

# TAXONOMÍA BASADA EN MAPAS CONCEPTUALES PARA EL AUTOAPRENDIZAJE DE LAS MEMORIAS DIGITALES DE SEMICONDUCTORES

MARÍA A. VALDÉS<sup>1</sup>, PILAR FERNÁNDEZ<sup>1,2</sup>, ÁNGEL SALAVERRÍA<sup>1,2</sup> y ENRIQUE MANDADO<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Electrónica Aplicada. Universidad de Vigo.

<sup>2</sup> Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad del País Vasco

<sup>3</sup> Departamento de Tecnología Electrónica. Universidad de Vigo

*En este trabajo se presenta una taxonomía basada en una metodología de análisis de las tecnologías complejas que parte de los conceptos básicos y los combina para describir las memorias reales.*

## 1. Introducción

El desarrollo de la Microelectrónica ha convertido a las memorias digitales de semiconductores en una tecnología compleja [1] [2] [3] que se caracteriza por poseer un conjunto de conceptos básicos interrelacionados, lo que dificulta su aprendizaje. Esta circunstancia motivó la realización de este trabajo que utiliza los mapas conceptuales para presentar los conceptos básicos y combinarlos a fin de describir las memorias reales.

## 2. Mapa conceptual de las memorias digitales de semiconductores

Las características que ha de poseer una unidad de memoria que forma parte de un procesador digital dependen especialmente de cuatro parámetros:

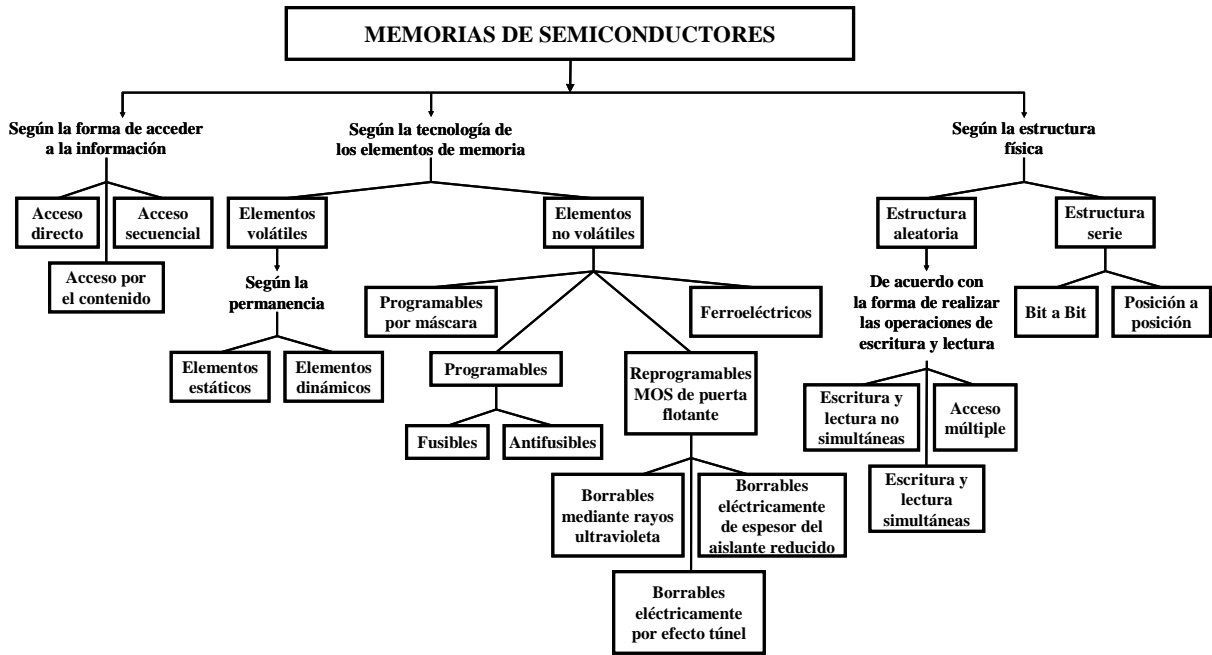
- La cantidad de información que hay que memorizar en ella, que establece la capacidad que debe tener.
- La forma en la que es necesario acceder a la información, que depende a su vez de la forma en que presenta la información a su entrada el sistema que almacena información en ella, así como de la forma en que debe recibir la información el sistema que tiene que leer su contenido.
- Las características tecnológicas de los elementos electrónicos utilizados para memorizar las variables digitales.
- La estructura interna que establece la relación entre los elementos que constituyen la memoria.

La cantidad de información que puede almacenar una unidad de memoria es un parámetro común a todas las memorias pero los otros tres son conceptos interdependientes, lo que hace que su estudio sea una tarea compleja, difícil de organizar. Debido a ello, es necesario desarrollar un método que secuencie adecuadamente la forma de presentar primero los conceptos individualmente, y que, a continuación, los combine paulatinamente para facilitar la comprensión de las características que poseen los distintos tipos de memorias que existen en el mercado.

A partir de la experiencia docente y de investigación aplicada de los autores se obtuvo el mapa conceptual representado en la figura 1 en el que los tres conceptos interdependientes permiten dividir las memorias en diferentes tipos básicos descritos en sucesivos apartados.

### 2.1. Forma en la que hay que acceder a la información.

Según la forma en la que se tiene que acceder a la información las memorias se clasifican en memorias de acceso directo, de acceso secuencial y asociativas.

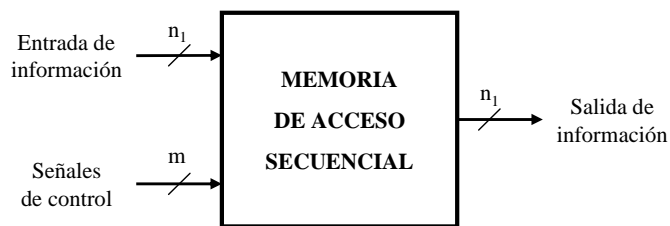


**Figura 1.** Mapa conceptual de las memorias de semiconductores.

Estas tres formas de acceder a la información se describen detalladamente a partir de los bloques funcionales de cada una de ellas, representados en las figuras 2, 3 y 4, respectivamente.



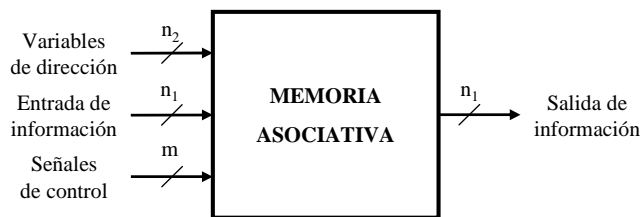
**Figura 2.** Bloque funcional de una memoria de acceso directo.



**Figura 3.** Bloque funcional de una memoria de acceso secuencial.

## 2.2. Características tecnológicas de los elementos electrónicos utilizados

En la parte central de la figura 1 se indica la clasificación de los elementos de memoria de acuerdo con su tecnología. Se entiende por elemento o celda de memoria (*Memory cell*), el dispositivo o dispositivos electrónicos capaces de memorizar una variable binaria. El avance de la Microelectrónica ha propiciado el desarrollo de diversos principios físicos que se diferencian por la permanencia y la duración de la información en ellos, que son dos parámetros característicos de las memorias implementadas con semiconductores.



**Figura 4.** Bloque funcional de una memoria asociativa.

En primer lugar se estudia la permanencia de la información, que recibe también la denominación de volatilidad (*Volatility*) y es la propiedad que tiene un elemento de memoria de mantener o no la información almacenada en él al dejar de aplicarle la tensión de alimentación.

A continuación se estudia la duración de la memorización, que es el tiempo máximo que transcurre desde que se introduce la información en el elemento de memoria hasta que éste la pierde aunque la tensión de alimentación se mantenga de forma indefinida. Esta característica se aplica solo a los elementos de memoria volátiles, que, de acuerdo con ella, pueden ser estáticos (*Static memory cell*) o dinámicos (*Dynamic memory cell*).

A partir de la volatilidad y la duración, los elementos de memoria se clasifican de acuerdo con la tabla 1 y se analiza cada uno de ellos por separado. Se ponen como ejemplo diversos circuitos de memoria reales [4] [5] [6].

Elementos de memoria volátiles	<i>Biestables activados por niveles</i>	
	<i>Capacidad entre los terminales de los transistores MOS</i>	
Elementos de memoria no volátiles	<i>Elementos reprogramables basados en transistores MOS</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Transistor MOS de puerta flotante borrrable con rayos ultravioleta</i></li> <li>- <i>Transistor MOS de puerta flotante y efecto túnel</i></li> <li>- <i>Transistor de puerta flotante de espesor del aislante reducido</i></li> </ul>
	<i>Elementos reprogramables basados en materiales ferroeléctricos</i>	
	<i>Elementos no reprogramables</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Programables por máscara</i></li> <li>- <i>Fusibles</i></li> <li>- <i>Antifusibles</i></li> <li>- <i>Programable una sola vez (OTP)</i></li> </ul>

**Tabla 1.** Clasificación de los elementos de memoria no volátiles

### 2.3. Estructura interna

Seguidamente se define la estructura interna de una memoria como la forma en la que se conectan entre sí las diferentes posiciones. Este parámetro, que es el más importante de las memorias implementadas con semiconductores, permite clasificarlas en memorias de estructura interna aleatoria y de estructura interna serie.

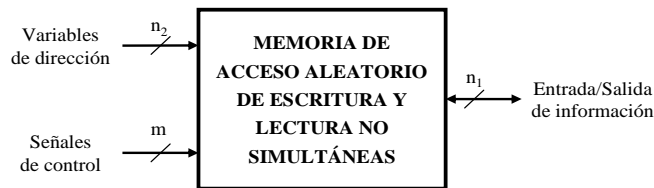
En primer lugar se describen las memorias de estructura interna aleatoria que poseen un conjunto de variables de dirección que permiten seleccionar cualquier posición de las mismas y son las únicas que se deberían denominar RAM (*Random Access Memories*).

Este tipo de memorias se clasifican a su vez de acuerdo con dos conceptos interrelacionados, como son el tipo de organización y la forma de realizar las operaciones de escritura y lectura. De

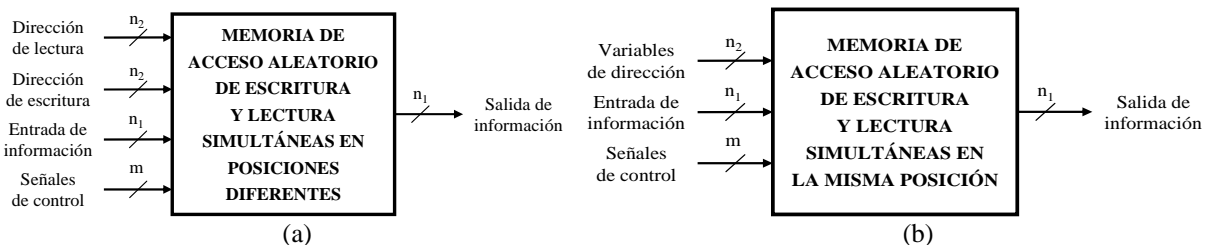
acuerdo con el primero, las memorias de estructura interna aleatoria se clasifican en 2D, 3D y 2½D. De acuerdo con la forma de realizar las operaciones de escritura y lectura, las memorias de acceso aleatorio se clasifican en:

- Memorias de escritura y lectura no simultáneas.
- Memorias de escritura y lectura simultáneas.
- Memorias de acceso múltiple.

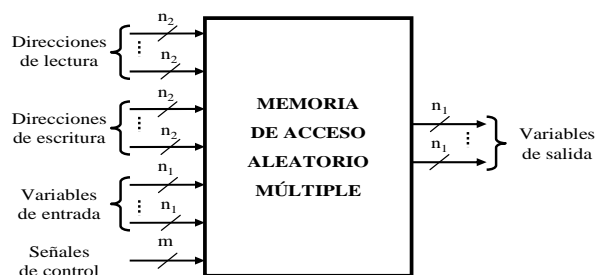
Cada uno de estos tipos se analiza a partir de los bloques funcionales respectivos, representados en las figuras 5, 6 y 7.



**Figura 5.** Bloque funcional de una memoria de acceso aleatorio de escritura y lectura no simultáneas.



**Figura 6.** Bloque funcional de una memoria de acceso aleatorio de escritura y lectura simultáneas: a) En la misma posición; b) En posiciones diferentes.



**Figura 7.** Bloque funcional de una memoria de acceso aleatorio múltiple.

En segundo lugar se describen las memorias serie, cuyo bloque funcional se representa en la figura 8, y se analizan sus dos tipos de organización, en serie bit a bit y en serie posición a posición.

### 3. Implementación de las memorias

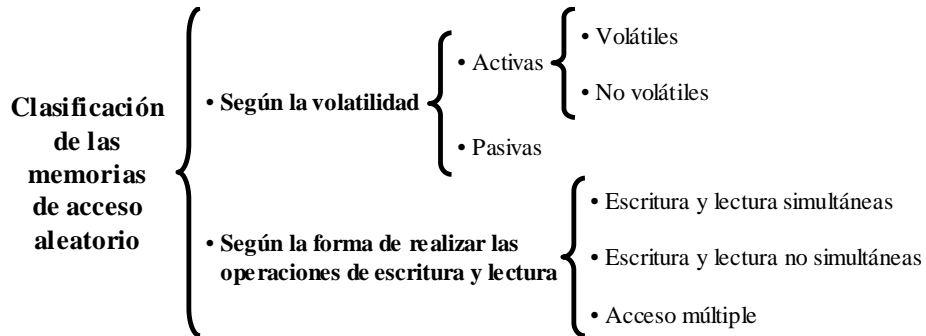
Una vez estudiadas las dos estructuras internas, aleatoria y serie, de las memorias se analiza la utilización de ambas para implementar las tres formas diferentes de acceder a la información, descritas en el apartado 2.

#### 3.1. Memorias de acceso directo y estructura interna aleatoria

Por sus características constructivas, las memorias de estructura interna aleatoria, descritas previamente, son ideales para implementar memorias de acceso directo en las que se tarda el mismo tiempo en acceder a cualquiera de sus posiciones. Por ello a estas memorias se las conoce simplemente como memorias de acceso aleatorio y se pueden clasificar de acuerdo con la volatilidad (*Volatility*), y con la forma en que se realizan las operaciones de escritura y lectura, tal como se indica en la tabla 2.



**Figura 8.** Bloque funcional de una memoria de acceso serie.



**Tabla 2.** Clasificación de las memorias de acceso aleatorio.

El hecho de que ambos conceptos sean interdependientes hace que el estudio de las memorias de acceso aleatorio no sea una tarea fácil de organizar. La experiencia de los autores les lleva a afirmar que lo mejor es estudiar primero por separado las activas (*Read/Write*), que se caracterizan por tener tiempos de escritura y lectura del mismo orden de magnitud, y las pasivas (*Read Only*) que no son volátiles y tienen tiempos de lectura y escritura diferentes. Dentro de cada grupo hay que analizar a continuación las formas utilizadas para realizar las operaciones de escritura y lectura.

En la tabla 3 se indica la taxonomía de las memorias de acceso aleatorio activas de lectura y escritura no simultáneas que se clasifican en volátiles y no volátiles. Así mismo en la tabla 4 se clasifican las memorias pasivas.

### 3.2. Memorias de acceso directo y estructura interna serie

El acceso directo se puede combinar con la estructura interna serie para obtener memorias más sencillas y que tienen aplicaciones en circuitos de interfaz tal como se indica en el apartado 5. Por ello se estudia su funcionamiento y características.

### 4. Memorias de acceso secuencial

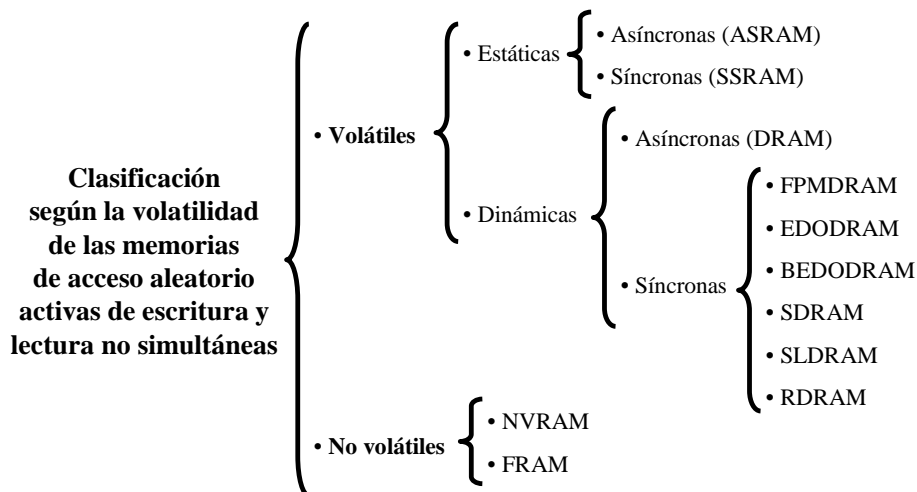
En este apartado se estudian los registros de desplazamiento, las memorias cola (conocidas como FIFO) y las memorias pila (conocidas como LIFO) implementadas tanto con memorias de estructura interna serie como con memorias de estructura interna aleatoria [7].

### 5. Memorias de acceso directo y secuencial

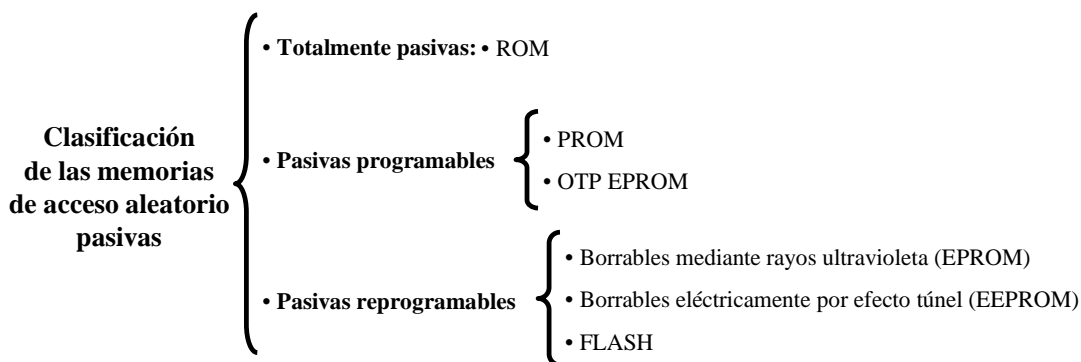
La combinación de las memorias de acceso directo con las de acceso secuencial y la estructura interna serie da lugar a las memorias circulares. Un ejemplo de aplicación son los módulos de interfaz de salida de variables analógicas de un procesador digital.

### 6. Memorias asociativas

Finalmente se describen las dos formas principales de implementar una memoria asociativa, que son mediante una memoria de acceso aleatorio con un comparador por cada posición y con un único comparador. Este tipo de memoria se utiliza para implementar la memoria oculta (*Cache*) de los procesadores de arquitectura Von Neumann.



**Tabla 3.** Clasificación de las memorias de acceso aleatorio activas de escritura y lectura no simultáneas.



**Tabla 4.** Clasificación de las memorias de acceso aleatorio pasivas.

## 7. Conclusiones

La gran complejidad alcanzada por las memorias digitales de semiconductores dificulta su aprendizaje. En esta comunicación se presenta un método original, desarrollado por los autores, que está basado en los mapas conceptuales y parte de los conceptos básicos para combinarlos de forma paulatina a fin de facilitar al lector la comprensión del funcionamiento de las diferentes memorias de semiconductores existentes en el mercado y sus aplicaciones.

## Referencias

- [1] J. E. Brewer, V. V. Zhirnov and J. A. Hutchby. *Memory technology for the post CMOS era. IEEE Circuits Devices Magazine*, vol. 21, no. 2, pp.13-20. 2005
- [2] K. Natori. *Emerging memory devices. Oyo Buturi*, vol. 70, no. 2, pp.192-200. 2001
- [3] B. Prince. *High performance memories. New architecture DRAMs and SRAMs evolution and*
- [4] Y. Choi et al. *16Mb synchronous DRAM with 125 Mbytes data rate, IEEE Journal of Solid State Circuits*, vol 29, no 4. April 1994.
- [5] Intel Corporation. *What is Flash memory?* Home page <http://www.intel.com>. November 2006.
- [6] Ramtron International Corporation. *FM24C256 Data sheets. 256Kb FRAM serial memory*. Home page <http://www.ramtron.com>. May 2005
- [7] E Mandado, Y. Mandado. *Sistemas electrónicos digitales. 9ª edición*. Marcombo. 2007 *function*. John Wiley & Sons. 1999