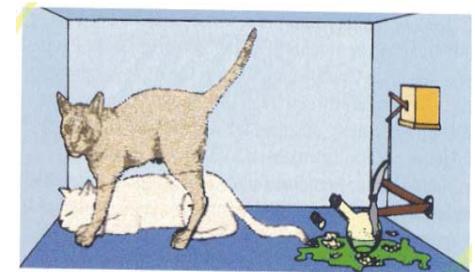
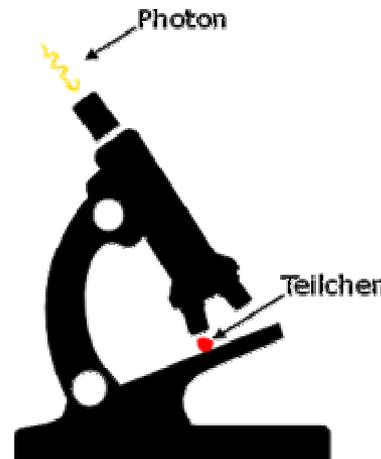
Superposición

$$\Delta p \cdot \Delta q \geq h/4\pi$$

Relación de Incertidumbre

$$P = |\psi\psi^*|$$

Probabilidad



El Gato de Schrödinger

LA REVOLUCIÓN MICROELECTRÓNICA

catapultó la humanidad a una nueva

SOCIEDAD DE INFORMACIÓN

1926 - Lilienfeld registra la Patente del FET en el Deutsches Patentamt

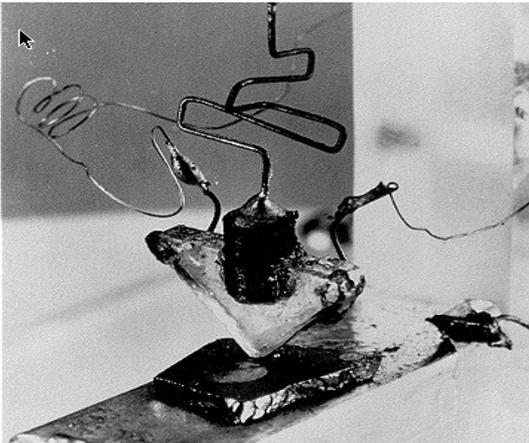
1936 - Konrad Zuse construye la primera computadora (Z1)

1948 - Bardeen, Brattain and Shockley realizan el primer transistor bipolar

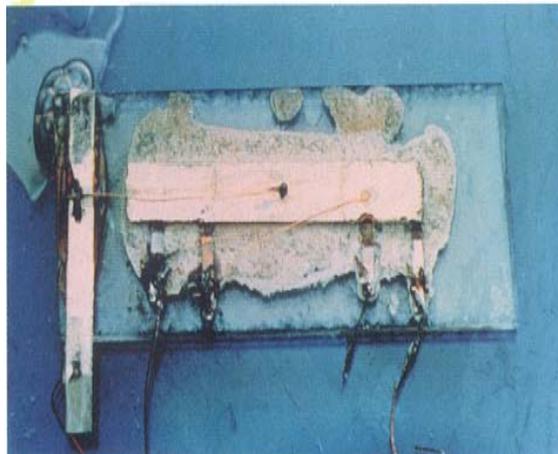
1958 J.S. KILBY; R. NOYCE

registran patentes de la Tecnología Planar, que abren la puerta para la integración microelectrónica

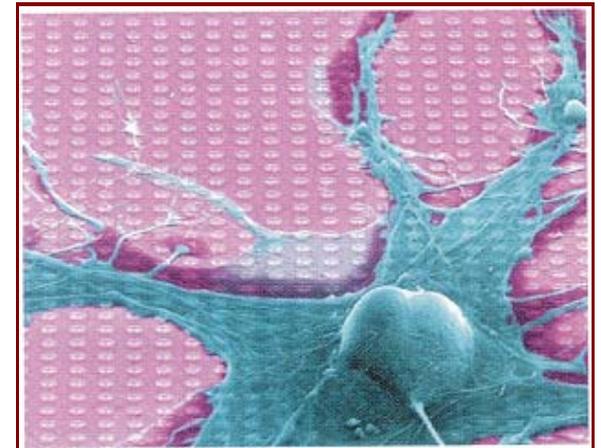
El primer transistor



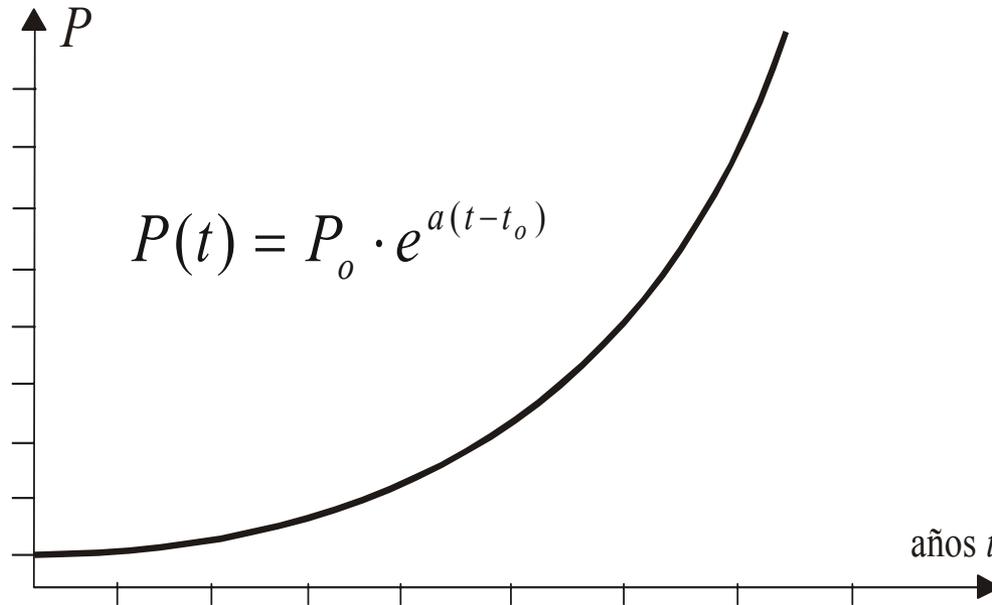
El primer circuito integrado



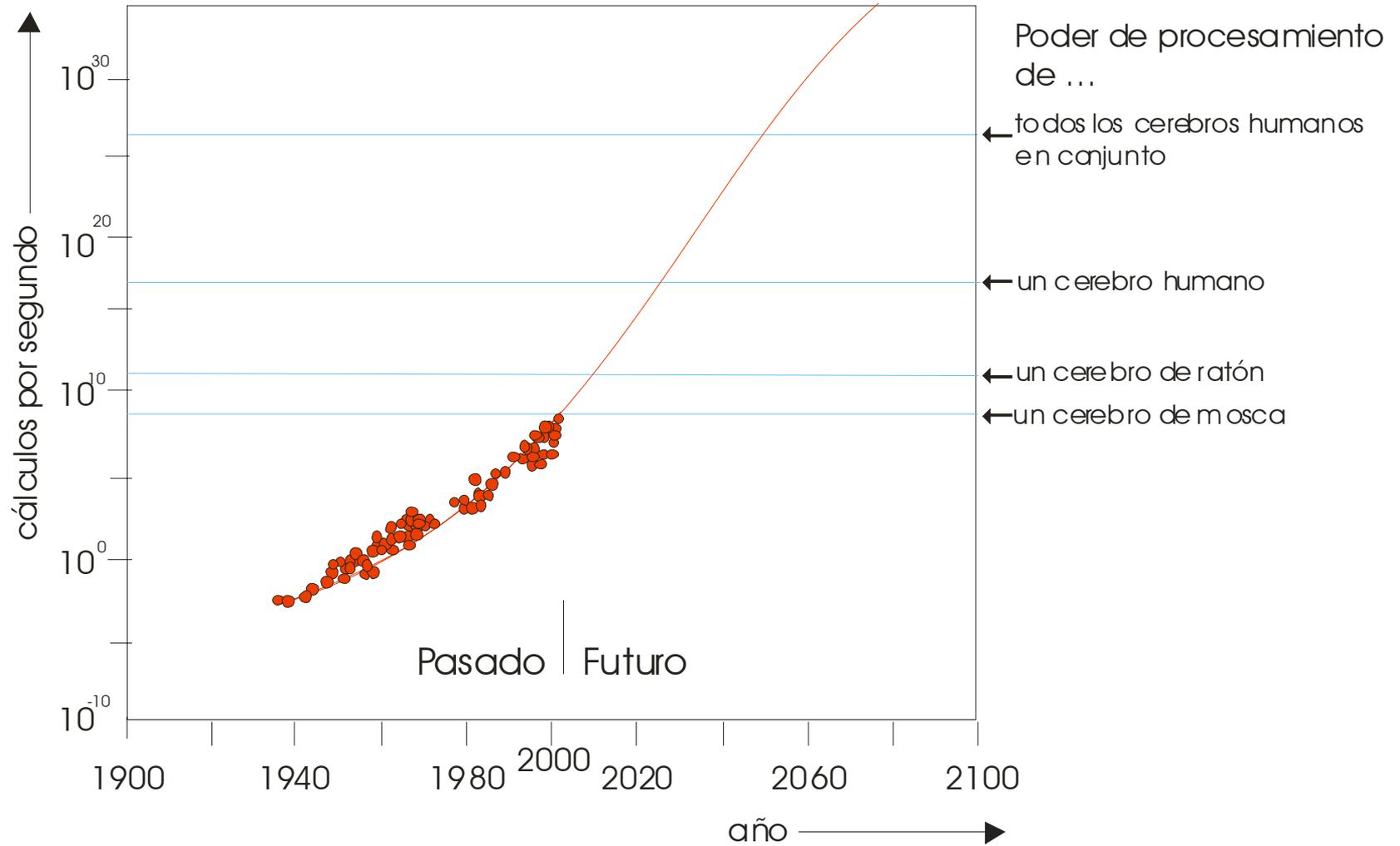
Oblea de Si con alta integración de circuitos



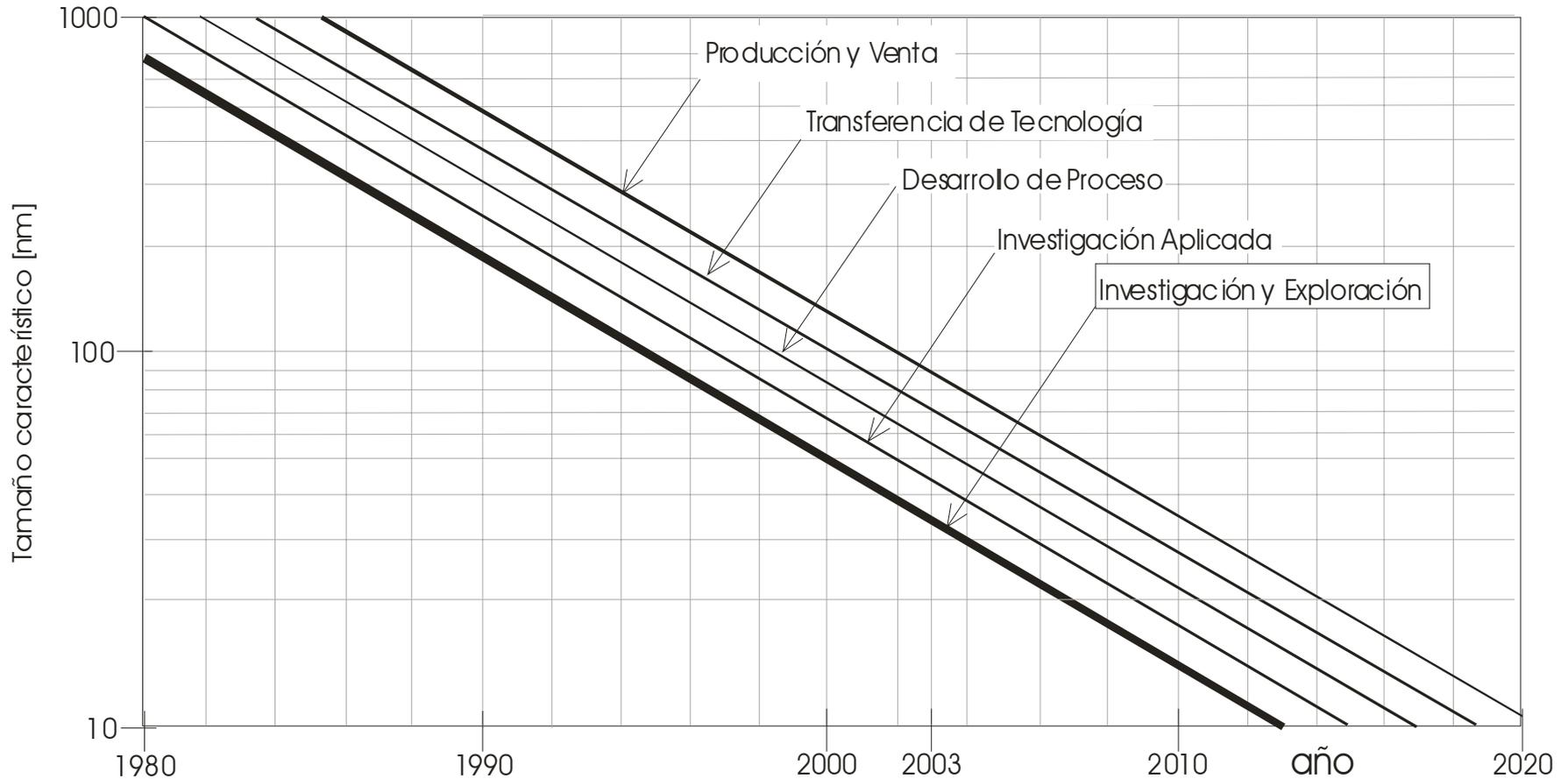
Una función P , que describe el progreso en tiempo, por ejemplo de la vida biológica, de la tecnología ó de la computación sigue una **Ley Exponencial**



- Tomó muchos miles de años para nuestros predecesores de hacer la tecnología de afilar una piedra un progreso común.
- Durante el siglo 19 el progreso tecnológico fué igual a aquellos de los 10 siglos anteriores.
- Las primeras 2 décadas del siglo 20 igualaron aquel de todo el siglo 19.
- Hoy progresos tecnológicos significativos tardan apenas unos pocos años: Hacer del Internet una tecnología de comunicación tardó menos que una década.



Avance exponencial en velocidad de cálculos, que una computadora personal (PC) tendrá en años venideros

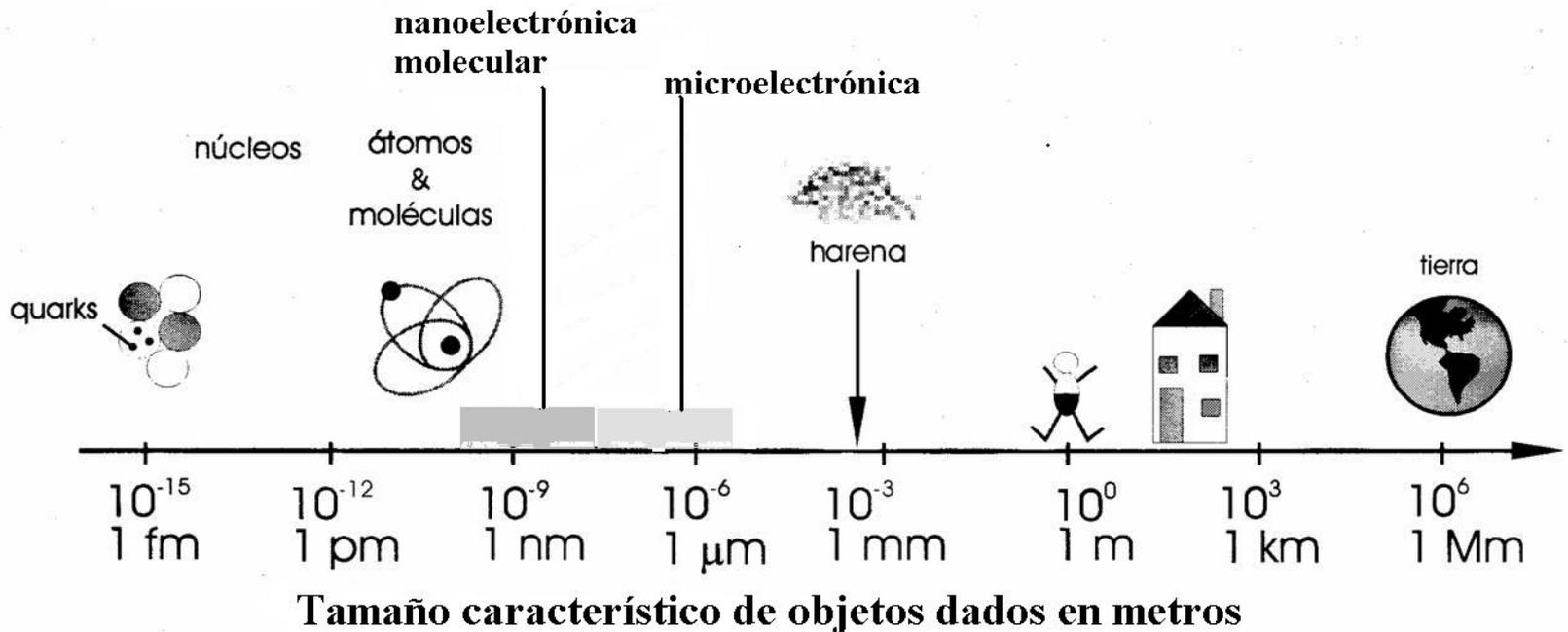


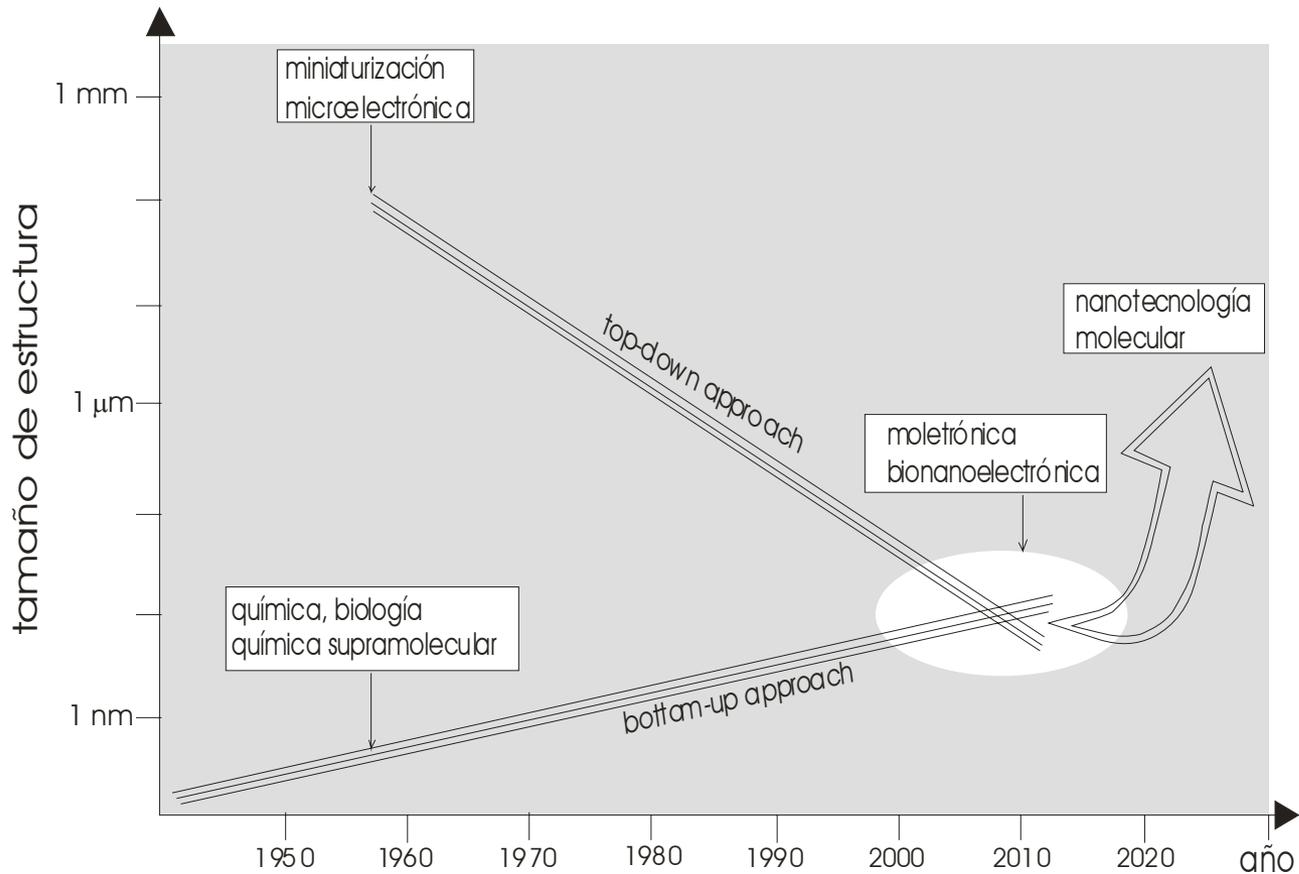
El avance de la tecnología microelectrónica en base a Silicio ha sido estrictamente exponencial. Llegando a límites físicos y económicos, las dificultades para un progreso dentro del mismo concepto crecen también en forma exponencial

Extensiones geométricas relativas

Mecánica cuántica

Mecánica clásica



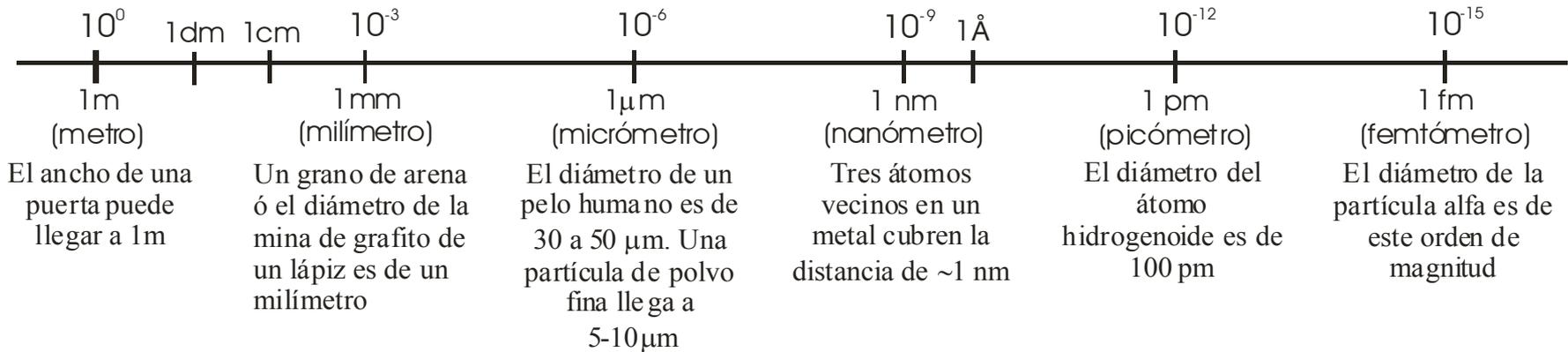


Las tecnologías, que implican dimensiones geométricas mayores y tendencias de desarrollo hacia lo pequeño, se llaman *'top down'*.

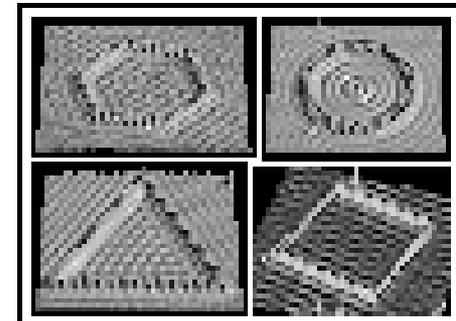
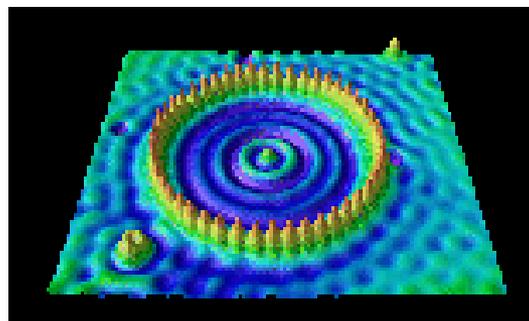
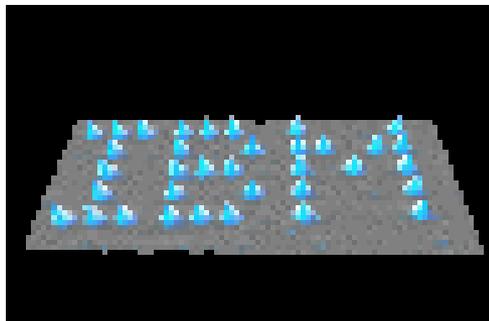
Las tecnologías, que ensamblan estructuras pequeñas para hacer estructuras mayores (supramoléculas, nanorobots) se llaman *'bottom up'*. La tecnología *'bottom up'* en la electrónica lleva el nombre de **MOLETRÓNICA**

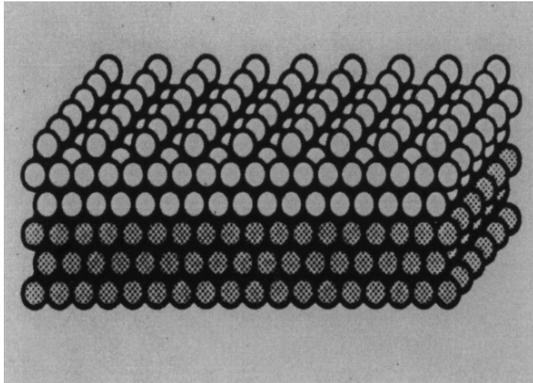
La tecnología de microelectrónica en base a Silicio ha sido desde el inicio una tecnología *'top down'*. La nanotecnología a nivel molecular, y la picotecnología a nivel atómico representan tecnologías *'bottom up'*

¿Qué es Nanotecnología?

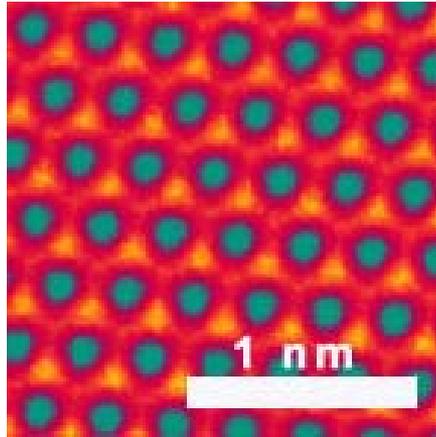


El característico de la Nanotecnología es la manipulación de átomos o moléculas **individualmente**, su autoorganización y autoensamble en estructuras mayores.

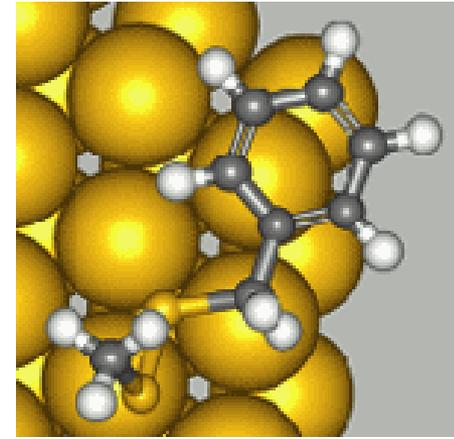




Una heteroestructura de dos materiales cristalinos (por ej. Ge sobre Si)



Una superficie de oro. La distancia entre 7 átomos corresponde a 2 nm (20 Å)

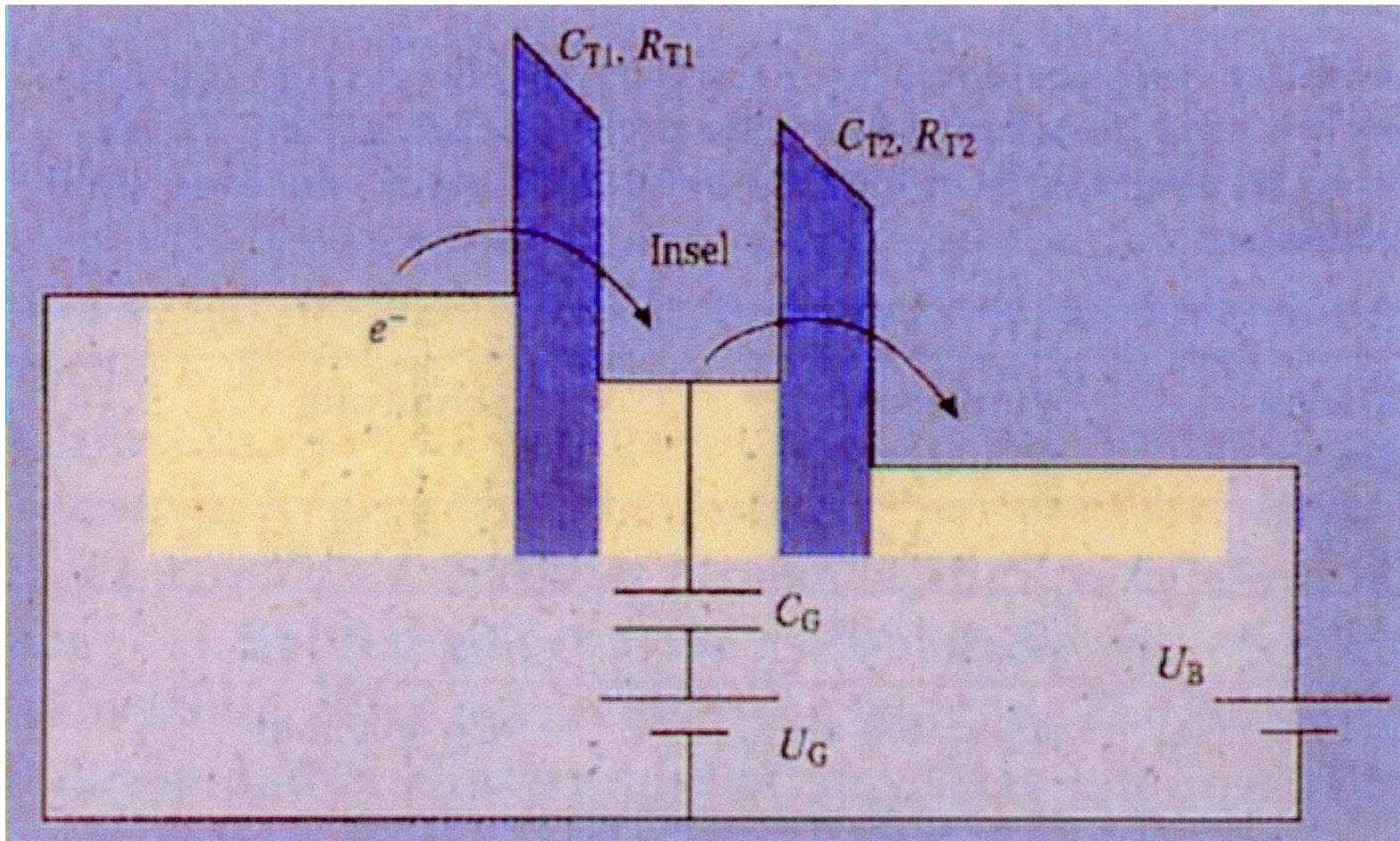


Una molécula encima de una superficie cristalina (Los rodillos entre las esferas representan los enlaces)

SET

Single Electron Transistor

Coulomb Blockade



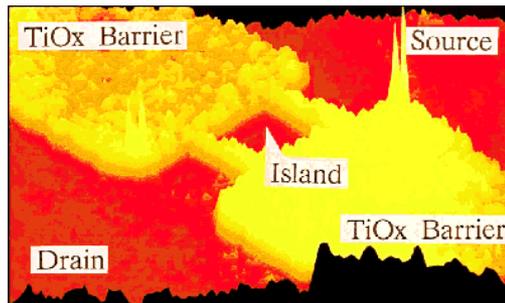
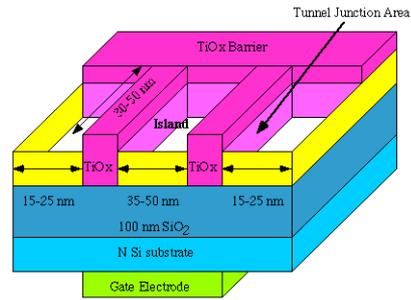
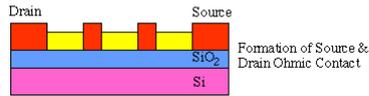
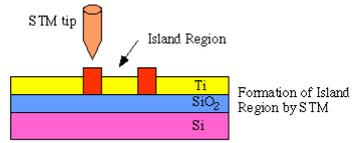
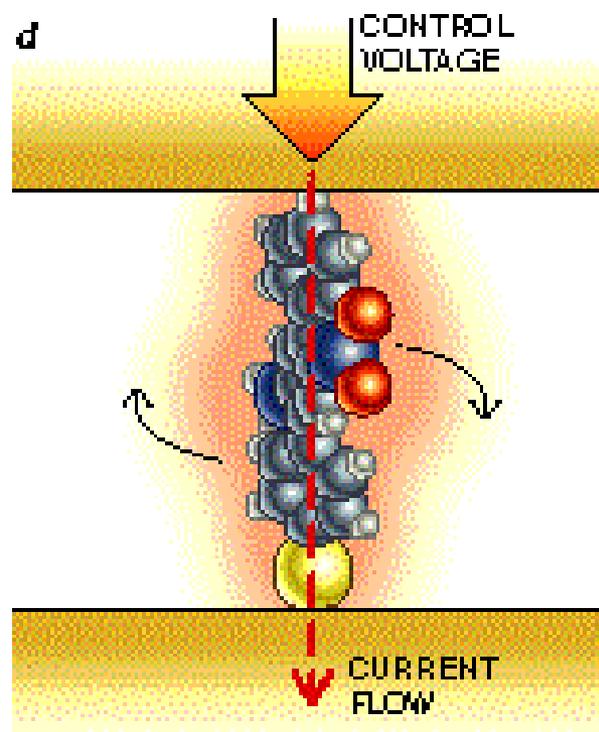
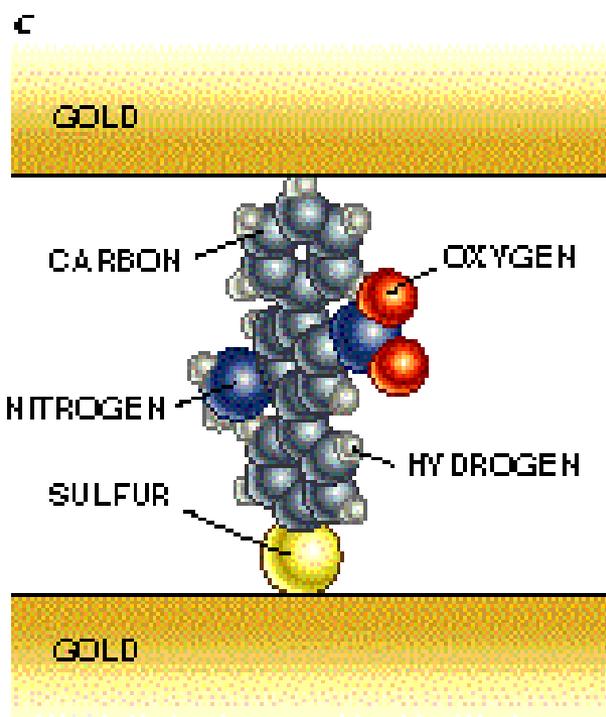
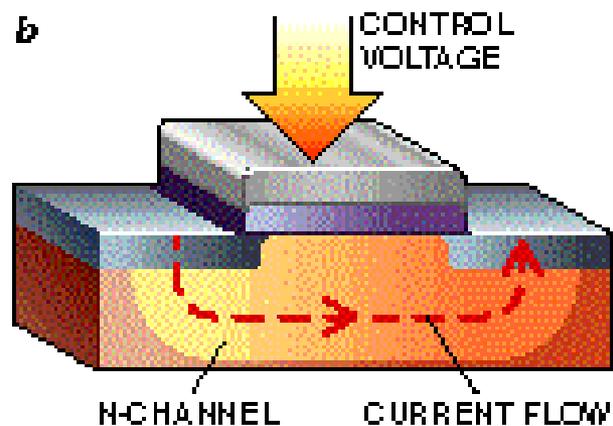
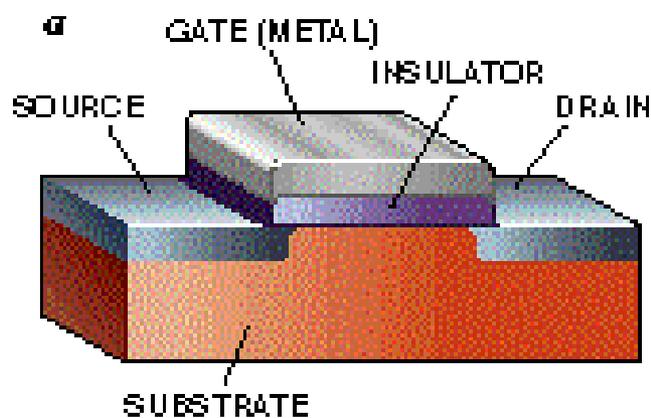
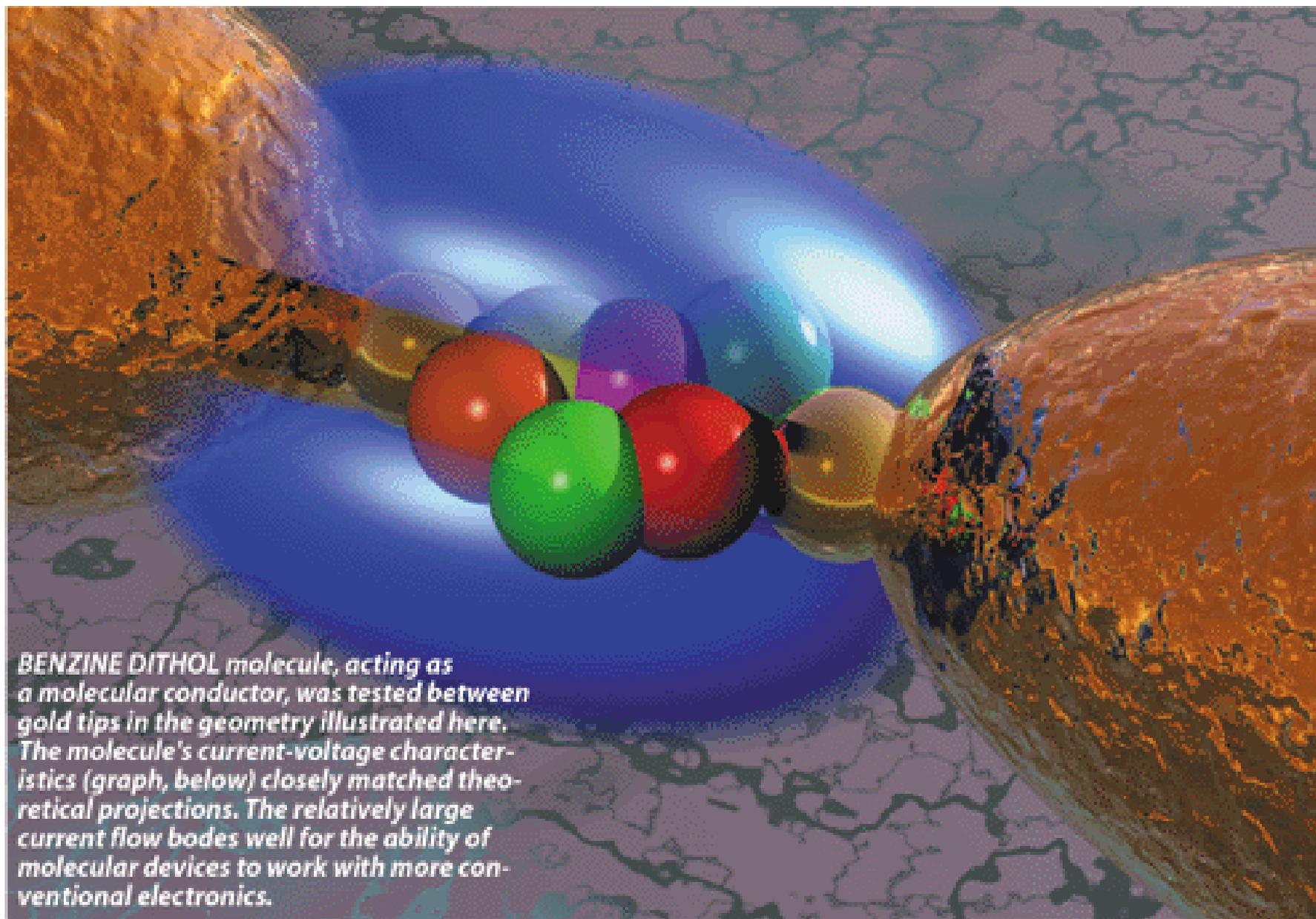


Figure 1.) Fabrication of the Ti/TiOx SET by the STM nano-oxidation process.

Figure 2. Schematic of a single electron transistor

Figure 3. AFM image of a single electron transistor made by the STM nano-oxidation process



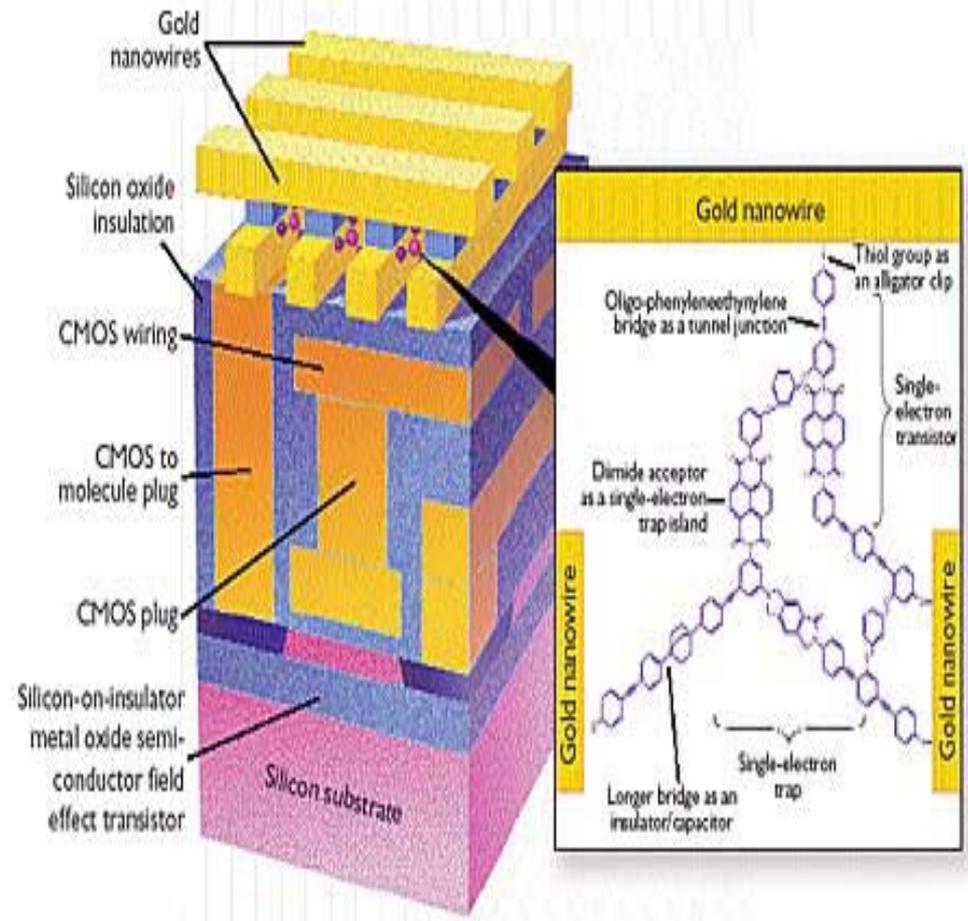


BENZINE DITHOL molecule, acting as a molecular conductor, was tested between gold tips in the geometry illustrated here. The molecule's current-voltage characteristics (graph, below) closely matched theoretical projections. The relatively large current flow bodes well for the ability of molecular devices to work with more conventional electronics.

CMOS – CMOL

HÍBRIDOS SEMICONDUCTOR MOLÉCULA

- Dispositivo CMOS avanzado (litografía)
- unas capas de nanoalambres paralelos
- dispositivos moleculares que por auto-ensamble desde una solución se forman entre los nanoalambres
- $3 \cdot 10^{12}$ funciones/cm²



La Nanotecnología del Carbono

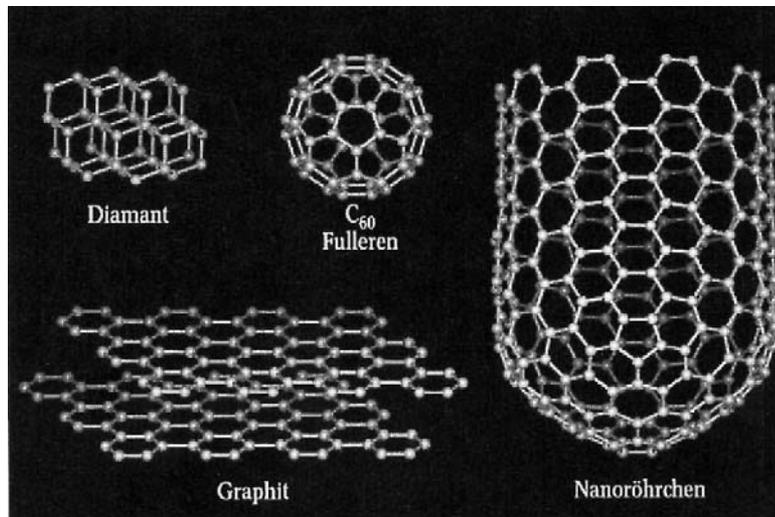
FULLERENOS Y NANOTUBOS

1985 Kroto, Smalley, Curl: Descubrimiento de la molécula C_{60}

1990 Krätschmer et al.: Fabricación en grandes cantidades de C_{60}

1991 Sumio Iijima: Fabricación de Nanotubitos de Carbono

C_{60} - 700 pm diámetro

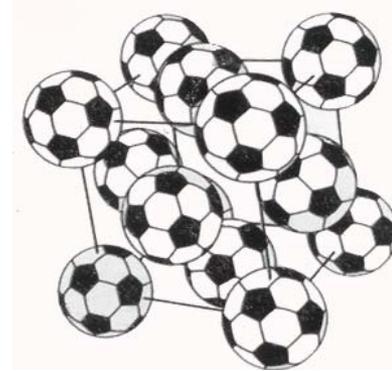


$1s^1$			s^2p^2			$1s^2$
H						He
			C			
			Si			
			Ge			
			Cuatro electrones de valencia			

APLICACIONES potenciales de FULLERENOS

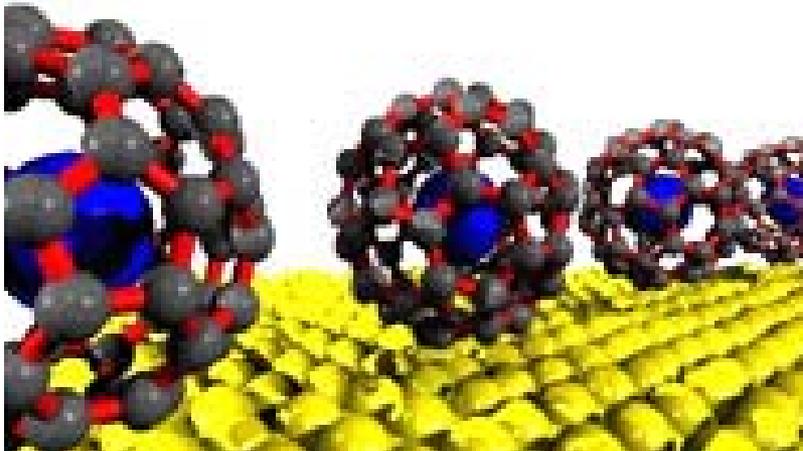


- Nanocápsulas para desechos radioactivos



- Nanocristales

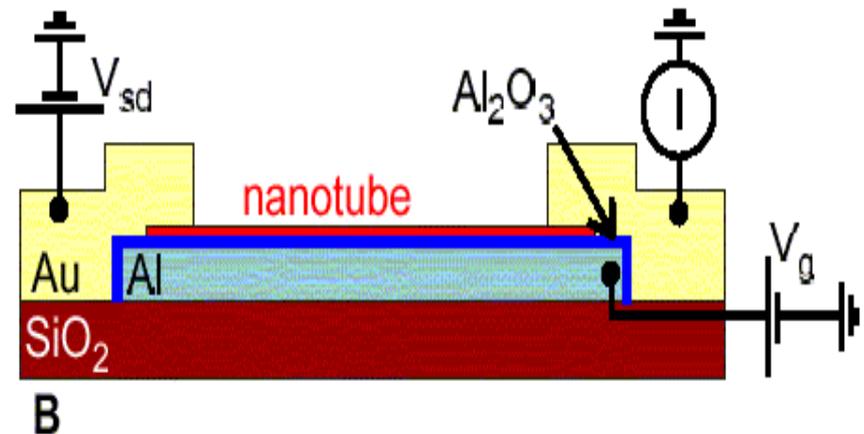
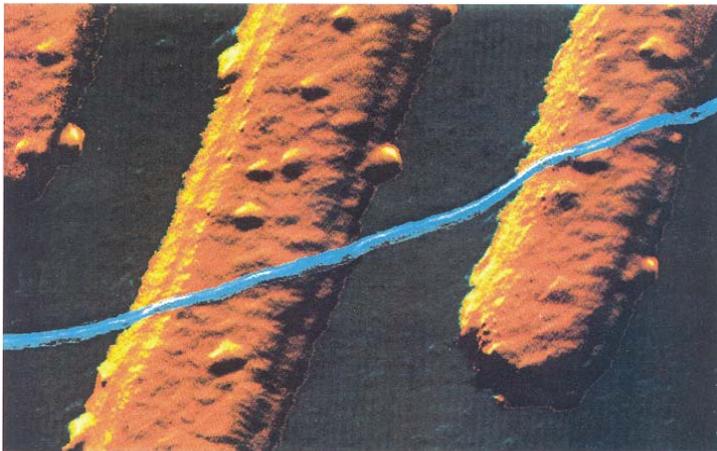
- capas ultradelgadas; ● películas con fricción mínima; ● polvos fotosensibles; etc.



Una computadora cuántica en base a fullerenos en arreglo lineal. Los **qubits** están almacenados en los espines nucleares de los átomos encerrados, mientras los espines de los electrones aseguran el enredo de estados cuánticos de los átomos vecinos.

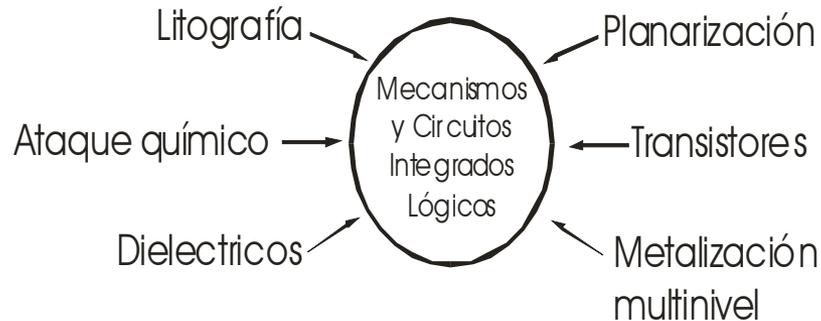
NANOTUBOS – EL MATERIAL DEL SIGLO 21

Materiales laminares con curvatura (como por ej. los Fullerenos y Nanotubos) aportan una gran variedad de posibilidades debido a diferentes propiedades electrónicas y mecánicas

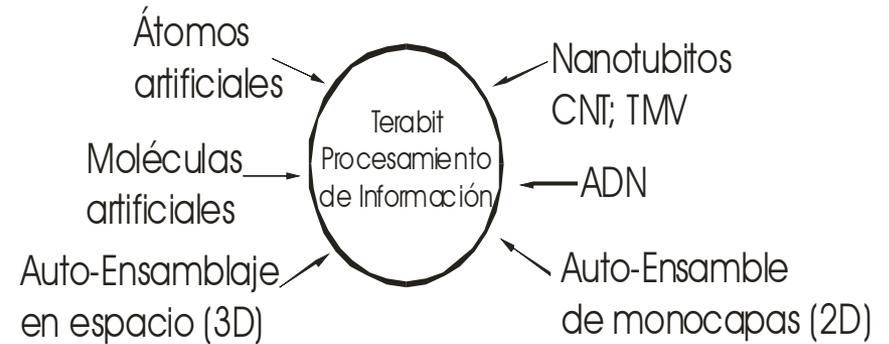


LA MICROELECTRÓNICA EN LA LUZ DE LA MOLETRÓNICA

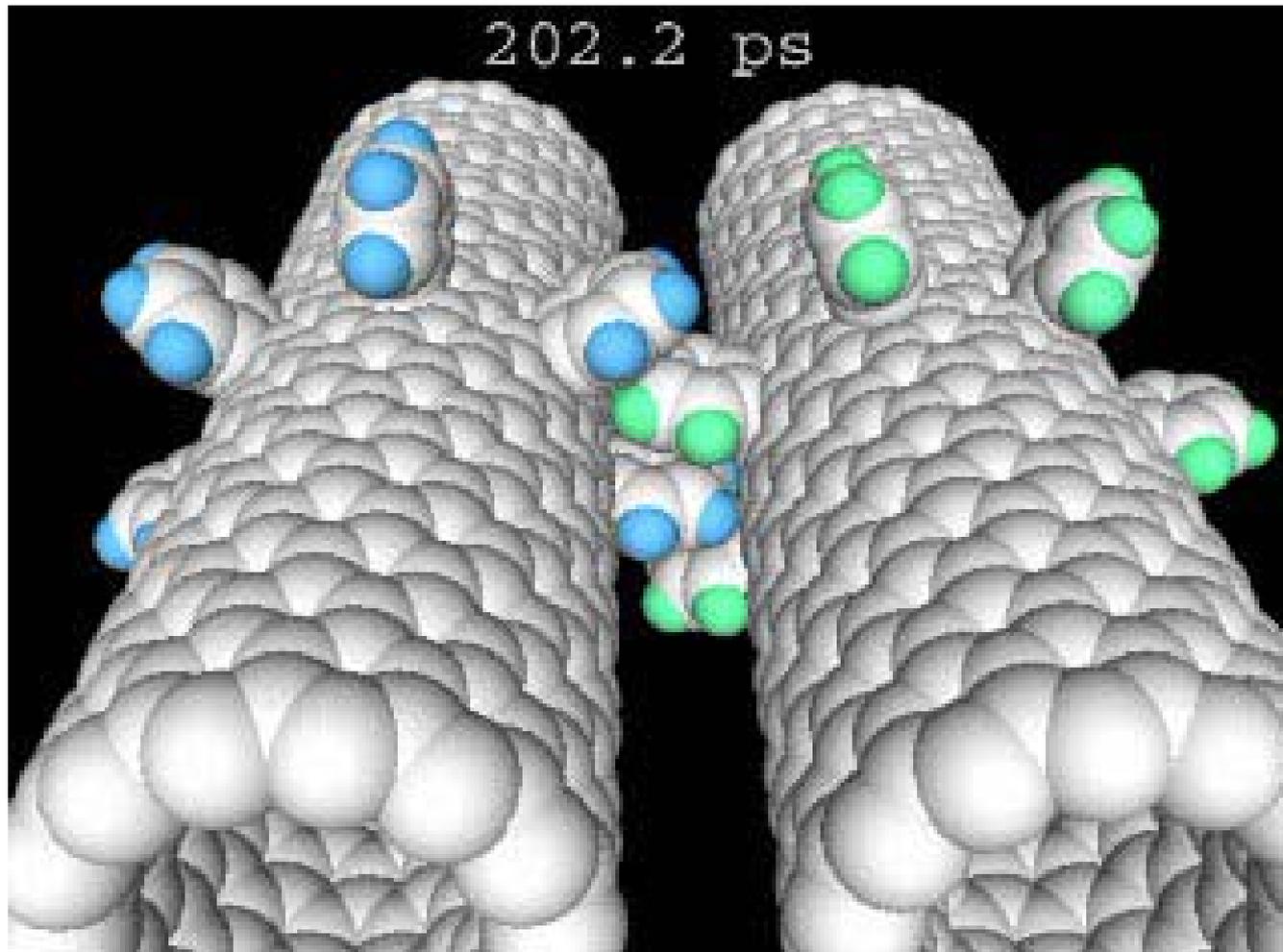
FABRICACIÓN 'TOP DOWN'



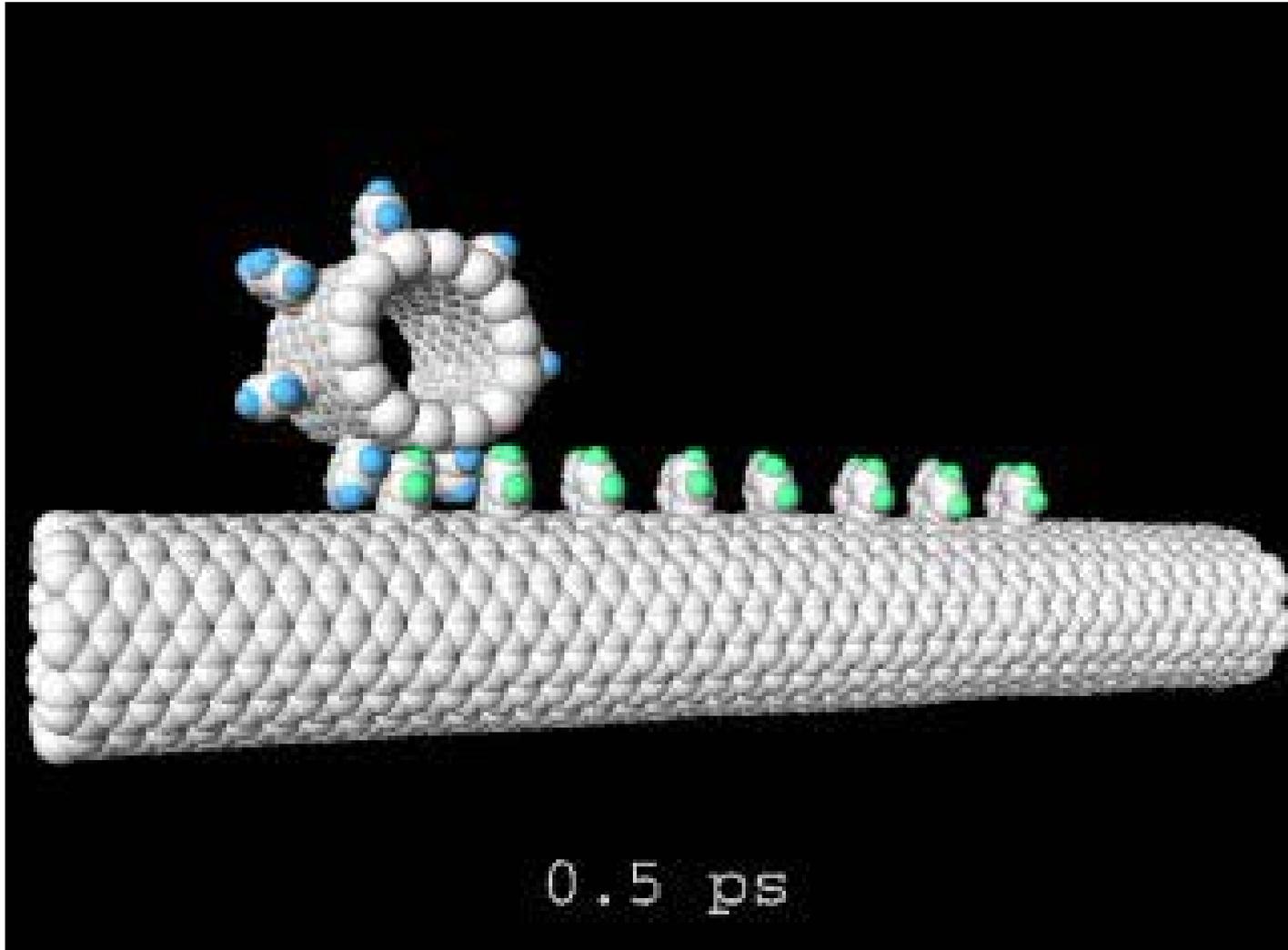
FABRICACIÓN 'BOTTOM UP'

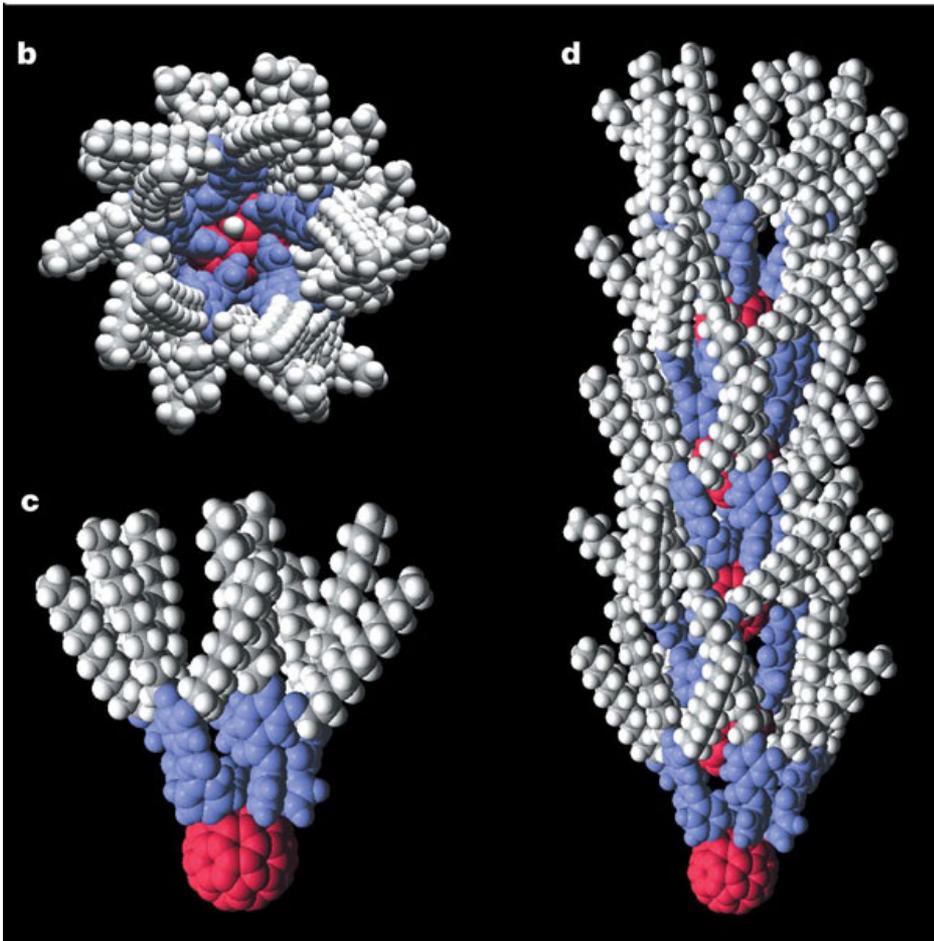
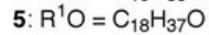
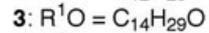
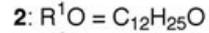
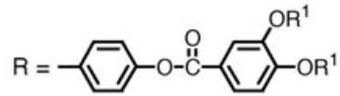
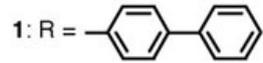


Engrane molecular



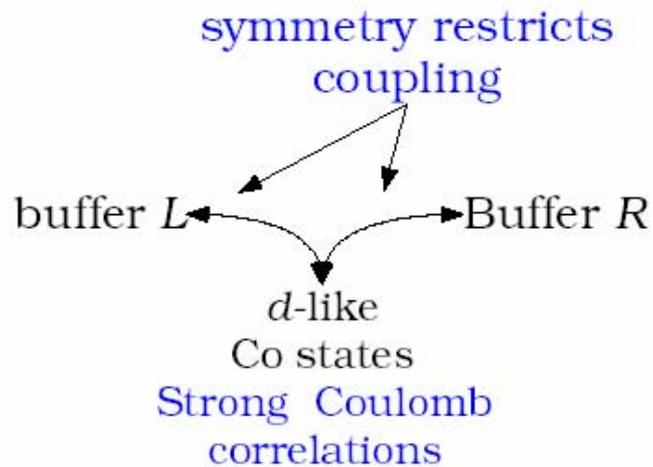
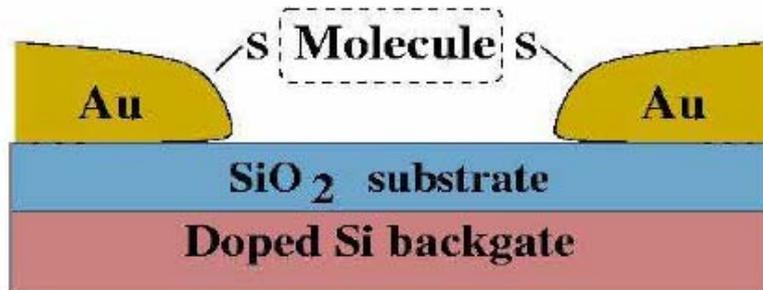
Engrane lineal molecular



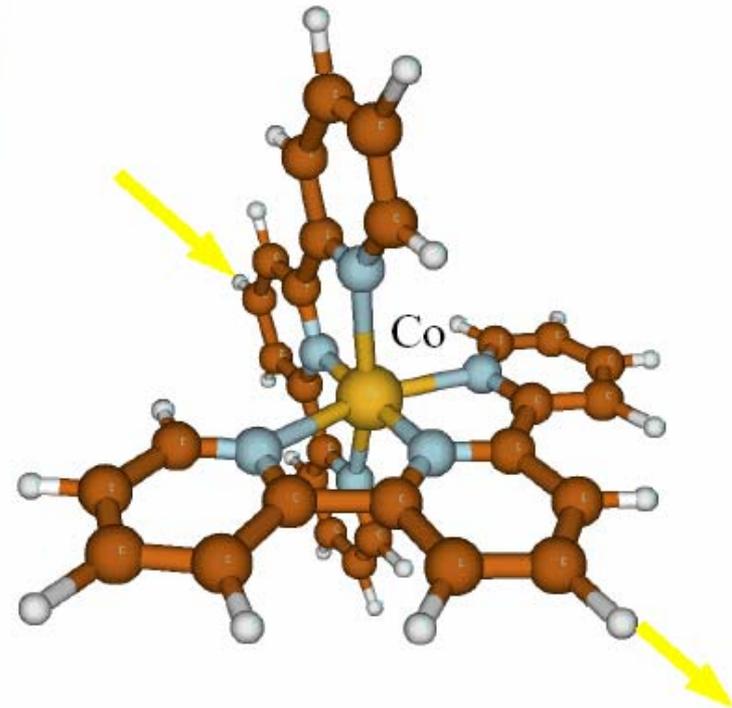
a

Nano-column formada de moléculas C₆₀ talladas con grupos laterales aromáticos para generar la forma de 'gallito' (shuttlecock)

Planar electrodes



"Transition metal holder"
2,2':6',2''-terpyridine

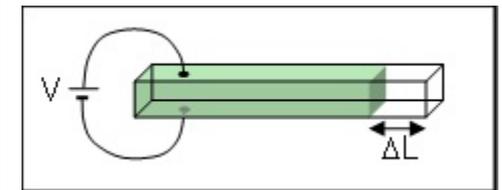
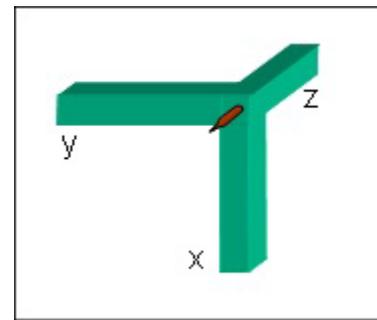
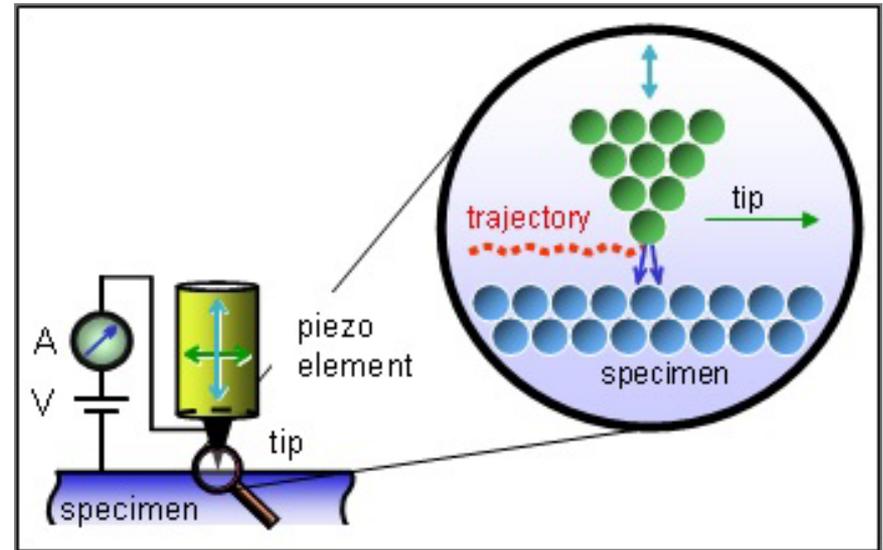


INSTRUMENTOS, TECNOLOGÍAS Y TÉCNICAS EN LAS NANOCIENCIAS E INGENIERÍA MOLECULAR

- Manipulación de átomos y moléculas individualmente y observación de su posicionamiento
 - STM
 - AFM
 - Trampa óptica
- Auto-ensamble de estructuras moleculares y conglomerados
 - Técnica LANGMUIR-BLODGETT
 - PVD (MBE)
 - Plantillas de ADN
 - Efecto Lotus
- Manipulación de poblaciones de partículas con propiedades distintas
 - Dielectroforesis
 - FFF (field flow fractionation)
 - Electro-Rotación
- Estructuras laterales
 - Litografía por haz de electrones
 - Litografía por haz de iones
 - Litografía por haz de átomos neutrales
 - Litografía uv con ataque químico y por ataque seco (plasma de iones)

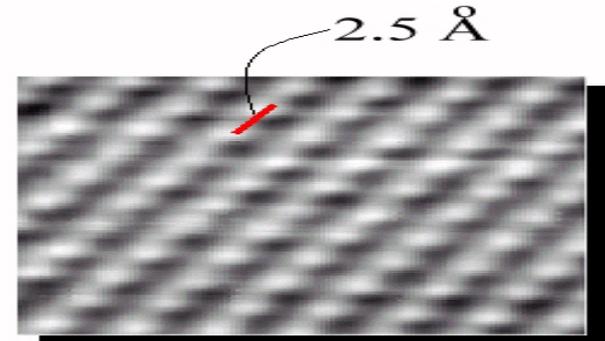
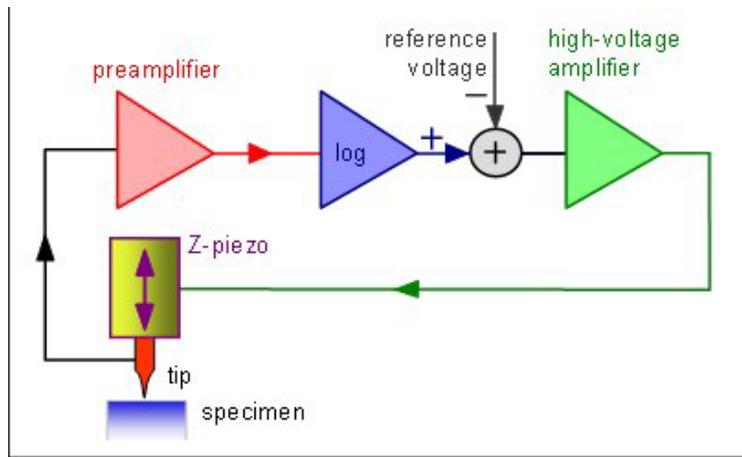
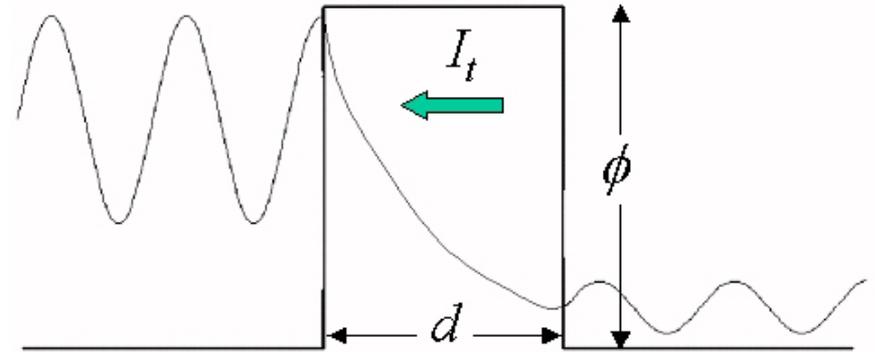
EL MICROSCOPIO DE TUNELAMIENTO POR BARRIDO (Scanning Tunneling Microscope – STM)

Puede determinar la posición de átomos individuales en la superficie de un material conductor. Una punta conductiva muy fina se mantiene en una distancia de $10...20 \text{ \AA}$ arriba de la superficie utilizando un transductor piezoeléctrico. Un voltaje entre muestra y punta genera un campo eléctrico y causa el traslape entre las nubes de electrones \rightarrow corriente de tunelamiento



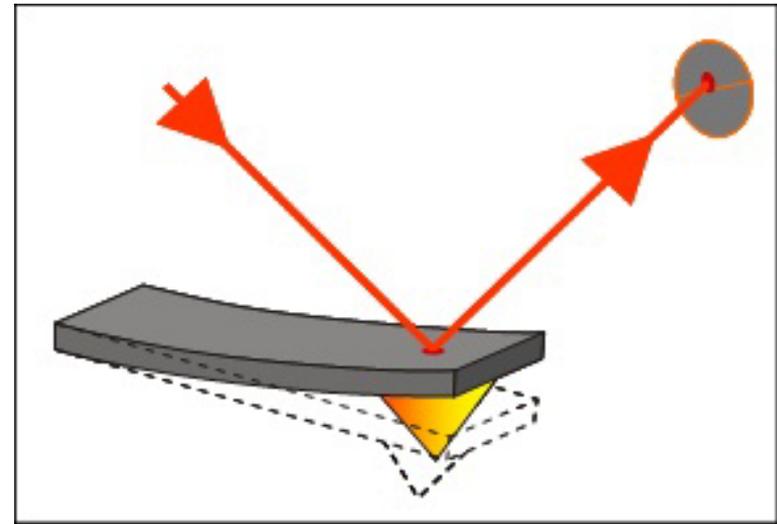
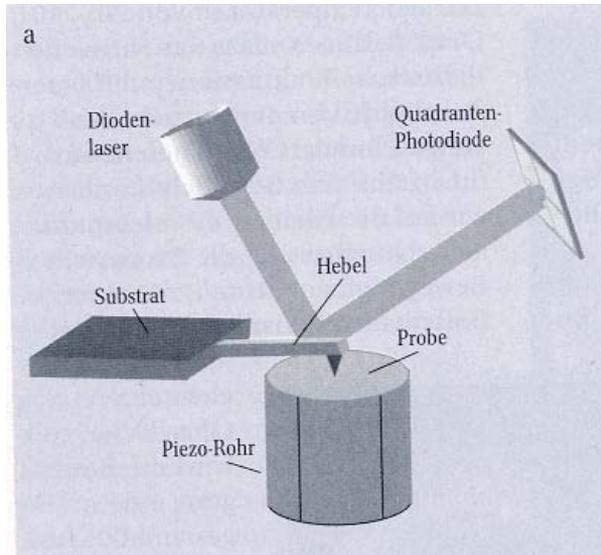
MICROSCOPIO DE TUNELAMIENTO POR BARRIDO (STM): Su principio físico

El STM aplica el fenómeno de tunelamiento cuántico entre una punta fina metálica y la superficie 'plana' de la muestra, separados por $d \approx 5 \text{ \AA}$ ($=0.5 \text{ nm}$). La corriente de tunelamiento I (típicamente 1 nA) depende sensiblemente de la distancia d : $I \sim \exp(-kd)$; (k -constante de material)



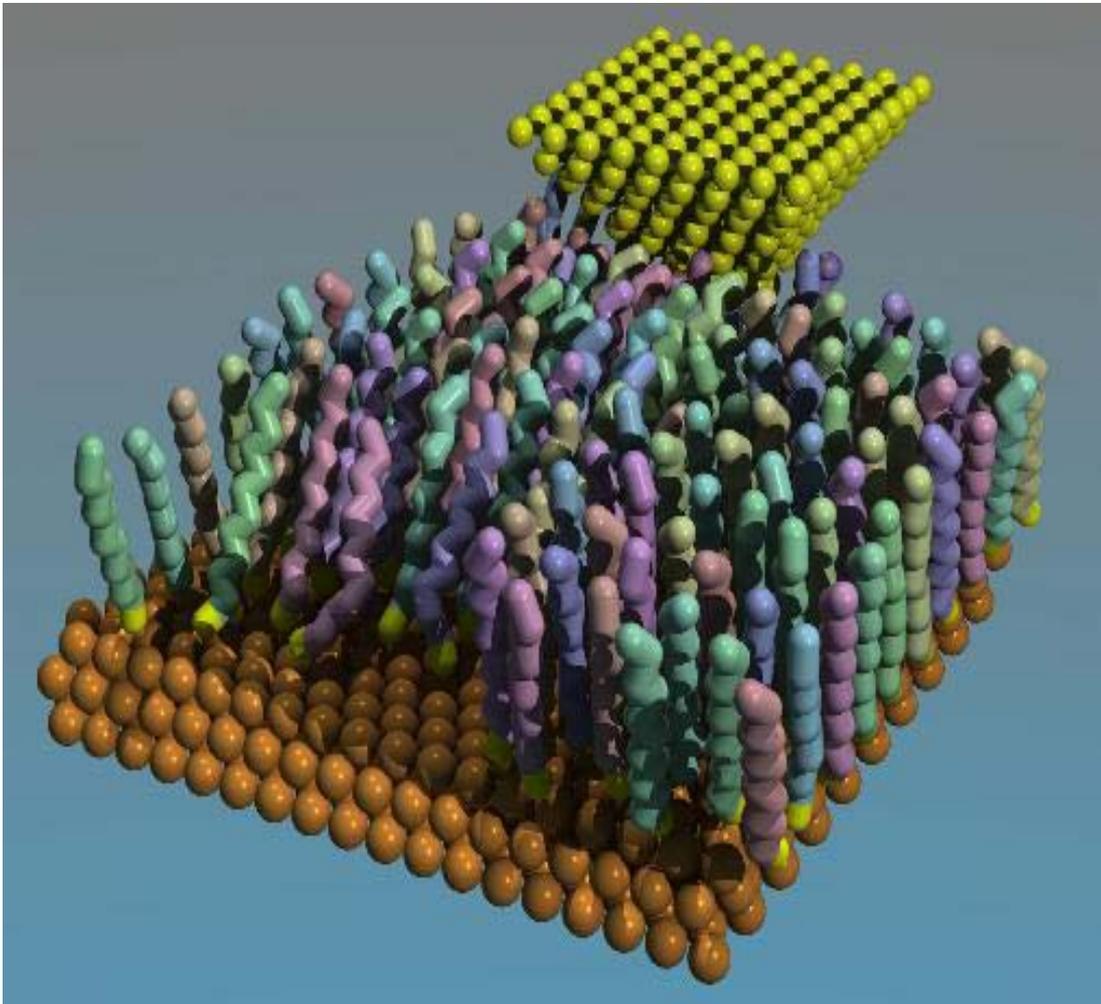
STM image of graphite. Bright spots are carbon atoms

EL MICROSCOPIO DE FUERZA ATÓMICA (AFM)



La palanca (Hebel) del AFM es de 50...200 μm de largo (ataque químico a un sustrato). Su espesor es de 500 nm a 1 μm . La Piezocerámica permite el posicionamiento de la muestra (Probe). El movimiento de la palanca debido a una interacción Van der Waals entre los átomos de la superficie y un átomo de la punta en la palanca se mide por la reflexión de la luz de un Laser (diodo) detectado en un fotodiodo.

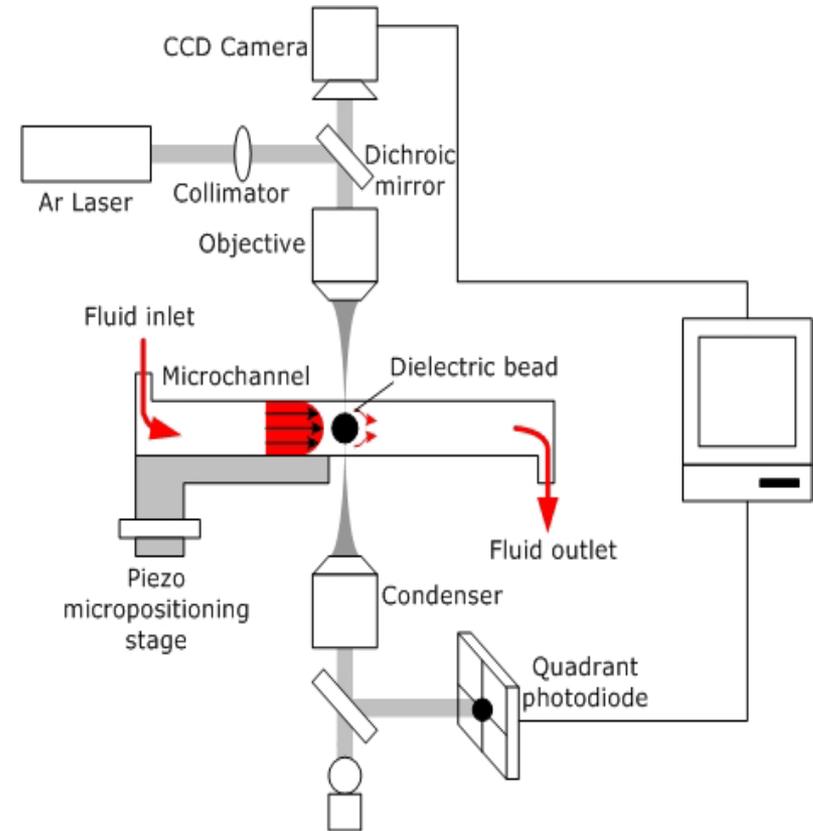
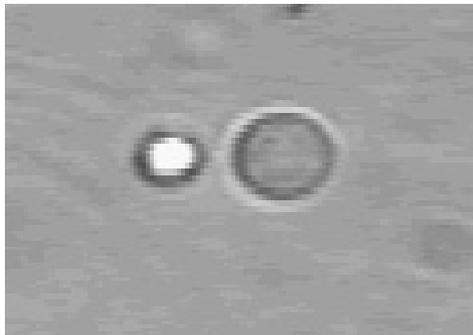
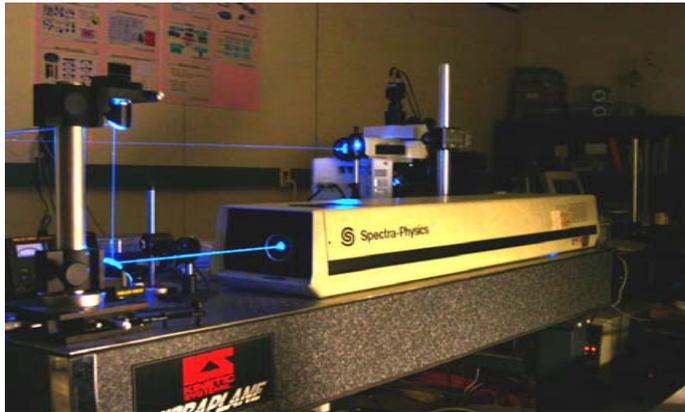
LA DINÁMICA MOLECULAR POR UN MICROSCOPIO DE FUERZA ATÓMICA (AFM) SOBRE UNA MONOCAPA MOLECULAR



La punta del AFM está alineando y jalando unas moléculas

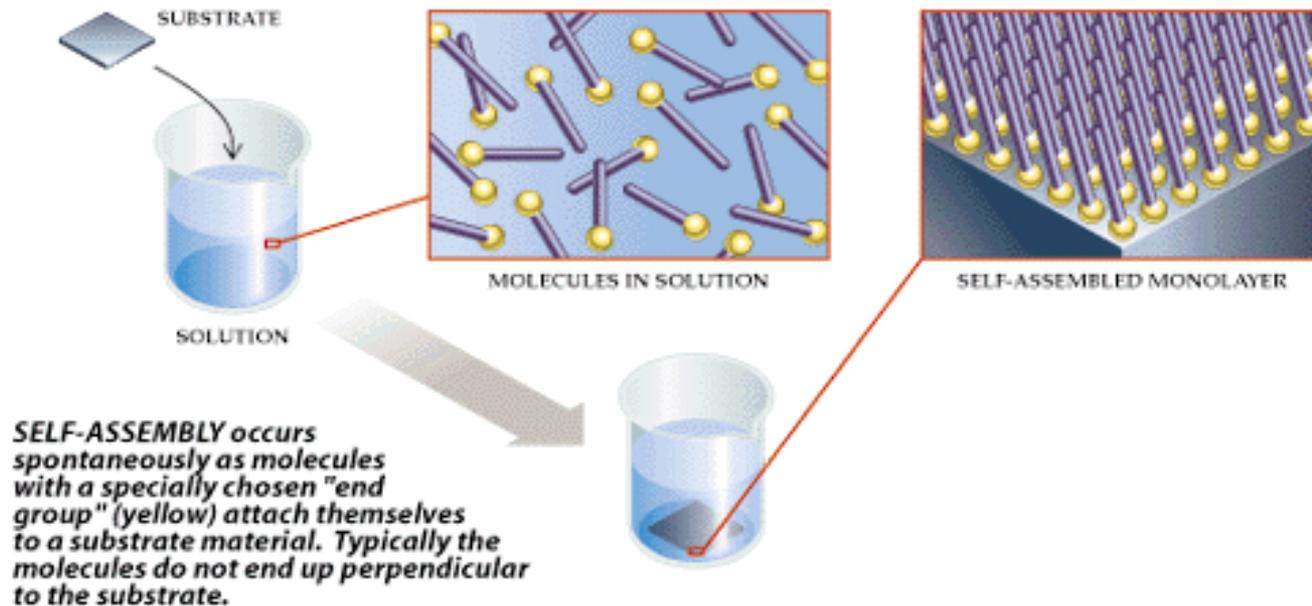
LA TRAMPA (PINZA) ÓPTICA ('LASER TWEEZER') para agarrar y maniobrar células biológicas ó macromoléculas

A. Ashkin, Optics Letters 11, 288 (1986)



La fuerza dipolar entre una sonda (muestra) dieléctrica y el campo electromagnético de radiación fijan en el foco de un haz de Laser una esferita con diámetro de unos nm... μm . Su posición con precisión mejor que 1 nm se determina a través de la luz difusa medida.

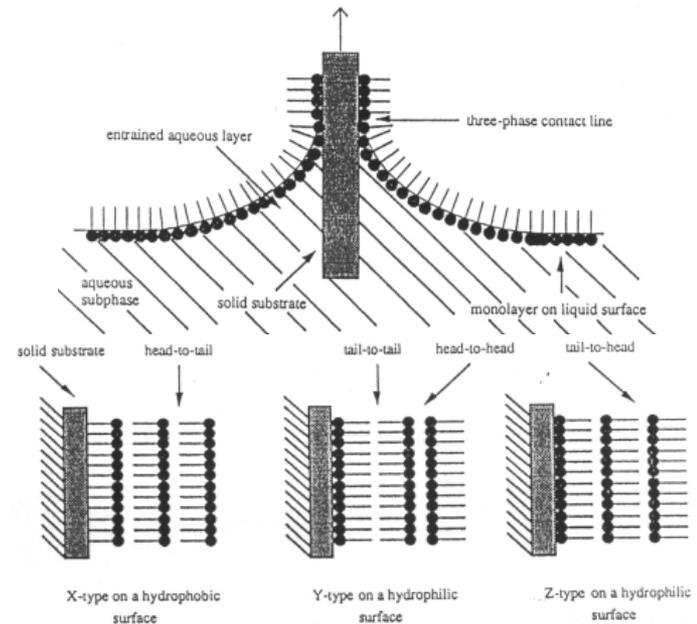
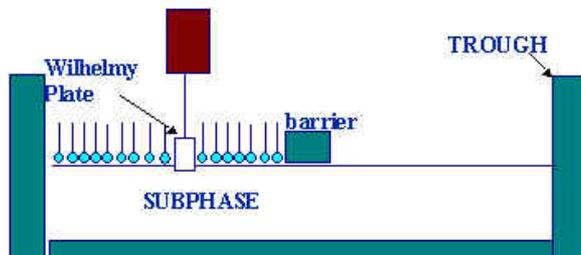
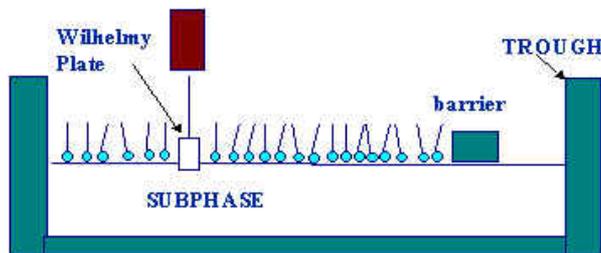
El auto-ensamble como principio fundamental en sistemas de la nanoelectrónica



Auto-ensamble espontáneo de moléculas con un grupo final especialmente elegido en una monocapa molecular.

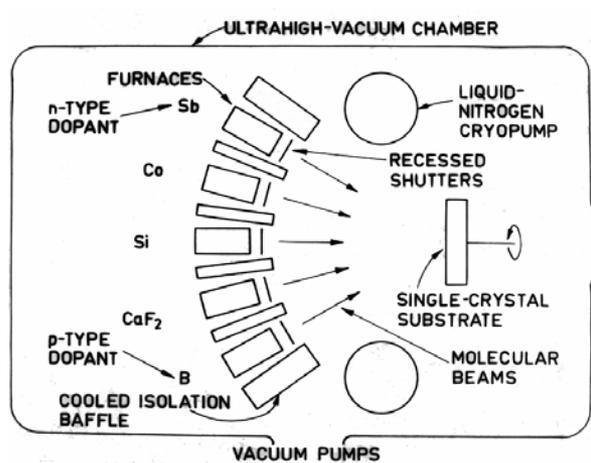
AUTOENSAMBLE DE ESTRUCTURAS MOLECULARES: LA TÉCNICA LANGMUIR-BLODGETT (TLB)

Películas monomoleculares artificiales, que son preformadas en la superficie de un líquido, y transferidas por la técnica LANGMUIR (una sola capa) ó la técnica LANGMUIR-BLODGETT (una secuencia de capas monomoleculares) a un sustrato sólido (silicio, oro, vidrio)

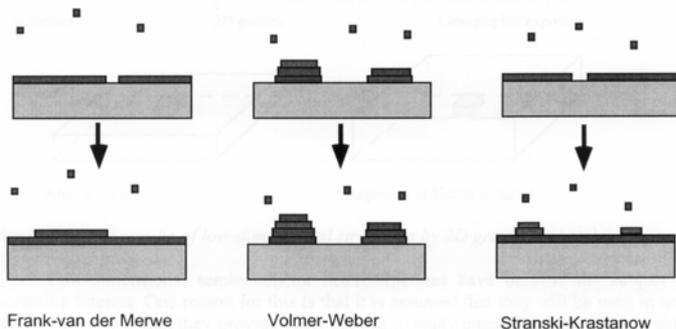


DEPOSICIÓN POR VAPORES FÍSICOS (PVD, MBE) EN VACIO LA AUTOORGANIZACIÓN DE PUNTOS CUÁNTICOS

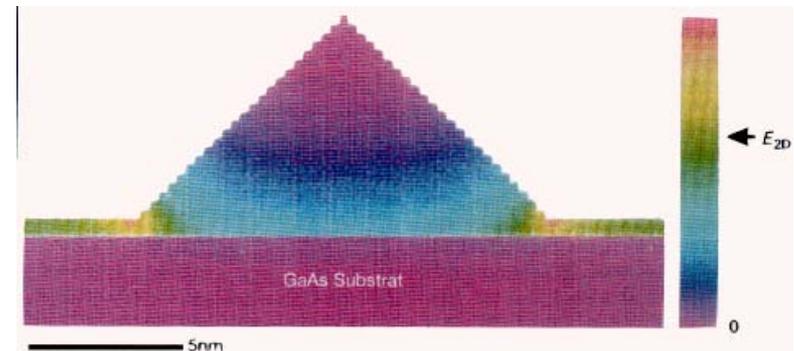
La técnica MBE



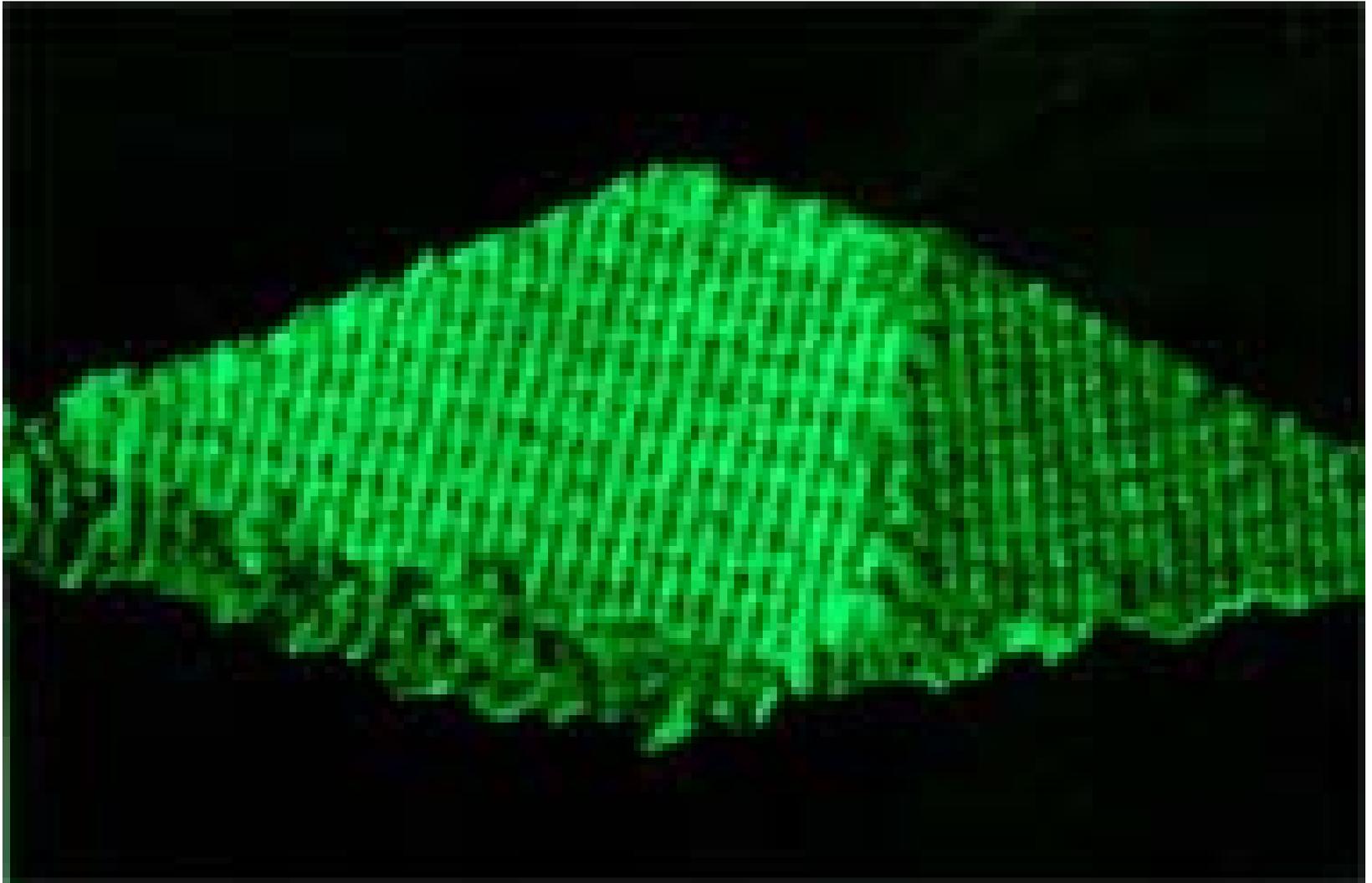
Los modos de crecimiento

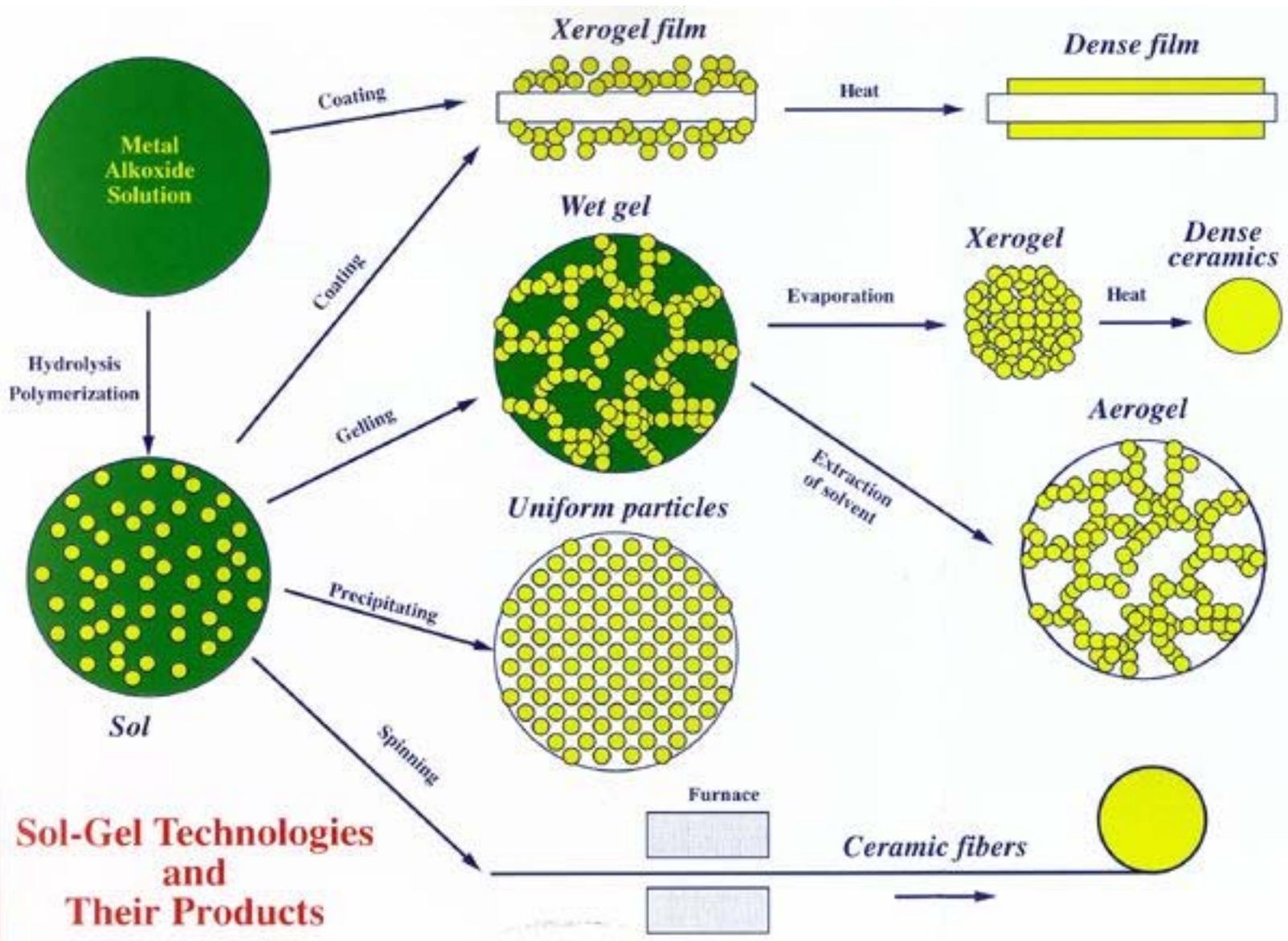


La autoorganización de puntos cuánticos



Al depositar InAs sobre un sustrato de GaAs se forma inicialmente una delgada capa de InAs seguido por arreglo periódico de islas en forma de pirámide. Debido al misfit de las redes cristalinas, tanto la capa de InAs como las pirámides están tensionadas.





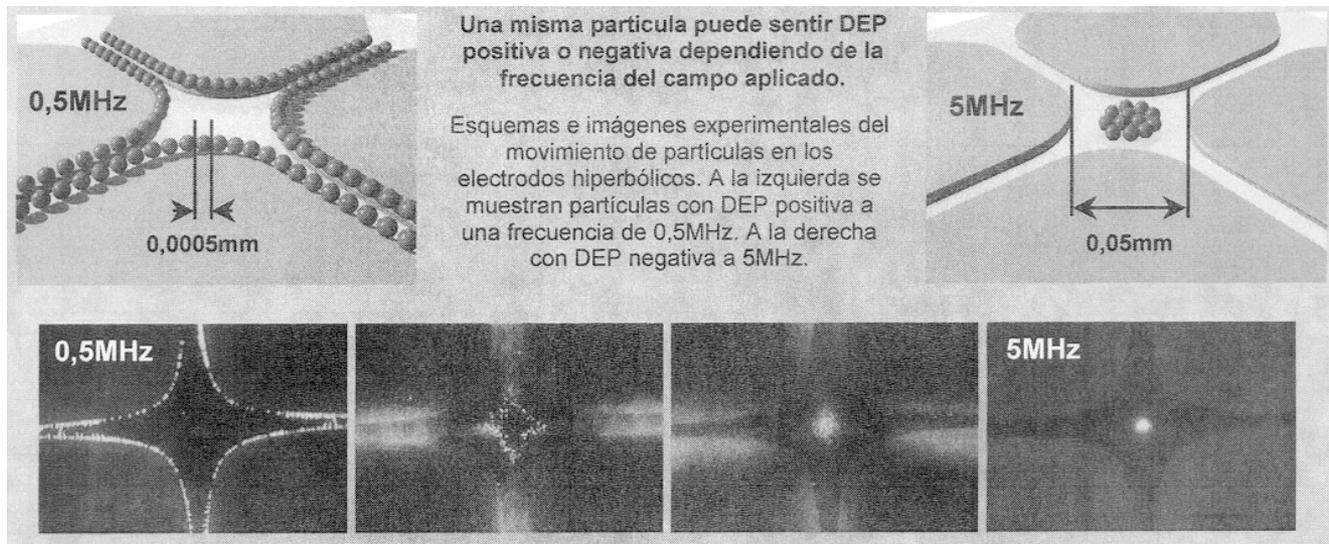
**Sol-Gel Technologies
and
Their Products**

MANIPULACIÓN DE (BIO)PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN POR MEDIO DE CAMPOS ELÉCTRICOS ALTERNOS: TÉCNICAS ELECTROKINÉTICAS

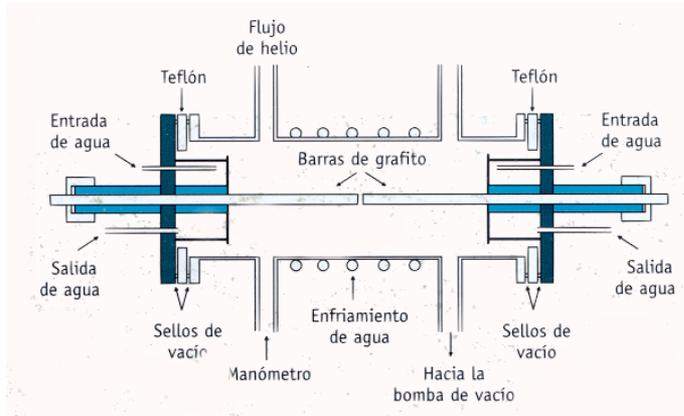
Bajo la acción de un campo eléctrico, partículas en suspensión (por ej. células, virus) adquieren un dipolo eléctrico P . En un campo eléctrico no-uniforme los dipolos sufren una fuerza que origina el movimiento de las partículas (\rightarrow **Dielectroforesis, DEP**).

$$\vec{P} = \epsilon_o (\epsilon_p^* - \epsilon_m^*) \vec{E}_i \quad , \quad \text{para } \epsilon_p^* > \epsilon_m^* \quad \cdot \quad \vec{P} \text{ es paralelo a } \vec{E}_i$$

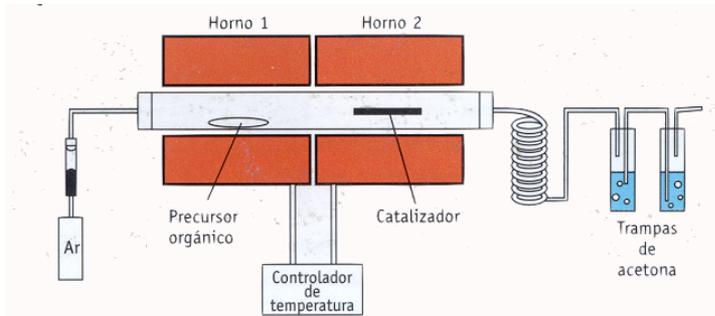
$$\epsilon^* = \epsilon - j(\sigma / \epsilon_o \omega) \quad \rightarrow \text{Espectroscopía de bajas frecuencias}$$



TECNICAS DE FABRICACIÓN DE FULLERENOS Y NANOTUBOS



- Arco eléctrico entre dos barras de grafito ($T \sim 4000 \text{ }^\circ\text{C}$)



- Pirólisis de Hidrocarburos ($T \sim 800 \text{ }^\circ\text{C}$)

También:

- Evaporación por Laser potente de un blanco de grafito dentro de un horno a $1200 \text{ }^\circ\text{C}$, agregando Ni, Co, como catalizadores

- Electrolisis ($T \sim 600 \text{ }^\circ\text{C}$)

- ¡Piense Usted en otras técnicas más!

LA NANOBIOTECNOLOGÍA COMBINA EL SABER SOBRE LA FABRICACIÓN A ESCALA NANOMÉTRICA CON LOS CONOCIMIENTOS SOBRE BIOSISTEMAS

- Su impacto mayor tiene actualmente en las ciencias de la vida
 - 'smart shirts' controlan funciones vitales (computadoras para vestir)
 - el BIO-Chip de ADN
 - los Nanorobots, nanoturbinas y motores moleculares
 - el 'switch', que permite prender o apagar genes
 - el 'switch' que permite comunicación con neuronas
 - el mapa del cerebro
 - el cerebro artificial, etcétera
- Los seres humanos de hoy estamos al borde de una nueva forma de vida, que es previsible para el presente siglo: La vida artificial; El *homo nano sapiens*

EL EFECTO LOTUS®

NANOTECNOLOGÍA DE LA NATURALEZA

1994 W. Barthlott (Botánico Univ. Bonn)

Patente DE 10118352 US 20020150724; *Lotus effect*® es una marca registrada

Las Plantas de Lotus tienen superficies súper hidrofóbicas

Razón: Estructura fina con cristales de 1 nm de diámetro.



Bioinspiración & Biomimética

* pinturas y lacas, que al secar generan una nanoestructura en la superficie por auto-ensamble de nanopartículas

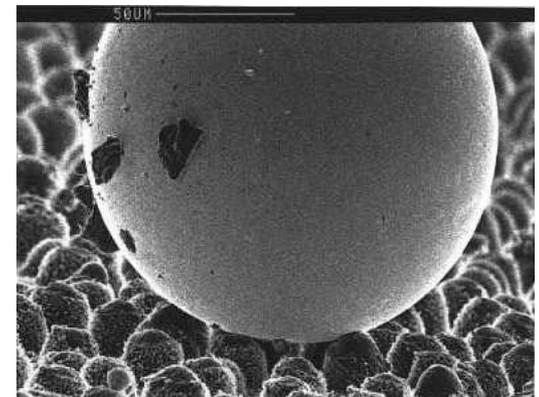
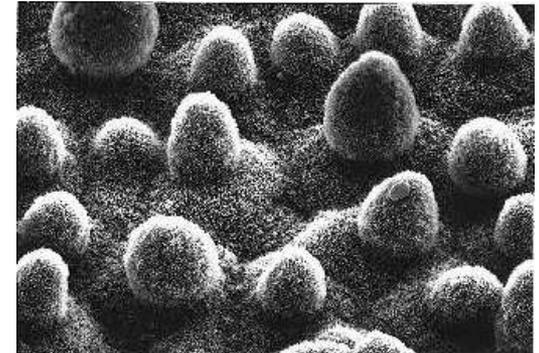
→Superficie de contacto con una gota de agua es de 1-2 %

* telas khaki para ropa que no se moja y no se ensucia

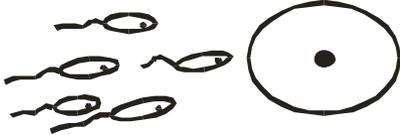
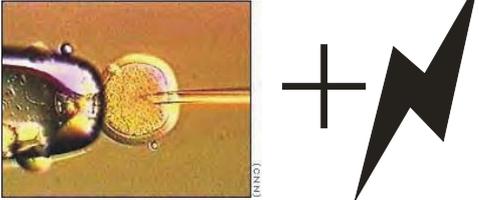
Nanoalambres de 10 nm de longitud son invisibles, pero producen el efecto Lotus

* La cuchara de miel sin que se quede pegada.

* ¡Piense! ¡Invente!



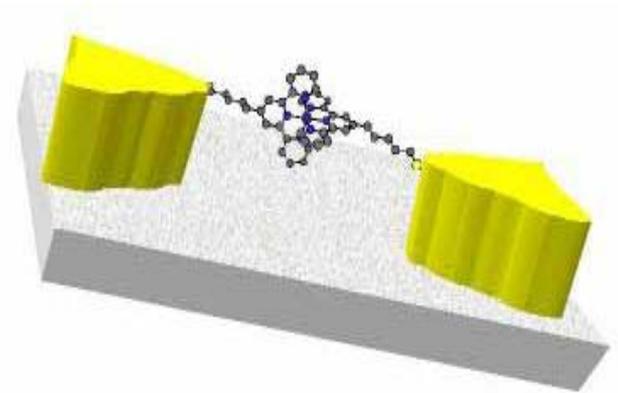
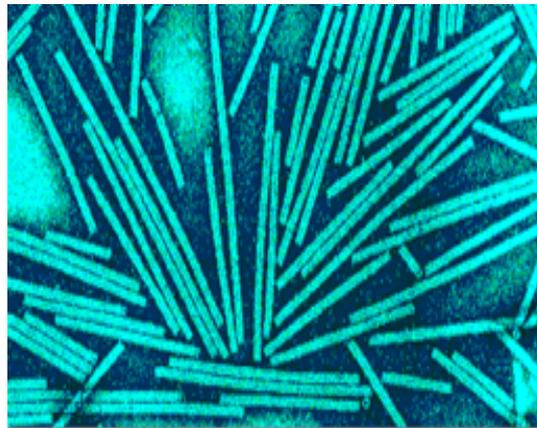
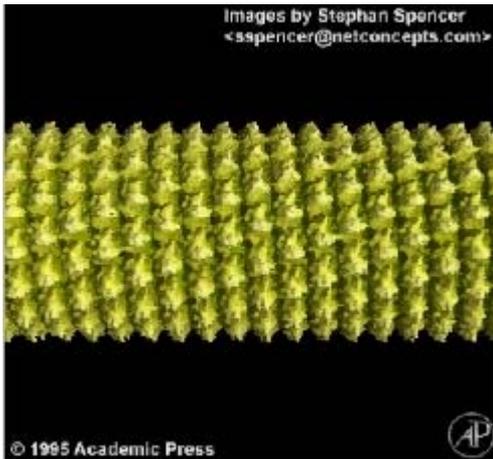
La Naturaleza es maestra de la Picotecnología

Reacción	Reactor	Producto
		
		 La ovejita Dolly no tenía padre
<p>Nanotecnología Biomimética Bioinspiración Nanobiotecnología</p>	<p>autoorganización autoensamble Autoreproducción y ensambladores (Nanobots)</p>	<p>del homo sapiens sapiens al nano sapiens sapiens y mas sapiens</p>

MOLÉCULAS LINEARES COMO NANOALAMBRES

La transferencia controlada de electrones de un sitio al otro dentro de la estructura de una molécula ó a través de la misma es un problema general de la electrónica a escala molecular.

- ¿Qué efecto tiene la transferencia de carga dentro de una molécula?
- ¿Cómo ocurre el flujo de una corriente eléctrica a través de una molécula?
- ¿Cómo se mide el flujo de corrientes formadas por un solo electrón a la vez?



¡Piensa!

¡Inventa!

LA NANOBIO TECNOLOGÍA DE ADN

ADN es una larga macromolécula helical, que contiene 4 tipos de bases conectadas a espinazos. El orden de estas bases determina el tipo de código biológico con todas las informaciones, que se requieren para generar formas de vida.

Las bases G, C, A, T

G- guanino

C- citosino

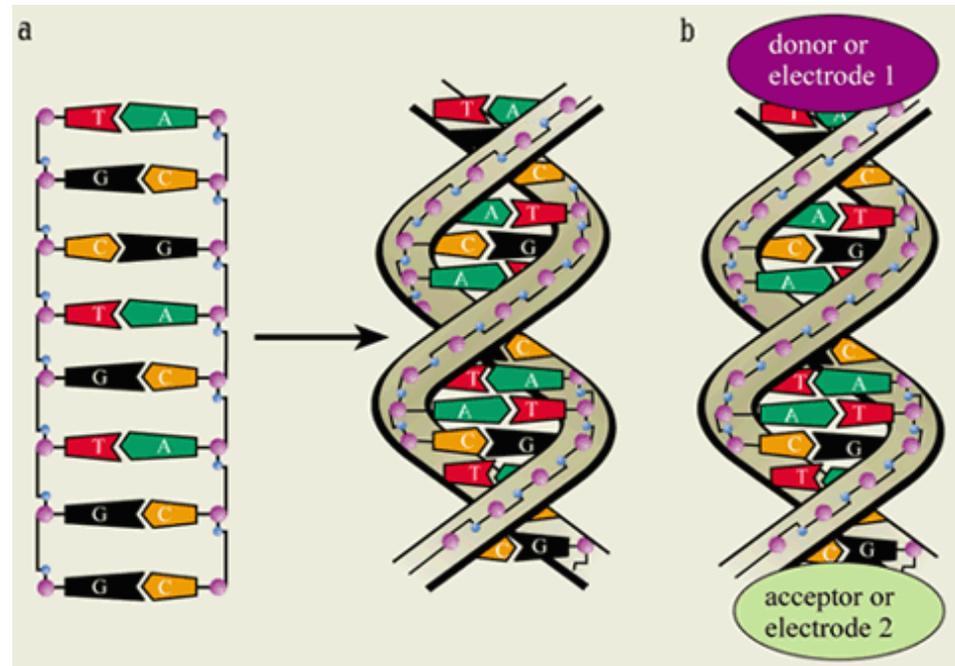
A- adenino

T- timino

Son moléculas orgánicas con
definidas opciones de enlace:

G con C

A con T



COMPUTACIÓN CON EL CÓDIGO DE ADN

- autoensamblaje, algorítmico de pedazos de ADN
 - algoritmo es definido por las bases G, T, A, C (modo ‘chapa-y-llave’), y secuencias en pedazos de ADN
- muchas moléculas presentes en una solución permiten muchas operaciones de cálculo en **paralelo**
 - velocidad: 10^{15} operaciones por segundo (vs. tu PC: 10^6 operaciones por segundo)
 - eficiencia en energía: 10^{10} veces mejor que una supercomputadora
 - potencial de memoria: 1 bit/nm³ (vs. 1 bit/ 10^{12} nm³ en medios usuales)

La función de una computadora ADN ha sido comprobada, aprovechando técnicas genéticas



Fig. 6.3: Computadora de ADN para la solución del problema Camino Hamiltoniano (problema de vendedor viajero)

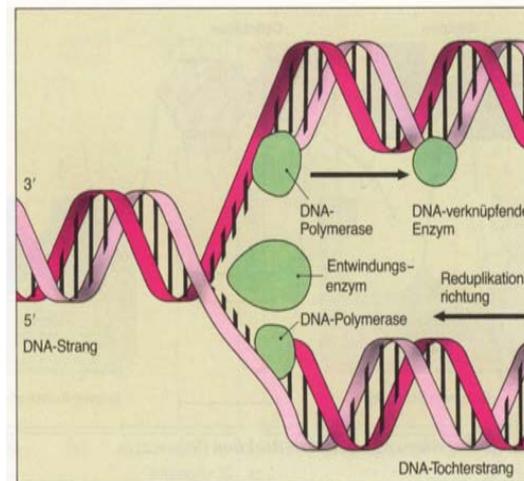
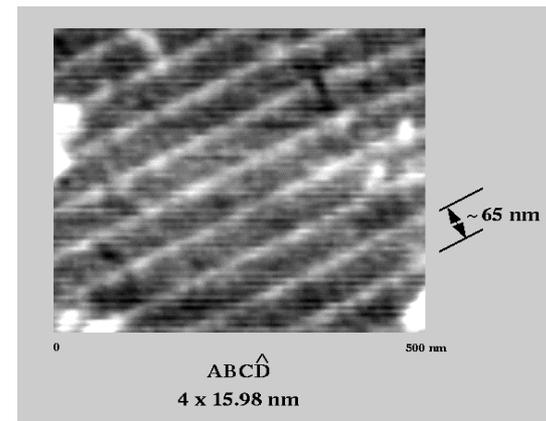
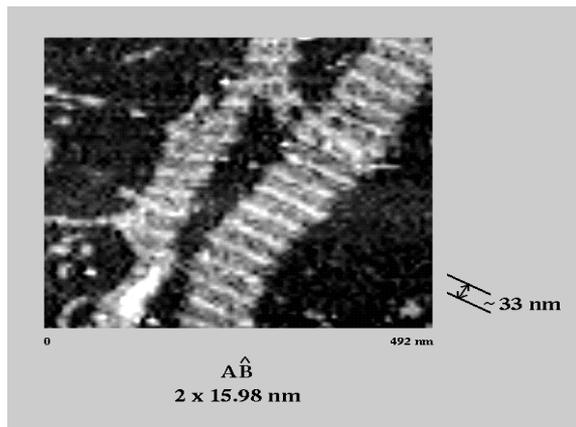
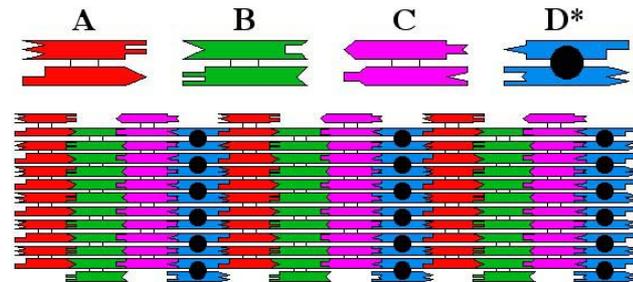
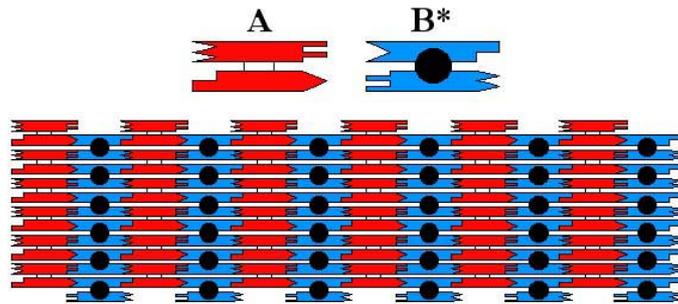


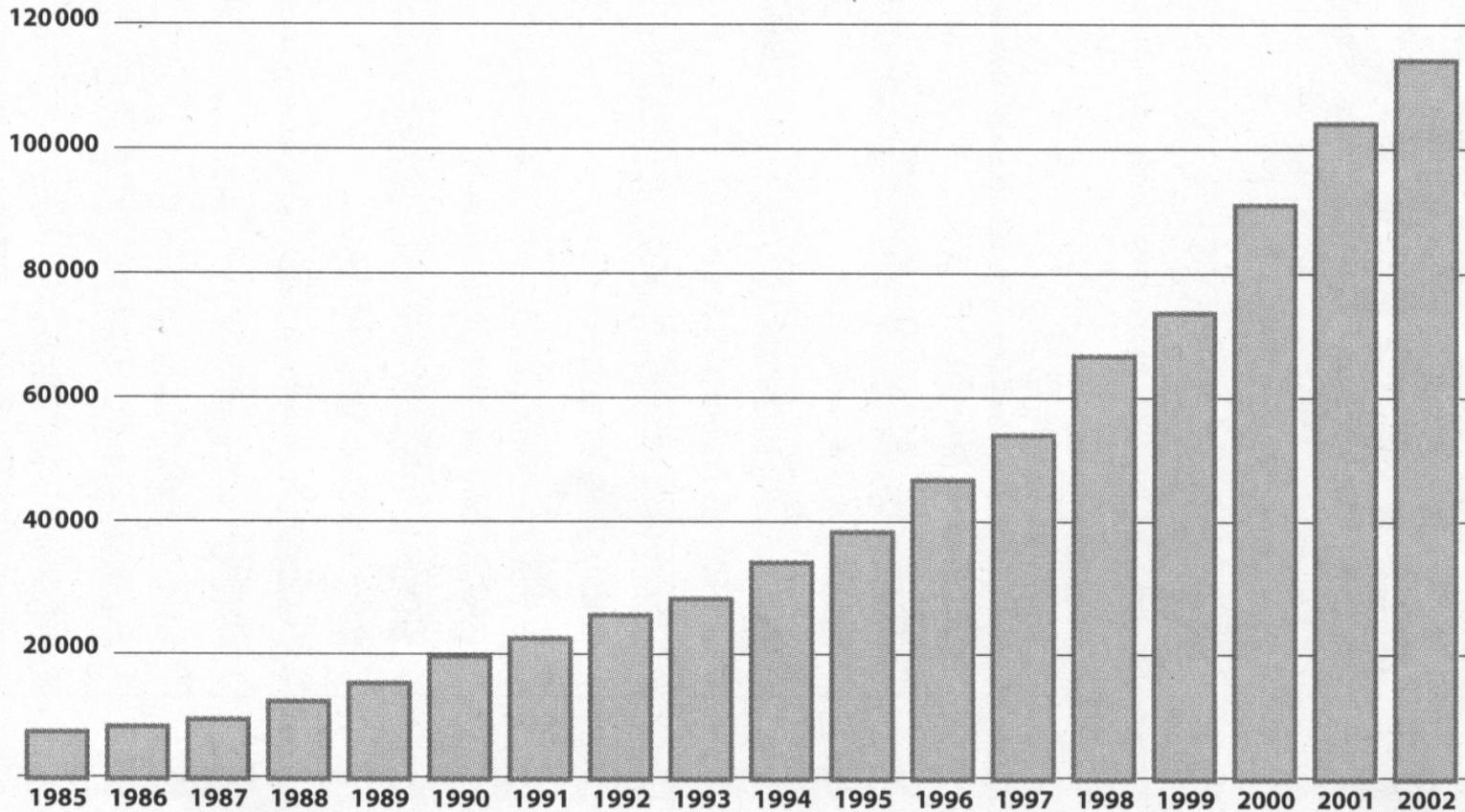
Fig. 6.2: Reduplicación de la molécula ADN

ENSAMBLAJE DE MATERIALES PERIÓDICOS (CRISTALES) CON ADN

Creación de estructuras características a escala nanométrica por el auto-ensamblaje de moléculas ADN modificadas



Patentes del mundo: Explosión del saber



- La Nanotecnología jugará un papel revolucionario en los años venideros. Las actividades en su desarrollo son expresamente multidisciplinarias.
- El potencial para la siempre mas alta integración de la microelectrónica en base a Silicio está llegando a límites físicos. La sustitución del “*scaling down*” por el “*bottom-up approach*” de una electrónica a escala molecular es inminente.
- Los actores requieren una sólida base de conocimientos en la mecánica cuántica, la física y química molecular, las ciencias de materiales, las tecnologías mas sofisticadas en la conformación de materiales y estructuras, la física de interfases y de análisis resuelta en espacio y energía..., entre otros.
- Tenemos que fortalecer actividades pronosticas. La visión a un futuro, que siempre se convierte mas rápidamente en presente, debe salvar a los investigadores de “trabajar arduamente en la tercera aproximación a un problema, que ya a nadie interesa”.
- Se requiere con urgencia un “Centro de Nanotecnología”, que se convierte en pilar de investigación multidisciplinaria entre electrónicos, físicos, químicos, biólogos, y otros, incluyendo la formación de jóvenes investigadores.

<http://www.campusvirtual.ece.buap.mx>

<http://www.revista-nanociencia.ece.buap.mx>

<http://www.moletronica.buap.mx>

<http://www.jovenescreativos.buap.mx>