

# Semana de la Ciencia

# CCISTI



07 - 08 - 09  
OCTUBRE  
2020

INGENIERÍA DE SISTEMAS  
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Microsistemas y  
Nanoelectrónica

# CICLO DE CONFERENCIAS

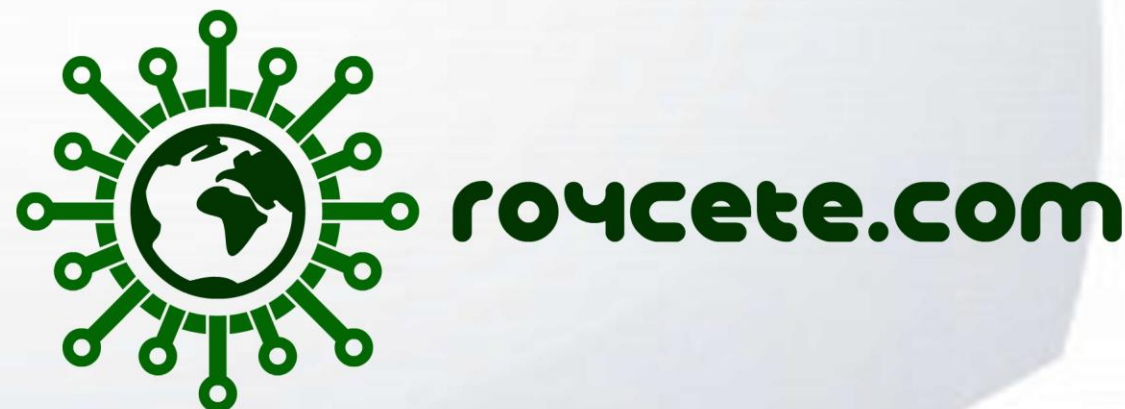


[uaic.utmachala.edu.ec/eventos](http://uaic.utmachala.edu.ec/eventos)



# MICROSISTEMAS Y NANO ELECTRÓNICA

Presentado por:  
Ing. Roy Aguilar León, Msg.  
ealroy2@live.utm.my



**UTM**  
UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

8 de octubre de 2020

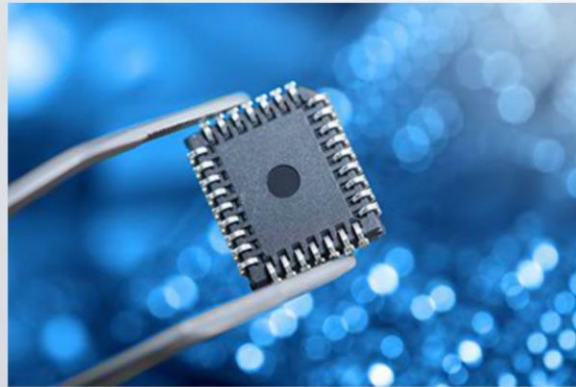
- Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones  
Escuela Superior Politécnica del Litoral
- Master of Engineering  
(Computer & Microelectronic Systems)
- Master of Engineering  
(Mechatronic & Automatic Control)





## Micro y nanotecnología

Entendimiento y manipulación de la materia a escalas microscópicas, específicamente a escalas nano.



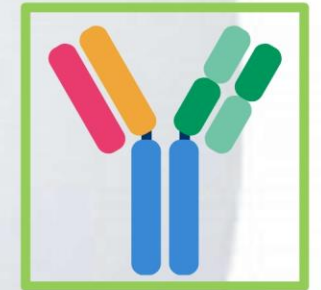
μκρός (μ)  
νάνος (n)

Escala

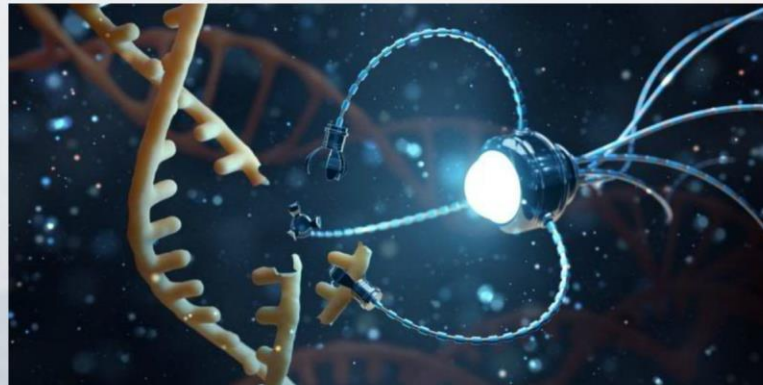
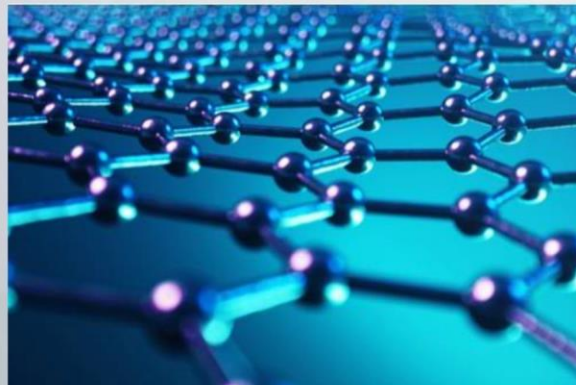
1 - 100 nm

1 nm =  $1 \times 10^{-9}$  m

*anticuerpo*



15 nm  
(nanómetros)



1 m = 100 cm

1 cm = 10 000 000 nm



1 yarda = 3 pies = 36 pulgadas

1 pulgada = 25 400 000 nm

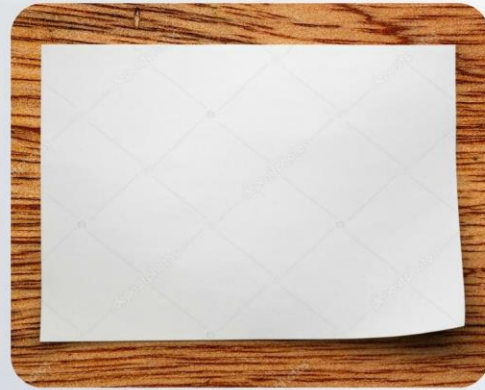




## Micro y nanotecnología

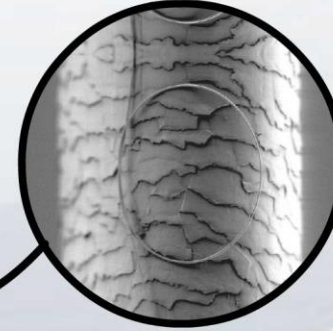
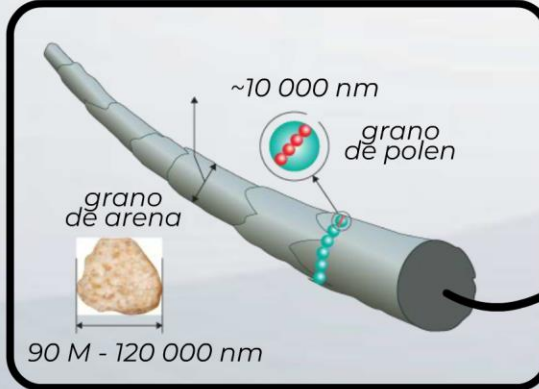
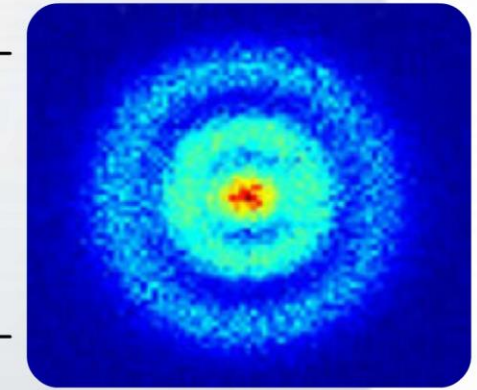
Entendimiento y manipulación de la materia a escalas microscópicas, específicamente a escalas nano.

*Espesor de una hoja de papel de 5 g*



176 000 nm

átomo de oro  
 $\Phi$   
~ 0.33 nm  
(nanómetros)



50 000 -  
70 000 nm



*Comparativo del diámetro del cabello humano y un grano de arena fina de playa*

*Tamaño de una bolilla ( $\Phi$  0.013 m) en comparación al diámetro terrestre en el Ecuador 12.756 000 m*

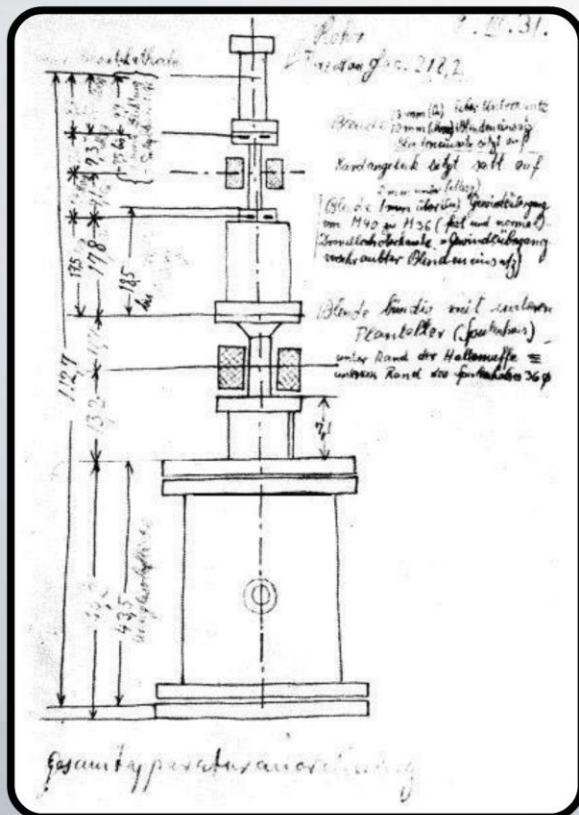




## Micro y nanotecnología

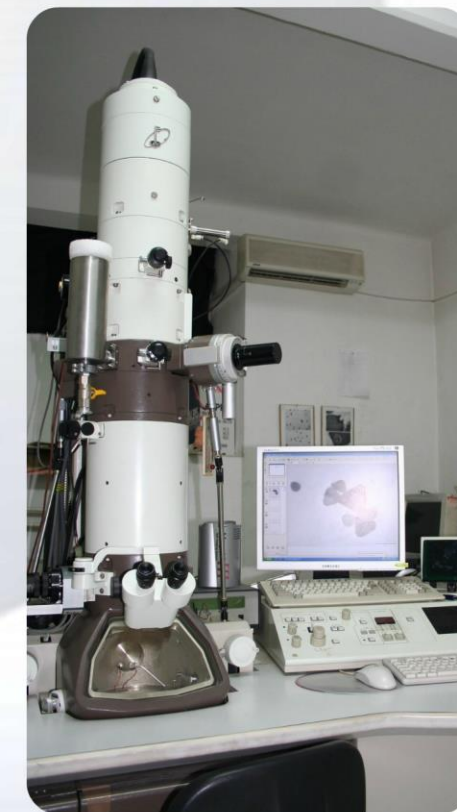
Entendimiento y manipulación de la materia a escalas microscópicas, específicamente a escalas nano.

Microscopio electrónico



El principio de funcionamiento de un microscopio electrónico se basa en utilizar electrones en lugar de luz visible. La longitud de onda con la que se mueve un electrón es inversamente proporcional a su velocidad. Esto significa que si los electrones son acelerados a altas velocidades pueden obtenerse longitudes de onda muy cortas.

Permiten ampliaciones mucho mayores a los microscopios de luz logrando hasta 1 millón de aumentos contra a 1500 alcanzadas por los ópticos.



Microscopio electrónico

Desarrollado entre 1925 y 1932 por los ingenieros alemanes Ernst Ruska y Max Knoll.

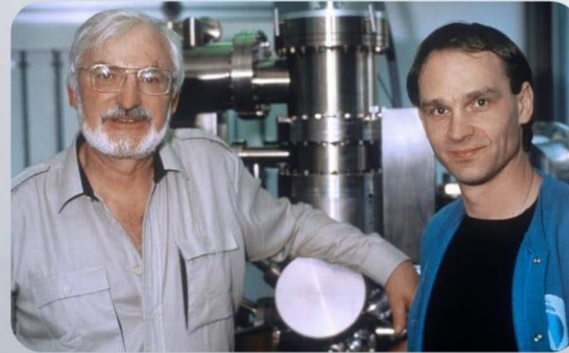
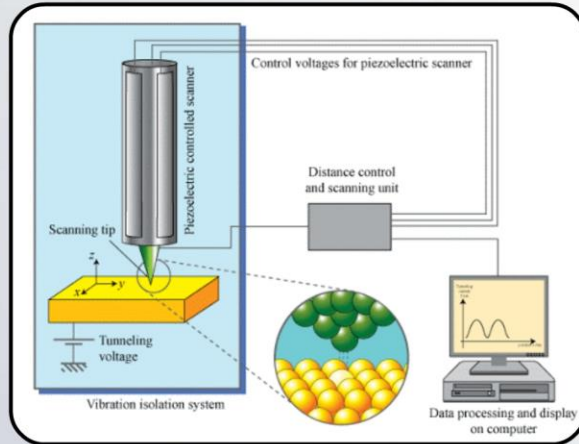




## Micro y nanotecnología

Entendimiento y manipulación de la materia a escalas microscópicas, específicamente a escalas nano.

### Microscopio STM (scanning tunneling microscope)



Desarrollado en 1981 por Heinrich Rohrer de Suiza y Gerd Binnig de Alemania

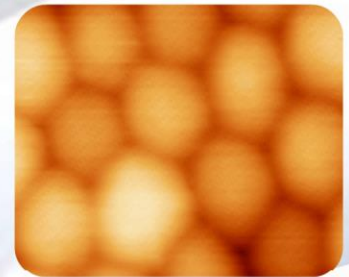
Este microscopio está basado en el concepto de efecto túnel. Cuando una punta conductora es colocada muy cerca de la superficie a ser examinada, una corriente de polarización (diferencia de voltaje) aplicada entre las dos puede permitir a los electrones pasar al otro lado mediante efecto túnel a través del vacío entre ellas. La resultante corriente de tunelización es una función de la posición de la punta, el voltaje aplicado y la densidad local de estados de la muestra. La información es adquirida monitoreando la corriente conforme la posición de la punta escanea a través de la superficie, y es usualmente desplegada en forma de imagen.

### Microscopio de Fuerza atómica (atomic force microscope)

Es un instrumento mecano-óptico que forma imágenes de las superficies utilizando una sonda o micropalanca, esta recorre la muestra haciendo una exploración línea por línea, escanea la muestra en función de la posición generando una imagen. Esta técnica nos permite obtener imágenes topográficas en 3D, hacer mediciones del orden de los nm, detectar fuerzas de nN, hacer mediciones de visco-elasticidad y dureza de la muestra, entre otras.

Red 2-D de matriz de clúster de Au (oro) de 4 nm en GaAs (arseniuro de galio) lograda con un STM.

### Microscopio AFM





## Micro y nanotecnología

Si investigamos algún campo particular encontramos sucesos o fenómenos que van en contra a las de lo que estamos acostumbrados. Esto es más exagerado si analizamos objetos o sistemas a mayores o menores escalas, ya sean estos muy grandes como estrellas o galaxias o objetos muy pequeños como estructuras moleculares, allí encontramos "propiedades diferentes" y sorprendentes que al principio van contra de nuestra intuición.

¿Qué es lo que hace diferente el trabajo con partículas a la escala nanométrica?

A simple vista o con ayuda de un microscopio óptico las propiedades de lo que uno observa no cambian; a nivel nanométrico las propiedades de las partículas cambian significativamente respecto a escalas mayores debido a los denominados efectos cuánticos afectando sus características ópticas, eléctricas, magnéticas, entre otras.

Estos efectos están presente a nivel macroscópico en un material cualquiera; pero al reflejarse como el promedio de todas las fuerzas cuánticas que afectan a los millones de átomos que lo componen sus consecuencias no son perceptibles visiblemente, sin embargo, al llegar a esas dimensiones tan pequeñas ese promedio ya no existe y los efectos de un átomo o molécula individual se sienten y reflejan directamente en una partícula y por ende en sus características y comportamiento específico.

Los materiales cuyo tamaño se aproxima al del átomo, manifiestan propiedades exóticas que no tienen cuando su tamaño se aleja de los 100 nm.

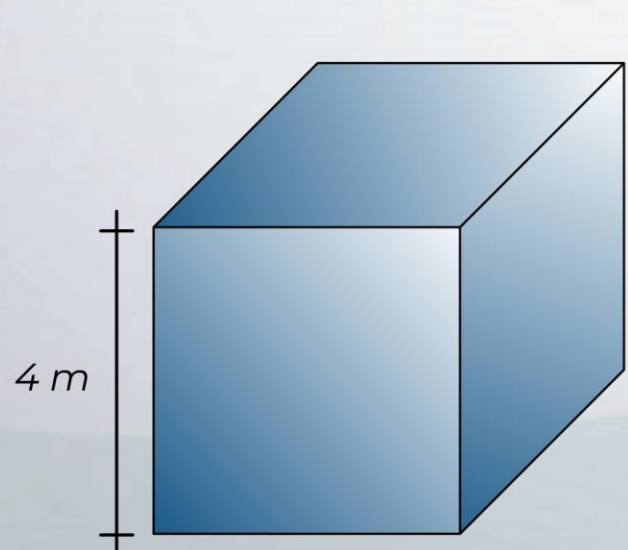




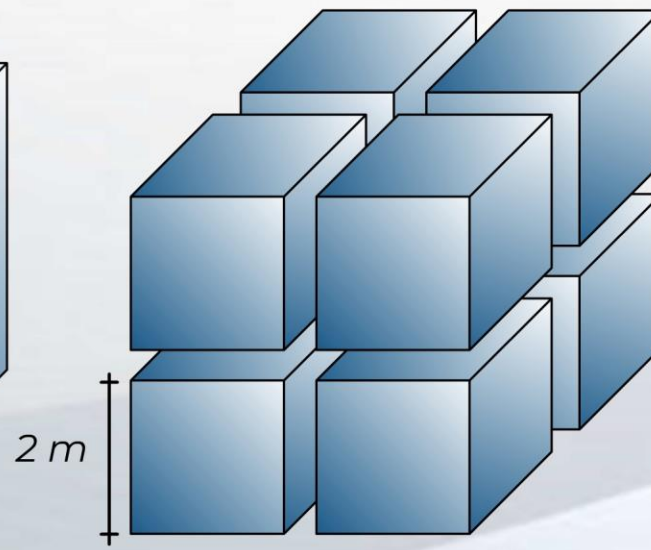
## Micro y nanotecnología

Los factores que producen estas propiedades exóticas, derivadas de su muy pequeño tamaño, son:

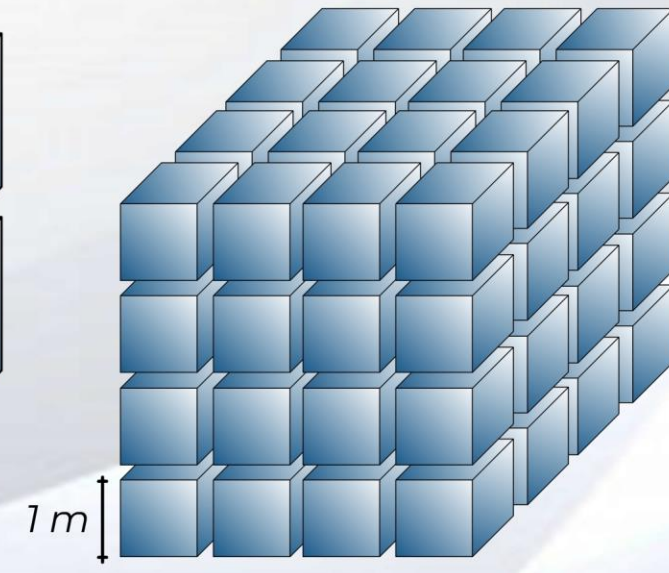
- Tamaño a escala nanométrica.
- Mayor área superficial relativa.
- Efecto de confinamiento cuántico.
- Forma.
- Composición química.
- Química de las superficies de la masa y de las interfaces.



Área:  $96 \text{ m}^2$   
Volumen:  $64 \text{ m}^3$   
Relación: 1.5:1



$192 \text{ m}^2$   
 $64 \text{ m}^3$   
3:1



$384 \text{ m}^2$   
 $64 \text{ m}^3$   
6:1





## Micro y nanotecnología



Cu

Quando se compara con la misma masa de un material en su forma normal, los materiales nano tienen una superficie relativamente mayor eso puede hacer que muchos materiales sean más reactivos químicamente hablando, así como afectar su resistencia y sus propiedades eléctricas. Estos materiales pueden mostrar subitamente características muy diferentes comparadas con lo que se puede observar a nivel macro.



1 dólar de plata 31 g de plata y un área de  $3000 \text{ mm}^2$   
Partículas de 10 nm de espesor cubrirían  $7000 \text{ m}^2$





## Micro y nanotecnología

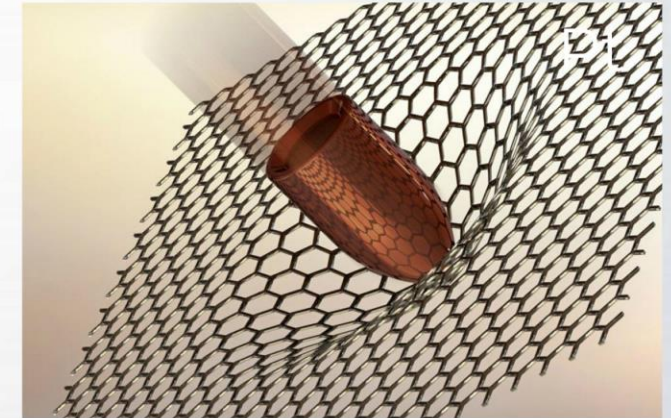


*Materiales hidrofóbicos*

### Aplicaciones



*Aditivos anti reflectantes y protectores*



*Películas anti balísticas*



*Materiales resistentes a los residuos y autolimpiantes*



*Telas aislantes térmicos y anti radiación UV*

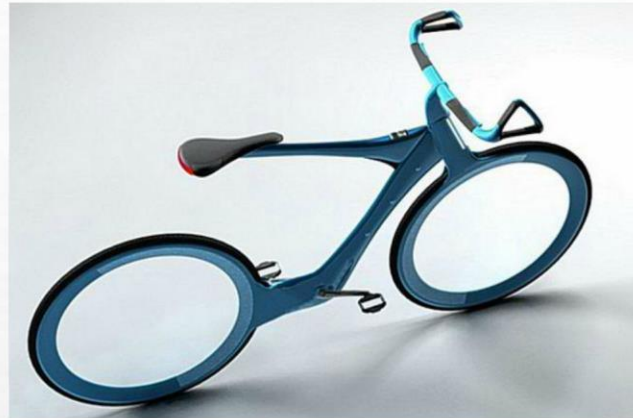


*Ropa con sensores incrustados*

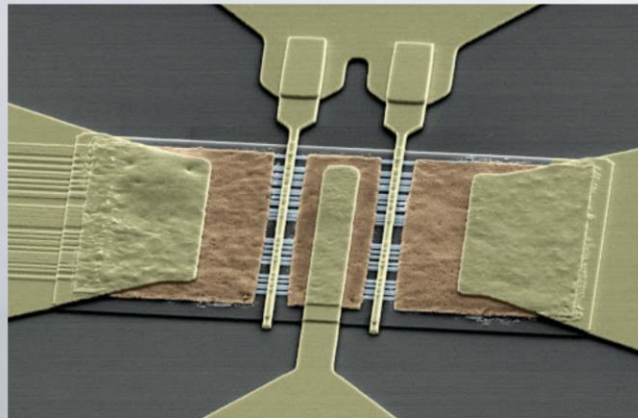




## Micro y nanotecnología



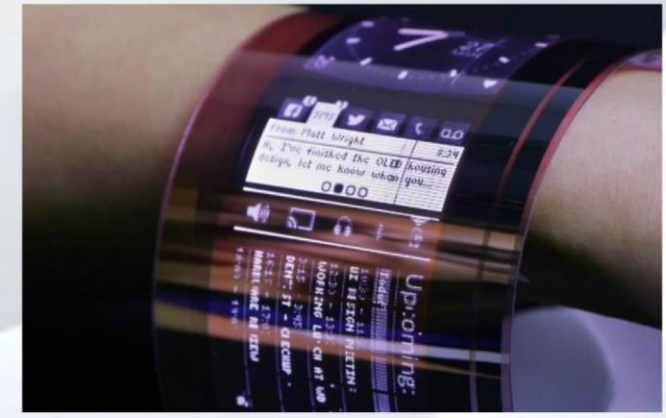
*Medios de transporte ligeros se traducen en un ahorro de energía y materiales más rígidos, duraderos y resistentes*



*Transistores a escala nm*



*TVs que proyectan colores más brillantes y que son más eficientes*

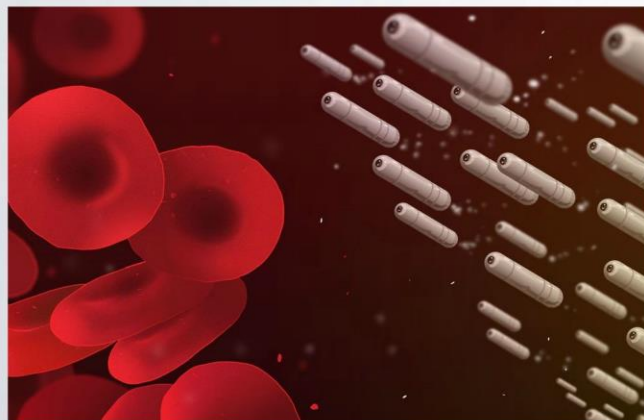


*Equipos electrónicos flexibles que se pueden vestir*

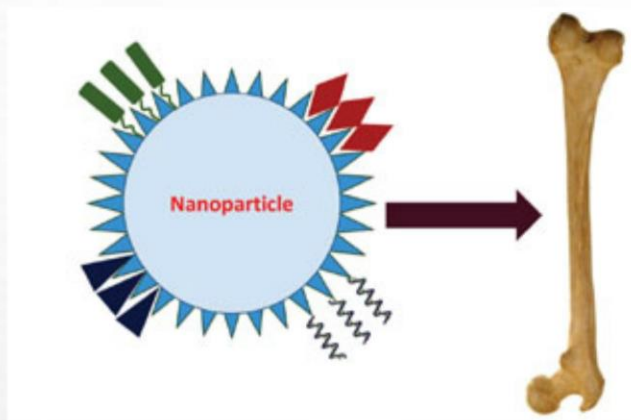




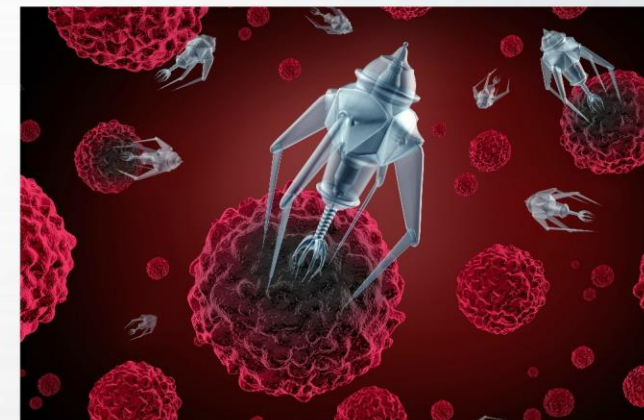
## Micro y nanotecnología



*Nanotecnología en la medicina*



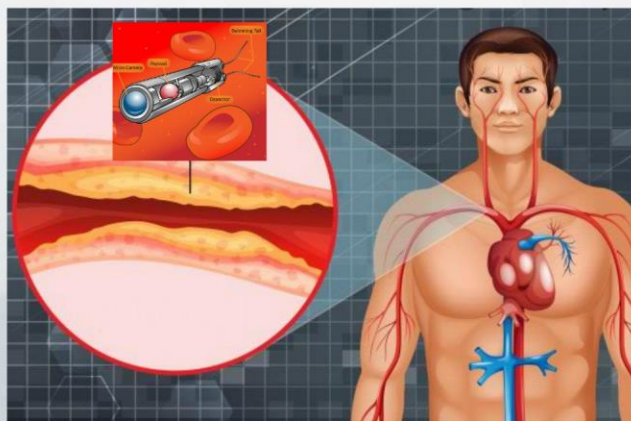
*Nanopartículas para regenerar tejidos*



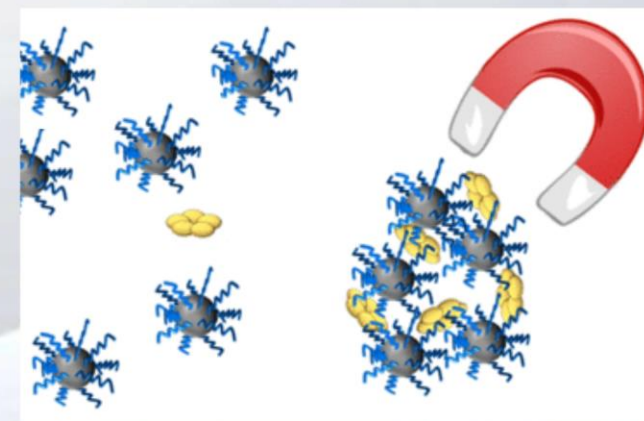
*Nanobots para atacar a ciertos objetivos*



*Nanotecnología para mejorar los diagnósticos*



*Nanobots para liberar bloqueos de arterias y venas*



*Nanopartículas magnéticas para focalizar el uso de medicamentos*





## Micro y nanotecnología



*Baterías más eficientes*



*Paneles solares con mejor rendimiento*



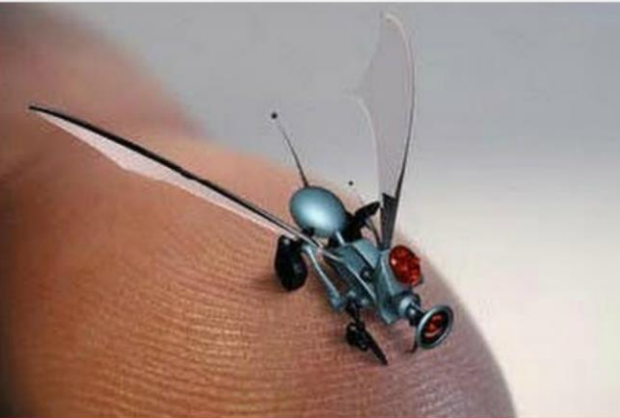
*Construcciones más livianas y resistentes*

**CONTRAS**



*Nanotecnología usada para crear armamento*

**DESVENTAJAS**



*Nanobots como instrumentos de vigilancia*

**PELIGROS**



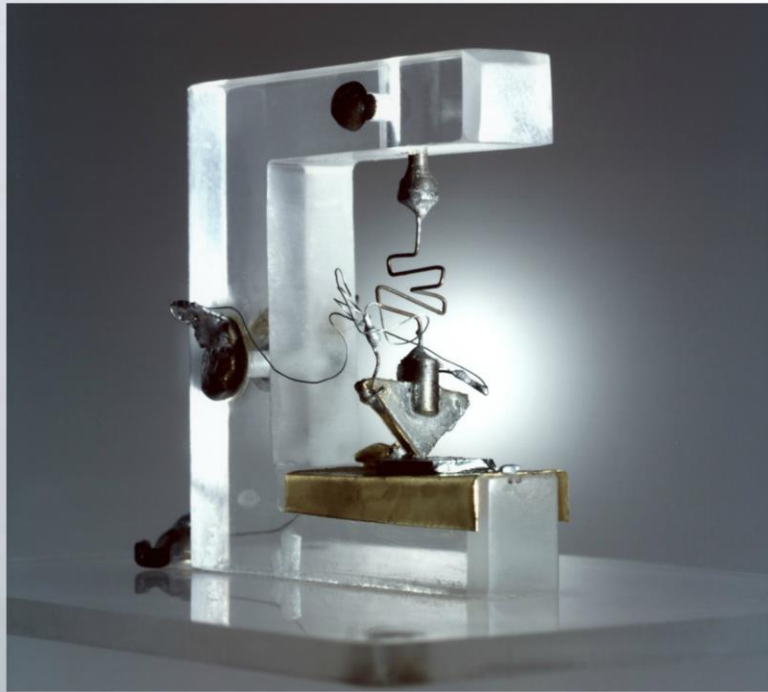
*Inhalación de nano partículas que pueden causar afectaciones a la salud*





## Microsistemas y nanoelectrónica

El término nanoelectrónica se refiere al uso de nanotecnología en componentes electrónicos. Estos componentes suelen tener un tamaño de solo unos pocos nanómetros. No obstante, cuanto más pequeños se vuelven los componentes electrónicos, más difíciles son de manipular y fabricar.



*Réplica del primer transistor desarrollado por AT&T's Bell Labs en diciembre de 1947*

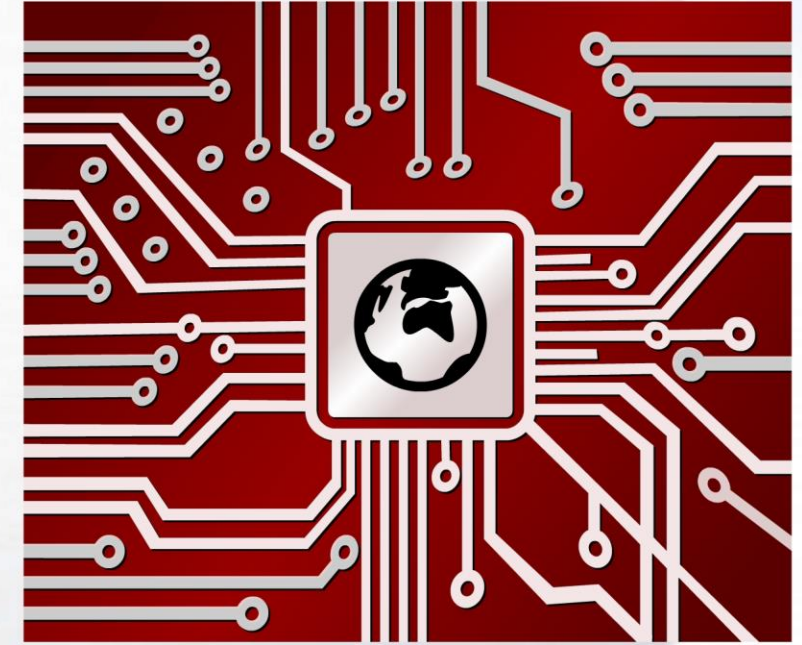
La nanoelectrónica cubre un conjunto diverso de dispositivos y materiales, con la característica común de que son tan pequeños que los efectos físicos alteran las propiedades de los materiales en una nanoescala.

Las interacciones interatómicas y las propiedades de la mecánica cuántica juegan un papel

importante en el funcionamiento de estos dispositivos. A nanoescala, los nuevos fenómenos tienen prioridad sobre los que dominan el macromundo. Los efectos cuánticos como la formación de túneles y el desorden atómico dominan las características de estos dispositivos a nanoescala.

Los primeros transistores construidos en 1947 tenían más de 1 centímetro de tamaño; El transistor de trabajo más pequeño de la actualidad tiene 7 nanómetros de largo, más de 1,4 millones de veces más pequeño (1 cm equivale a 10 millones de nanómetros).

El resultado de estos esfuerzos son procesadores de mil millones de transistores donde, una vez que la industria adopta las técnicas de fabricación de 7 nm, se integran 20 mil millones de circuitos basados en transistores en un solo chip.





## Microsistemas y nanoelectrónica

### Circuitos Integrados (IC)

Un circuito integrado es un pequeño chip en el que un arreglo complejo de componentes electrónicos y sus interconexiones son agrupados. Todo surgió de la invención del transistor en 1947 por. Brevemente después de que el transistor fue inventado surgió el concepto de fabricar múltiples dispositivos electrónicos enteramente en un pequeño chip semiconductor. La técnica para fabricar IC con un conjunto de máscaras se asemeja al proceso de revelar una fotografía a través de su negativo. Actualmente la mayoría de circuitos integrados son construídos con un tipo de transistor llamado MOSFET (metal-oxide semiconductor field-effect transistor)

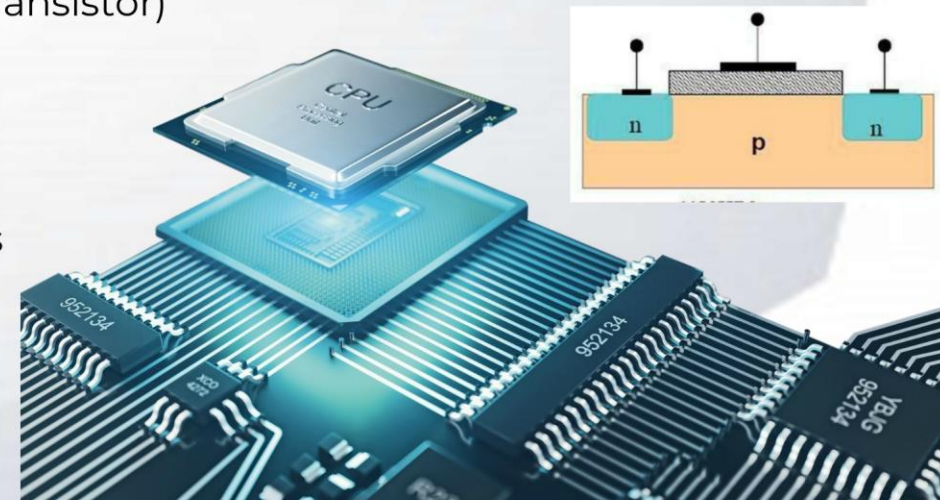
<i>Escala de integración</i>		<i># de transistores</i>	<i>Ejemplos</i>
SSI	Integración a pequeña escala	< 10	Puertas lógicas
MSI	Integración a mediana escala	10 - 1 000	Sumadores.
LSI	Integración a gran escala	1 000 - 10 000	Multiplicadores
VLSI	Integración a muy gran escala	> 10 000	Microprocesadores

### Ley de Moore

en 1965, Gordon Moore, observó y predijo qué el número total de transistores en un circuito integrado dobla aproximadamente cada dos años. A este pronóstico se lo conoce como Ley de Moore. El rápido avance de tecnología de IC es evidente, el conteo de transistores en un chip ha incrementado en un millón de veces en las últimas 3 décadas.

### Más que Moore (More than Moore)

En 2009 la Hoja de Ruta Tecnológica Internacional para Semiconductores (ITRS) propuso el programa "more than Moore" que ofrece más que solo el manufactura de la oblea semiconductor, sino también el ensamble avanzado. Este programa sugiere que los istemas en un chip (SoC) y los sistemas en un paquete (SiP) acelerarán la nueva revolución tecnológica. Actualmente es está encapsulando ya múltiples circuitos integrados en un solo módulo.

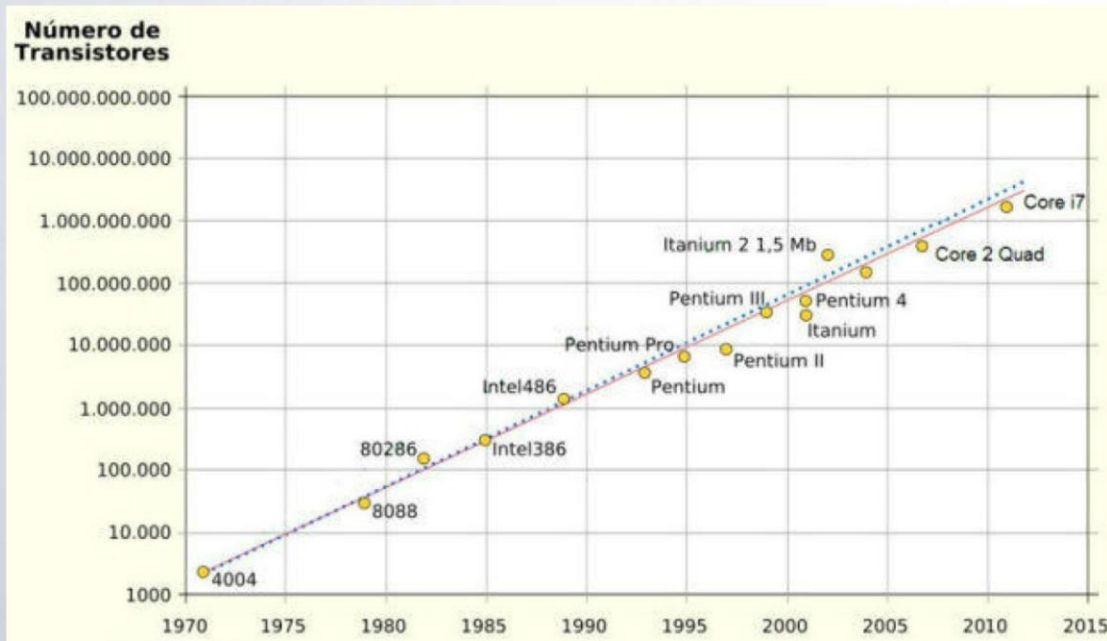


*Ejemplo de un sistema embebido o empotrado (Embedded system) y su componente esencial, un MOSFET*





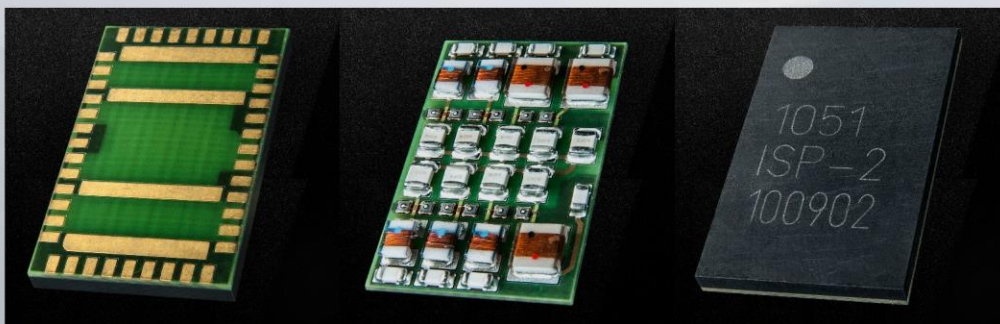
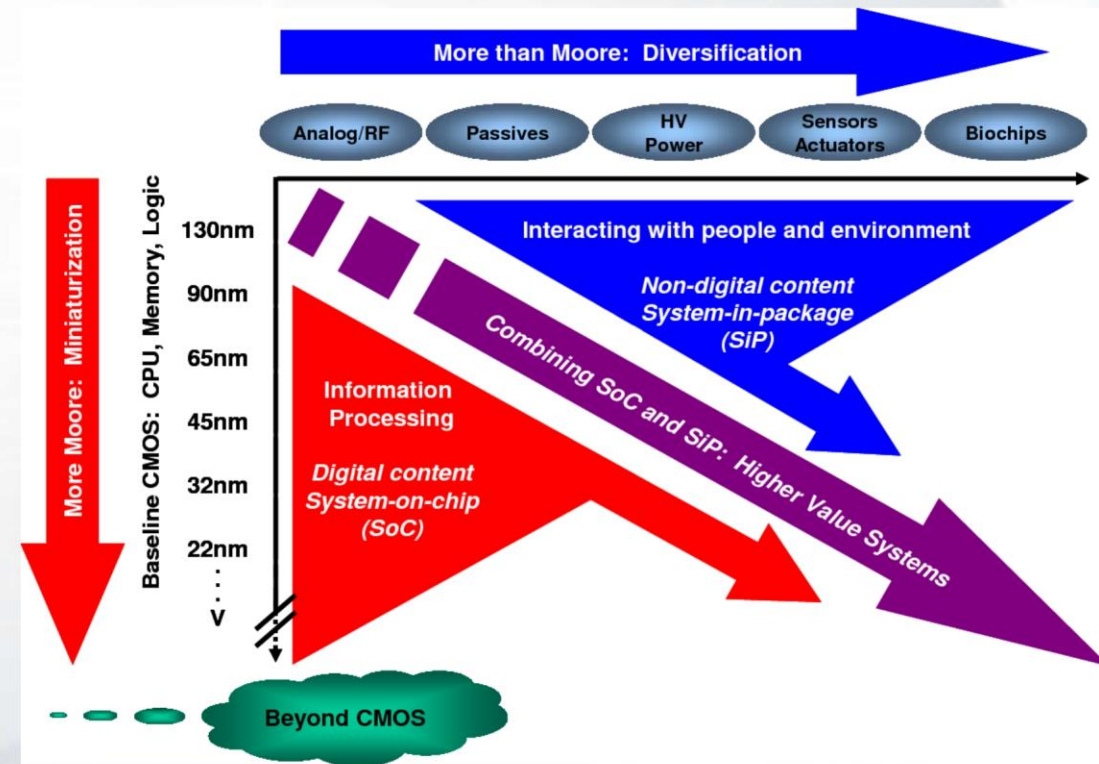
## Microsistemas y nanoelectrónica



Ley de Moore  
Procesadores Intel

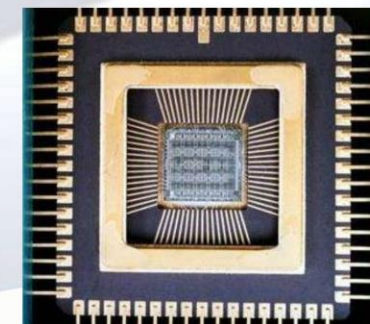


- Más que Moore (More than Moore)
- (More than Moore)



Sistemas en un paquete  
System-in-a-package (SiP)

Sistemas en un chip  
System-on-chip (SoC)





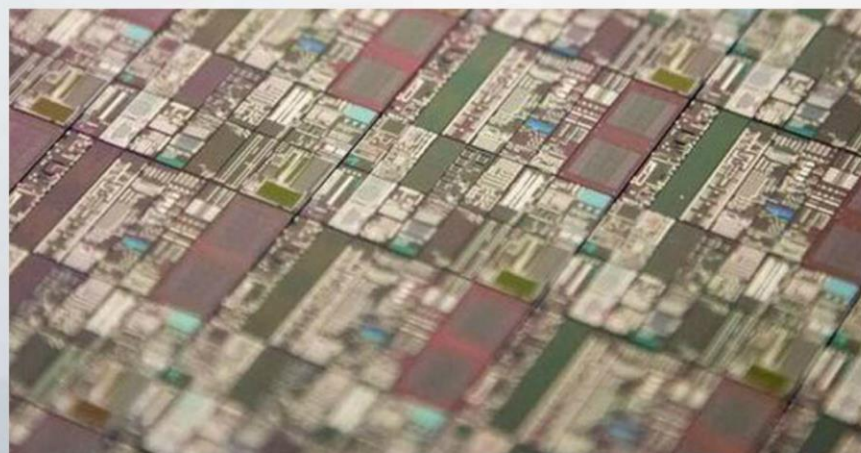
## Microsistemas y nanoelectrónica

Lo que diferencia los IC de hoy en día de aquellos del pasado es su complejidad. Del diseño de circuitos con unas decenas de miles de componentes a unos con miles de millones de ellos, las técnicas del diseño y del desarrollo han cambiado. Para eliminar innecesarios detalles para manejar la complejidad se diseñan métodos como la abstracción del diseño y la modularización jerárquica del mismo.

Abstracción del diseño digital, es una fase crucial en el diseño de sistemas de hardware. En cada nivel de diseño, los detalles internos de un módulo complejo pueden ser abstraídos fuera y remplazados por una "caja negra" o un modelo particular (e.g. puerta nand, unidad ALU, etc.)



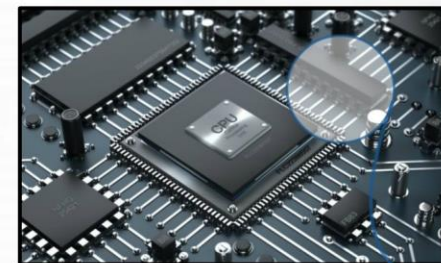
Sistema embebido en una tablet



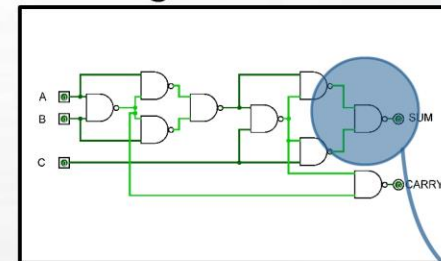
Detalle de un microsystems controlador de un dron cuyos IC están agrupados en un único chip

Niveles de abstracción del diseño digital

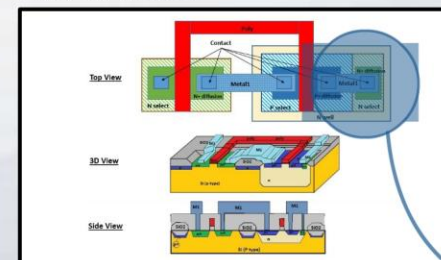
### Nivel de sistema



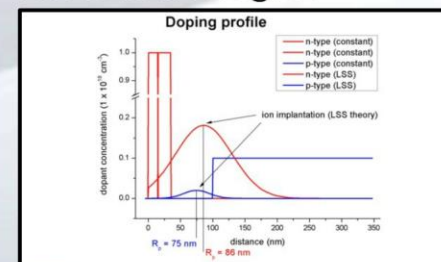
### Nivel lógico



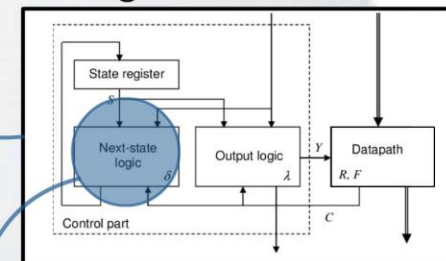
### Nivel físico



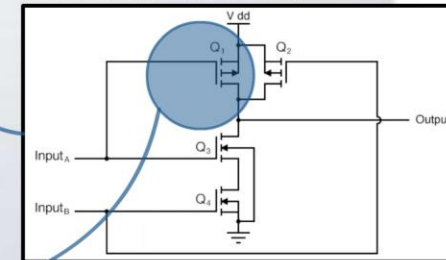
### Nivel tecnológico



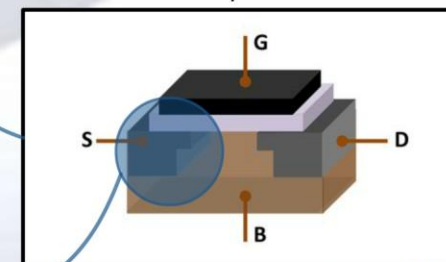
### Nivel de transferencia de registro



### Nivel de circuito



### Nivel de dispositivo

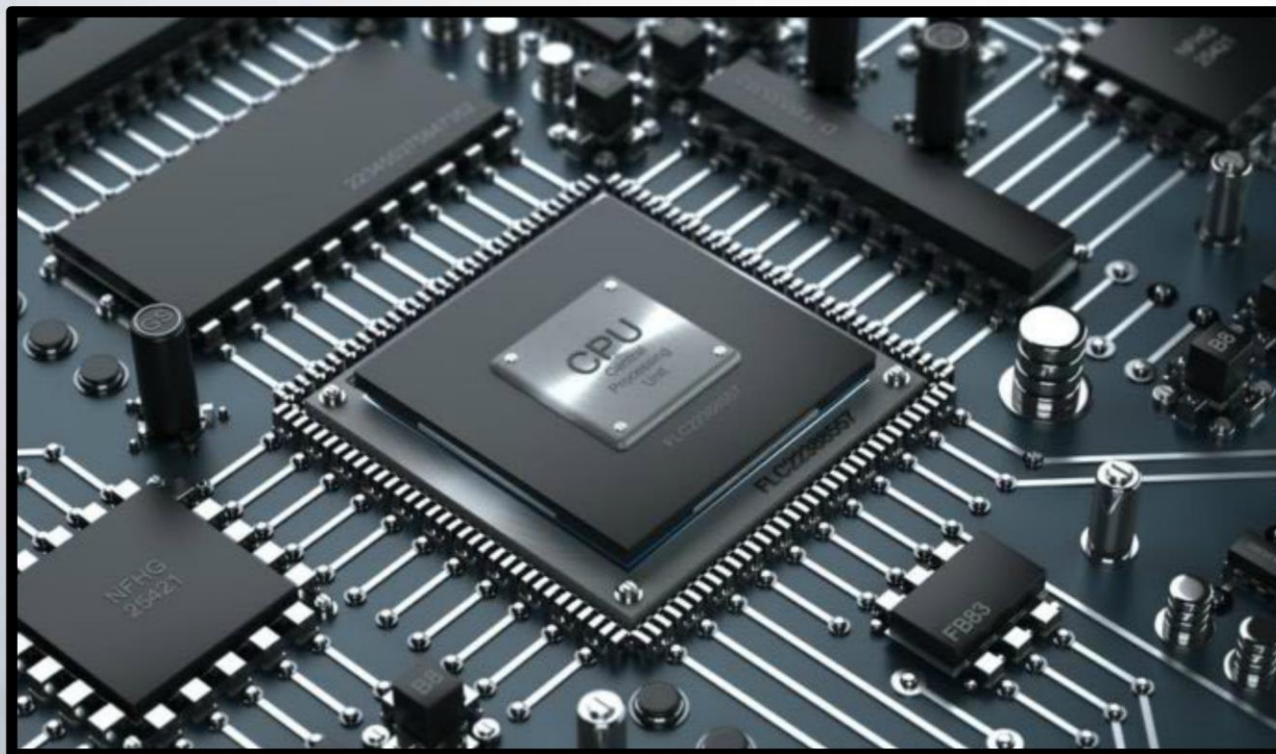




## Microsistemas y nanoelectrónica

Abstracción del diseño digital

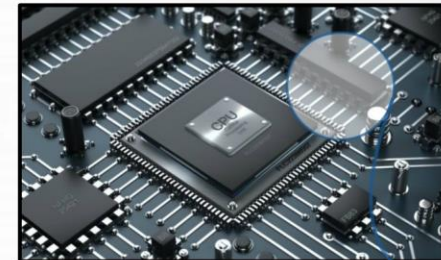
Nivel de sistema o de arquitectura



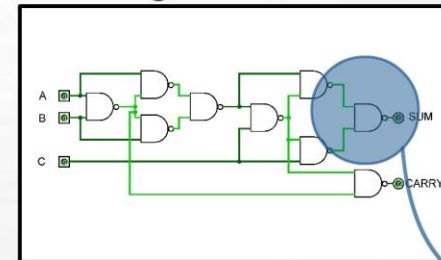
Sistema electrónico donde se observan las diferentes unidades de proceso, memoria, unidad de frecuencia de reloj, etc.

Niveles de abstracción del diseño digital

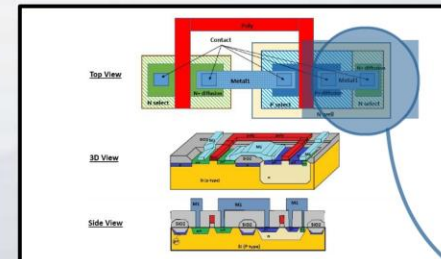
Nivel de sistema



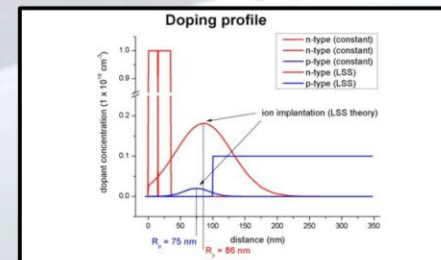
Nivel lógico



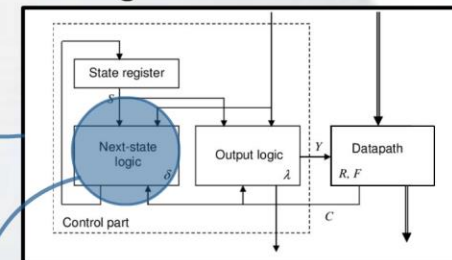
Nivel físico



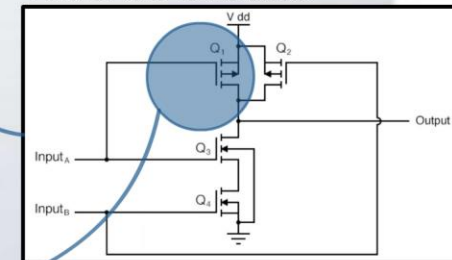
Nivel tecnológico



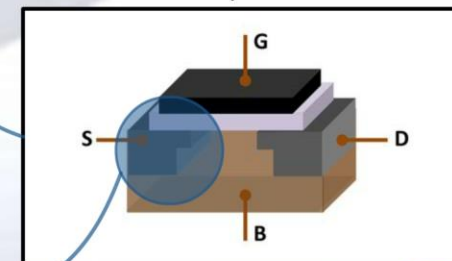
Nivel de transferencia de registro



Nivel de circuito



Nivel de dispositivo

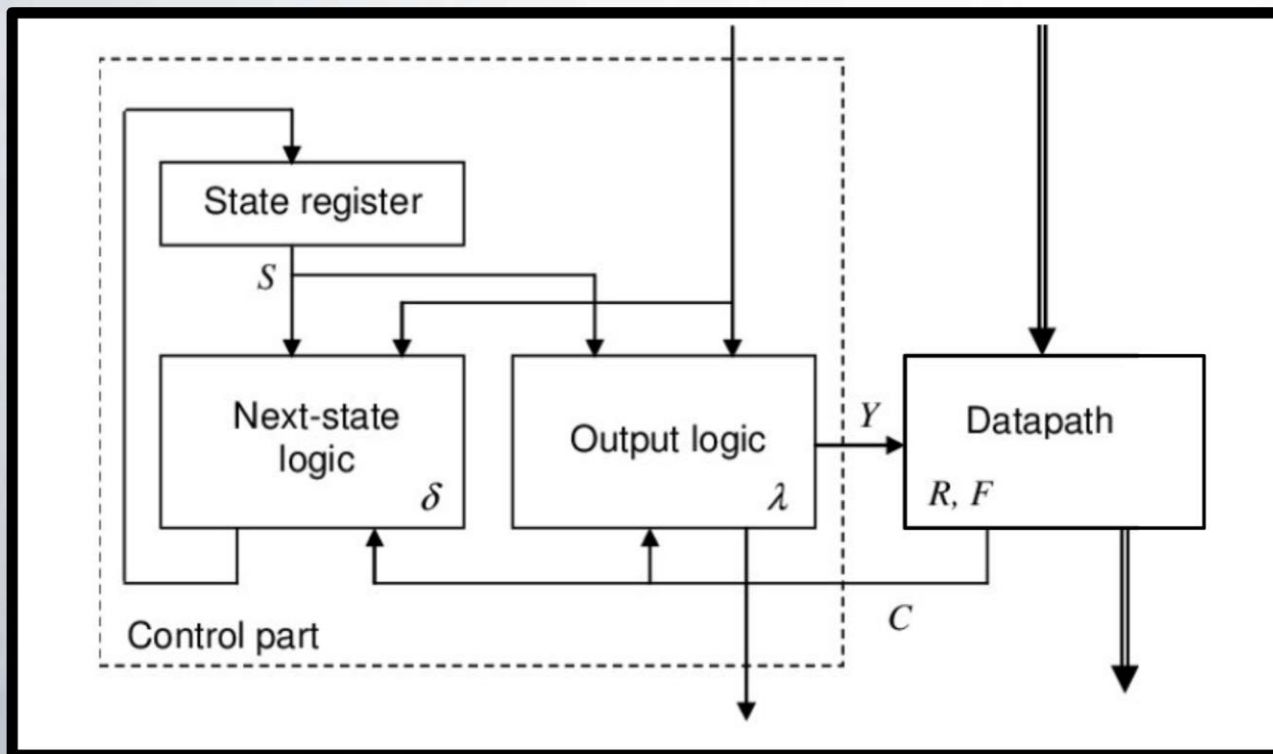




## Microsistemas y nanoelectrónica

Abstracción del diseño digital

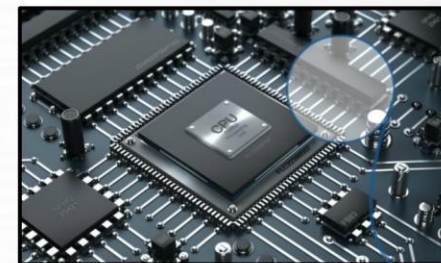
Nivel de transferencia de registro (RTL: Register Transfer Level)



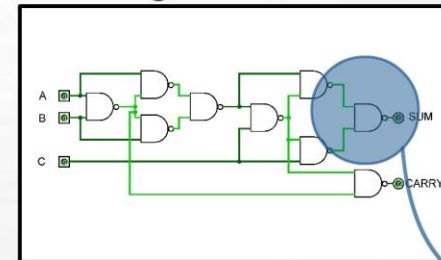
Unidad de proceso FSDM (máquina de estado finito con datos)

Niveles de abstracción  
del diseño digital

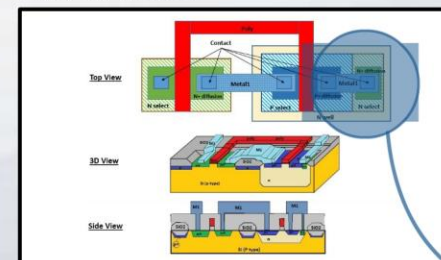
Nivel de sistema



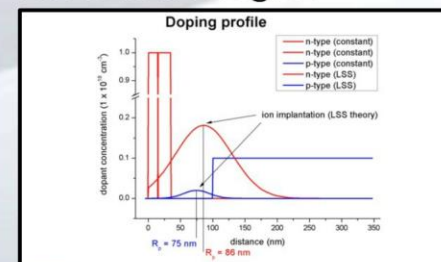
Nivel lógico



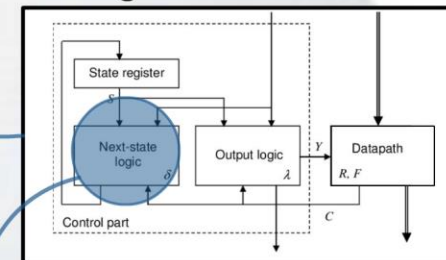
Nivel físico



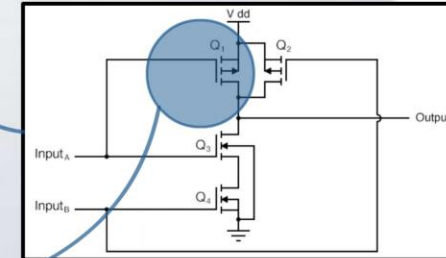
Nivel tecnológico



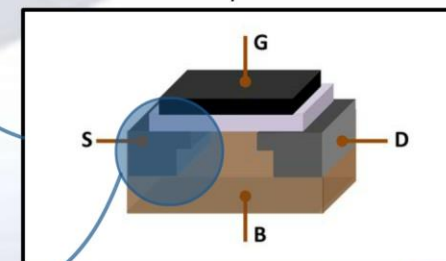
Nivel de transferencia  
de registro



Nivel de circuito



Nivel de dispositivo





## Microsistemas y nanoelectrónica

Abstracción del diseño digital  
Nivel lógico

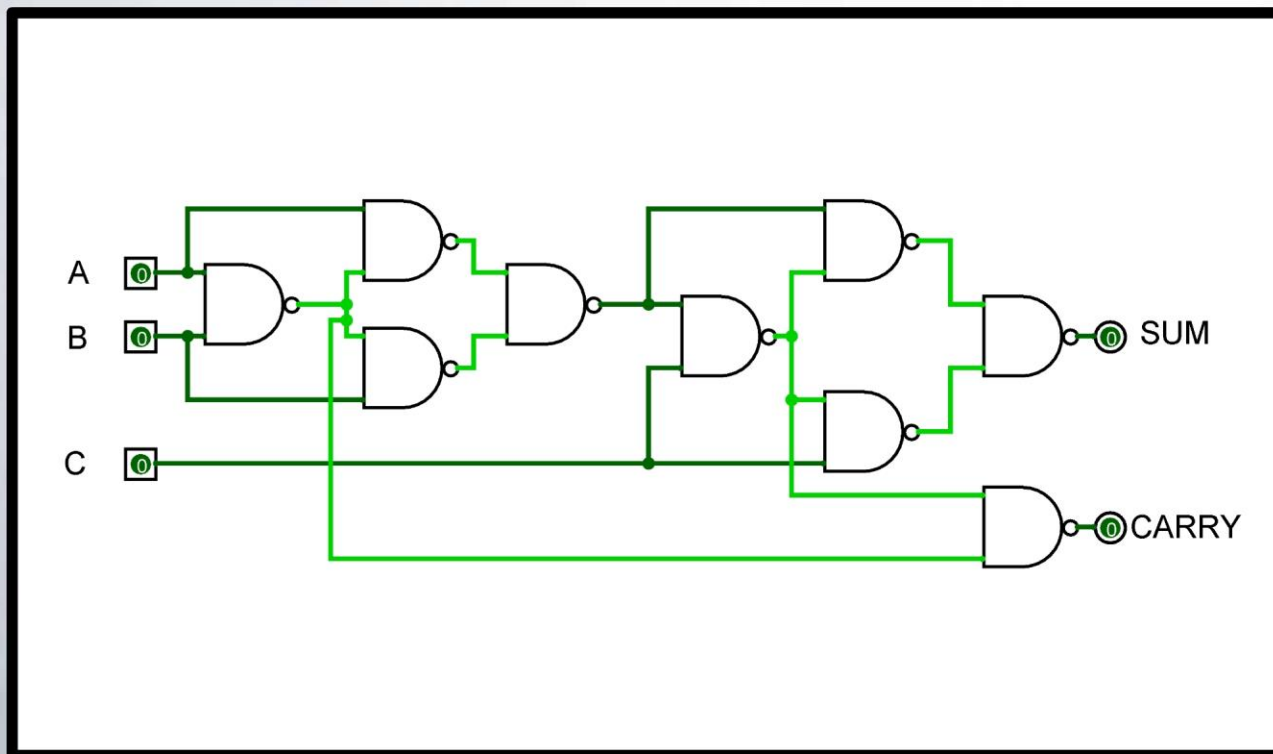
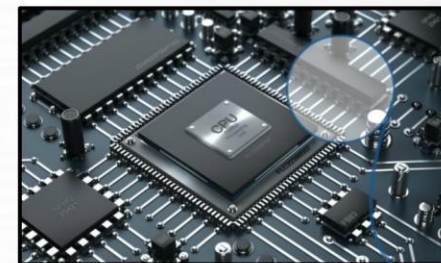
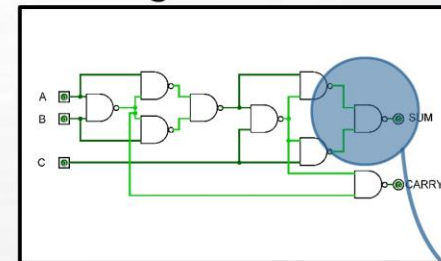


Diagrama lógico de un sumador

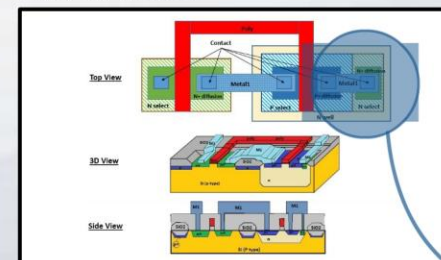
Nivel de sistema



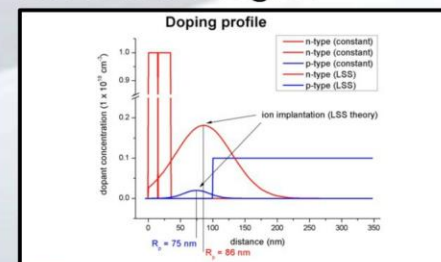
Nivel lógico



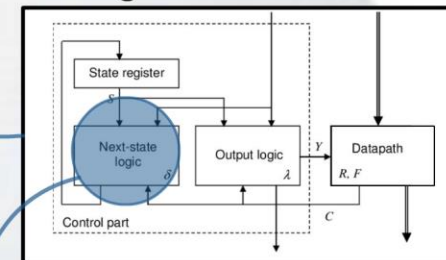
Nivel físico



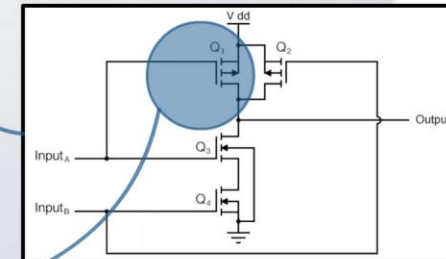
Nivel tecnológico



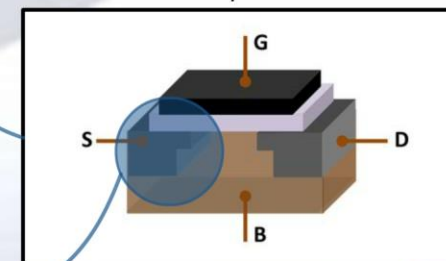
Nivel de transferencia de registro



Nivel de circuito



Nivel de dispositivo



Niveles de abstracción del diseño digital





## Microsistemas y nanoelectrónica

Abstracción del diseño digital  
Nivel de circuito

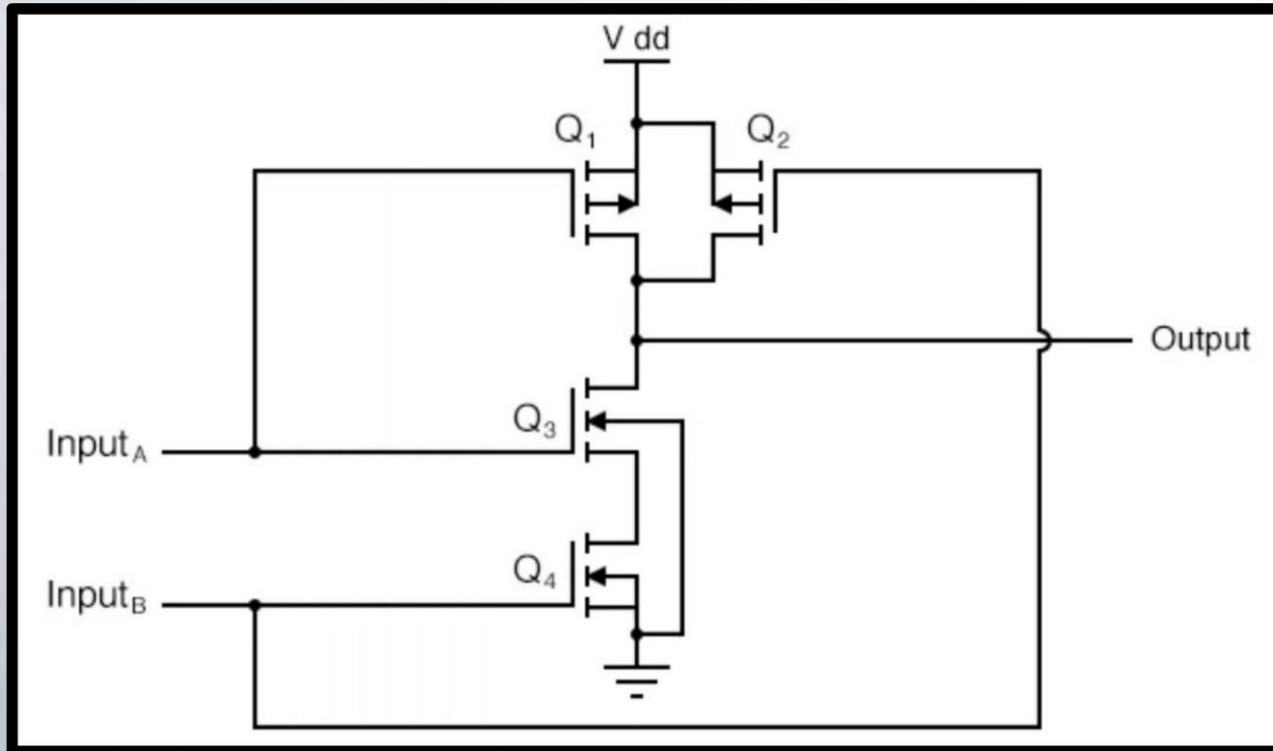
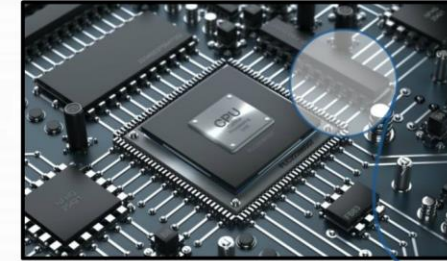


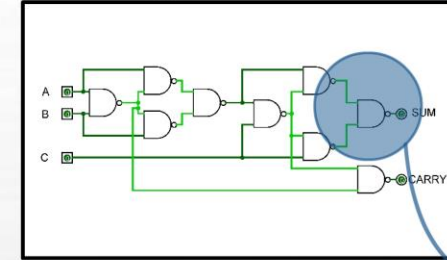
Diagrama eléctrico de una puerta NAND  
Output =  $\sim(\text{Input}_A \& \text{Input}_B)$

Niveles de abstracción  
del diseño digital

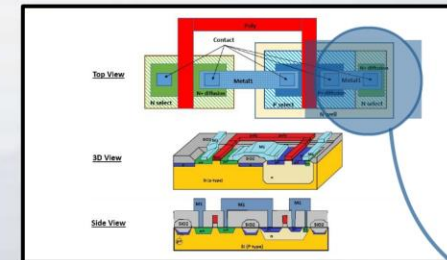
Nivel de sistema



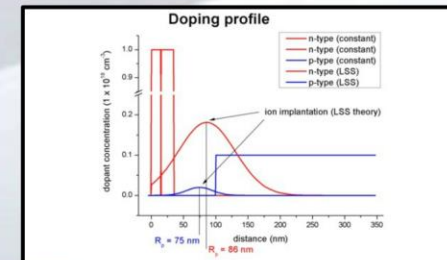
Nivel lógico



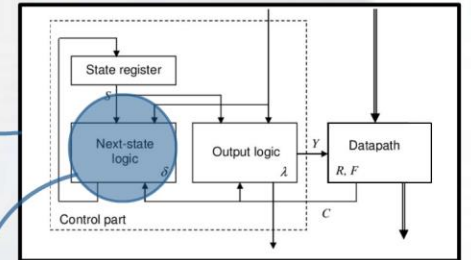
Nivel físico



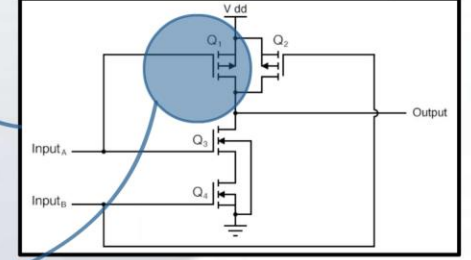
Nivel tecnológico



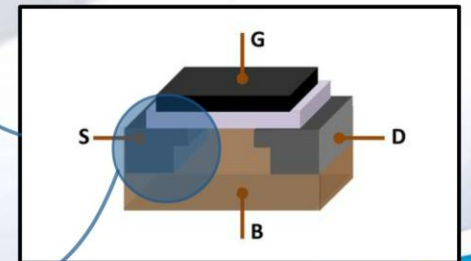
Nivel de transferencia  
de registro



Nivel de circuito



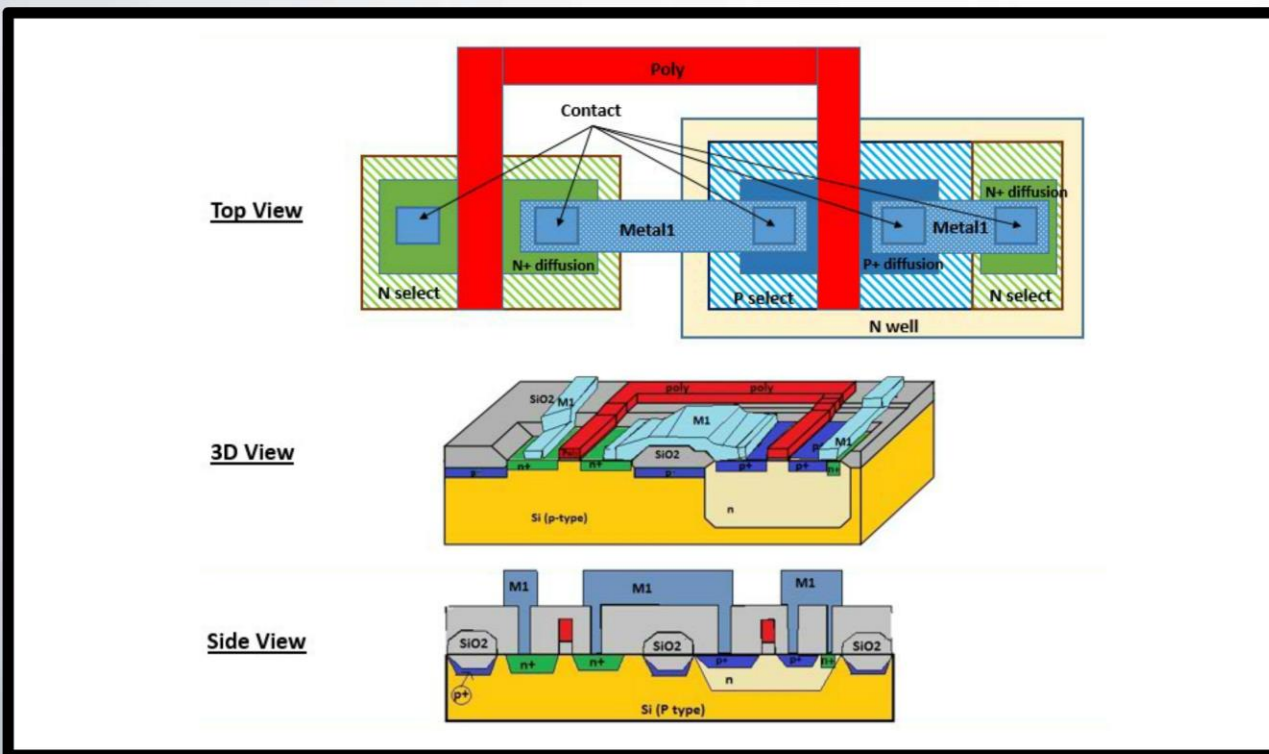
Nivel de dispositivo





## Microsistemas y nanoelectrónica

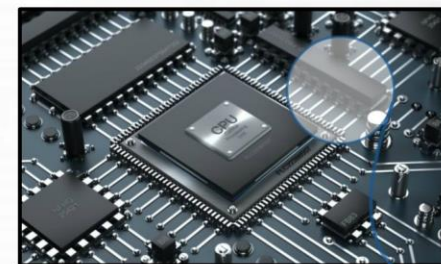
Abstracción del diseño digital  
Nivel físico (de bosquejo)



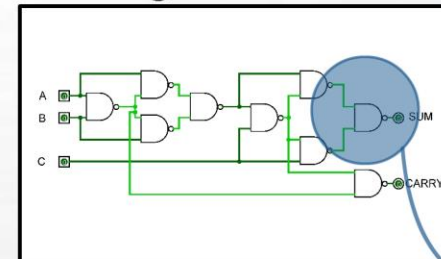
Vista de planta, en perspectiva y corte lateral de un transistor CMOS (Semiconductor complementario de óxido metálico)

Niveles de abstracción del diseño digital

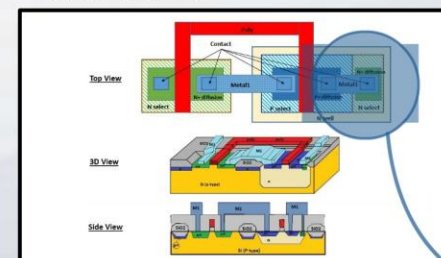
Nivel de sistema



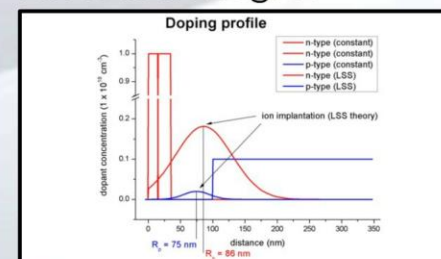
Nivel lógico



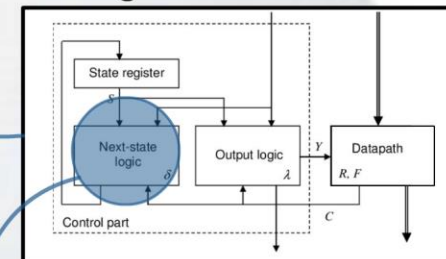
Nivel físico



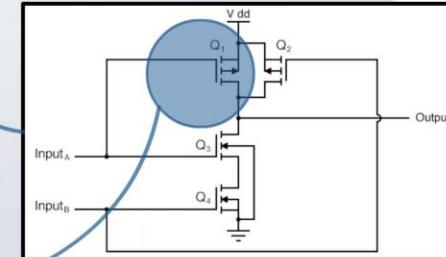
Nivel tecnológico



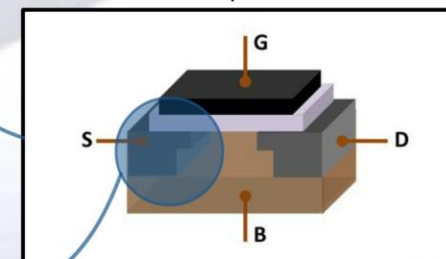
Nivel de transferencia de registro



Nivel de circuito



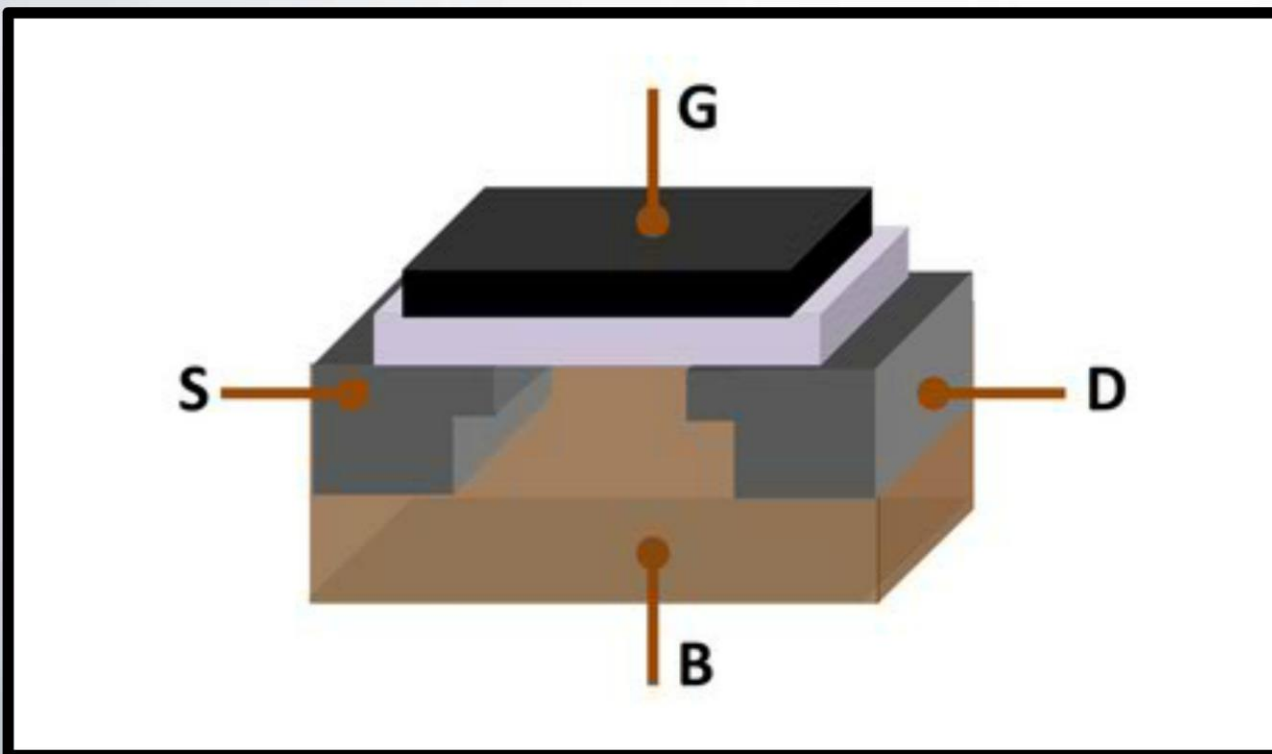
Nivel de dispositivo





## Microsistemas y nanoelectrónica

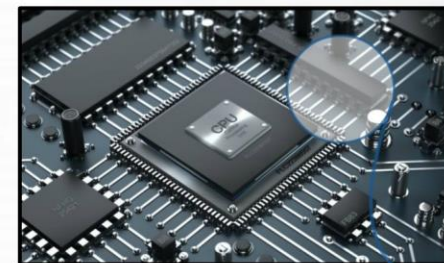
Abstracción del diseño digital  
Nivel de Dispositivo



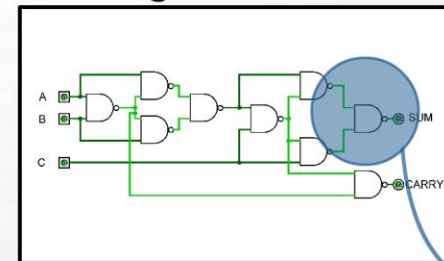
Estructura de un MOSFET (transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor) donde se muestran los terminales de puerta (G), sustrato (B), fuente (S) y drenador (D). La puerta está separada del cuerpo por medio de una capa de aislante (blanco).

Niveles de abstracción del diseño digital

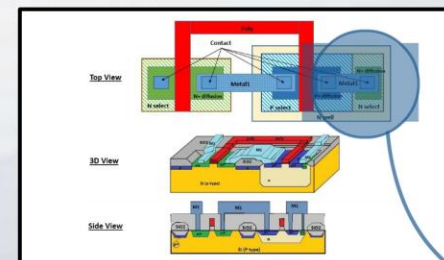
Nivel de sistema



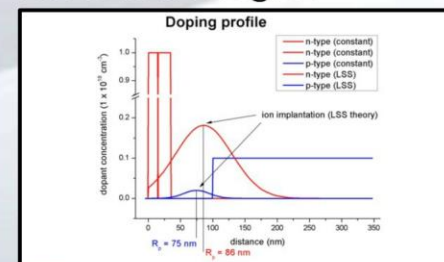
Nivel lógico



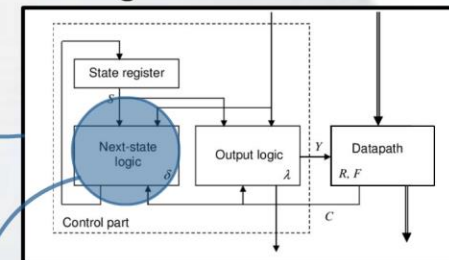
Nivel físico



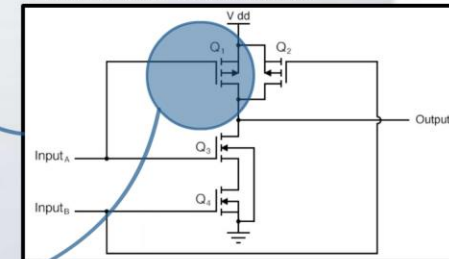
Nivel tecnológico



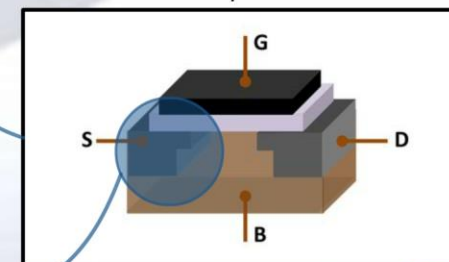
Nivel de transferencia de registro



Nivel de circuito



Nivel de dispositivo





## Microsistemas y nanoelectrónica

Abstracción del diseño digital  
Nivel Tecnológico

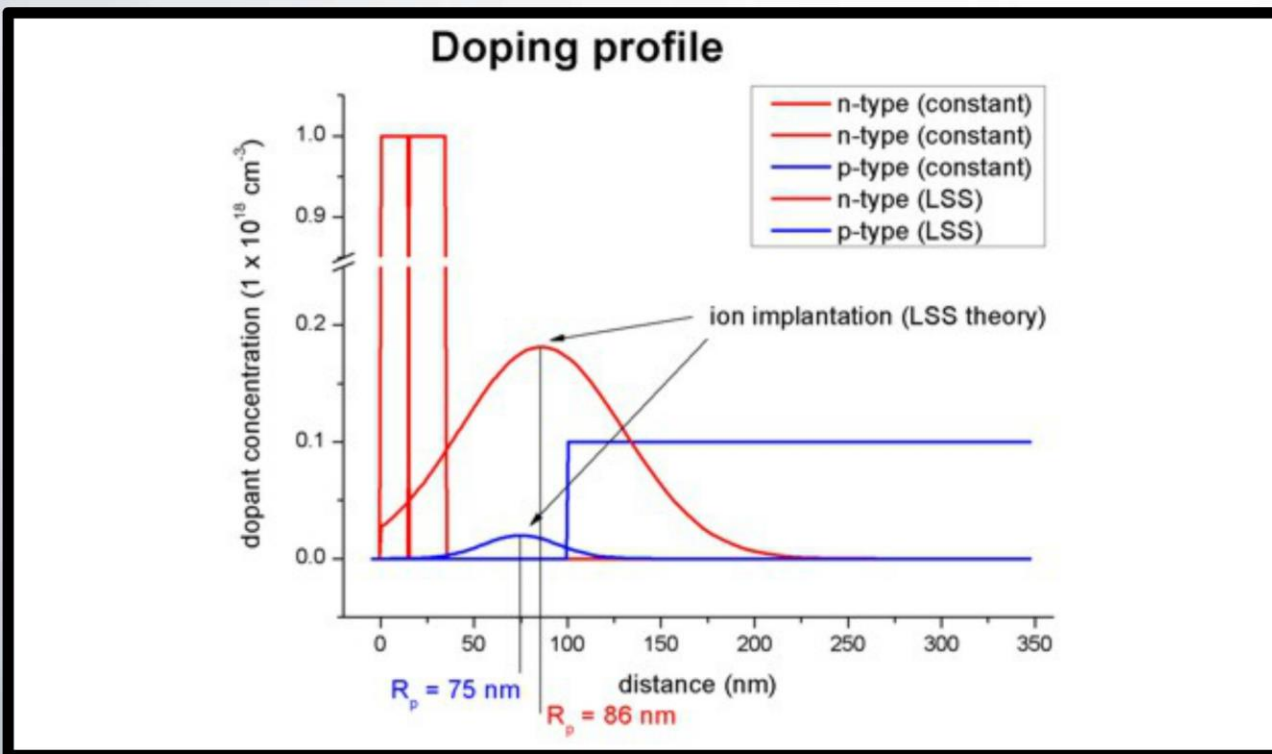
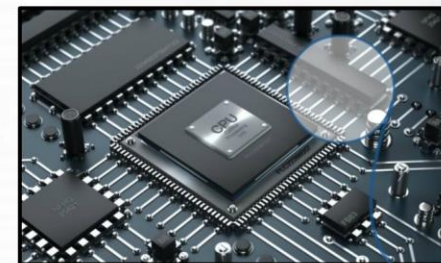


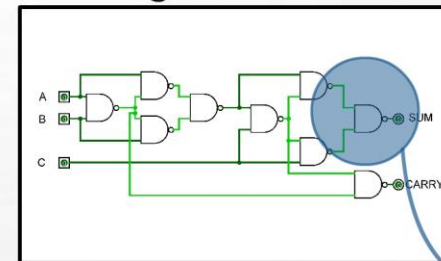
Diagrama que muestra el perfil de dopaje de los materiales que componen los transistores.

Niveles de abstracción del diseño digital

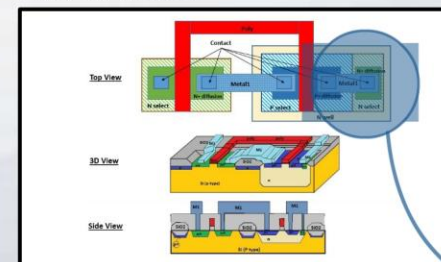
Nivel de sistema



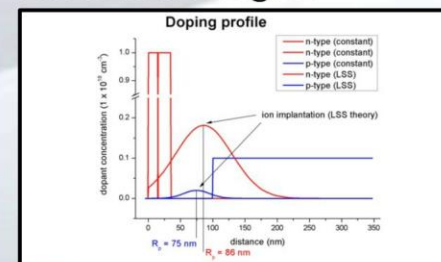
Nivel lógico



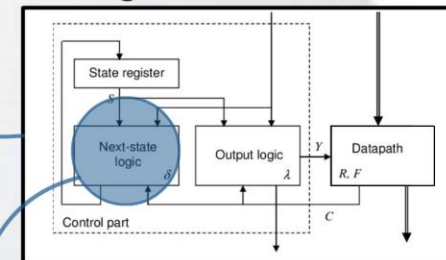
Nivel físico



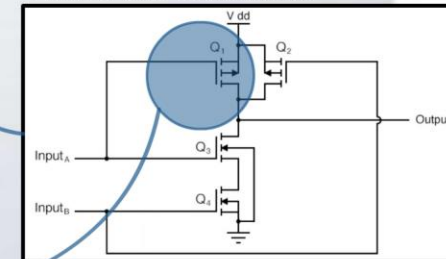
Nivel tecnológico



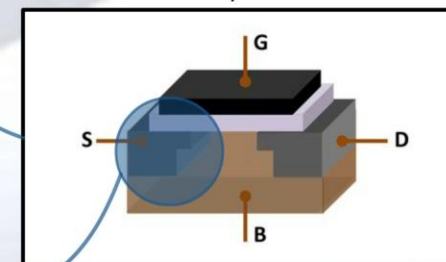
Nivel de transferencia de registro



Nivel de circuito



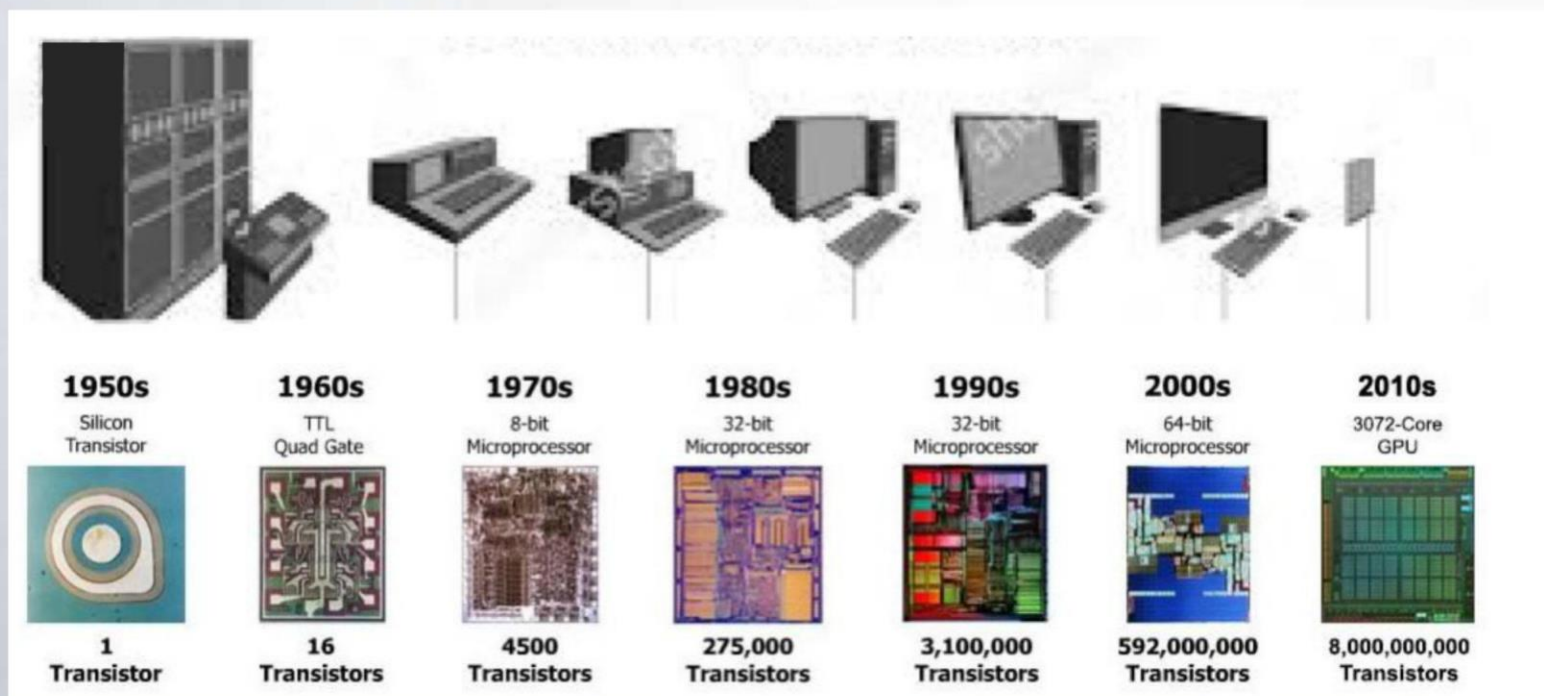
Nivel de dispositivo





## Microsistemas y nanoelectrónica

Evolución del transistor



Microprocesador: Apple A14 Bionic  
# MOS: 11,800,000,000  
Lanzado en: 2019  
Diseñado por: Apple  
Fabricado utilizando el proceso de: 5 nm (TSMC)  
Área: 80 mm<sup>2</sup>



128 Gb SDRAM (DDR4)  
137,438,953,472  
2018 Samsung  
10 nm



Microprocesador: AMD Epyc Rome  
# MOS: 39 540 000 000  
Lanzado en: 2019  
Diseñado por: AMD  
Fabricado utilizando el proceso de: 7 & 12 nm  
Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, Limited (TSMC)  
Área: 1088 mm<sup>2</sup>

GPU: GA100 Ampere  
54 000 000  
Lanzado en: 2020  
Diseñado por: Nvidia  
7 nm  
(TSMC)



1088 mm<sup>2</sup>

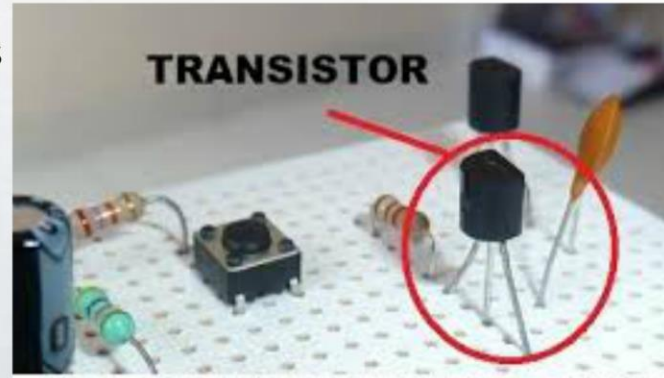




## Microsistemas y nanoelectrónica

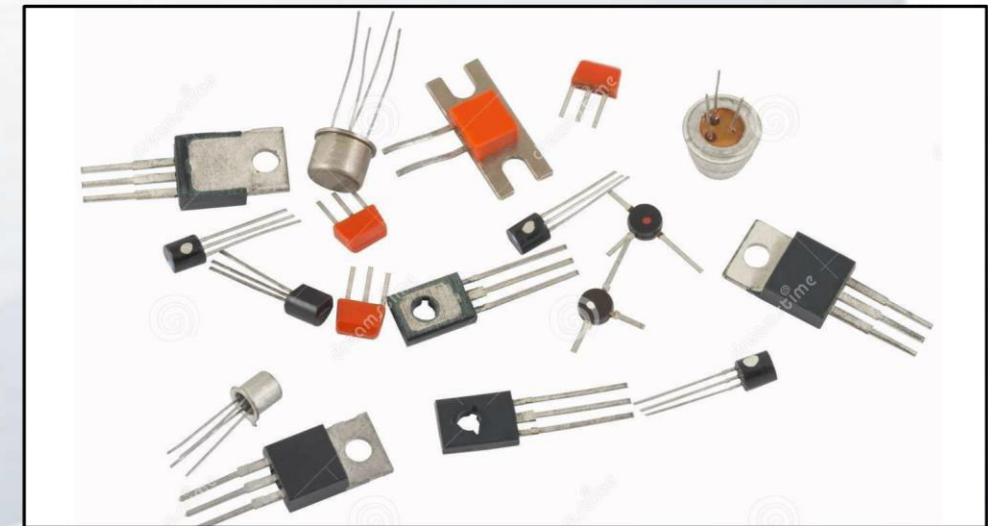
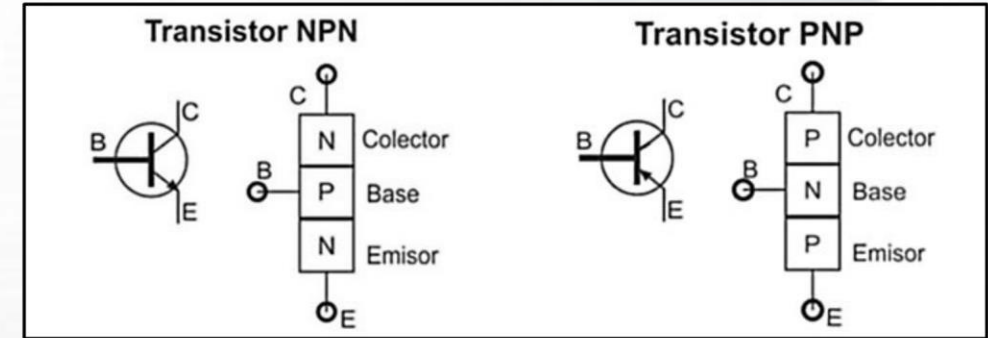
¿Qué es un transistor? El transistor es un dispositivo semiconductor que transfiere una señal débil desde un circuito de baja resistencia a un circuito de alta resistencia. El término «transistor» es la contracción en inglés de transfer resistor resistor de transferencia, en otras palabras, es un dispositivo de conmutación que regula y amplifica la señal eléctrica como voltaje o corriente.

El transistor consta de 2 diodos PN conectados espalda con espalda. Tiene tres terminales: emisor, base y colector. La base es la sección media, la parte derecha del diodo se llama diodo emisor y la parte izquierda se llama



Componentes en una placa de prueba

diodo de base colector. Estos nombres se dan según el terminal común del transistor. La unión basada en emisor del transistor está conectada a polarización directa y la unión colector-base está conectada en polarización inversa, lo que ofrece una alta resistencia. El transistor tiene 3 terminales: Emisor, colector y base.



Símbolos de los transistores bipolares y variedad de encapsulados de transistores





Vídeo desarrollado por el canal de Youtube Aprenda Ingeniería  
y descargado con fines educativos



You **Tube** / Aprender Ingeniería



## Microsistemas y nanoelectrónica

¿Cómo se fabrican los circuitos integrados? Hacer estos nano dispositivos es uno de los trabajos más complejos que se desarrollan en la industria, todo pasa por una línea de producción de miles de pasos, a continuación se explica muy a groso modo el proceso. Todo se lleva a cabo en plantas de aspecto extraño y futurista, en las salas dónde se desarrollan las actividades circula escaso personal humano, los procesos de producción son automatizados en su casi totalidad, no así los de diseño y desarrollo. Estas áreas restringidas son denominadas Cuartos Limpios.



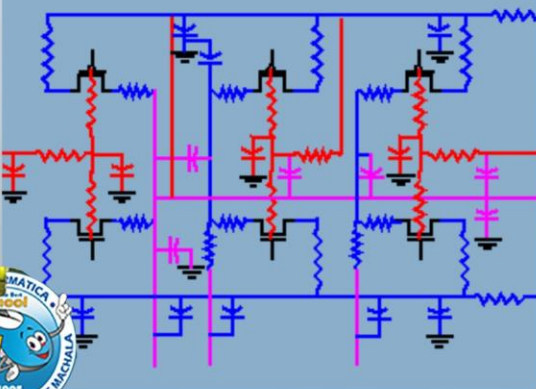
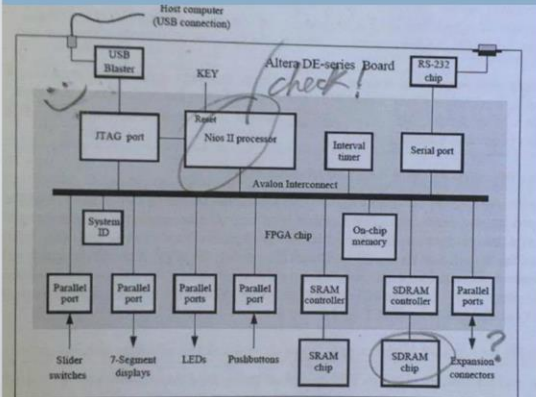
*Fotografías de las áreas de desarrollo de Intel, Penang, Malaysia (arriba) y TSMC, Taiwan Semiconductor Manufacturing Company en Hsinchu Science Park, Taiwán*





## Microsistemas y nanoelectrónica

### Diseño y Desarrollo VLSI



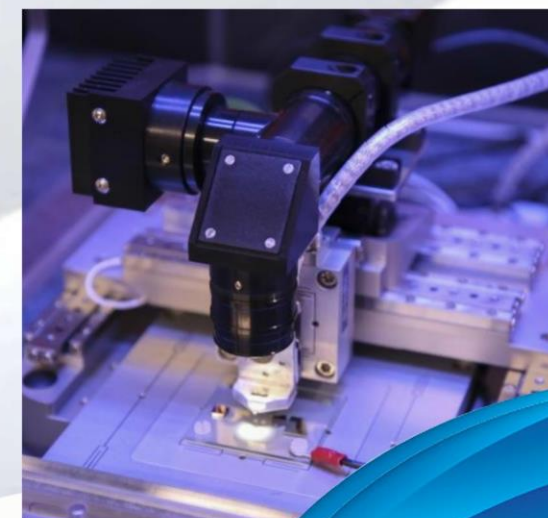
Se empieza con silicio policristalino o polisilicio, que se calienta a 1420 °C dentro de un horno especial purgado con gas argón para eliminar el aire. El lago de silicio fundido se hace girar en un crisol, entonces se introduce un cristal de silicio para que actúe como semilla, este cristal gira en la dirección contraria. Mientras el silicio policristalino se va enfriando el cristal que actúa como semilla se va separando. El resultado es un solo cristal de silicio que pesa unos 200 kg y tiene un diámetro de 200 mm.



Después de varias pruebas con productos químicos y rayos X para probar su pureza y composición molecular se mete en una cortadora de lonchas de silicio. Se producen obleas de silicio que solo tienen 2/3 de mm de espesor y una pureza del 99.999999%.

Las obleas pasan a un proceso de pulido físico llamado labrado. Pero incluso después de pasar por la pulidora, las laminas no están suficientemente lisas, entonces son estas láminas sometidas a un proceso químico. El resultado son obleas de silicio con una superficie de rugosidad inferior a 0.1 nm

El problema central es miniaturizar los complejos patrones e "imprimirlos" luego en las obleas. El proceso mediante el cual se consigue se denomina fotolitografía. Se cubre la lámina con químicos fotosensibles que se endurecen al exponerlos a la luz ultravioleta, en habitaciones oscuras se hace pasar la luz por el patrón de diseño, luego a través de una lente para miniaturizarla y finalmente sobre la lámina.



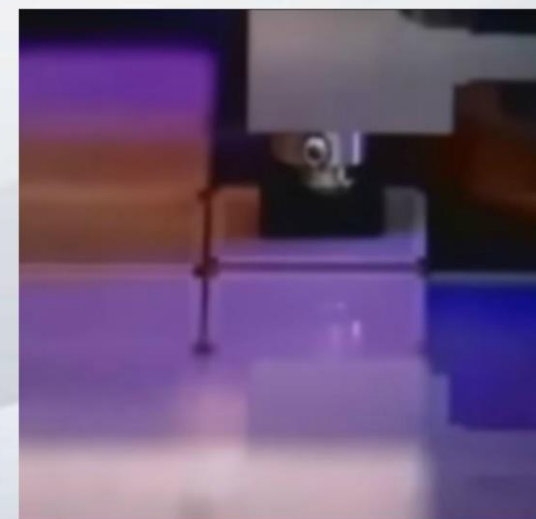
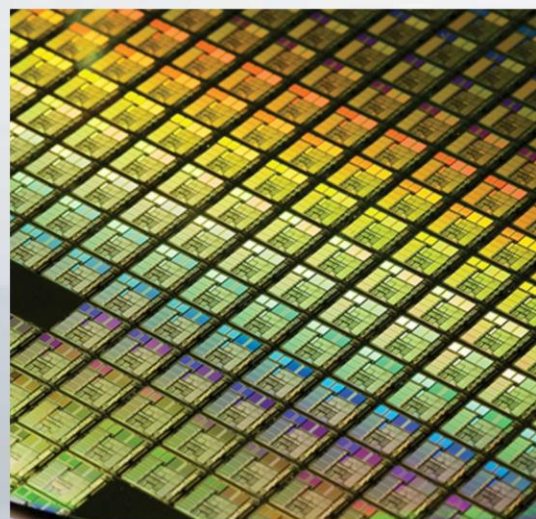
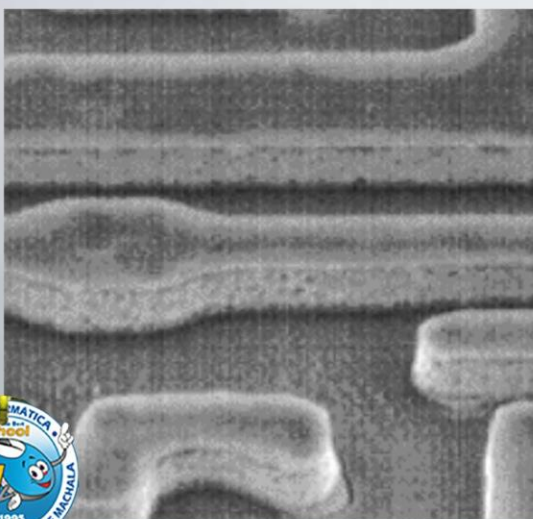
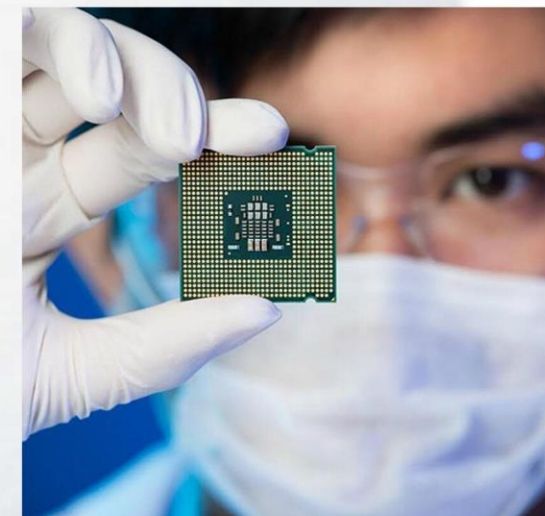


## Microsistemas y nanoelectrónica

Cuando se remueve el producto químico el diseño permanece como si se tratará de una imagen fotográfica. Para colocar todos los componentes el proceso se desarrolla capa a capa. Para completar el trabajo, este proceso se repite muchas veces, completando el grabado para cada una de las capas que componen el diseño.

Algunas capas se calientan a alta temperatura, otras se someten a ráfagas de plasma ionizado, otras se bañan en metales. Cada tipo de tratamiento cambia las propiedades de una capa determinada y poco a poco forma parte del rompecabezas de construcción el diseño del chip.

Las láminas terminas del silicio llevan hasta mil microchips diferentes, y billones de componentes. ahora solo hay cortar y cortar y el largo camino de ser arena a una placa de circuito, habrá terminado.





## Microsistemas y nanoelectrónica - Perspectivas y aplicaciones





## Microsistemas y nanoelectrónica

La ley de Moore basada en la miniaturización se encuentra muy cerca ya a las dimensiones atómicas, a nivel industrial se considera que el límite en el silicio son los 5nm, La micro y nano electrónica son tendencias tecnológicas cuya coste de inversión es muy alto, diseñar en menos de 7 nm resulta muchas veces más caro que diseñar en 28 nm.

La principal conclusión de cualquier revisión de la nanoelectrónica es que el transistor de silicio a través de CMOS ha sido la tecnología dominante en las últimas décadas. Solo una ruptura en la búsqueda incesante de la ley de Moore en el silicio puede brindar una oportunidad para que otras tecnologías intenten competir. Es más probable que tal ruptura sea el resultado de problemas económicos que tecnológicos.

Una segunda conclusión importante de cualquier revisión de nanoelectrónica siempre será que las arquitecturas para nanoelectrónica son todas las mismas que se usan para CMOS, y se requieren nuevas arquitecturas para la mayoría de los nuevos conceptos y dispositivos nanoelectrónicos si se quiere que tengan éxito. La computación cuántica es una arquitectura muy nueva, pero solo proporciona aplicaciones de nicho y no es aplicable a la mayoría de los sistemas nanoelectrónicos. También es un campo con mucha teoría pero poca demostración experimental hasta la fecha. Gran parte de la tecnología para la computación cuántica está mucho más allá de la tecnología de fabricación actual, pero esto puede cambiar a medida que avanza el campo de investigación de la nanoelectrónica. La realización de una arquitectura tolerante a fallos exitosa traería enormes beneficios a todos los campos nanoelectrónicos, incluidos CMOS y electrónica molecular. Por tanto, el campo de la investigación va a ver para grandes avances en el futuro.

Los retos de la tecnología actual


Como se ha revisado, actualmente los fabricantes, producen los chips de una oblea de silicio cortada de un lingote de cristal. La fabricación de estructuras muy complejas se basa en procesos de múltiple deposición, modelado y grabado, sin embargo, cuanto más pequeña es la estructura (nano dimensiones), los fabricantes deben pagar costos muy altos debidos a que el proceso requiere alta fidelidad. Una máquina de modelado de precisión en el orden de los 200 nm cuesta alrededor de 15 millones de dólares y la evolución en los procesos de miniaturización sugieren que este tipo de herramientas será cada vez más costoso, sin contar con que una fábrica puede necesitar 50 de estas máquinas.

Según los expertos, las fábricas no podrán soportar los elevados costos que el avance tecnológico requiere, además de enfrentar las limitaciones propias de la tecnología del silicio ( como se dijo a escalas tan pequeñas, los dispositivos empiezan mostrar comportamientos diferentes) Ante esta perspectiva, muchos científicos están apostando por las nuevas tendencias nano tecnológicas como la litografía basada en el ribosoma y el denominado Self- assembly (auto ensamble), en el cual los dispositivos se construyen así mismos, con alta densidad y perfecta funcionalidad que los hace competitivos en la práctica.





Vídeo desarrollado por el canal de Youtube de IBM  
y descargado con fines educativos

A black and white photograph of a microchip. The text "A BOY AND HIS ATOM" is displayed in yellow dots on the surface of the chip. The dots are arranged in a grid pattern, forming the letters of the text. The background is a dark, textured surface, likely the silicon substrate of the chip, with various circular and rectangular patterns visible.

A BOY AND  
HIS ATOM



## MICROSISTEMAS Y NANO ELECTRÓNICA

*¡Gracias por su atención!*

Presentado por:

Ing. Roy Aguilar León, Msg.  
ealroy2@live.utm.my



[twitter.com/roycete](https://twitter.com/roycete)



[facebook.com/roy.sudamerica](https://facebook.com/roy.sudamerica)



[instagram.com/roycete.ec](https://instagram.com/roycete.ec)



**roycete.com**

Para más información o bajar el contenido  
de esta conferencia visitar

<https://www.roycete.com/#academy>

