

IE0411 Microelectrónica -G01-

Tarea de investigación: Moletrónica

Jorge Muñoz Taylor (A53863) - [jorge.munoztaylor@ucr.ac.cr](mailto:jorge.munoztaylor@ucr.ac.cr)

II-2020

# Índice

<b>1. Desarrollo</b>	<b>3</b>
1.1. ¿Qué es? . . . . .	3
1.2. Estado del arte . . . . .	3
1.3. ¿Qué problema resuelve? . . . . .	4
1.4. Impacto tecnológico . . . . .	4
1.5. Ejemplos de usos (posibles usos) reales. Investigaciones . . . . .	5
1.6. Cómo se relaciona con el curso (Opinión) . . . . .	6
<b>2. Conclusiones</b>	<b>7</b>
<b>Referencias</b>	<b>8</b>

# 1. Desarrollo

## 1.1. ¿Qué es?

El término moletrónica proviene de la palabra en inglés *moletronics* que a su vez proviene de *molecular electronics*, traducándose al español como electrónica molecular. Esta nueva rama de la electrónica consiste en implementar todos los conceptos conocidos sobre electrónica (transistores, compuertas lógicas, memorias, etc), pero utilizando moléculas orgánicas en su composición en lugar de semiconductores, metales, etc. Esto para aprovechar todas las ventajas que tiene el trabajar a nivel molecular, principalmente la miniaturización.

Para ejemplificar el concepto, en la figura 1 se muestra la configuración molecular de dos líneas de transmisión, dichas líneas están hechas a base de polifenileno conductor en lugar de cobre, esto permite un grado de integración muy superior y un muy bajo consumo energético.

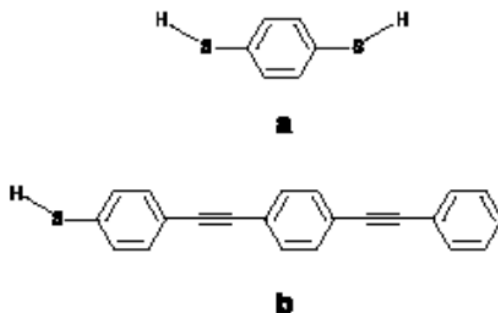


Figura 1: Cables conductores moleculares. Esquemático de la estructura molecular de cables de polifenileno, donde **a** representa un trozo de cable compuesto por una sola estructura, y **b** para enseñar como se puede extender la estructura para generar un cable más largo. Imágen tomada de [1].

Cabe resaltar que la moletrónica toma provecho de la química para su concepción, puesto que es necesario conocer a detalle las moléculas que se necesitarán para implementar esta tecnología. De momento se están estudiando moléculas diferentes para determinar cual se de ellas se adapta mejor a la electrónica molecular.

## 1.2. Estado del arte

En la actualidad ya se ha conseguido diseñar compuertas lógicas en base a compuestos biológicos, por ejemplo en la figura 2 se muestra una compuerta *OR* conformada por *1,1-diethynylethene* y dos moléculas de agua[2].

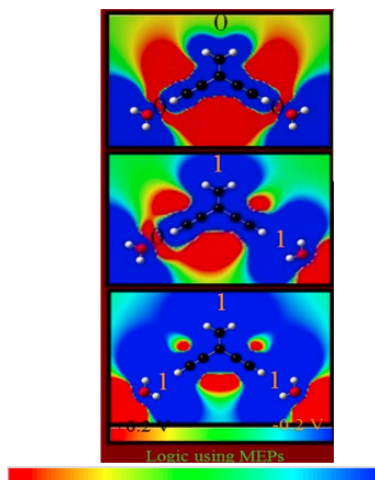


Figura 2: Compuerta OR molecular. Las moléculas de agua funcionan como entradas al circuito y el grupo *ethynyl* (Se trata de un compuesto orgánico derivado del acetileno) ubicado en la superficie funciona como salida, la operación lógica se obtiene como resultado del potencial electrostático molecular de las dos moléculas.

También se tiene el ojo puesto en el *grafeno*, dado que este material actúa como un amplificador de señales gracias a la interacción molecular de los gases absorbidos en su superficie, según los estudios recientes estas señales pueden estar en el rango de los Terahertz (aproximadamente 66 THz).

Sin embargo aunque es un área en desarrollo, su factibilidad es muy limitada de momento. Aún se necesita investigar cuales moléculas son más adecuadas para este propósito, todavía hay que estudiar como se comportan los fenómenos eléctricos que ya conocemos a nivel molecular (sus ecuaciones, conceptos, etc), hay que diseñar el proceso de manufactura de dichos materiales moleculares y desarrollar la infraestructura que lo permita. Es decir, aún queda mucho trabajo por hacer.

### 1.3. ¿Qué problema resuelve?

El problema principal que permite resolver esta tecnología es el límite de escalas que impone la *ley de Moore*[3], a grandes rasgos esta ley dicta que cada cierto tiempo los transistores reducen su tamaño, sin embargo, por las limitaciones físicas de los semiconductores que se utilizan en la actualidad para la manufactura de circuitos digitales, llegará un punto donde los transistores hechos con dichos semiconductores ya no podrán reducirse más, aquí es donde entra en juego la moletrónica.

Como esta tecnología permite fabricar transistores manipulando directamente moléculas la escala de los circuitos digitales puede superar por mucho a sus pares creados con semiconductores.

### 1.4. Impacto tecnológico

El impacto que tiene esta tecnología es evidente, la más lógica consiste en el alto grado de integración que pueden alcanzar los circuitos digitales, por ejemplo los procesadores podrán estar compuestos por una incontable cantidad de transistores moleculares (cientos y cientos de miles de millones), esto permitirá un avance computacional inmediato (computadoras con millones de

teraflops de potencia, juegos más complejos, inteligencia artificial más elaborada, etc.).

También habrá una revolución en cuanto al consumo de potencia de los aparatos digitales, ya que al ser las compuertas lógicas tan pequeñas estos dispositivos consumirán menos energía en consecuencia, esto permitirá tener artículos portátiles con baterías de muy larga duración (semanas o incluso meses).

En medicina se podrán manufacturar circuitos digitales nanoscópicos que puedan monitorear diferentes partes del interior del cuerpo humano (o animal), o integrarse con nanorobots que puedan incluso reparar tejidos a escala molecular.

### 1.5. Ejemplos de usos (posibles usos) reales. Investigaciones

Los posibles usos que permite la moletrónica son muy amplios, entre algunos de ellos tenemos:

- Diodo molecular, con menos de un nanómetro de largo y algunos *angstroms*<sup>1</sup> de diámetro[2], esto permitirá crear rectificadores, filtros, etc.
- Capacitores moleculares, fabricados a partir de una sola molécula para posteriormente integrarse en circuitos integrados moleculares [4].
- *CMOL*, que consiste en aplicar los conceptos y lógica de CMOS pero a escala molecular utilizando moletrónica [5].
- Compuertas lógicas moleculares, consiste en implementar las compuertas conocidas pero con moléculas como puede verse en la figura 3, note que la compuerta tiene las mismas entradas, salidas y alimentación que su par en semiconductores [1].

---

<sup>1</sup>El *Ångstrom* es una unidad de longitud que se utiliza para medir distancias muy pequeñas, de escala atómica o molecular. Equivale a  $1 \times 10^{-10}$  metros.

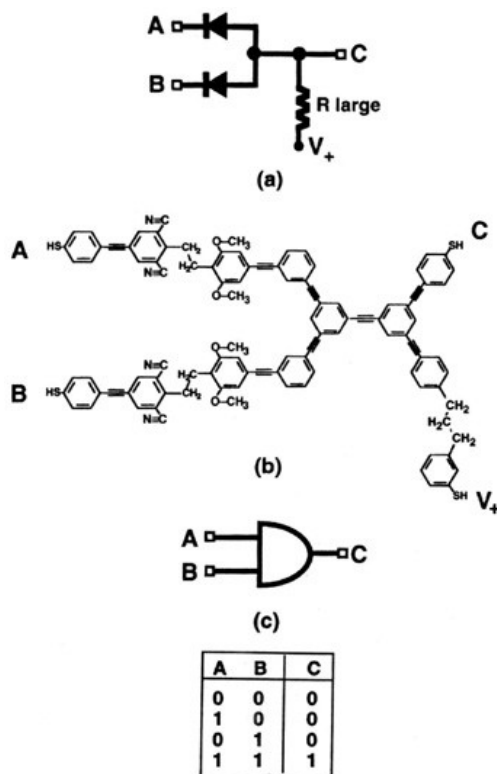


Figura 3: (a) Diagrama que representa el comportamiento de una AND (b) Diagrama químico que implementa el circuito mixrado en la parte anterior, aquí puede verse la similitud con dicho diagrama (c) Símbolo IEEE de la compuerta AND junto con su tabla de verdad. Note que la salida de la AND molecular **debe** cumplir con esa tabla de verdad.

## 1.6. Cómo se relaciona con el curso (Opinión)

Durante el curso microelectrónica se estudió la forma en que los circuitos integrados se comportan según su temporización y tecnología de fabricación. Estos mismos conceptos se pueden aplicar en la moletrónica para efectuar los futuros análisis de los circuitos combinatoriales y secuenciales que se lleguen a fabricar con dicha tecnología, ya que un flip-flop con semiconductores es de igual forma un flip-flop en escala molecular, de igual forma con los demás dispositivos digitales.

Con los temas abarcados en el curso se podrá hacer un estudio más detallado de esos circuitos moleculares para producir aplicaciones tan confiables como de las que disponemos en la actualidad con semiconductores.

## 2. Conclusiones

- La moletrónica se perfila como la tecnología electrónica más posible en un futuro cercano.
- Los futuros ingenieros eléctricos necesitarán un conocimiento más profundo sobre química ya que la moletrónica tiene una base muy fuerte en ella.
- La moletrónica permitirá mejorar exponencialmente la computación en términos de rendimiento y tamaño.
- Prácticamente todas las ramas del conocimiento se beneficiarán de la moletrónica gracias a las bondades que ofrece, en la investigación y desarrollo se aprovechará la potencia computacional, en medicina se utilizarán circuitos nanoscópicos para integrarlos al cuerpo humano, las comunicaciones serán posiblemente más accesibles al abaratare los procesos de fabricación, etc.
- De momento queda mucho trabajo por delante para ver una implementación real de la moletrónica, falta tiempo de desarrollo e investigación para incluir esta tecnología a nuestra vida cotidiana.

## Referencias

- [1] K. S. Kwok and J. C. Ellenbogen, “Moletronics: future electronics,” *Materialstoday*, vol. 5, no. 2, pp. 28–37, 2002.
- [2] K. S. Jorge M. Seminario, “La nanoelectrónica y la electrónica molecular,” *ECIPerú*, vol. 13, no. 2, pp. 5–12, 2016.
- [3] A. J. B. D. Senén Barro Ameneiro, *Fronteras de la computación*. Ediciones Díaz de Santos: Prentice Hall, 2002.
- [4] F. F. Paven Thomas Mathew, “Advances in molecular electronics: A brief review,” *ELSEVIER*, vol. 4, pp. 1–2000, 2018.
- [5] D. B. S. Konstantin K. Likharev, “CMOL: Devices, Circuits and Architectures,” *Introducing Molecular Electronics*, vol. 680, 2016.