

# EL PROCESAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DEL FUTURO

## CÓMO LAS MAGNETORESISTENCIAS CON AISLANTES TOPOLÓGICOS PUEDEN REVOLUCIONAR EL MAÑANA.

Diego Medina

*Escuela de Ingeniería de Sistemas e  
Informática*

*Universidad Industrial de Santander*  
Bucaramanga, Colombia  
dfmb1098@gmail.com

Juan Mantilla

*Escuela de Ingeniería de Sistemas e  
Informática*

*Universidad Industrial de Santander*  
Bucaramanga, Colombia  
juan.mantilla7@correo.uis.edu.co

Edgar Montenegro

*Escuela de Ingeniería de Sistemas e  
informática*

*Universidad Industrial de Santander*  
Bucaramanga, Colombia  
edgarandres58@gmail.com

**Abstract**— Lately an extremely significant advance in memory and processing technology was accomplished by researchers at the University of Minnesota, based on MRAM including topological insulators, which can mark a milestone in computing, overcoming the barrier to its practical implementation and enabling exuberant alternatives of development in the areas of brain-like memory and computing. Here the achievement is exposed, besides what this achievement is about, what makes it relevant, what they refer to the approach to brain capacities, and the technological, social and economic consequences that can be seen in the short term because of this increase in the capacities of computation and storage.

**Keywords**—MRAM, USMR, magnetoresistance, topological insulators, brain-like computing, brain-like memory.

**Resumen**— Actualmente se produjo un avance extremadamente significativo en la tecnología de memoria y procesamiento por parte de investigadores de la Universidad de Minnesota, en base a la MRAM incluyendo aislantes topológicos, que puede marcar un giro en la computación, superando la barrera para su implementación práctica y posibilitando exuberantes alternativas de desarrollo en las áreas de memoria y computación de tipo cerebral. Aquí se expone este logro, además de qué se trata este mismo, lo que lo hace relevante, a qué se refieren con el acercamiento a las capacidades cerebrales, y las consecuencias tecnológicas, sociales y económicas que pueden verse a corto plazo debido

a este incremento en las capacidades de cómputo y almacenamiento.

**Palabras clave**—MRAM, USMR, magnetoresistencia, aislantes topológicos, computación de tipo cerebral, almacenamiento de tipo cerebral.

### I. INTRODUCCIÓN

Hoy día se ve por los medios como van evolucionando las capacidades actuales de las máquinas inteligentes de soportar mayor capacidad de procesamiento y memoria, los resultados muestran como los dispositivos modernos superan a sus predecesores en todos los aspectos en cuanto a complejidad hardware como en diseño software, este hecho ha venido generando que las máquinas pueden solucionar diversos problemas computacionales que antes no podían ya que no contaban con los requerimientos necesarios para realizar dichos procedimientos. Hoy en día es recurrente encontrar con una diversidad de tecnologías emergentes que suplen diferentes necesidades de almacenamiento; basadas fuertemente en la magnetoresistencia gigante y colosal o fundamentadas en semiconductores (SRAM).

En el presente apartado se muestra cómo una investigación reciente podría llegar a ser uno de los hechos o noticias más

importantes de la historia de la arquitectura de computadoras ya que ahora se estiman que las capacidades de memoria y procesamiento se expandirán todavía mucho más en un futuro próximo, donde las computadoras podrán realizar más trabajos con la ventaja de un aumento de rendimiento consumiendo menor cantidad de energía.

## II. ESTADO DEL ARTE

Las magnetorresistencias poseen diversas características importantes, una de ellas corresponde al almacenamiento de datos en pequeños dispositivos. Esta tecnología se encuentra frecuentemente en dispositivos de almacenamiento como discos duros *HDD*, *iPods*, *Smartphones*, *memorias RAM*, etc. Los últimos avances con respecto a esta tecnología, es su bajo consumo energético, capacidad del almacenamiento considerable, tasas de transferencia más rápidas y densidad de datos más alta, se evidencia en la actualidad la aplicabilidad que tienen en los ordenadores con la integración de una variante denominada magnetorresistencia gigante (GRM) en el disco duro para la grabación de información de forma magnética, gracias a la magnetorresistencia gigante se pueden guardar los datos en el ordenador en forma de bit, el efecto del GRM se puede evidenciar en la siguiente figura donde los factores resistivos dependen del campo magnético y del spin de las carga.

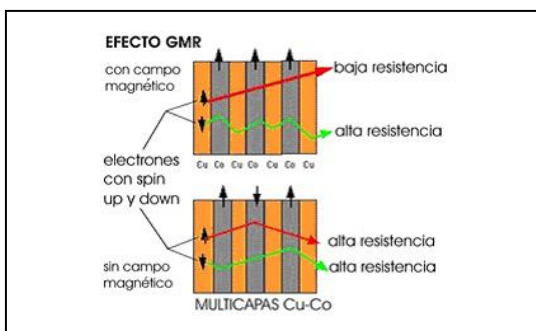


Figura 1. Esquema de magnetorresistencia gigante

En 1988 investigadores del grupo del físico francés A. Fert intentaron entender cuestiones fundamentales sobre el transporte electrónico, y en consecuencia de sus investigaciones puso en evidencia el efecto conocido como la magnetorresistencia gigante (GRM). Este efecto se observa en la conducción electrónica de estructuras artificiales que alternan capas de materiales magnéticos con capas de metales no magnéticos. Este efecto gigante, que liga variaciones enormes de resistencia con pequeñas variaciones de campo magnético, fue lo que aprovecho en 1997 IBM para desarrollar pequeños cabezales de lectura de los discos rígidos, multiplicando por 100 la capacidad de guardar y leer información en medios magnético. Hoy

en día, todo disco rígido de más de 10 GB emplea cabezales basados en el efecto GMR.

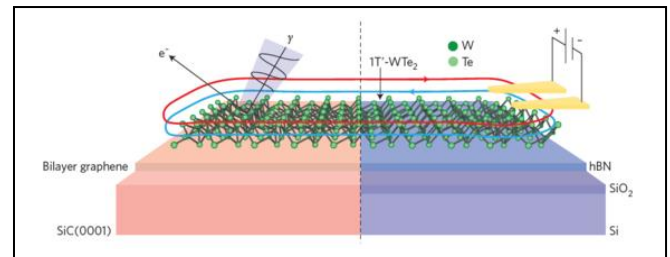


Figura 2. Esquema de aislante topológico CIC nano Gune

En enero del 2018 se publicó un descubrimiento que podría mejorar la memoria de tipo cerebral y la computación, en [1] se enuncia cómo investigadores de la Universidad de Minnesota en colaboración de investigadores de la universidad de Pensilvania demostraron la existencia de un nuevo tipo de magnetorresistencia involucrando aislantes topológicos, estos últimos tienen la característica de que actúan como un aislante en su interior, pero en su superficie son conductores, este material tiene un futuro prometedor en aplicaciones de la espintrónica, una rama de la electrónica que tiene como objetivo aprovechar el espín de los electrones como portador de información, este hecho puede llegar a ser de vital importancia ya que podríamos estar hablando de los primeros avances de computadores cuánticos dando como resultado la implementación de futuros nuevos algoritmos que anteriormente en el paradigma clásico no se podían implementar. La ventaja de aprovechar los spines de los electrones es por el hecho de que solo pueden tomar dos valores opuestos: *up* y *down* la diferencia entre dichos giros es que justamente determina las propiedades magnéticas de un material como en el níquel, cobalto, hierro y sus aleaciones; los dispositivos espintrónicos podrían transportar mayor cantidad de datos de manera más fluida con menor potencia y menor acumulación de calor.

Este hecho daría como resultado la mejora en el futuro de la computación y el almacenamiento computacional. La magnetorresistencia ha sido resultado exitoso en dispositivos cabezales de lectura de los discos duros, sensores de campo magnético, y en la actualidad se está catapultando con el surgimiento estrella en la tecnología de memoria, consistente en la Memoria de Acceso Aleatorio Magnetorresistiva (MRAM). Este descubrimiento puede servir como clave para la mejora del futuro de la computación de baja energía y memoria para la industria de semiconductores, incluyéndose asimismo la computación de tipo cerebral, memoria magnética 3D y chips para robots.

La MRAM se presenta como chips de estado sólido, que se encontrarían soldados en placas de circuitos en computadores o dispositivos móviles. Recientemente ha sido encontrado que un grupo de materiales denominados aislantes topológicos incrementan la eficiencia energética de escritura en las celdas de memoria de la MRAM en la parte electrónica. Esto cambia la geometría del dispositivo, de tal forma que se deriva necesario un fenómeno de magnetorresistencia nuevo para lograr la función de lectura de la celda de memoria dispuesta en un sistema y red en 3D. Siguiendo entonces en [2] el descubrimiento reciente de la Magnetorresistencia de Spin Unidireccional de Hall (USMR) en metales pesados y capas duales ferromagnéticas, y magnetorresistencia unidireccional en los aislantes topológicos magnéticos, se ha logrado reportar la observación de dicha magnetorresistencia unidireccional con su disposición geométrica en un dispositivo tecnológicamente relevante.

El estudio confirma la existencia de la magnetorresistencia unidireccional a la que se refiere y revela que la adopción de aislantes topológicos comparado con metales pesados dobla el rendimiento de la magnetorresistencia a 150 grados Kelvin, siendo tal que desde una perspectiva de aplicación se logra dar con lo necesario para crear un tipo de computación 3D involucrando aislantes topológicos que incorporen la funcionalidad de lectura.

Esta figura esquemática ilustra tanto el concepto como el comportamiento de la magnetorresistencia. Los spins son generados en los aislantes topológicos dispuestos. Aquellos en la interfaz entre aislantes topológicos y el ferromagneto, interactúan con el ferromagneto resultando así en una alta o baja resistencia en el dispositivo, dependiendo de las direcciones de magnetización relativas y spins. Crédito: College of Science & Engineering University of Minnesota. [1]

Los magnetorresistores colosales son tipos de magnetorresistores con inducción magnética más significativa, en ellos se presenta una fuerte relación entre las propiedades magnéticas y eléctricas. Un ejemplo de estos es la perovskita de manganeso de valencia mixta, los pirocloros o dobles perovskitas. La resistencia en estos materiales cambia debido a la transición metal-aislante [10].

A diferencia de las memorias basadas en semiconductores, como las memorias *SRAM*, las memorias magnetorresistores no necesitan la aplicación constante de corriente para mantener el estado de memoria, sino que su funcionamiento es más elegante y presenta un menor desgaste en los componentes internos de las celdas de memoria, dando así un tiempo de vida útil mucho mayor.

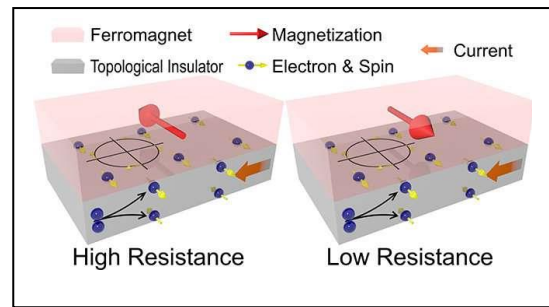


Figura 3. Concepto ilustrado del comportamiento de magnetorresistores

### III. MARCO TEÓRICO

A partir de la década de los 90, los microprocesadores o procesadores convencionales han sufrido, hasta la fecha, uno de los avances más importantes en la computación. Mientras que los CPU's mejoraron sus tasas de transferencia y procesamiento, las memorias RAM quedaron rezagadas a una tasa de transferencia mucho menor, haciéndose notoria la diferencia de velocidad de comunicación con el procesador. La industria optó por aumentar el consumo de las memorias RAM para así evitar cuellos de botellas que afectarían considerablemente el rendimiento general del computador o incluso mermar el uso de energía para mantener un consumo óptimo.

Los magnetorresistores son materiales que, ya sea por aleaciones o diferentes compuestos químicos ideados, varían su resistencia debido a la presencia de un campo magnético externo. El efecto de las partículas portadores de carga no solo determina ciertos factores como la fuerza o al momento a las que están sometidas, sino que también determinan el giro o Espín, que tiene cierta aplicación en dispositivos magnéticos, tal propiedad a llevado a cabo el desarrollo en ciencias de espintrónica. Una de estas aplicaciones se ve reflejada en la industria de las magnetorresistencias gigantes que se aplica a los dispositivos electrónicos modernos almacenando datos como en los ordenados: Cuando se almacena la información en la memoria central, esta se lleva a cabo grabando los bits como un imán. Es conocido que existen posibles estados del electrón, *espín mayoritario (espín hacia arriba)* y *espín minoritario (espín hacia abajo)* que determinan el flujo de una corriente e incluso diferentes propiedades conductivas de los materiales ferromagnéticos.

Generalmente los materiales ferromagnéticos son dopados con diferentes compuestos o elementos para potenciar características propias de los magnetorresistores (impurezas y aleaciones ternarias). Este tipo de aplicaciones conllevaron a que las capacidades de los magnetorresistores fueran de importancia en la

instrumentación y densidad de almacenamiento de los discos duros. Durante 1997 la implementación de magnetorresistores fue de gran importancia en los cabezales de los discos duros, a causa de que éstos necesitaban detectar pequeños campos magnéticos en los platos magnéticos cercanos.

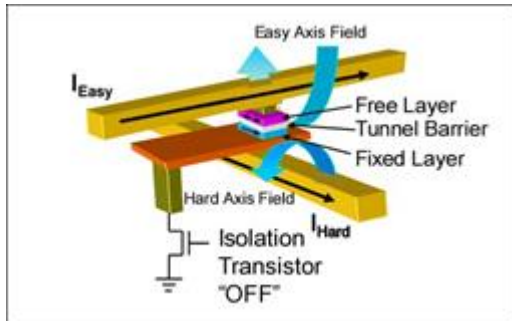


Figura 4. Esquema simplificado de una celda MRAM

En [3] se encuentra una muestra de fundamentación teórica al respecto, el giro de un electrón es una propiedad intrínseca, como la masa y la carga. Es una forma de momento angular; podemos imaginarlo como si el electrón estuviera realmente girando y su dirección del eje de rotación es el "giro" de ese electrón (como el Norte de la Tierra es el giro de la Tierra). Cuando una cantidad suficiente de electrones con giros que apuntan en la misma dirección interactúan con la capa magnética, la magnetización se rotará en la dirección de los giros. Así es como una nueva información se escribe eléctricamente y se almacena magnéticamente.

El MRAM, tal como está actualmente, no es energéticamente eficiente cuando se trata de escribir a ciertas velocidades, y se deben idear formas más eficientes de generar electrones de spin polarizado. Los materiales de TI son prometedores para resolver este problema y la investigación colaborativa realizada por científicos de la Universidad de Minnesota y la Universidad Estatal de Pensilvania es una respuesta. Su descubrimiento de la existencia de magnetorresistencia en las estructuras bicapa de TI-ferromagnet apunta a la posibilidad de una MRAM que no solo puede lograr su funcionalidad de lectura completa, sino también proporcionar el beneficio energético ofrecido por los aislantes topológicos.

Este descubrimiento proporciona las condiciones de viabilidad para la implementación de dispositivos que cuenten con una geometría y arquitectura en 3D para almacenamiento como la MRAM, siendo tal abre las puertas por completo al incremento significativo de las capacidades tanto de procesamiento como de memoria, manteniendo un uso de energía bajo, que le permite a la

industria de los semiconductores la puesta en práctica de chips para robots, la memoria magnética en 3D ya mencionada y la computación de tipo cerebral.

Como se dispone en [4], para toda mejora en tecnología computacional, ha sido la principal preocupación y reto recrear la baja energía, elegante forma de procesar del cerebro humano. Dentro de este reto es importante desarrollar un avance para que los computadores puedan imitar una parte del eficiente diseño del cerebro: una versión artificial en la que las neuronas se comunican, denominado sinapsis. Al integrar el procesamiento y la memoria, de tal forma que le mismo procesamiento cree la memoria, se emula un mecanismo que proporciona significativo ahorro de energía sobre la computación tradicional, que involucra el procesamiento de información separado para luego guardarlo en la memoria.

Como se muestra en [5], la sinapsis artificial puede ser clave para la computación de tipo cerebral. Contando con un diseño de bajo consumo energético aprende y memoriza a partir de señales eléctricas, siendo que hasta la actualidad estos dos procesos no se lograban llevar a cabo simultáneamente, pero con este desarrollo se empezaron a manejar al mismo instante. Con tan sólo cargar y recargar la sinapsis a voltajes específicos se programa, y muestra el carácter prometedor de ser mucho más eficiente en términos de consumo energético que los acercamientos convencionales a la computación de tipo cerebral.

Dado que la finalidad máxima es crear redes neuronales que exhiban cada vez más propiedades de sus equivalentes biológicos, el acercamiento de las capacidades de procesamiento y memoria a las capacidades del cerebro significa un replanteamiento del impacto social, económico y tecnológico de la computación, dado que cada vez que se incrementan sustancialmente estas capacidades se produce una revolución en el *statu quo*, cada cambio o mejora tecnológica que se hace accesible a las personas, produce un cambio en el trabajo, en el estilo de vida y en la percepción general de la sociedad.

Así como la máquina de vapor impulsó la revolución industrial [5], o las nuevas energías del gas, petróleo y electricidad junto a nuevos materiales de transporte (avión y automóvil) y comunicación (teléfono y radio) introdujeron transformaciones en cadena que afectaron al factor trabajo y el sistema científico y educativo; al tamaño y gestión de las empresas, la forma de organización del trabajo, el consumo e incluso la política, impulsando la segunda revolución industrial [6], un cambio sustancial en las capacidades de procesamiento y memoria que acerquen a las máquinas y dispositivos a las capacidades que tiene el cerebro, implica cambios drásticos, dada la enorme

expansión que permite a campos como la inteligencia artificial, entre otros, que en este momento son determinantes en la percepción del mundo actual, de la tecnología, sus regulaciones y cómo se desarrollan muchos procesos organizacionales, hasta en procesos sumamente humanos, tales como la revisión de hojas de vida, posibles candidatos y contratación de personal.

Es crucial acotar que cada vez que nos volvemos más eficientes y eficaces al producir bienes y servicios, menos personas deben implicarse en tareas que resultan siendo obsoletas, o se reemplaza la mano de obra por máquinas y sistemas especializados. Esto ha causado un paulatino y perpetuo proceso de migración por parte de la población hacia otras tareas que no puedan ser automatizadas o involucren elementos que no se han podido conseguir emular en máquinas, tales como la creatividad y habilidades blandas, tales como comunicación y relaciones públicas. Por ejemplo, en [7] se trata el avance tecnológico desarrollado por la empresa Google al respecto de uno de sus productos estrellas: Google Assistant. Consiste en una inteligencia artificial que ahora ofrece la funcionalidad de autónomamente realizar llamadas telefónicas, interactuar con aquel que conteste, y agendar citas y demás servicios, de tal forma que realiza importantes avances en romper el test de Turing para el comportamiento inteligente de una máquina [8].

Enormes consecuencias sociales conllevan este tipo de avances como, por ejemplo, publicaciones en periódicos de talla mundial como The Guardian, que en [9] plantea el problema de la automatización de procesos y traslado del trabajo perteneciente a mano de obra hacia maquinaria cada vez más sofisticada, puede conllevar en muchos trabajos perdidos. Los grandes cambios como estos deben darse gradualmente para no causar demasiada inestabilidad o colapso en la sociedad, y un cambio demasiado brusco puede dar un gran golpe a la economía, generando descontento social en auge que influirá directa o indirectamente en las decisiones políticas y regulaciones que se le haga a la industria de la tecnología.

Un caso de contraste con esto es la historia cubierta por el periódico New York Times, en [10] se sugiere como la decisión organizacional de Amazon de promover el despliegue de robots para automatizar y mejorar la eficiencia de los procesos necesarios para gestionar la demanda de servicios hacia este gigante internacional, causa que los trabajadores, en vez de perder su puesto, realicen una transición hacia nuevos roles organizacionales, tales como la supervisión y mantenimiento de dichos robots y solución de problemas. Siendo así, se permite a las personas avanzar a trabajos más mentalmente desafiantes, no repetitivas. Amazon cuenta

con más de 100.000 robots en acción alrededor del mundo, y dicha automatización permiten que la empresa opere a los costos que tiene y los costos que dan a los clientes.

Asimismo, una de las más destacadas figuras internacionales en el campo de la inteligencia artificial, Elon Musk, en su startup sin ánimo de lucro OpenAI logró a finales de 2017 desarrollar una inteligencia artificial que compitiera en el campo de los deportes electrónicos, específicamente el juego DotA 2 bastante más complicado que el ajedrez, riñéndose con los profesionales en este deporte, tales como Danil “Dendi” Ishutin, jugador profesional ucraniano considerado de los mejores del mundo, ganándoles y superándolos como se publica en [11]. Esta compañía ha influido como una voz significativa en la comunidad global de aprendizaje de máquinas, promoviendo su regulación para evitar impactos negativos en la sociedad.

La computación y memoria de tipo cerebral jugará un papel clave en una hipótesis relativa al campo de robótica y gráficos por computadora, el denominado “Valle Inquietante”. En [12] se explora este fenómeno y el progreso en la simulación realista de la apariencia, comportamiento e interacción humana. La Hipótesis del Valle Inquietante (UVH) postula que el uso del realismo antropomórfico en el diseño de personajes y objetos (tales como robot y prótesis, entre otros) podría tener un efecto contraproducente a la experiencia del usuario. En lugar de mejorar la experiencia subjetiva acerca del personaje u objeto, ciertos grados de mayor realismo pueden perturbar al observador e inducir un estado afectivo negativo. Este estado se encuentra entonces marcado por sentimientos de inquietud personal y sensación de extrañeza (también denominado efecto inquietante).

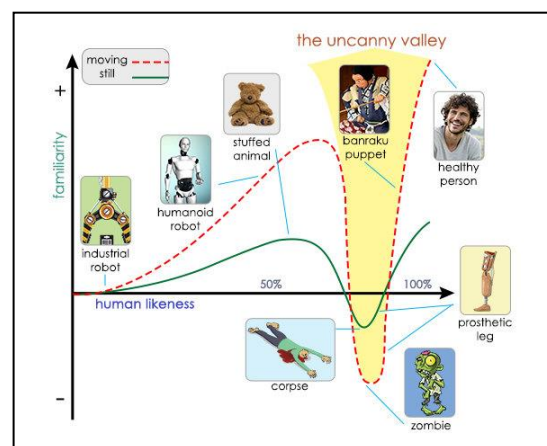


Figura 5. Gráfico de la hipótesis del valle inquietante: familiaridad vs aceptación humana



La UVH describe la experiencia afectiva y la relación entre esta y el realismo cercano al humano en términos simples. La simplicidad sirve bien para expresar la noción general de un potencial problema en el diseño antropomórfico. Estas y muchas otras consideraciones cobran especial importancia al desarrollarse un crecimiento en las capacidades de procesamiento y almacenamiento de tipo cerebral, de tal forma que con cada avance se desarrolla software que emula más fielmente el comportamiento humano, de tal forma que puede ubicarse en distintas partes de este hipotético “valle inquietante”, involucrando una experiencia negativa para el usuario, o con suficiente hiper realismo una posible familiaridad con dicho dispositivo o software, tales como los asistentes personales, simuladores de conversación con ordenador, entre otros.

#### IV. CONCLUSIONES

Es importante mencionar, que las diferentes investigaciones dedicadas al estudio de magnetorresistores han generado grandes avances con respecto a su descubrimiento en 1988 por Peter Grünberg. Estos avances han generado que los magnetorresistores tengan un bajo consumo de energía, como también tener una alta densidad de datos. Pero este tipo de dispositivos diferentes problemas en la práctica, ya que existe el suceso que al intentar magnetizar (inducir un bit en una celda) éste se genere induciendo campos magnéticos parásitos [9] e incluso que se induzca un bit erróneo. Las altas temperaturas que se puedan presentar en el ambiente donde se encuentre el dispositivo alcanzaría a corromper la magnetorresistencia estimulada.

Es muy probable que, en pocos años la implementación de este tipo de tecnologías, basadas en magnetorresistencia, abarquen diferentes sectores del consumo humano. Los diferentes sistemas de almacenamiento serán de mayor utilidad al permitir grandes cantidades de datos y su miniaturización será de provecho en terminales limitados por su tamaño o por su gasto energético.

Una de las características que tienen las computadoras hoy en día es que siempre se están aumentando sus capacidades de procesamiento interno. Esto las ha llevado a tener más demanda en los últimos años por las nuevas características que ahora tienen, pero puede surgir la pregunta de que, si algún momento estas capacidades tendrán algún fin, es decir ¿las computadoras están limitadas? La investigación de los magnetorresistores puede tener ciertos límites al tratar de miniaturizar aún más los componentes de las celdas magnetorresistoras, entra en conflicto con el principio de incertidumbre. En estos casos las medidas que se deberían tomar serían la

implementación de un nuevo paradigma provocando que surgieran postulados para nuevos modelos computacionales.

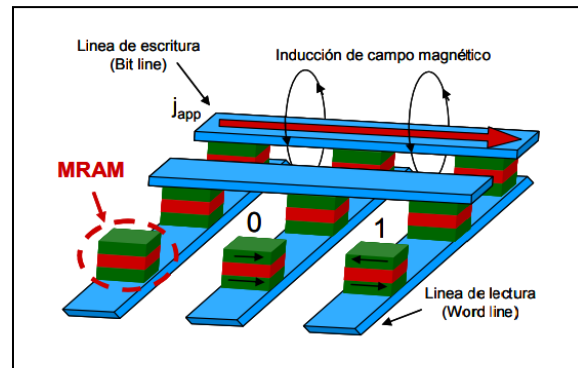


Figura 6. Conjunto de celdas y funcionamiento por campo magnético inducido

Cada vez nos acercamos a la forma en que el cerebro y los humanos realizamos las funciones de procesamiento y memoria, lo cuál se traduce en una variedad extensa de retos y campos de interés de carácter multidisciplinario, que se verán reflejados en la sociedad y el mercado, reafirmando la afirmación empírica de que lo que antes se creía imposible, en algún momento llega a ser realidad, y además, incluso normal, común y corriente. Así como antes se creía imposible volar para los humanos, y hoy tomar un vuelo es totalmente normal y socialmente cotidiano, en el futuro con las capacidades de procesamiento y memoria aumentando con cada descubrimiento de este tipo darán lugar a la realización y creación de cosas que en este momento se creen imposibles, mas sólo se requieren los suficientes avances científicos y aplicativos en distintos campos, gracias a la incesante e inmensa creatividad y curiosidad inherente a nuestra especie.

El incremento de las capacidades de procesamiento y memoria computacionales traerá grandes discusiones e impacto al sector social, económico, político y tecnológico, por lo que este descubrimiento, junto a otros que expanden las capacidades de computación e incluso sirven como base para el desarrollo de la computación cuántica [14] y pueden incluso superar las capacidades humanas de formas nunca antes vistas [10] se vuelve un eje con respecto a la preocupación de investigadores y sectores académicos cercanos a esta área, marcando la pauta de lo que en la actualidad influirá drásticamente el futuro de la Arquitectura de Computadores y el desarrollo de dispositivos y sistemas tanto de investigación, como de aplicación y producción masiva junto a su incorporación a la vida cotidiana de las personas por medio de la domótica, siendo así un área de interés sumamente interesante con gran importancia para la Ingeniería de Sistemas, en la cual hay mucho por investigar, y mucho por hacer.

## V. REFERENCIAS

- [1] R.Zurn, L.Nygaard (01/09/2018) “*New discovery could improve brain-like memory and computing*” [Online] <https://cse.umn.edu/news-release/new-discovery-improve-brain-like-memory-computing/>
- [2] (2018/01/10)“*New Kind of Magnetoresistance Has Implications for Semiconductor Industry*”[Online] <https://ece.umn.edu/new-kind-of-magnetoresistance-has-implications-for-semiconductor-industry/>
- [3] (2017/3/01) “*A step toward building a more brain-like computer*” [Online] <https://engineering.stanford.edu/magazine/article/step-toward-building-more-brain-computer>
- [4] “*Máquina de Vapor*” [Online] [https://es.wikipedia.org/wiki/Máquina\\_de\\_vapor](https://es.wikipedia.org/wiki/Máquina_de_vapor)
- [5] “*Segunda Revolución Industrial*” [Online] [https://es.wikipedia.org/wiki/Segunda\\_Revolución\\_Industrial](https://es.wikipedia.org/wiki/Segunda_Revolución_Industrial)
- [6] Chris Welch (2018/5/8) “*Google just gave a stunning demo of Assistant making an actual phone call*” [Online] <https://www.theverge.com/2018/5/8/17332070/google-assistant-makes-phone-call-demo-duplex-io-2018>
- [7] Lance Ulanoff “*Did Google Duplex just pass the Turing Test?*”[Online] <https://medium.com/@LanceUlanoff/did-google-duplex-just-pass-the-turing-test-ffcfe6868b02>
- [8] <https://www.theguardian.com/technology/2017/jan/11/robots-jobs-employees-artificial-intelligence>
- [9] Nick Winfield (2017/10/10) “*As Amazon Pushes Forward With Robots, Workers Find New Roles*” [Online] <https://www.nytimes.com/2017/09/10/technology/amazon-robots-workers.html>
- [10] T.C Sottek (2017/8/11) “*The world’s best Dota 2 players just got destroyed by a killer AI from Elon Musk’s startup*” [Online] <https://www.theverge.com/2017/8/11/16137388/dota-2-dendi-open-ai-elon-musk>
- [11] Z.He, Y.Zhang, S.Angizi, B.Gong, D.Fan “*Exploring A SOT-MRAM based In-Memory Computing for Data Processing*” pag 10 2017
- [12] (2017/7/11) “*Un aislante topológico con potencial en espintrónica*”[Online]<https://www.agenciasinc.es/Noticias/Un-aislante-topologico-con-potencial-en-espintronica>
- [13] Bradley N. Engel, Jason Allen Janesky “*Magnetoresistance random access memory*” 2003
- [14] “*Topological Insulators*” [Online] <https://arpes.stanford.edu/research/quantum-materials/topological-insulators>
- [15] Rajinder Gill “*Everything you always wanted to know about SDRAM (memory)*”[Online] <https://www.anandtech.com/show/3851/everything-you-always-wanted-to-know-about-sdram-memory-but-were-afraid-to-ask>
- [16] (2015/4/24)“*Magnetic RAM makes synaptic-like junction*” [Online]<http://nanotechweb.org/cws/article/tech/60960>
- [17] (2015/4/28)“*Human brain inspires computer memory*” [Online] <https://www.sciencedaily.com/releases/2015/04/150428081759.htm>
- [18] (2017/11/28)“*Key component to scale up quantum computing invented*”[Online]<https://sydney.edu.au/news-opinion/news/2017/11/28/key-component-for-quantum-computing-invented.html>
- [19] A. Cuthbertson (2017/29/11)“*Quantum computing breakthrough brings ultra-powerful machines closer to the real world*” [Online] <http://www.newsweek.com/quantum-computing-breakthrough-brings-ultra-powerful-machines-closer-725955>
- [20] Virginia Z. Ogozalek “*The Social Impacts of Computing: Computer Technology and the Graying of America*” Diciembre 1 1991
- [21] <http://microeconomicinsights.org/productivity-impact-new-technology-evidence-us-steel-industry/>