



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Contaduría y Administración

Prospección para la oportunidad de incursión en la industria de los sensores
inerciales tipo MEMS

Tesis
Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Gestión de la Tecnología

Presenta
Roberto Nava Jiménez

Santiago de Querétaro, SEPTIEMBRE 2016



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Contaduría y Administración
Maestría en Gestión de la Tecnología

PROSPECCIÓN PARA LA OPORTUNIDAD DE INCURSIÓN EN LA INDUSTRIA DE LOS
SENSORES INERCIALES TIPO MEMS

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Gestión de la Tecnología

Presenta:

Roberto Nava Jiménez

Dirigido por:

Dra. Clara Escamilla Santana

SINODALES

Dra. Clara Escamilla Santana
Presidente


Firma

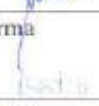
Dr. Rodrigo Valencia Pérez
Secretario


Firma

Dr. León Martín Cabello Cervantes
Vocal


Firma


Dr. Juan Manuel Peña Aguilar
Suplente


Firma

Dr. Enrique Leonardo Kato Vidal
Suplente


Firma


Dr. Arturo Castañeda Olalde
Director de la Facultad de Contaduría y
Administración


Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Santiago de Querétaro
Septiembre / 2016
México

RESUMEN

La tecnología de orden disruptivo con el nombre de Sistemas Micro electromecánicos *Micro electromechanical Systems (MEMS)*, tiene una penetración sobresaliente en diversos sectores de acuerdo al producto donde este aplicada como tecnología habilitadora. ¿Cómo determinar el potencial de consumidores de los sensores inerciales tipo *MEMS* a través de la introducción de un producto nuevo en el mercado? Para dar respuesta a la pregunta fundamental de esta investigación se ha identificado que es de especial atención el atractivo en la demanda futura que puedan tener los sensores inerciales tipo *MEMS* concretamente en productos del sector de consumo de orden electrónico y más específicamente en el reloj inteligente como la apuesta más vanguardista de la tecnología que se lleva puesta. Este trabajo de tesis propone el uso del modelo de Bass como herramienta para calcular el grado de difusión-adopción y con ello de manera indirecta determinar de qué magnitud sería el mercado potencial a lo largo del tiempo en diferentes países para su comparativa, lo que permitirá la elaboración de estrategias de marketing y pronósticos de acuerdo al efecto innovación vs imitación. Como complemento de los resultados anteriores es pertinente hacer una aproximación sobre qué tendencias influirán para el éxito a la introducción de un producto al mercado bajo estas dos tecnologías, para ello se empleó como herramienta la matriz de impactos cruzados de multiplicación aplicada a una clasificación (MICMAC), en donde se identificó la tipología en el grado de influencia-dependencia de estas, lo que arrojó una visión precisa en su orden de importancia lo que permite poner atención a su evolución al tomador de decisiones de tipo estratégico.

(Palabras clave: Modelo de Bass, matriz MICMAC, tecnología disruptiva, tecnología habilitadora, *MEMS*, prospectiva)

SUMMARY

Micro electromechanical systems (MEMS) as disruptive technology have outstanding penetration in different sectors, according to the product to which they are applied as an enabling technology. How can the inertial MEMS sensors consumer potential be determined through the introduction of a new product into the market? In order to answer the fundamental question of this study, the future demand of inertial MEMS sensors on specific products for the consumer sector oriented to electronics, and specifically on the smart watch as the product leader of the wearable technology, has been identified. This thesis proposes the use of the Bass model as a tool to calculate the degree of diffusion-adoption and thereby to indirectly determine the market size over time in different countries for comparison. This will make possible the development of marketing strategies and forecasts, in accordance with innovation vs imitation. To complement these results it is pertinent to make an approximation of what trends will influence the success of the introduction of a product on the market using these two technologies. The tool used was matrix cross reference multiplication applied to a classification (MICMAC), where the typology of variable relationship was identified by the degree of influence- dependence, yielding an accurate view of their order of importance, thus permitting attention to be paid to their evolution in order to define strategic actions to the decision maker.

(Key words: Bass model, matrix MICMAC, disruptive technology, enabling technology, MEMS, prospective)

DEDICATORIAS

A Dios Todopoderoso por haberme dado la existencia y permitido llegar al final de esta etapa en mi vida.

A mi esposa Aurelia y mi hijo Carlos Eduardo por su constante e invaluable apoyo para la consecución en la realización de esta meta.

A mis padres Salvador y Margarita por haber sembrado en mi la entereza y fortaleza para hacer frente a los retos en la vida para llevarlos a cabo, sabiendo afrontar las vicisitudes que uno encuentre a lo largo del camino

AGRADECIMIENTOS

Agradecer profundamente a mi casa de estudios, la Universidad Autónoma de Querétaro a través de la Facultad de Contaduría y Administración que hicieron posible la realización de este proyecto, parte fundamental de mi realización profesional.

A mi tutora de tesis, la Dra. Clara Escamilla Santana, quien me ha orientado e impulsado en todo momento en la realización de este proyecto que enmarca un paso por demás importante en mi desarrollo personal y profesional.

A mi lugar de trabajo CIDESI, por brindarme la oportunidad de haber realizado el posgrado para mi mejor desempeño acorde a las funciones y responsabilidades de orden gerencial aplicado a proyectos en desarrollo tecnológico e innovación.

“La gratitud da sentido a nuestro pasado, trae paz al presente y crea una visión para el mañana”. Anónimo.

ÍNDICE

	Página
Resumen	iii
Summary	iv
Dedicatorias	v
Agradecimientos	vi
Índice	vii
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
1. INTRODUCCION	1
2. MARCO TEORICO	3
2.1. Tecnología disruptiva	3
2.1.1. <i>Definición y conceptos generales</i>	4
2.1.2. <i>Tecnología MEMS</i>	6
2.1.3. <i>Sensores de tipo inercial MEMS</i>	10
2.1.4. <i>Acelerómetros</i>	11
2.1.5. <i>Giroscopios</i>	12
2.2. Impacto de la tecnología <i>MEMS</i> de tipo inercial	15
2.2.1. <i>Dimensión de valor</i>	19
2.2.2. <i>Mercado industrial de tipo automotriz, militar y aeroespacial</i>	21

2.2.3.	<i>Mercado de electrónicos de consumo y dispositivos móviles.</i>	22
2.2.4.	<i>Tecnología que se lleva puesta</i>	23
2.3.	Prospección tecnológica	25
2.3.1.	<i>Estimación de la demanda de un nuevo producto</i>	26
2.3.2.	<i>Mapa tecnológico y oportunidad de mercado</i>	27
2.3.3.	<i>Drivers tecnológicos y comerciales</i>	28
3.	ASPECTO METODOLOGICO	31
3.1.	Prospección para la difusión y ventas de nuevos productos	31
3.1.1.	<i>Modelo matemático de Bass</i>	33
3.2.	Prospección mediante identificación de <i>drivers</i>	36
3.2.1.	<i>Matriz de decisiones</i>	38
4.	CASO DE ESTUDIO	41
4.1.	Metodología	41
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
	CONCLUSIONES	56
	REFERENCIAS	61
	APÉNDICE A - ABREVIATURAS	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
2.1. Resumen de las tecnologías para Giroscopios	13
4.1. Parámetros para uso del modelo de Bass	42
4.2. Variables del sistema MEMS y tecnología que se lleva puesta	44
4.3. Interrelación y ponderación de las variables	46
5.1. Cuadrante superior izquierdo	52
5.2. Cuadrante superior derecho	53
5.3. Cuadrante inferior derecho	53
5.4. Cuadrante inferior izquierdo	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
2.1. Ciclo de una mega tendencia tecnológica o tecnología disruptiva	5
2.2. DENSO Micro-carro escala real 1/1000	7
2.3. MEMS: La siguiente etapa en la evolución de la información	8
2.4. Pronóstico en la distribución de aplicaciones tipo MEMS	9
2.5. Movimientos de un objeto y representación en un MEMS	15
2.6. Línea de tiempo para tecnologías de producto MEMS	16
2.7. Evolución de la cámara fotográfica con tecnología MEMS	18
2.8. Componentes del ESC en un automóvil	18
2.9. CAGR del mercado para MEMS	19
2.10. CAGR productos principales MEMS tipo inercial	20
2.11. MEMS en productos electrónicos que se llevan puestos	24
2.12. De izquierda a derecha, reloj inteligente de Sony, Nissan y Qualcomm	24
2.13. Matriz de oportunidades	28
3.1. Patrón de adopción de un producto en el segmento objetivo	32
3.2. Modelo de Bass, diferentes niveles de innovación (p) y de imitación (q)	35
3.3. Tendencia de que el mercado adopte el producto en el tiempo preciso t	36
3.4. Matriz MICMAC.	37
5.1. Curvas de difusión para la adopción del reloj inteligente en México	47
5.2. Curvas de difusión para la adopción del reloj inteligente en Brasil	48
5.3. Curvas de difusión para la adopción del reloj inteligente en España	49
5.4. Curvas de difusión para la adopción del reloj inteligente en EE. UU.	49
5.5. Ciclo de adopción de la innovación	51

5.6. Plano de influencia y dependencia del estudio	52
5.7. Relación entre variables	54

1. INTRODUCCION

El avance en paralelo que han tenido la mecánica y la electrónica, ha creado una nueva tecnología conocida como de micro maquinado, lo que ha permitido hacer diseño y fabricación de estructuras eléctricas y mecánicas bajo el nombre de Sistemas Micro electromecánicos *Microelectromechanical Systems (MEMS)*. Este acelerado desarrollo en el campo de los *MEMS* es comparable al progreso en microelectrónica de hace treinta años, el cual fructifico en el desarrollo de modernos microprocesadores de alta potencia y computadoras ultrarrápidas, es por ello que esta tecnología se ha estado convirtiendo rápidamente en una de las tecnologías más promisorias, con un potencial aparentemente ilimitado para dominar los desarrollo tecnológicos futuros. Por lo que los Sistemas Micro electromecánicos están ganando gran aceptación como productos viables para las muchas aplicaciones de orden industrial y comercial. Actualmente de forma incipiente se están usando en el sector del automóvil, telecomunicaciones, aplicaciones biomédicas, domótica, medio ambiente, gestión energética, entre otras.

En este trabajo se presenta una revisión del estado del arte en *MEMS*, las diversas aplicaciones de esta tecnología así como sus áreas de oportunidad comercial futuras. Es en este rubro, donde es de interés hacer un estudio prospectivo del grado de demanda que puede presentar concretamente los sensores inerciales tipo *MEMS* a partir de la tendencia en la difusión-adopción de un producto que la emplee como tecnología habilitadora. Este producto pertenece a uno de los sectores más atractivos y con mayor potencial para hacer negocios, el de consumo, orientado a las aplicaciones de orden electrónico bajo la tecnología que se lleva puesta.

La otra vertiente que complementa este análisis prospectivo lleva a la identificación de las variables clave en relación a las dos tecnologías como sistema, es decir que tendencias son aquéllas que permiten una integración de los sensores inerciales tipo *MEMS* y la tecnología que se lleva puesta para lanzar nuevos productos al mercado.

Con la aplicación de dos herramientas, el modelo de Bass y la matriz de impactos cruzados se busca dar respuesta sobre cómo son las aproximaciones en las tendencias de adopción del producto en diferentes países para su comparativa y cuáles serán las fuerzas impulsoras a monitorear en cuanto a una aproximación de su evolución futura, lo que permita reconocer que influye en realidad para que un producto sea viable tecnológicamente y comercialmente.

2. MARCO TEORICO

2.1. Tecnología disruptiva

El arranque de toda nueva tecnología se caracteriza por ser gradual, abriéndose paso a través de prácticas de investigación más desarrollo más innovación (I+D+i) con sus correspondientes ensayos y errores, educación mediante estrategias de mercadotecnia y publicidad al grupo meta de individuos a quién vaya dirigido la nueva innovación resultante de esta y la construcción sólida de su permanencia a través de un sistema de manufactura y cadena de valor que permita la producción en serie requerida por la demanda que genere. Desde el automóvil hasta la lavadora y el celular, las nuevas tecnologías requieren de tiempo para madurar y crecer en la generación de las ideas, teorías, definición de conceptos, métodos de prueba, diversos prototipos de prueba de orden alfa, beta y gama, muchas de ellas, quizás la mayoría, fracasan en este ciclo evolutivo. Considérese como ejemplos a los localizadores y casetes de ocho pistas, estos desarrollos fungieron de guía o base como tecnología intermedia permaneciendo limitadas en cuanto a ejecución más no en cuanto al concepto. La gente deseaba comunicación móvil y música portable, a esta tecnología de los celulares y el *walkman* le tomo cierto tiempo de maduración para llegar al concepto ideal requerido; este proceso se ve acelerado de forma recurrente cuando una tecnología irrumpe comercialmente, existiendo adopción por la sociedad con procesos exitosos de aumento en la utilidad y en respuesta a una disminución en el costo de producción gracias a la capacidad de manufactura, por ende también la línea de adopción por parte de las distintas clases de consumidores en el tiempo se ve rápidamente insertada, esto da pie a que explote el consumo por parte del mercado, pero para llegar a esta fase la tecnología

habrá de sortear una serie de periodos para cumplir o evolucionar en su ciclo de vigencia comercial.

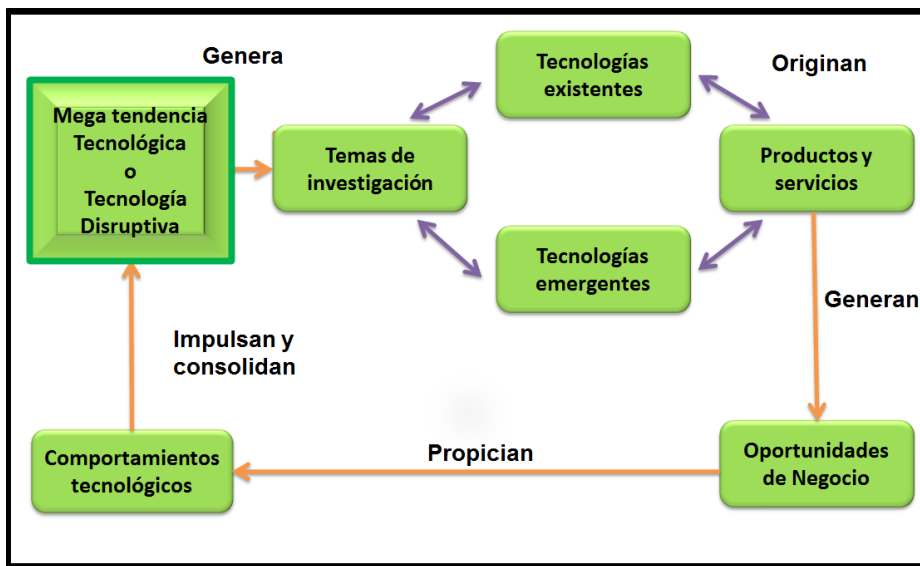
2.1.1. Definición y conceptos generales

Ehrfeld & Ehrfeld (2001), describieron el término dinámica o fuerza de cambio, conocido hoy en día como mega tendencia como aquel concepto que agrupa las grandes transformaciones en el sentir de las gentes y sus interpretaciones sobre el mundo en que habitan, propiciadas por las nuevas tecnologías y avances tecnológicos en general. Se menciona a continuación algunas de ellas consideradas como de gran importancia en los siguientes años por venir: sistemas ópticos, biotecnología agrícola y médica, cómputo de alto rendimiento e inteligencia artificial, nuevas tecnologías energéticas, *MEMS* y nanotecnología; enfocadas a reducir el costo del cuidado de la salud, la calidad de la información en tiempo real, sistemas de movilidad mediante transporte inteligente, todas ellas contribuyendo a un desarrollo sostenible que busque satisfacer las necesidades de crecimiento actuales sin comprometer las de las generaciones futuras. Cuando una de ellas ofrece la oportunidad de generar nuevas industrias o progreso mediante la penetración en las existentes que pueda dar origen al desarrollo de aplicaciones que posibiliten un amplio espectro de creación e introducción de productos, sistemas y servicios dramáticamente más económicos, además, de ser mejores y más convenientes se estará ante el fenómeno conocido como tecnología disruptiva o mega tendencia tecnológica.

Como se aprecia en la figura 2.1. los temas de investigación son áreas donde se está incrementando el conocimiento básico y las tecnologías derivadas de la mega tendencia tecnológica o tecnología disruptiva, el uso de las tecnologías existentes se incrementa y

profundiza pudiendo evolucionar hacia nuevos productos y servicios, las tecnologías emergentes son nuevas tecnologías que están siendo desarrolladas y que pueden generar también productos y servicios; estos son el resultado de aplicaciones que responden a las innovaciones tecnológicas con un alto grado de factibilidad y alineados a la estructura económica así como los nuevos mercados, lo que representa las oportunidades de negocio; los comportamientos tecnológicos son resultados de la mega tendencia tecnológica o tecnología disruptiva percibidos por la sociedad afectando sus valores, actividades y preferencias con su correspondiente retroalimentación, lo que incrementa el efecto de la misma.

Figura 2.1. Ciclo de una mega tendencia tecnológica o tecnología disruptiva



Fuente: Elaboración propia. Adaptado de proyecto ITESM-FEMSA (2009, p.20)

Se concluye que este fenómeno puede ser tanto una nueva combinación de tecnologías existentes o nuevas tecnologías cuya aplicación en áreas de problemática o de nuevos retos comerciales puedan generar un cambio de paradigma en productos de un orden tecnológico mayor, reescribiendo las reglas del juego. Naisbitt & Aburdene (1990)

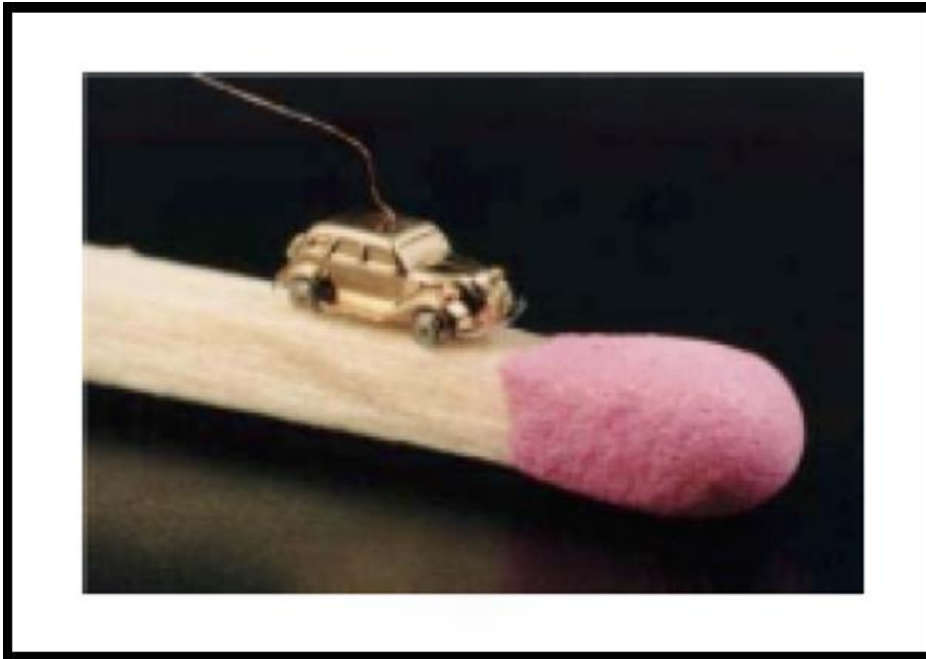
postularon esta manifestación como aquéllas grandes fuerzas en el desarrollo humano y tecnológico que afectarán el futuro en todas las áreas de la actividad humana, en un horizonte de diez a quince años.

2.1.2. Tecnología MEMS

La fascinación por un mundo miniaturizado ha sido la constante en la investigación realizada por la física, biología e ingeniería, muchos científicos comparten un gran interés en tecnologías que lo lleven a cabo, así como de aquéllas avocadas al estudio del comportamiento de materiales y estructuras en el rango micro y nanométrico. La investigación a este nivel es crucial para comprender como funcionan las cosas y este conocimiento puede ser empleado para crear micro-estructuras y dispositivos novedosos, en consecuencia ofreciendo las herramientas y componentes necesarios para llevar a cabo aplicaciones de gran impacto social mediante la tecnología de microsistemas *MST* como aquéllas tecnologías de miniaturización de componentes basados en silicio; traduciéndose estas en el manejo de propiedades físicas y características de los materiales hacia estructuras y dispositivos. Prime Faraday Technology Watch (2002), asevera que la tecnología *MEMS* no es acerca de la miniaturización, es una tecnología que basa sus principios en aspectos de fabricación empleados para crear la integración de micro-dispositivos y sistemas, usando técnicas de fabricación masiva empleadas para circuitos integrados.

El concepto de miniaturización no trata solo en disminuir dispositivos actuales, cómo el micro carro fabricado usando la tecnología *MEMS* se trata de reformular la estructura misma de este microsistema (Figura 2.2.).

Figura 2.2. DENSO Micro-carro escala real 1/1000

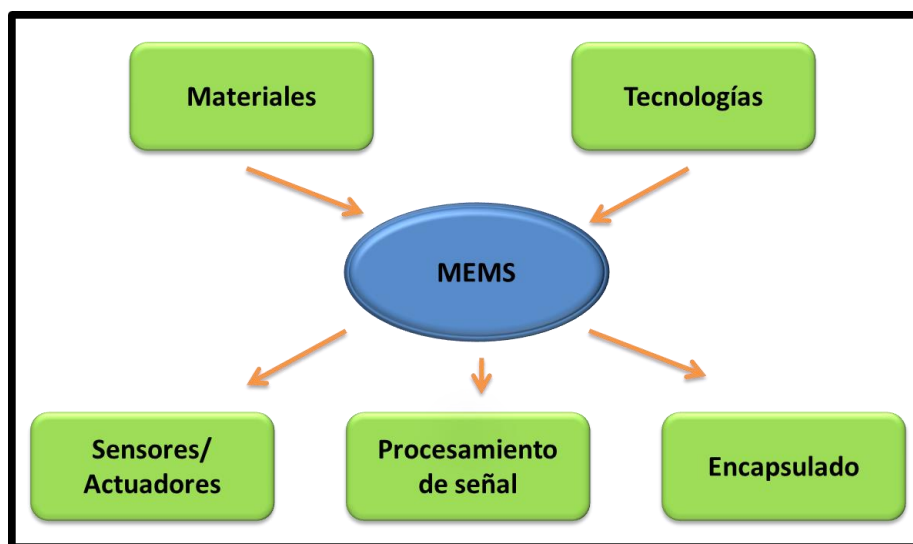


Fuente: Prime Faraday Technology Watch Report (2002, p. 16)

Baltes, Brand, Fedder, Hierold, Korvink, & Tabata (2004), aseveraron en el contexto de la *MST*, que es generalmente referida a todo aquel esfuerzo de diseño, práctica y fabricación, encaminados a la combinación de funciones electrónicas en conjunto con mecánicas, ópticas, térmicas y otras; empleando la miniaturización para obtener alta complejidad de funciones, en un pequeño espacio. Los microsistemas por consiguiente son máquinas inteligentes a nivel micrométrico que combinan sensores y actuadores, estructuras mecánicas y electrónicas para recoger información del medio y responder a ello. Estos sistemas diminutos estarán en muchos productos y tendrán un alto impacto positivo en la forma en que vivimos, jugamos y trabajamos. Existen diversos términos que son usados para describir este campo, los más ampliamente empleados provienen de tres áreas geográficas principales: en Europa, conocido como tecnología de microsistemas (*MST*); en Japón, designado como micro-máquinas (MM) y en Estados Unidos

llamado *MEMS*, este último término es el más adoptado (Figura 2.3.), siendo la resultante de combinar nuevos materiales con tecnología empleada para la generación de microprocesadores (adoptada para propósitos de producción en masa a bajo costo) y tecnologías de micro-maquinados para formar los tres bloques básicos de lo que se conoce como micro sistema: elementos de sensado/actuación, procesamiento de señal y encapsulado.

Figura 2.3. *MEMS*: La siguiente etapa en la evolución de la información

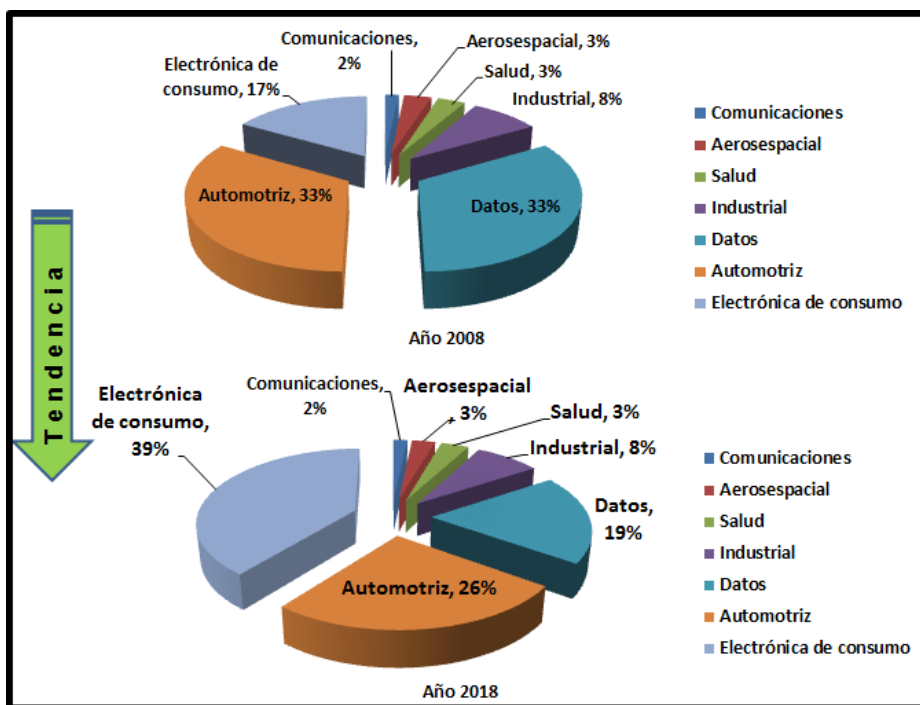


Fuente: Baltes et al. (2004, p.4)

Jacobson (2001) explicó como esta tecnología comenzó en los laboratorios nacionales de Sandia en California, donde el gobierno de Estados Unidos tenía la demanda de un sistema mecánico altamente robusto para activación o bloqueo a ser utilizado en la red de sus arsenales nucleares, temiendo que ante un primer ataque nuclear dicho arsenal quedara paralizado eliminando su poder disuasivo. Sin embargo una barrera crucial que se tenía que vencer para el despliegue de esta tecnología era la falta de información confiable para apoyar su empleo en una aplicación de orden tan

crítica, de ahí que se desarrollaron los esfuerzos que evidenciaran en aplicaciones donde un gran número de dispositivos con base en *MEMS* fueran vendidos y probados en el mundo real, y que cuyos resultados proporcionaran los datos requeridos para desplegar esta tecnología en aplicaciones militares. Otro de los laboratorios que es referencia como iniciador de los acelerómetros tipo *MEMS* son los laboratorios Draper en Massachusetts, empleándolos en el desarrollo de sistemas de guiado para misiles del ejército de Estados Unidos. Ganz (2001) escribió que el gobierno de Estados Unidos ha jugado un rol relevante en la investigación de orden aplicada para esta tecnología que como en la mayoría de las ocasiones su primer fin es, en relación con armamento para la defensa.

Figura 2.4. Pronóstico en la distribución de aplicaciones tipo *MEMS*



Fuente: Reporte IHS (2014, www.technology.ihs.com)

Actualmente se pronostica que las oportunidades de negocio están creciendo a un nivel donde la segmentación es posible y muchas industrias están floreciendo para

atenderlas; sin ser expertos en el campo de *MEMS*, estas industrias tienen la capacidad en el desarrollo de componentes específicos tales como: micro-conmutadores, dispositivos de radio frecuencia, sondas acústicas y de tipo médico. Es importante por ello identificar la proyección en cuanto a segmentos de aplicaciones que los *MEMS* tienen actualmente (Figura 2.4.), esta segmentación es en siete aplicaciones que son: comunicaciones, aeroespacial, salud, industrial, datos, automotriz y electrónica de consumo, siendo esta última de efecto sobresaliente en su crecimiento orientado a las aplicaciones de orden electrónico.

Chollet & Haobing (2015, p.13) subrayaron que uno de los dos aspectos que hacen atractivo al inversionista esta tecnología *será el efecto de catapultamiento, es decir, en promedio todo sistema basado en componentes MEMS tendrá ocho veces más valor que el de un chip tipo MEMS.*

2.1.3. Sensores de tipo inercial MEMS

A manera de definición, Kempe (2011), aseveró que un sensor inercial es un observador que se encuentra atrapado dentro de una caja completamente blindada y que esta tratando de determinar los cambios de posición de la caja con respecto a un sistema externo inercial de referencia.

Los sensores de tipo inercial analizan el comportamiento de fuerzas inerciales actuando sobre un determinado objeto para determinar su comportamiento dinámico, cuyos correspondientes parámetros básicos son la aceleración sobre un eje así como el cambio en el comportamiento de la posición angular. Fuerzas externas que actúen sobre un cuerpo causan una aceleración y/o cambio en su orientación (posición angular), mientras que la tasa de cambio en la posición angular en el tiempo es la velocidad

angular, estas son las capacidades que tienen los sensores de tipo inercial para detectar un cambio cuando un objeto se encuentra en estado de movimiento y convertir la fuerza inercial producida en una señal medible; en este sentido, Zotov, Rivers, Trusov, & Shkel (2011) describieron que al momento de ser combinados varios sensores de tipo inercial se pueden formar las *Inertial Measurement Unit (IMU)* para potenciar el sensado completo de movimiento de cualquier cuerpo cómo la oferta futura de sensado inercial bajo tecnología tipo *MEMS*.

2.1.4 Acelerómetros

El sensor de tipo inercial acelerómetro ha sido el dispositivo *MEMS* más empleado en los distintos campos de aplicación para este tipo de elemento, ya que ha destacado por su versatilidad de uso para su inclusión en diversos sistemas. Kempe (2011) menciona que no tuvo una penetración inicial importante en el mercado, debido muy probablemente a la carencia o ausencia de tecnologías en el desarrollo de interfaces electrónicas, tal es el caso, de una aplicación muy establecida de un interruptor de aceleración que necesitaba de interface muy simple de orden mecánico. Este interruptor de aceleración iniciaba una acción a un cierto nivel de aceleración, en la activación de un detonador en el uso de bombas durante la Primera Guerra Mundial. La primera aplicación comercial de espectro amplio de un acelerómetro se remonta al año 1920 en un puente de Wheatstone para la tensión-compresión de las resistencias, de ahí su empleo fue hacia galgas extensiométricas y posterior en el uso de transductores piezo-eléctricos y piezo-resistivos. Kraft (2000), señaló que estos transductores capturaban las fuerzas provocadas por un desplazamiento de una masa elástica dentro de la estructura del sensor, este principio gracias a la miniaturización y la alta robustez implementada en

este sensor, facilitó el camino para un amplio espectro de aplicaciones en la industria, transporte terrestre, aeroespacial, usos militares, sismología, ciencia, etc. Los principios de operación antes mencionados de estos transductores piezo-eléctricos y piezo-resistivos fueron la base para que este tipo de sensores entraran en el mundo de los *MEMS*, un mundo que como se ha mencionado anteriormente combina circuitos electrónicos, actuadores, sensores, elementos mecánicos a nivel micrométrico en un encapsulado o chip de silicio.

Las nuevas teorías mencionadas por Acar & Shkel (2003) destacan la investigación y desarrollo de aplicaciones de acelerómetros tipo *MEMS* que basaran sus principios en el comportamiento de transductores mediante cambios en la detección de capacitancias entre placas fijas y móviles, medición de frecuencia en dispositivos resonantes, estabilización de la corriente de túnel en un sistema de lazo cerrado, detección de cambios térmicos entre un calefactor y una placa de calor móvil así como la medición de la distribución térmica dentro de una burbuja de aire, gracias al mundo de las tecnologías de la micro-electrónica. Lo que permitirá desarrollar aplicaciones masivas económicas de los sensores inerciales para comercializar en la industria, automotriz, medica, bienes de consumo, etc.

2.1.5 Giroskopios

El segundo de los sensores inerciales principales, el giroscopio, ha evolucionado de complejos dispositivos mecánicos de más de 100 partes a dispositivos modernos de estado sólido con tecnología tipo *MEMS*, representando un impacto en el número de partes que lo integran a tan solo 3 partes por unidad (Tabla 2.1.).

Tabla 2.1.

Resumen de las tecnologías para Giroscopios

Tecnología de Giroscopio	DTG	RLG	FOG	MEMS
Año de introducción	1960's	1970's	1980's	1990's
Principio de operación	Fuerza de Coriolis (mecánico)	Efecto Sagnac (óptico)	Efecto Sagnac (óptico)	Fuerza de Coriolis (mecánico)
Número de partes	~70	~40	~30	3

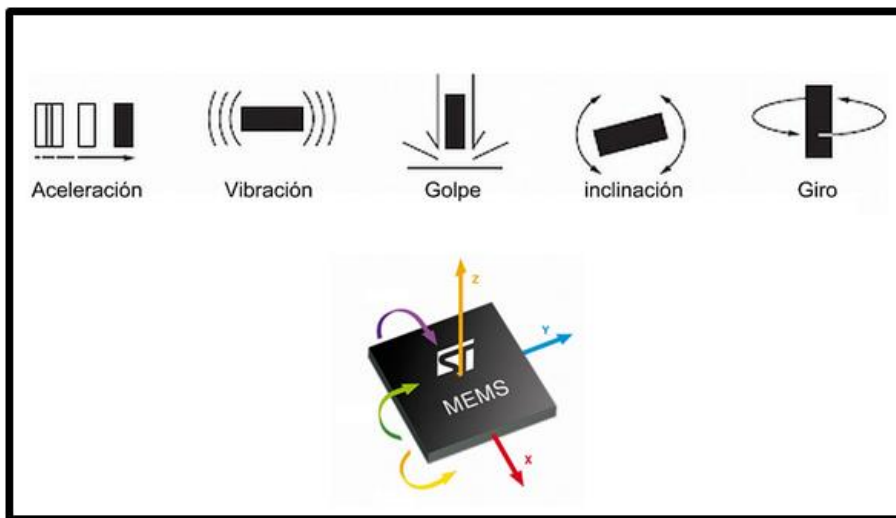
Fuente: Tronics, MEMS and Sensor Whitepaper Series (2013, p.4)

Los giroscopios inicialmente se emplearon principalmente en aplicaciones de orden militar en el guiado de misiles durante la Segunda Guerra Mundial. Los giroscopios tipo *MEMS* desde mediados de la década de los 90's, se fabrican de cuarzo y silicio, típicamente emplean la vibración de elementos mecánicos en lugar de masas giratorias que son empleadas en giroscopios convencionales. Yazdi, Ayazi, & Najafi (1998) mencionan que la medición está basada en el efecto Coriolis, el cual se usa para determinar la proporción de cambio de la rotación o medición de la velocidad angular en un objeto. Cuando el sistema gira, el elemento a su interior que vibra, experimenta el efecto de aceleración Coriolis, el cual genera una segunda vibración que es ortogonal a la vibración primaria la cual puede ser detectada por otros métodos. Woodman (2007), indica que esta configuración en la medición, emplea la forma de horquilla vibratoria o diapasón la cual está integrada por un par de masas que oscilan con igual amplitud pero en dirección opuesta. Esfandyari, De Nuccio, & Xu (2010), describen que cuando se da la rotación, la fuerza de Coriolis crea una pulsación que es ortogonal, la cual es medida por métodos tales como: el capacitivo, piezo-resistivo o piezo-eléctrico, mientras que la medición de la oscilación de las masas es mediante métodos electrostáticos, electromagnéticos o también piezo-eléctricos. Entre las aplicaciones que hoy en día

tienen los sensores *MEMS* de tipo inercial y sus características principales, Kraft & White (2013), citan las que miden vibraciones e inclinaciones de g's (gravedades) pequeñas, empleados en el sistema de frenos *Antilock Breaking System (ABS)* y en la suspensión electrónica controlada *Active Suspension*. Las de g's grandes que se emplean para la detección de colisiones que activan los sistemas de bolsas de aire *Air Bag Systems*, de esta última aplicación, su principio es que proporciona una señal eléctrica proporcional a la aceleración que experimenta el vehículo; así que, cuando se presenta una colisión, existirá una desaceleración brusca, que será detectada por el acelerómetro y enviará la señal de control que active el sistema de protección. Otro área de aplicación donde se pueden citar ejemplos actuales es en el campo de los dispositivos electrónicos de consumo, la combinación de sensores inerciales tipo *MEMS* y el software adecuado, por ejemplo, *Scalable Vector Graphics (SVG)*, eliminan la necesidad de utilizar interruptores y botones para deslizarse y navegar tanto en páginas webs como libros electrónicos, resolviendo de forma muy efectiva el problema de "botón pequeño-dedo grande" de muchos usuarios, esto lo hace utilizando un sensor del tipo giroscopio que actúa como sensor de inclinación y desplazamiento, el cual puede detectar los movimientos humanos usándolos para orientar la posición de salida de las imágenes en la pantalla; de esta forma el usuario podrá manipular la orientación de las mismas con solo girar o inclinar el dispositivo móvil. Es por ello que esta tecnología para la detección del movimiento y posición deberá desarrollar aún más la capacidad en la detección de los cinco movimientos fundamentales como sistema inteligente multi-eje para poder detectar en todo momento y ofrecer el control sobre el objeto que desee gobernar o interpretar, siendo estas características fundamentales manifestaciones diferentes de una aceleración durante períodos de tiempo (Figura 2.5.).

Con los ejemplos de las aplicaciones anteriores se resalta cómo la tecnología *MEMS* de sensores inerciales para su futura consolidación en diversos nichos de mercado debe ofrecer entre otros aspectos además de la miniaturización, bajo consumo de energía, reducido espacio físico, costo de producción atractivo, además de tener una mejor velocidad de respuesta, confiabilidad y durabilidad, con funciones añadidas que dan valor agregado como lo es, funciones de autodiagnóstico gracias a la interconectividad directa con la electrónica.

Figura 2.5. Movimientos de un objeto y representación en un *MEMS*



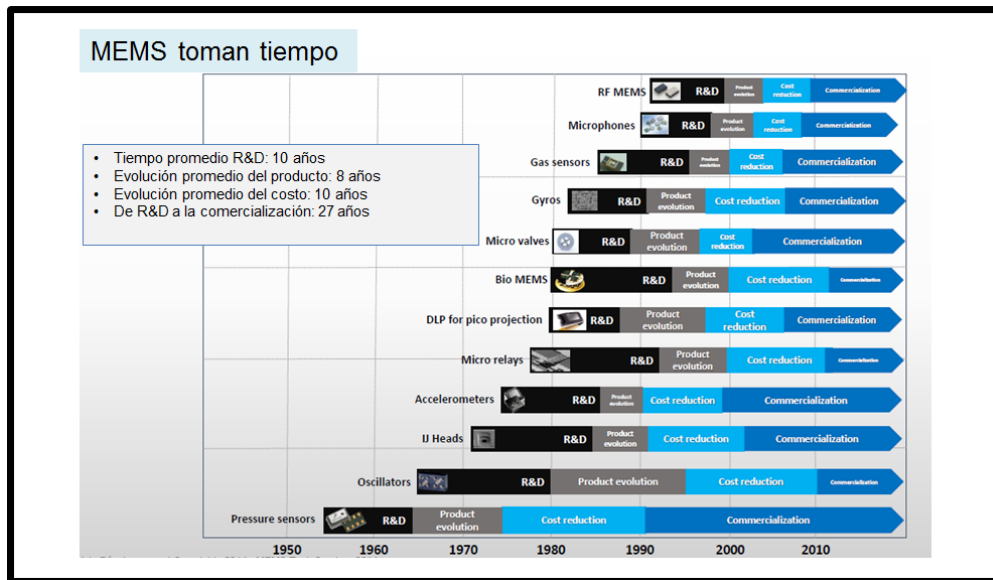
Fuente: Analog Devices (2009, www.analog.com)

2.2. Impacto de la tecnología *MEMS* de tipo inercial

Malluf (2000), señaló que la demostración inicial de un acelerómetro a nivel de micro-maquinado tomo lugar en la Universidad de Stanford en 1979, fue entonces que a finales de la década de los setentas, los primeros acelerómetros a base de estructuras de silicio aparecieron, esto coincidió con el auge de los requerimientos de seguridad para los sistemas con bolsa de aire de la industria automotriz, de forma abrupta estas nuevas

estructuras de silicio reemplazaron los acelerómetros mecánicos de tipo interruptor existentes. Los sensores de tipo inercial micro-electromecánicos comúnmente abreviados como *inertial MEMS*, han tenido una historia de intensa investigación, desarrollo y comercialización en promedio cercana a más de dos décadas (Figura 2.6.).

Figura 2.6. Línea de tiempo para tecnologías de producto MEMS



Fuente: Yole Développement (2014, www.semi.org)

Esta tecnología en algunos momentos desapercibida, con incipiente incursión en el sector militar y aeroespacial, ha entrado en la vida diaria escondida en productos alrededor nuestro, gracias en primera instancia con penetración exitosa en el sector automotriz, mediante sensores para activación de los sistemas de bolsas de aire cada vez más complejos e inteligentes y en los controles electrónicos de estabilidad, ambos son materia de cursos completos de estudio. Chollet & Haobing (2015), enfatizaron que el sensor de tipo inercial es un ejemplo notable desde su aparición como sensor de impacto, de ahí en adelante se le ha usado en productos de alto valor agregado, como lo es la estabilización de imágenes, en los controladores de movimiento de consolas de juegos,

hasta hoy en día donde un alto volumen y bajo precio le permiten entrar al mercado de los juguetes a control remoto. En aplicaciones médicas se puede mencionar el monitoreo de actividad de pacientes con marcapasos, siendo este un claro ejemplo de actividades que estarán mejorando nuestra calidad de vida, en el terreno industrial destacan las aplicaciones para estabilización de plataformas tales como las de transportación robotizada con sistemas de visión artificial y la creación de interfaces hombre-máquina cada vez más amigables, que están permitiendo dominar equipos muy complejos presentes en la industria.

La capacidad de los sensores de tipo inercial ha causado un efecto relevante en la electrónica actual así como ha permitido el desarrollo de nuevos productos de orden inteligente, como ejemplos se encuentran la evolución de la cámara fotográfica, del celular, de los sistemas de navegación y posicionamiento global (*GPS*), hacia la integración total en aplicaciones electrónicas de consumo y equipos móviles (Figura 2.7.).

Kraft & White (2013) destacaron como ejemplo concreto de la penetración y amplio uso de esta tecnología, el caso del vehículo *BMW* serie 740i (Figura 2.8.) el cual tiene cerca de 70 dispositivos *MEMS* entre los que se incluyen principalmente sensores de tipo inercial en los módulos de antibloqueo por hidráulica de los frenos, suspensión activa de los ejes de giro y monitoreo para la posición de dirección los cuales forman el sistema de estabilidad controlada (*ESC*).

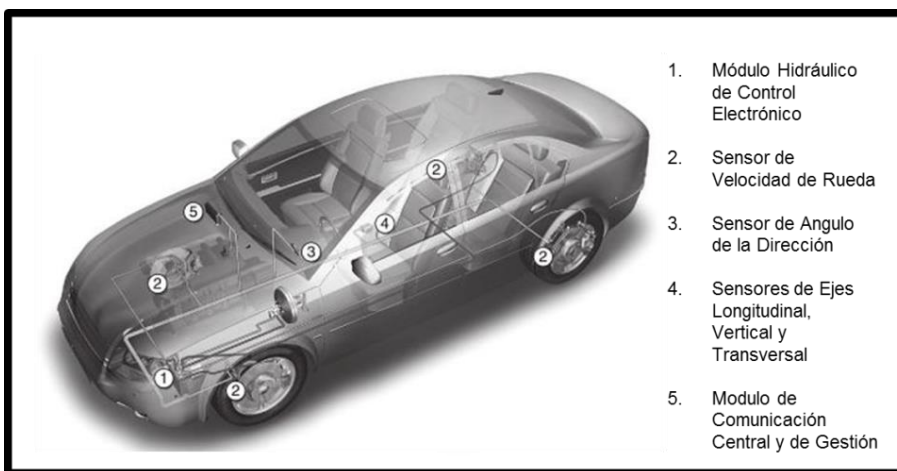
Figura 2.7. Evolución de la cámara fotográfica con tecnología MEMS



Fuente: MEMS Industry Group (2013, www.memindustrygroup.org).

Además los sensores de tipo inercial están comenzando a tener presencia en otros desarrollos dentro de la misma industria automotriz, tales como: los sistemas de navegación y de entretenimiento, control en la reducción de ruido, detección de inclinación-sobregiro del chasis, así como tensión-ajuste de cinturones de seguridad.

Figura 2.8. Componentes del ESC en un automóvil

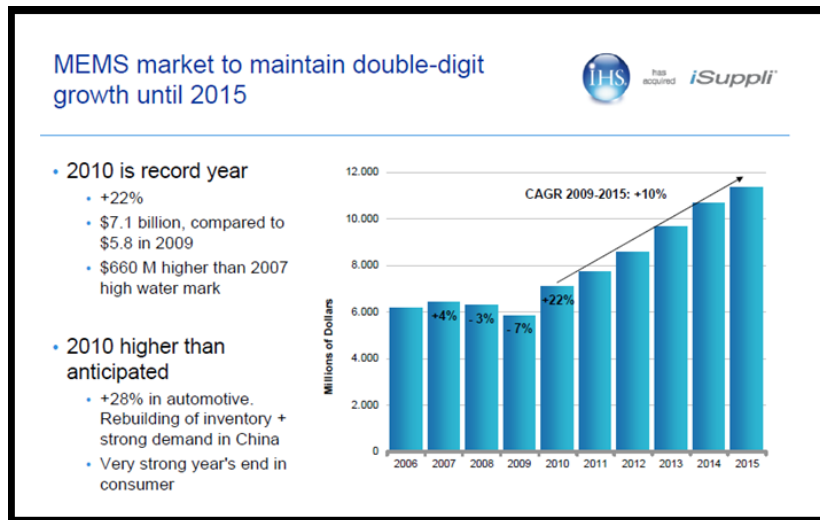


Fuente: MEMS for Automotive and Aerospace Applications (2013, p. 33)

2.2.1. Dimensión de valor

Chollet & Haobing (2015) señalaron un mercado potencial del orden de 9 billones de dólares como pronóstico para la mitad de la próxima década que comparado contra el de 300 billones de dólares de la industria de semiconductores, pareciera no ser tan atractivo, más sin embargo el campo de la tecnología *MEMS* progresa y se expande de manera muy acelerada (Frank, 2000). Sin embargo, no obstante a la existencia de discrepancias por los datos que presentan las diversas agencias de información y análisis tales como Yole, Nexus, IHS, entre otras, es un común el crecimiento sostenido que tendrá en su conjunto esta tecnología en el mercado en cuanto al indicador de la tasa anual compuesta de crecimiento (*CAGR*), siendo a doble dígito en los últimos diez años (Figura 2.9.).

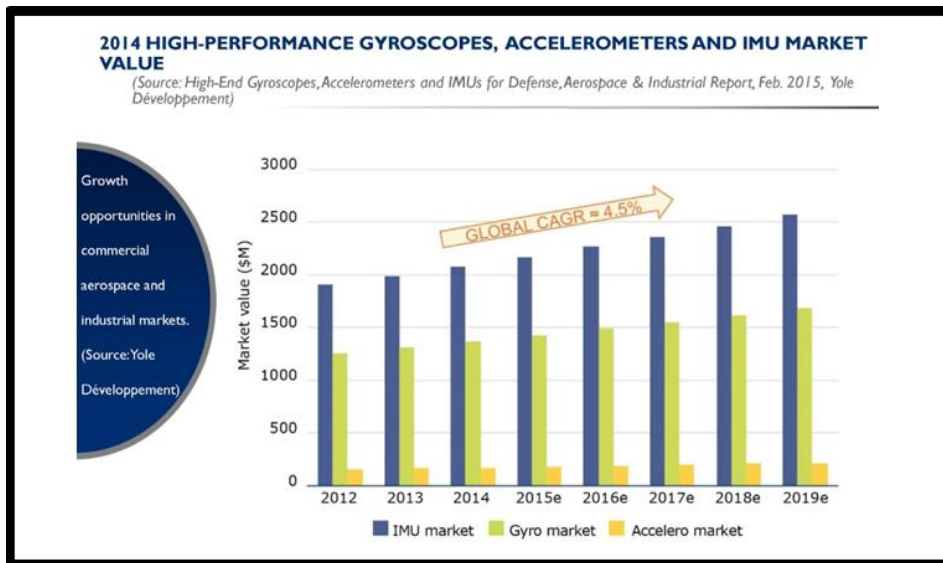
Figura 2.9. *CAGR* del mercado para *MEMS*



Fuente: IHS (2011, www.technology.ihs.com)

Este efecto de crecimiento de mercado se ve reflejado también en los tres principales productos de sensores *MEMS* de tipo inercial, acelerómetros, giroscopios e *IMUs* (Figura 2.10.).

Figura 2.10. CAGR productos principales MEMS tipo inercial



Fuente: Yole Développement (2011, www.yole.fr)

Baltes et al. (2004), describieron el potencial económico y éxito de mercado que tuvo el sensor de bolsa de aire MEMS tipo acelerómetro llamado *killer application* estableciendo una nueva forma de hacer negocios, tecnología y desarrollo de mercado, ya que con cerca de 60 millones de dispositivos vendidos y operando en los últimos casi 10 años en todo tipo de medio ambiente donde un vehículo puede viajar, muestra y prueba con ello la confiabilidad y durabilidad de esta tecnología. Esto posiciona a la industria automotriz como la fuerza impulsora más importante que ha servido de referencia para otro tipo de aplicaciones con igual exigencia en el tema de condiciones ambientales extremas. En el siguiente tema a continuación se describen los campos y aplicaciones donde los sensores de tipo inercial MEMS empiezan a tener incursión y desarrollo en diversos sectores de mercado.

2.2.2. *Mercado industrial de tipo automotriz, militar y aeroespacial*

Como se ha descrito los sensores de tipo inercial o también conocidos como sensores de movimiento conformados por dispositivos cuya base la forman los acelerómetros y giroscopios principalmente, proveen soluciones en el sector industrial orientadas hacia sistemas instrumentados para prueba, control y medición de variables físicas del entorno, enfrentando un sinnúmero de condiciones extremas del medio además de lidiar con los principios de la física escalando las leyes de nivel macro a nivel micro en temas tales como la fricción, disipación de calor, propiedades de los materiales, integración en un chip electrónico y condiciones especiales de laboratorio para prueba (Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering, 2002) , además de ofrecer características físicas de peso liviano y tamaño pequeño. Las aplicaciones consolidadas en el mercado y con potencial en desarrollo abarcan cada vez más el sector automotriz cómo lo es la detección de inclinación del automóvil para control de luminosidad de faros; localización-guiado para armamento de defensa así como estabilización de plataformas de lanzamiento de misiles, sistemas de posicionamiento y navegación aeronáutica-submarina, guiado de herramienta para perforación terrestre-marítima, monitoreo de actividad sísmica, etc. Malluf (2000) dedujo que el tamaño de penetración en estos mercados dependerá de diversos factores tales como el grado de innovación y aceptación de la tecnología por medio del incremento de usuarios finales y clientes, con lo que se prevee la falta de una aplicación dominante *killer app*, ya que existirán diversos requerimientos técnicos de los usuarios finales, lo que generará una colección de nichos de mercado, a diferencia de cuando se les compara a las empresas de negocios en semiconductores. Otro factor a tomar en cuenta es cuando se consiga la capacidad de cumplir con las especificaciones requeridas de la solución y el precio, se enfrentaran la

mayoría de las aplicaciones en desarrollo a un proceso de solución única que requerirá de fondos para completar un programa de evaluación o desarrollo, en esas circunstancias no se podrá establecer tan fácilmente la factibilidad de negocio. La práctica ha demostrado que una solución *MEMS* es atractiva si provee una nueva funcionalidad, así como una reducción de costo significativo o ambas, como se comenta en el siguiente tema referente a las aplicaciones de orden comercial donde lo que interesa es incorporar nuevas funcionalidades y mejora del performance por encima del tema de costo.

2.2.3. Mercado de electrónicos de consumo y dispositivos móviles

La demanda del mercado para los *MEMS* de tipo inercial o sensores de movimiento es uno de los que actualmente tienen el más grande crecimiento en el rubro de los electrónicos de consumo. La solicitud creciente por nuevas funcionalidades y de tamaño cada vez menor son los principales impulsores para el uso de diversos dispositivos *MEMS* en las aplicaciones de consumo. La demanda mayor de sensores de tipo inercial la tienen los teléfonos inteligentes, seguido por las consolas de juegos, estas aplicaciones utilizan de manera principal sensores de movimiento. Otro de los dispositivos que poco a poco requerirá cada vez más el uso de sensores de tipo inercial serán las *tablets*.

Otro tipo de aplicaciones en el rubro de electrónicos de consumo incluirá las cámaras digitales, los proyectores, las laptops, los reproductores en formato *MP3* y las televisiones digitales. Este tipo de nicho de mercado se espera crezca aún más en el futuro cercano debido al surgimiento de dispositivos con múltiples funciones los cuales están fuertemente penetrando el mercado, entre los que se encuentran los sensores de posicionamiento y movimiento. Entre los desafíos que enfrentan estos desarrollos para este tipo de mercado es la necesidad de tamaño pequeño, peso ligero para que con ello

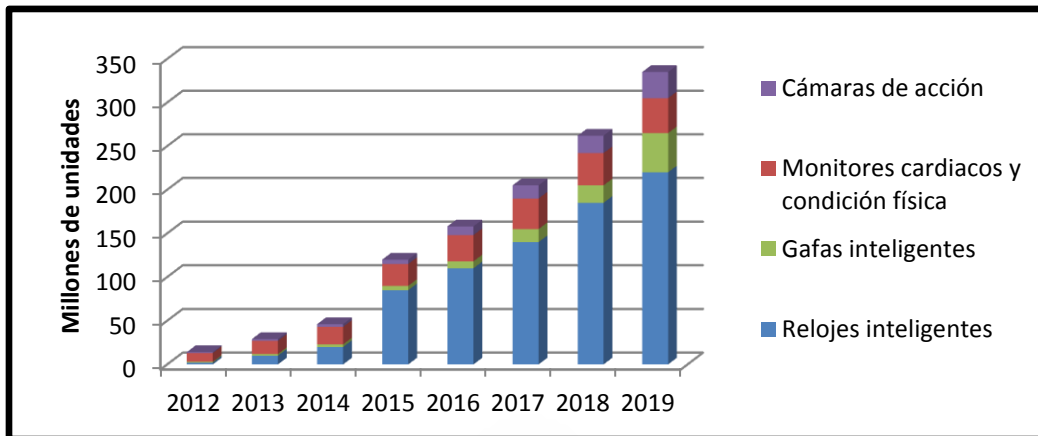
se puedan integrar en estos productos que ofrecen portabilidad al usuario, así también se identifica que deben tener un consumo bajo de energía, la importancia de focalizar mercados con alta demanda para producción rentable que permita dispositivos de bajo costo, pero también otro reto de no menos importancia es el aspecto de las tecnologías de fabricación, nuevos materiales, equipos así como métodos estandarizados de prueba y simulación alrededor de los *MEMS*.

2.2.4. Tecnología que se lleva puesta

Para la agencia IHS Newsroom (2014), la tecnología que se lleva puesta está emergiendo de manera tan acelerada que ya ha sido considerada como la siguiente gran tendencia para los *MEMS* hacia su uso en los productos para el mercado de consumo después de los teléfonos inteligentes y las tablas. Su éxito comercial estará enmarcado por el tamaño de mercado que abarque así como ser viable económicamente es decir que este soportada por los *MEMS* como tecnología habilitadora.

La utilización de los *MEMS* en: 1) Relojes inteligentes, 2) Monitores cardiacos y de ejercicio, 3) Gafas inteligentes *smart glasses* y 4) Cámaras de acción y ropa inteligente *smart clothing*, destacan como aquéllas aplicaciones finales donde estas complementan como una extensión natural de los teléfonos inteligentes, siendo la más promisoría en tamaño potencial de demanda en *MEMS*, la primera de ellas (Figura 2.11.). En un futuro se estima que nuevas generaciones de sensores tipo *MEMS* incursionen en el monitoreo del medio ambiente lo cual mejorará la experiencia de la actividad al aire libre en el ser humano (*MEMS & Sensors for Wearables Report, 2014*).

Figura 2.11. MEMS en productos electrónicos que se llevan puestos



Fuente: IHS (2014, www.technology.ihs.com)

Para Mahajan & Muller (1979), la estimación de la demanda futura de un producto existente en el mercado es una tarea compleja, pero no caben dudas que es aún más compleja la tarea de predecir la demanda potencial de un producto nuevo, desconocido hasta el momento en el mercado, como lo es la situación presente para los relojes inteligentes mediante su introducción al consumidor potencial por empresas como Samsung Sony, Apple, Google, Nissan, Qualcomm (Figura 2.12).

Figura 2.12. De izquierda a derecha, reloj inteligente de Sony, Nissan y Qualcomm



Fuente: La era del reloj inteligente comenzó (2016, www.mundocontact.com)

2.3. Prospectiva tecnológica

El hombre ha intentado siempre conocer el futuro, incluso los genios han tenido errores colosales. Edison no creía en el futuro de la corriente alterna, George Westinghouse creía que los trenes podrían llegar, como máximo, a 90 o 100 millas por hora, pero por razones de seguridad no superarían nunca las 40 millas por hora. Evidentemente se trataba de intuiciones sin ninguna base científica. El futuro es por definición, incierto. *“Quién prevé el futuro es un impostor, porque el futuro no está escrito, sino que está por hacer”* (Godet, Monti, Meunier, & Roubelat, 2000, p.125). La prospectiva como metodología se inscribe en el intento de descifrar algunas pautas del futuro por medio de un examen minucioso de las tendencias a largo plazo que se pueden establecer a partir del análisis del presente y el diagnóstico de los retos que el futuro señala y de las estrategias que, en consecuencia, se pueden adoptar (Escorsa & Valls, 2003). Encontrándose en pleno auge en los países desarrollados, la previsión o prospectiva de orden tecnológico tiene sus orígenes en los años 60's donde la OCDE realizó un estudio entre sus países miembros para conocer lo que cada uno de ellos realizaba en torno a prever los cambios y acontecimientos futuros en el mundo de la tecnología. Se trata de un ejercicio colectivo de análisis y comunicación para identificar los componentes probables de escenarios futuros: las proyecciones tecnológicas, sus efectos sociales y económicos. Este método reconoce que la única estabilidad está en aceptar la incertidumbre, por lo tanto no es posible pronosticar condiciones tecnológicas haciendo simples extrapolaciones lineales del presente al futuro. Godet et al. (2000), determinan que el poder cuantificar o medir un cambio tecnológico sirve de herramienta para

orientar las iniciativas políticas en el rubro de la innovación ya sean del orden público o privado con sus costos y beneficios en el rubro de mayor interés, el económico.

2.3.1. Estimación de la demanda de un nuevo producto

Para Mahajan & Muller (1979), la estimación de la demanda futura de un producto existente en el mercado es una tarea compleja, pero no caben dudas que es aún más compleja la tarea de predecir la demanda potencial de un producto nuevo, desconocido hasta el momento en el mercado.

A finales de la década de los años 60, Frank Bass desarrolló un modelo matemático conocido como el modelo de difusión de Bass que ha sido la piedra angular de las distintas técnicas de estimación de la demanda de nuevos productos a lo largo de los últimos 40 años. Su utilización, desde su nacimiento ha tenido una inmensa influencia sobre la prospectiva y el *management*, particularmente en los últimos diez años dado el notable acortamiento del ciclo de vida de los productos como consecuencia del incesante y creciente flujo de innovación tecnológica (Ofek, 2005).

Para Rogers (2003), Bass se inspiró en la teoría de la difusión de la innovación de, que clasifica a los individuos en cinco categorías de acuerdo al momento en el que adoptan un nuevo producto: (1) innovador; (2) adoptante temprano; (3) mayoría temprana; (4) mayoría tardía; y (5) rezagado. A partir de esta clasificación, que segmenta a los consumidores en función del momento del ciclo de vida del producto en el que deciden comprar el mismo, Bass formalizó matemáticamente su modelo para luego probarlo con datos de once productos de consumo durable obteniendo resultados significativos.

Por lo que la aplicación del modelo de Bass desde un aspecto metodológico permitirá estimar el número de consumidores que adoptarán (comenzarán a comprar) un nuevo producto a lo largo del tiempo, resaltando esta consideración más aun especialmente con nuevos productos con pocos antecedentes en datos de ventas (Bass, 2004). En su trabajo titulado *A New Product Growth Model for Consumer Durables*, demostró que su aplicación se extiende a toda clase de productos y servicios, a *business to business (B2B)* así como también a productos y nuevas tecnologías tales como chips, productos médicos o maíz híbrido, etc. (Radojicic & Markovic, 2009).

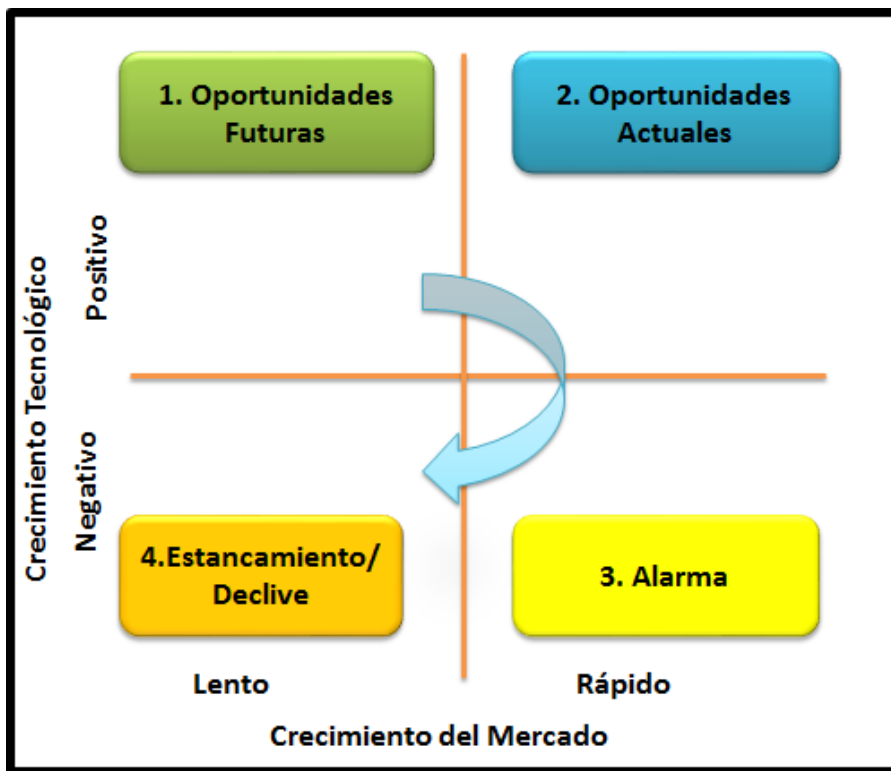
2.3.2. Mapa tecnológico y oportunidad de mercado

Para enfocar la estrategia de una empresa tecnológica hacia el desarrollo de nuevos productos, es necesario a través de una matriz de oportunidades conocer la tasa de crecimiento de la tecnología cuya información sea consultada y relacionada en las bases de datos facilitadas por agencias especializadas de la prospectiva tecnológica.

Mientras que el crecimiento del mercado se obtiene mediante los datos numéricos contenidos en los estudios de mercado, también disponibles en estas mismas bases de datos, la matriz de oportunidades permite visualizar de forma clara y global los aspectos anteriores (Figura 2.13.). Los cuatro cuadrantes de esta matriz representan las condiciones siguientes: (1) Oportunidades futuras, estas indican el aumento sobre la investigación en el tema con un mercado pequeño y crecimiento lento dando lugar a nuevos productos (oportunidades futuras de mercado). (2) Oportunidades actuales, son en las que el producto es conocido y el mercado crece rápidamente aunque se sigue investigando de forma creciente existiendo varias empresas que compiten en el mercado pero siguen apareciendo nuevas oportunidades. (3) Cuando el nuevo mercado crece

todavía a un ritmo rápido pero la investigación disminuye debido a que probablemente el desarrollo tecnológico en esta área ha llegado a su límite y por ende en el futuro el mercado no podrá mantener sus rápidos ritmos de expansión por lo que habrá que diversificar, lo cual es señal de alarma. 4) El estancamiento y/o declive cuando se investiga cada vez menos y el mercado se estanca o decrece llegando a la madurez no presentándose nuevas oportunidades.

Figura 2.13. Matriz de oportunidades



Fuente: Escorsa y Valls (2003, p.56)

2.3.3. Drivers tecnológicos y comerciales

Para la tecnología *MEMS* la capacidad del potencial ofrecida en miniaturización, se convierte casi siempre, en el más importante driver detrás del desarrollo de un producto tipo *MEMS*. La percepción común es que esta característica de miniaturización reduce el

costo, ya que se minimiza el consumo de material y permite fabricaciones por lotes, pero también un beneficio colateral importante está en el incremento de potenciales aplicaciones, por lo que actualmente tanto una masa como tamaño reducido permiten colocar a los *MEMS* en lugares donde un sistema tradicional no hubiese sido capaz de encajar.

Durante la última década los sensores inerciales tipo *MEMS* han tenido un desarrollo significativo. Su tamaño ha decrecido aún más, su funcionalidad y eficiencia también se ha mejorado y el precio ha disminuido considerablemente, esto resulta una consecuencia natural de las aplicaciones tecnológicas catapultadas por tecnologías de micro-mecanizado, ya que estas son capaces de reducir el elemento de sensado y la electrónica a una escala de uno o dos circuitos integrados, lo es también la reducción del costo por sistema como una característica fundamental que ofrece el micro-mecanizado. Debido a la relación con la plataforma tecnológica de la industria microelectrónica, los sensores pueden ser fabricados por lotes, compartiendo costos de proceso sobre grandes volúmenes de estos, reduciendo las restricciones generales significativamente. Mientras que muchos procesos individuales pueden ser significativamente más caros que las contrapartes a nivel macro, el impacto es altamente reducido debido a los beneficios de escala que pueden ser aplicados. Llegar a una funcionalidad en un determinado dispositivo que ofrezca suficiente ganancia requiere de mejoras en la producción de costos por unidad. Gad-el-Hak (2002) resalta que un factor a destacar en la mejora del costo es la utilización de espacios muertos, se debe maximizar la sensibilidad por unidad de área para maximizar el espacio muerto. Con todo lo anterior las tecnologías de micro-mecanizado ofrecen las condiciones necesarias por aplicaciones impulsadas por tamaño y costo así como por requerimientos modestos de funcionalidad, pero en el futuro

cercano, por ejemplo en el mercado automotriz los sistemas de seguridad integrales demandarán un incremento en la complejidad y en la capacidad la cual abarcará condiciones más demandantes para las tecnologías de micro-mecanizado añadiendo complejidad tanto al dispositivo mismo como al sistema en su conjunto para conseguir los resultados de confiabilidad y estabilidad que sean requeridos. Por el lado del mercado de las aplicaciones comerciales el *marketing pull* establece la ruta a seguir para ofrecer cada día sistemas de realidad virtual, juguetes inteligentes, control de movimiento a través de visión artificial, control de inventarios automatizado, receptores *GPS* y sistemas de navegación inercial. Hollocher, Zhang y Sparks (2009) definen que para este mercado las fuerzas impulsoras serán el bajo costo, tamaño reducido y bajo consumo de energía.

Se han presentado en este capítulo las características y los entornos de la tecnología *MEMS*, los elementos clave con respecto a los sensores de tipo inercial, así como se ha identificado un área concreta de oportunidad de su aplicación futura para potenciar desarrollos de producto en la tecnología que se lleva puesta. Empleando la prospectiva para determinar la demanda y efectos futuros mediante herramientas de análisis que permitan proyectar escenarios posibles.

3. ASPECTO METODOLOGICO

Linton (2002), advirtió que la capacidad que se tenga para hacer una mejor prospectiva de la difusión o adopción de una aplicación tecnológica así como el grado de influencia y dependencia entre las diversas fuerzas impulsoras que contribuyan para su penetración en el mercado es especialmente importante hoy día ya que la convergencia de muchas áreas del conocimiento está creando cantidad sin precedente de nuevos productos.

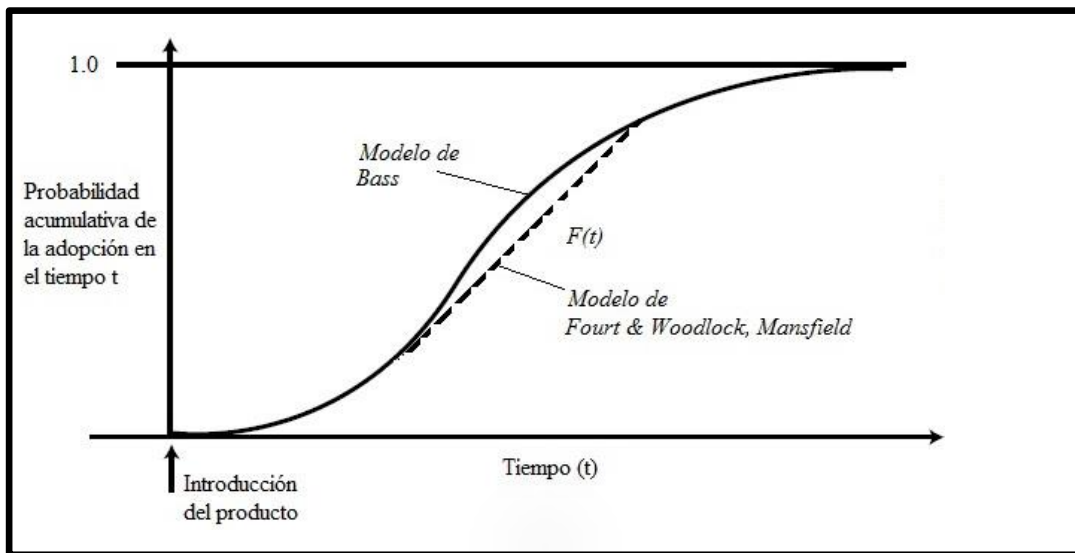
El objetivo de este estudio se orienta al análisis del grado de difusión en cuanto a la penetración de los sensores de tipo *MEMS* hacia la inclusión y explotación comercial en la tecnología que se lleva puesta *wearable electronics*. ¿Cómo determinar el potencial de mercado de los sensores inerciales en esta tecnología de tipo habilitadora hacia el campo de los electrónicos que se incorporan en alguna parte de nuestro cuerpo? Una forma será identificando características particulares en el patrón de adopción para el pronóstico de mercado, dirigido a las aplicaciones que posibiliten un amplio espectro de comercialización del producto, y por otra parte se complementará este trabajo de tesis con el desarrollo de una matriz de impactos cruzados, lo cual permitirá explorar la posibilidad de ocurrencia de un evento y el grado a que este es condicionado por otros eventos, identificando la influencia de estas fuerzas impulsoras *drivers* así como su tipo de interacción sobre el tema bajo análisis dentro del horizonte temporal considerado.

3.1 Prospectiva para la difusión y ventas de nuevos productos

Fourt & Woodlock (1960) señalaron que los primeros modelos para hacer prospectiva sobre nuevos productos asumían que la probabilidad de adopción se mantenía constante en el tiempo, en consecuencia, los objetivos de adopción de una innovación son un número cada vez menor de los adoptantes sobre el tiempo, ya que los nuevos

adoptadores son una fracción constante de una población cada vez menor. Un modelo alternativo propuesto por Mansfield (1961), sugirió que el proceso de difusión sigue una logística de penetración en el mercado representada por los efectos de la información de boca en boca. Bass (1969) propuso un modelo general que incorpora los componentes de los modelos de Fourt & Woodlock así como de Mansfield, en el que sugiere que existen dos factores de suma importancia, la imitación y la innovación, lo cual influye en la probabilidad de adopción del mercado sobre el producto de una nueva tecnología.

Figura 3.1. Patrón de adopción de un producto en el segmento objetivo



Fuente: Adaptado de *The Bass Model Marketing Engineering Technical Note* (2007, p.3)

Kondratief (1984) resaltó en el orden académico la importancia del análisis en cuanto al potencial de mercado que genera el desarrollo de tecnologías de orden disruptivo, así también, Bower & Christensen (1995), pusieron énfasis en el desafío que representa la prospectiva para la difusión de las innovaciones a nivel de adopción por el mercado. La velocidad a la que una nueva tecnología puede ser introducida y aceptada por el mercado es crucial, debido a la evaluación del perfil de riesgo de la oportunidad y el

entendimiento tanto del capital y las capacidades de la organización requeridas para explotar la oportunidad tecnológica. Bass (2004) resalta que en el sector privado, este es el aspecto fundamental para la valoración del atractivo a invertir en dicha tecnología, ya sea como un inversionista o cuando se maneja una inversión de tipo portafolio en la empresa, y cuyo factor a resolver es la rapidez en la que los clientes adoptarán la tecnología.

Para realizar una aproximación de esta tendencia de adopción sobre una innovación tecnológica se plantea la utilización del modelo de Bass el cual se describe a continuación.

3.1.1. Modelo matemático de Bass

De acuerdo al modelo de Bass, el número de consumidores que compran un nuevo producto en un momento determinado del tiempo es función de la demanda de los individuos innovadores, es decir los que adquieren el nuevo producto independientemente de lo que hagan otros consumidores, y de la demanda de los imitadores o los que consumen un producto porque los demás lo hacen. Matemáticamente, el modelo de Bass se define de la siguiente manera.

$$S(t) = [p + (q/m) N(t-1)] [m - N(t-1)] \quad (1)$$

Donde:

$N(t)$ = número de consumidores que adoptaron el producto en el momento t .

$S(t)$ = número de nuevos consumidores que adoptaron el producto en el periodo t .

Consecuentemente:

$$S(t) = N(t) - N(t-1) \quad (2)$$

Los parámetros del modelo son:

m: máximo número de consumidores que pueden adquirir el producto (lo que no significa toda la población del país o región bajo análisis, sino solo los potenciales compradores).

p: coeficiente de innovación. Es la probabilidad que un innovador compre o adopte el producto en el periodo "t" (puede interpretarse como la tasa a la que un consumidor compra espontáneamente el producto).

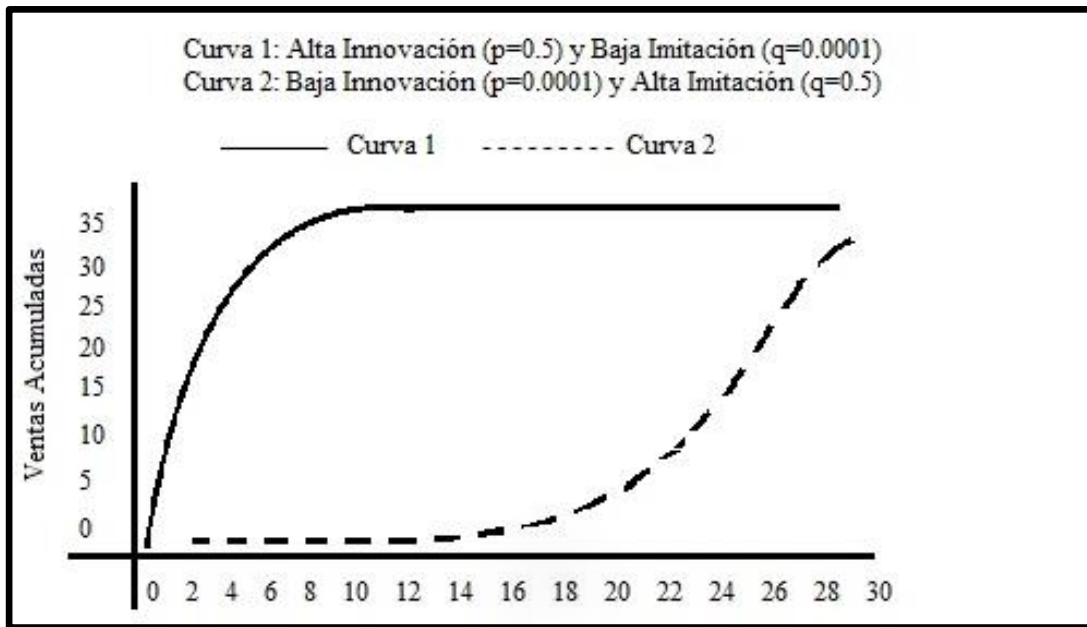
q: coeficiente de imitación. Es la probabilidad que un imitador adopte el nuevo producto; este coeficiente captura el efecto del boca en boca, es decir, la comunicación que hay entre los innovadores y los imitadores por lo cual estos últimos aprenden y copian a los primeros (también llamado efecto contagio). Este coeficiente también refleja el efecto que pueden producir los consumidores ya existentes sobre los potenciales nuevos consumidores, por lo cual también recibe el nombre de coeficiente de influencia interna, a diferencia de p que recibe el nombre de coeficiente de influencia externa.

De la ecuación (1) se puede interpretar que $S(t)$, el número de nuevos consumidores que adquieren el producto en el momento t, es igual al producto entre la probabilidad que un nuevo consumidor adquiriera el producto en el momento t (primer corchete) y el número de consumidores que todavía no han adoptado el producto (segundo corchete). Es importante destacar que, en este primer corchete, q (la probabilidad que un imitador adopte el producto) está multiplicado por la proporción de consumidores que ya han

adquirido el producto, con lo cual se refleja la influencia de los mismos en los nuevos consumidores o imitadores.

Dados los parámetros m , p y q es posible graficar la curva de adopción de un nuevo producto, generalmente llamadas curvas “S” (por su forma sigmoideal).

Figura 3.2. Modelo de Bass, diferentes niveles de innovación (p) y de imitación (q).

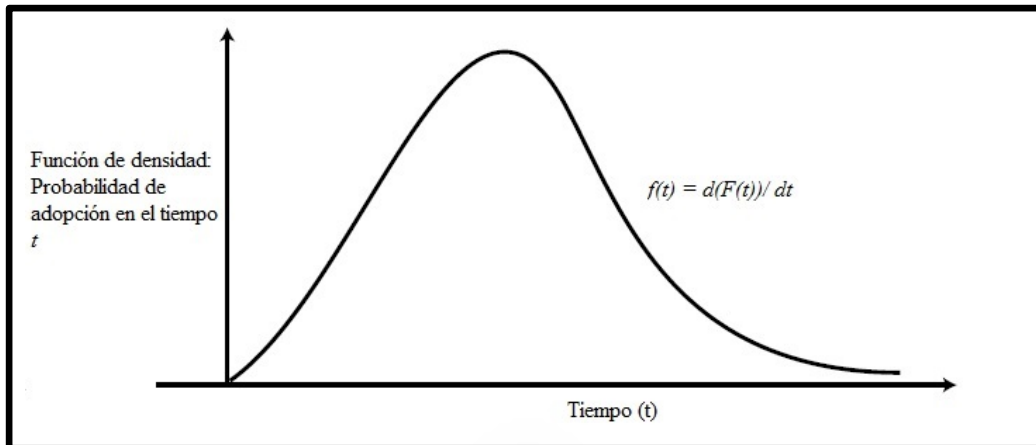


Fuente: Weissmann (2008, p.16)

Intuitivamente, un valor elevado de p indica que el nuevo producto será adoptado rápidamente aunque tenga una baja probabilidad de imitación. Mientras que un bajo nivel de p hará que la adopción sea más lenta aunque q tenga un valor elevado, debido a que los imitadores tienen un reducido grupo de innovadores a quien copiar (Curva 2). También se observa que en el primer caso (Curva 1), se alcanza el pico de consumidores rápidamente aproximadamente en el periodo cuatro, mientras que en el segundo caso (Curva 2), el pico recién llega aproximadamente para el periodo veinticinco (Figura 3.2).

En la formulación del modelo, es interesante destacar que el número de imitadores crece primero a tasa creciente y luego a tasa decreciente hasta llegar a un pico de ventas (Figura 3.3).

Figura 3.3. Tendencia de que el mercado adopte el producto en el tiempo preciso t



Fuente: Rogers (1995, p. 161).

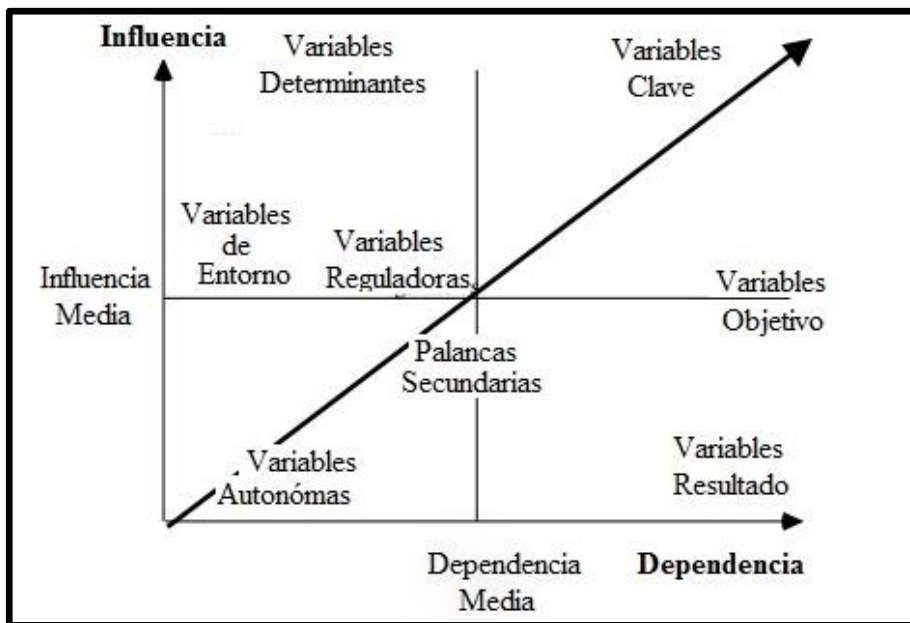
A diferencia de otros modelos de predicción de demanda, la aplicación del modelo de Bass no requiere información histórica de ventas de los productos, por lo cual es posible su utilización para el pronóstico de productos aún no existentes en el mercado, tal como se explorará el uso de esta herramienta en la demanda de los *MEMS* para la tecnología que se lleva puesta.

3.2 Prospectiva mediante identificación de *drivers*

Jouvenel (1968) planteó que la prospectiva parte del concepto que el futuro aún no existe y se puede concebir a partir de realizaciones múltiples, por otra parte Godet (1997, p. 49) definió que el futuro “*depende solamente de la acción del hombre*”. Por esa razón, el hombre puede construir el mejor futuro posible, para lo cual debe tomar las decisiones correctas en el momento apropiado. Existen muchos futuros posibles, pero de

ellos sólo algunos tienen en este momento la mayor probabilidad de ocurrencia. En los próximos minutos puede ocurrir algo lo suficientemente importante, como para cambiar esa asignación de probabilidades, y que la prospectiva debe ser capaz de identificar aquellos escenarios futuros que en el período que va del presente al horizonte del estudio puedan presentarse.

Figura 3.4. Matriz MICMAC.



Fuente: Elaboración propia. Adaptado de Godet (2011, p.67).

De acuerdo a Godet (2011), el acrónimo MICMAC proviene de las palabras: Matriz de Impactos Cruzados de Multiplicación Aplicada a una Clasificación, método elaborado por M. Godet en colaboración con J.C. Duperrin, en el que el reparto de las variables es según se sitúen en el plano, permitiendo establecer la clasificación por tipologías de variables a continuación: Variables autónomas, son poco influyentes o motrices y poco dependientes, corresponden con tendencias pasadas o inercias del sistema o están desconectadas de él, no constituyen parte determinante para el futuro del sistema.

VARIABLES CLAVE, son muy motrices y muy dependientes, perturban el funcionamiento normal del sistema, son por naturaleza inestables y corresponden a los retos del sistema. VARIABLES DETERMINANTES, son poco dependientes y muy motrices, según la evolución que sufran a lo largo del periodo de estudio se convierten en frenos o motores del sistema. VARIABLES DE ENTORNO, se sitúan en la parte izquierda del plano, lo que demuestra su escasa dependencia del sistema, hay que analizarlas como variables que reflejan un decorado del sistema de estudio. VARIABLES REGULADORAS, se convierten en llave de paso para alcanzar el cumplimiento de las variables clave y que estas vayan evolucionando tal y como conviene para la consecución de los objetivos del sistema, son aquéllas que determinan el funcionamiento del sistema en condiciones normales. PALANCAS SECUNDARIAS, complementarias de las anteriores, actuar sobre ellas significa hacer evolucionar sus inmediatas anteriores: reguladoras, que a su vez afectan a la evolución de las variables clave. VARIABLES OBJETIVO, su denominación viene dada porque su nivel de dependencia permite actuar directamente sobre ellas con un margen de maniobra que puede considerarse elevado, ayudando a su vez a la consecución de las variables clave. VARIABLES RESULTADO, se caracterizan por su baja motricidad y alta dependencia, y suelen ser junto con las variables objetivo, indicadores descriptivos de la evolución del sistema (Figura 3.4).

3.2.1. *Matriz de decisiones*

Con el método estructural MICMAC se busca analizar de manera cualitativa las relaciones entre las variables que componen la posible relación de los sistemas microelectrónicos de tipo inercial hacia la tecnología que se lleva puesta. Este análisis tendrá su base en referencia a perspectivas clave marcadas por agencias e institutos expertos en

el campo de los *MEMS* encargadas de proveer información y análisis sobre datos y características que marquen tendencia.

El objetivo del Análisis Estructural MICMAC es identificar las principales variables, influyentes y dependientes; así como las variables esenciales para la evolución del sistema, lo cual arroja una matriz y un gráfico nombrado plano de influencia y dependencia de las variables del sistema de estudio. Es decir, para cualquier variable su valor estratégico estaría determinado por la suma de su valor de motricidad y de su valor de dependencia. La combinación de ambos resultados es la que define finalmente a las variables según su tipología.

Para obtener la relación entre las variables bajo estudio, se empleará una herramienta de informática desarrollada por la institución Lipsor (2011), permitiendo visualizar en el sistema la interacción entre todo el grupo de variables propuestas, siendo este un programa de prospectiva (creación de escenarios futuros). La aplicación de software se desarrolla bajo las siguientes fases: Fase 1, listado de las variables, la cual consiste en seleccionar el conjunto de variables que caracterizan el sistema estudiado y su entorno, es decir, una lista de variables internas y externas al sistema considerado (en este caso al entorno que rodea a los *MEMS* de tipo inercial y su aplicación en la tecnología que se lleva puesta), el programa sugiere establecer una corta definición lo más precisa posible para cada una de las variables. Fase 2, la descripción de las relaciones entre las variables, es decir en un sistema, una variable tiene sentido únicamente en cuanto forma un tejido o red relacional con las otras variables del sistema, el análisis estructural exige introducir las variables en un tablero de doble entrada o matriz de relaciones directas, luego, mediante una ponderación cualitativa (expresada cuantitativamente) de las relaciones de influencia directa existentes entre las variables seleccionadas, se asignan

los valores en la siguiente forma: si no existe relación, se anota 0; si la relación es débil, 1; si la relación es mediana, 2; y si es fuerte, 3; también se puede asignar P (potencial: cuyo valor es definido por el investigador). Fase 3, la identificación de las variables clave, en esta fase, el programa identifica las variables esenciales o determinantes de la dinámica del sistema, ésta la realiza de dos formas y en dos pasos: en primer lugar, mediante una clasificación directa (MIC: Matrices de Impactos Cruzados, con simples sumas de los valores de influencia-motricidad y dependencia para cada una de las variables); y, posteriormente, con una clasificación indirecta (MAC: Multiplicación Aplicada a una Clasificación), esta clasificación indirecta la obtiene después de una multiplicación matricial aplicada a la clasificación directa.

Como resultado de dichas operaciones, el programa de software provee varios diagramas que muestran la magnitud y naturaleza de las influencias ejercidas por unas variables sobre otras. Martínez (2011) define que la riqueza de información aportada por el software Lipsor MicMac para visualizar el desempeño de cada grupo de variables, lo hace integrando los aspectos cualitativos de las realidades con sus variantes cuantitativas, uniendo las bondades de ambos métodos: por un lado la ponderación cualitativa de las variables y por otro, con la multiplicación matricial de sus influencias y dependencias, directas e indirectas.

Se han planteado las características e interpretación en el uso de las herramientas del modelo de Bass para la difusión-adopción de una innovación así como las implicaciones del análisis estructural tipo MICMAC donde las variables de diversa naturaleza pueden ser agrupadas para conocer su verdadero grado estratégico en el plano de influencia así como dependencia.

4. CASO DE ESTUDIO

Para tener presente la estimación de la demanda para los sensores inerciales tipo *MEMS* aplicados a un producto de la tecnología que se lleva puesta, la primera parte en la que se enfoca este caso de estudio fue en dimensionar el grado de difusión-adopción que tendrán los relojes inteligentes en diferentes mercados geográficos mediante el modelo de Bass como herramienta de prospectiva. Con ello se identificaron patrones en la demanda de este producto lo cual permitirá al lector ubicar en que momento de la línea de tiempo se presentan contrastes en la etapa de adopción y su impacto en las ventas estimadas.

Adicional a esta primera aproximación de prospectiva se presenta un análisis global sobre las tendencias tecnológicas más importantes a juicio de las principales agencias de datos y Centros de Investigación, las cuáles impactaran la evolución de los sensores inerciales tipo *MEMS* para su inclusión en las nuevas áreas de oportunidad para el desarrollo de nuevos productos en la tecnología que se lleva puesta, mediante un método de escenarios para el estudio de futuros. Utilizando el software Lipsor-MicMac, se determinó el grado de influencia así como dependencia que tienen las diversas variables de entre estas tendencias, de manera que se identificaron las de orden crítico como variables clave que son esenciales para la evolución del sistema y descartar aquéllas que no presenten tal efecto.

4.1 Metodología

Para focalizar el estudio en primera instancia sobre la difusión esperada de los relojes inteligentes y a partir de ahí estimar el impacto sobre la tecnología tipo *MEMS*, se ejecutaron diversas corridas en Excel para conocer el patrón de adopción $S(t)$ en cuatro

países, con objeto de visualizar la adopción del producto en el tiempo por los consumidores. Obteniendo diferentes tendencias de difusión para los mercados potenciales de los países de México, Brasil, España y E.E.U.U. La estimación de los parámetros o coeficientes de innovación e imitación se obtuvieron en referencia a lo que fue el grado de difusión que alcanzo un producto similar, el reloj digital de funciones (Tabla 4.1).

Tabla 4.1.

Parámetros para uso del modelo de Bass

País	Máximo número potencial de consumidores (m)	Coefficiente de innovación (p)	Coefficiente de imitación (q)	$S(t) = [p + (q/m) N(t-1)] [m - N(t-1)]$
México	60,000,000	0.006	0.8	$S_1(t)$
Brasil	100,000,000	0.010	0.8	$S_2(t)$
España	40,000,000	0.020	0.7	$S_3(t)$
EE. UU.	300,000,000	0.027	0.6	$S_4(t)$

Fuente: *International Telecomm Union Report* (2007) y www.populationpyramid.net

Con ello se alimentó la fórmula del modelo de Bass para obtener el comportamiento de adopción del reloj inteligente en un lapso de tiempo futuro, analizando en la siguiente sección de este trabajo la similitud o diferencia existente entre los distintos gráficos del modelo.

Por otra parte se realizó el estudio en relación a las fuerzas impulsoras utilizando como herramienta la matriz de impactos cruzados de multiplicación aplicada a una clasificación (MICMAC), en la que se buscó identificar cuáles eran las tendencias o variables más impactantes y determinantes del sistema, es decir, la relación clave en su conjunto entre las tendencias para los productos de la tecnología que se lleva puesta así

como las imperantes para los *MEMS* de tipo inercial. Dichas variables son identificadas mediante minería de datos sobre prestigiadas fuentes informativas respecto a los últimos adelantos tecnológicos en el mundo y su impacto potencial sobre la manera de hacer negocios, tales como *Prime Faraday Reports* de la Universidad de Loughborough del Reino Unido que se refiere a información sobre la tendencias en diseño y manufactura de productos inteligentes bajo plataforma *MEMS*, el *Berkeley Sensor & Actuator Center (BSAC)* perteneciente al departamento de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación de la Universidad de California Berkeley, el cual aporta la visión de sus expertos para resolver retos importantes en nuevos sensores inerciales tipo *MEMS*, cómo lo es la recolección de datos que permitan añadir más funciones a los sistemas. Las fuentes restantes se describen en la tabla de fuerzas impulsoras (Tabla 4.2), en ella se enlistan las variables identificadas por rubros que engloban a cada una de estas fuerzas, también se definen éstas con el objetivo de tener claro el significado de las mismas y evitar que no se dupliquen.

Una vez descritas todas las variables, se definió el grado de influencia de cada una de estas sobre todas las demás, esto será trabajando cada variable, fila por fila, por lo que la primera variable de la primera fila se le determina que grado de influencia o posible causa tendrá sobre el resto de las variables definidas en cada columna y así sucesivamente según lo marca el procedimiento a seguir sobre la matriz de análisis estructural, (Tabla 4.3). Las variables se cuantificarán acorde a 0=influencia nula, 1=influencia mínima, 2=influencia moderada, 3=influencia fuerte, estos valores de interrelación son acorde a lo señalado por el método MICMAC, arrojando un total activo y un total pasivo.

Tabla 4.2.

Variables del sistema MEMS y tecnología que se lleva puesta

N°	Variable	Abreviatura	Descripción	Rubro	Fuente
1	Ecosistema de software robusto	ESR	Código que permita la fusión para que el ser humano interactúe con la tecnología y las variables físicas del medio que lo rodea	Software	Agencias IHS, Yole Développement
2	Acondicionamiento físico	AF	Estado de variables físicas en relación al acondicionamiento físico	Acondicionamiento físico	Agencias IHS, Yole Développement
3	Datos fisiológicos	DF	Estado de variables físicas en relación a la condición fisiológica del paciente en condiciones de orden crónico para facilitar en tiempo intervenciones de tipo clínico así como una detección temprana de síntomas de su estado de salud	Fisiología del cuerpo	Agencias IHS, Yole Développement
4	Condiciones de integridad física	CIF	Estado de variables físicas que permitan conocer un estado permanente de seguridad física del individuo, tales como caídas, ataques epilépticos, ataques al corazón	Integridad física	Agencias IHS, Yole Développement
5	Interrelación en la experiencia de vida	IEV	Amplificación de la realidad de manera virtual para relacionarse con aplicaciones de software mediante mejor ambientación de condiciones simuladas	Interactividad virtual	Agencias IHS, Yole Développement
6	Sensibilidad del MEMS al ruido	SMR	Grado de distorsión en las señales de tipo eléctrico, electro-mecánico, magnético, óptico e hidráulico	Hardware	Laboratorio Nacional Sandia, Centro de Investigación Berkeley, Instituto de Tecnología de Massachusetts
7	Fabricación y encapsulado	FE	Desarrollo de nuevos materiales y nuevos procesos para su producción en línea	Procesos de manufactura	Reportes Faraday Reino Unido
8	Costo de desarrollo y producción	CDP	Prototipado de aplicaciones a bajo costo	Presupuesto	Reportes Faraday Reino Unido

Tabla 4.3.

Cont.

N°	Variable	Abreviatura	Descripción	Rubro	Fuente
9	Bajo consumo de energía y capacidad de almacena-miento	BCECA	Uso de fuente renovables de energía por cinemática, calorífica	Energía	Laboratorio Nacional Sandia, Centro de Investigación Berkeley, Instituto de Tecnología de Massachusetts
10	Confiabilidad y desempeño	CD	Desarrollo de maquinaria y equipo de pruebas para validar las especificaciones de los prototipos	Calidad	Laboratorio Nacional Sandia, Centro de Investigación Berkeley
11	Biocompatibilidad	B	Amigables con el cuerpo humano	Fusión	Instituto de Tecnología de Massachusetts
12	Procesos largos de certificación y aprobación	PLAC	Gestión de reglamentación más flexible acorde a los resultados de prototipos de nueva generación	Introducción al mercado	Agencias IHS, Yole Développement

Fuente: Elaboración propia. Software Lipsor MicMac (2016)

El total activo, es el grado de influencia de cada variable sobre el resto, lo cual se observa con la sumatoria horizontal de cada variable, mientras que el total pasivo es el grado de dependencia de cada variable de todas las demás dado con la sumatoria vertical de cada una. Con ello se podrá mostrar en el siguiente tema la interpretación de los resultados para su análisis.

Con las variables identificadas para ambas herramientas de prospectiva, se alimentarán las aplicaciones de software para conocer la información y realizar la interpretación de los datos.

Tabla 4.4.

Interrelación y ponderación de las variables

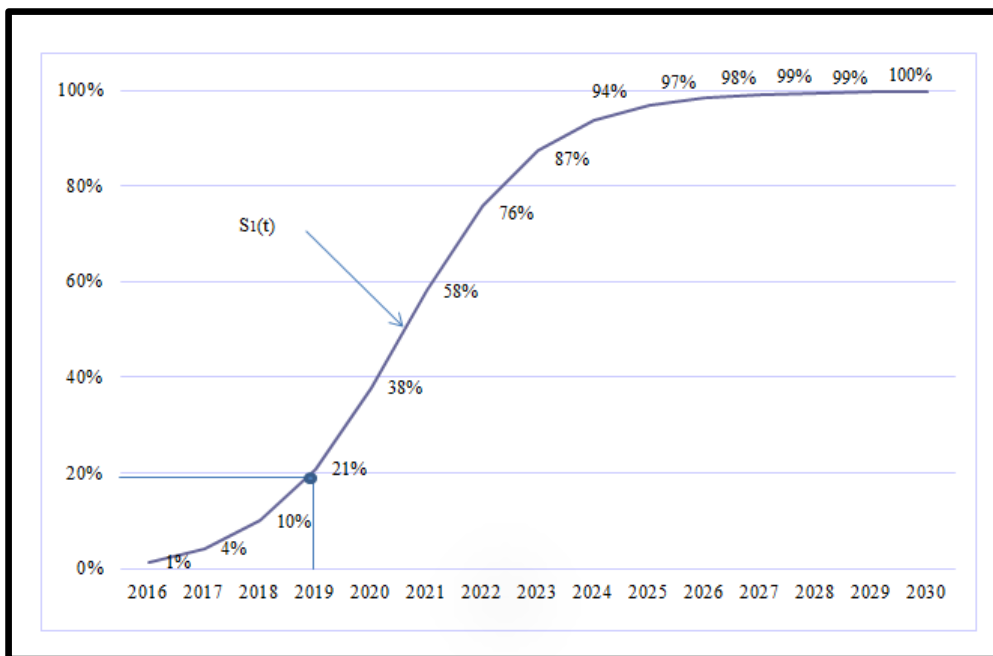
	1 : ESR	2 : AF	3 : DF	4 : CIF	5 : IEV	6 : SMR	7 : FE	8 : CDP	9 : BCECA	10 : CD	11 : B	12 : PLAC	Total Activo
1 : Ecosistema de software robusto	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
2 : Acondicionamiento físico	1	0	0	2	1	0	3	3	3	3	3	3	22
3 : Datos fisiológicos	1	1	0	3	2	0	3	3	3	3	3	3	25
4 : Condiciones de integridad física	1	1	2	0	1	0	3	3	3	3	3	3	23
5 : Interrelación en la experiencia de vida	1	1	1	1	0	0	3	3	3	3	3	3	22
6 : Sensibilidad del MEMS al ruido	3	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	21
7 : Fabricación y encapsulado	0	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	10
8 : Costo en desarrollo y producción	0	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	12
9 : Bajo consumo de energía y capacidad de almacenamiento	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	33
10 : Confiabilidad y desempeño	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	32
11 : Biocompatibilidad	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	35
12 : Procesos largos de certificación y aprobación	0	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	20
Total Pasivo	12	18	18	21	19	13	26	26	26	26	26	26	

Fuente: Elaboración propia. Software Lipsor MicMac (2016)

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

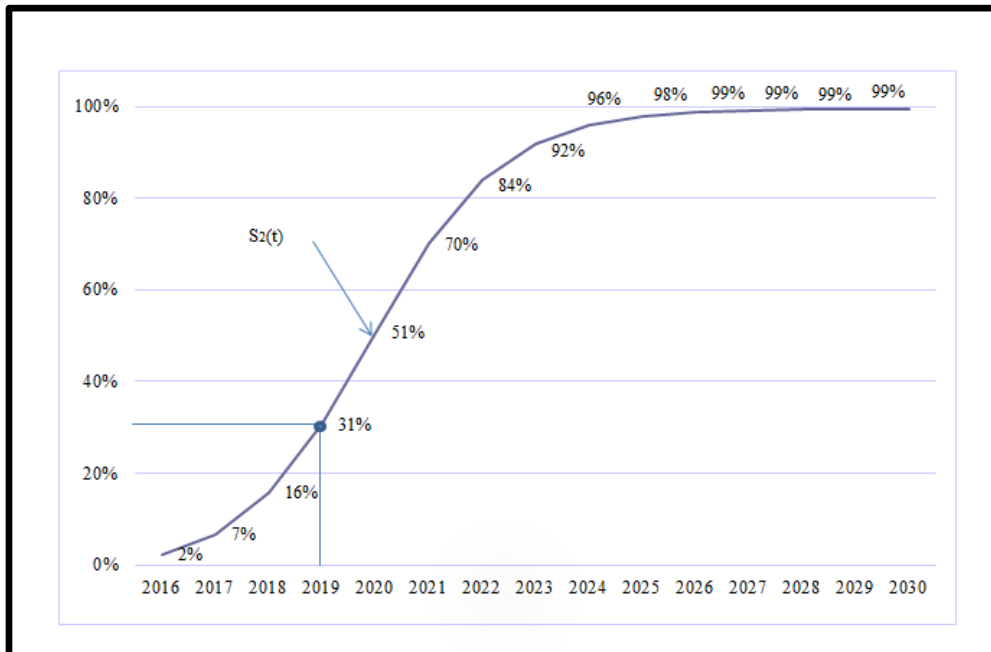
Primeramente las proyecciones calculadas en Excel bajo el modelo de Bass muestran una tendencia para México y Brasil al arranque de la curva “ $S_1(t)$ y $S_2(t)$ ” acorde a un factor de innovación reducido por lo que la curva de adopción de la masa crítica arranca de forma no tan acelerada, tan solo 20% para México y 30% para Brasil sobre el mercado potencial de consumidores en los primeros cuatro años respectivamente, lo que representa una masa crítica potencial de tipo innovador de 12 millones y 30 millones respectivamente (Figura 5.1 y 5.2).

Figura 5.1. Curva de difusión para la adopción del reloj inteligente en México



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.2. Curva de difusión para la adopción del reloj inteligente en Brasil



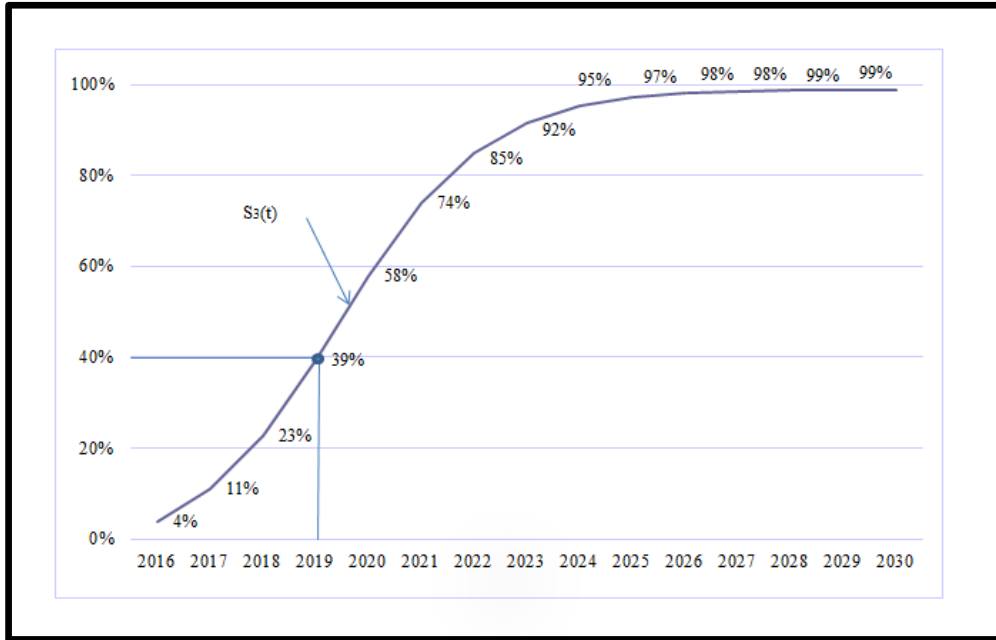
Fuente: Elaboración propia

Mientras que las proyecciones para países de primer mundo como España y EE.UU. muestran que con un factor de innovación más fuerte, la velocidad con la que se difunde la adopción de un nuevo producto a través del tiempo es crítica en los primeros cuatro años entre el 40% para EE. UU. y 50% España, lo que representa una masa crítica potencial de consumidores de tipo innovador de 120 millones y 20 millones respectivamente (Figura 5.3 y 5.4).

Se observa que en el periodo de los cuatro a los siete años el porcentaje de masa crítica en los cuatro países de esta comparativa alcanza entre el 70% al 80% aproximadamente, por lo que posterior el factor de imitación no representa una diferencia tan significativa en términos relativos, ya que el 16% de mercado potencial

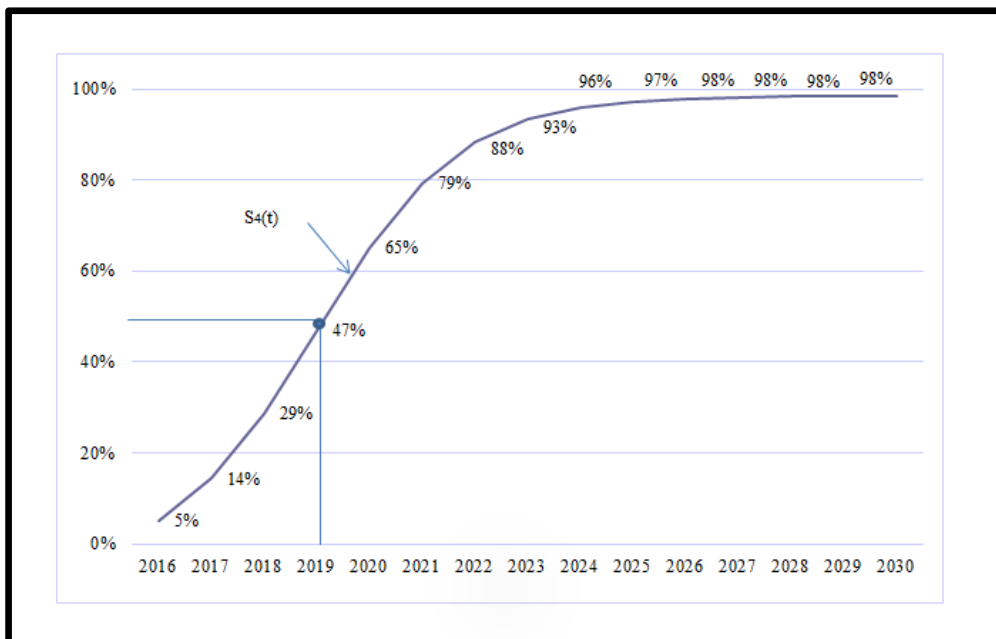
corresponde al grupo denominado de adopción retrasada, los cuales presentarán un alto grado de indecisión en la adquisición del producto (Figura 5.5).

Figura 5.3. Curva de difusión para la adopción del reloj inteligente en España



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.4. Curva de difusión para la adopción del reloj inteligente en EE. UU.



Fuente: Elaboración propia

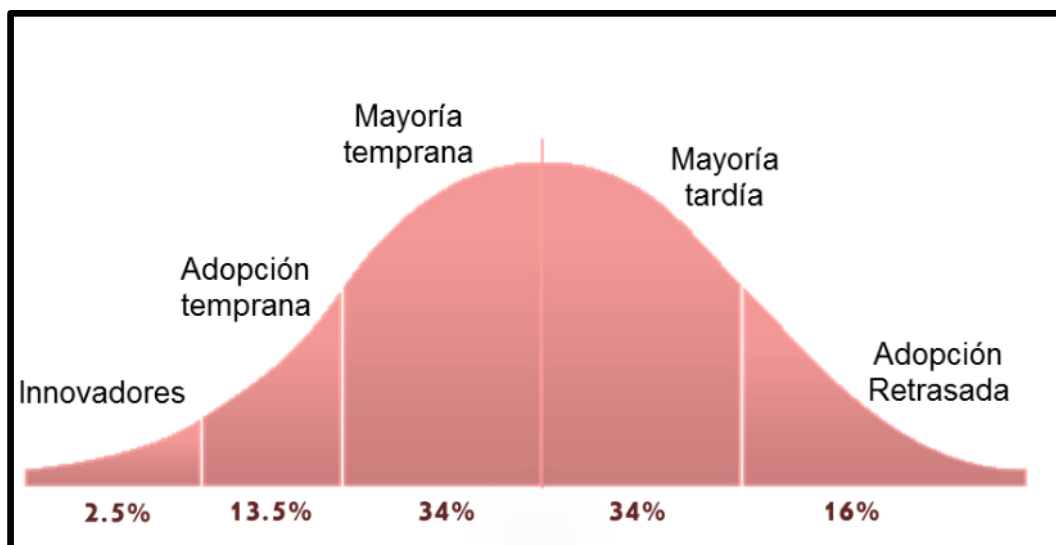
¿Por que es complejo y no tan atractivo a pesar de tener una masa crítica importante de potenciales consumidores el entrar al mercado en ese periodo de los 4 a los 7 años? Entre los factores que destacan este comportamiento, es la entrada de nuevos jugadores en el mercado capaces de ofertar productos con características similares gracias a que ya han contado con un periodo de tiempo para asimilar la nueva tecnología e implementar soluciones sustitutas atractivas al resto del mercado, pero inferiores en desempeño, calidad y robustez, principalmente con ello pueden acceder a los potenciales consumidores de la mayoría tardía y rezagados, que en su conjunto corresponden aproximadamente al 50% del mercado, lo anterior aplica para el caso de España y E.E.U.U.

En el caso de los países en desarrollo, México y Brasil, las compañías tendrán mayor oportunidad de competir adicionalmente por el consumidor de la mayoría temprana, pero a diferencia de estar en desventaja las compañías líderes del producto, debido a que se encontrarán con más jugadores en ese mismo periodo de tiempo en estos países, la ventaja competitiva tecnológica en cuanto a brecha se ve reducida.

Por otra parte el efecto innovador representará en los primeros años para cualesquiera de los cuatro países un factor decisivo en la demanda de *MEMS* tipo inercial para su uso en los productos de la tecnología que se lleva puesta, sin embargo los resultados en las tendencias de adopción en cada país marcaron diferencias sensibles sobre todo en los países desarrollados de España y E.E.U.U. donde se accede en un periodo de cuatro años al consumidor tipo innovador, de adopción y mayoría temprana, mientras que en México y Brasil esto no se cumple del todo ¿Por qué se da esta diferencia? Aspecto fundamental como la mercadotecnia, destacará la ventaja relativa del producto, su compatibilidad referente a satisfacer los deseos-necesidades del usuario, bajo grado de

complejidad para su uso, lo anterior resaltará sus atributos y características. Con esa estrategia de negocios se acelera el interés por la adopción del producto ofreciendo a las compañías líderes en su papel de jugadores entrantes, el permitir fijar el precio de entrada del producto. En los países en desarrollo no resulta favorable esta estrategia debido al bajo nivel de ingreso de la población, ya que hoy fecha no han mejorado su nivel de competitividad, México lugar 57 y Brasil lugar 75 sobre 140 economías (*World Economic Forum 2015-2016*).

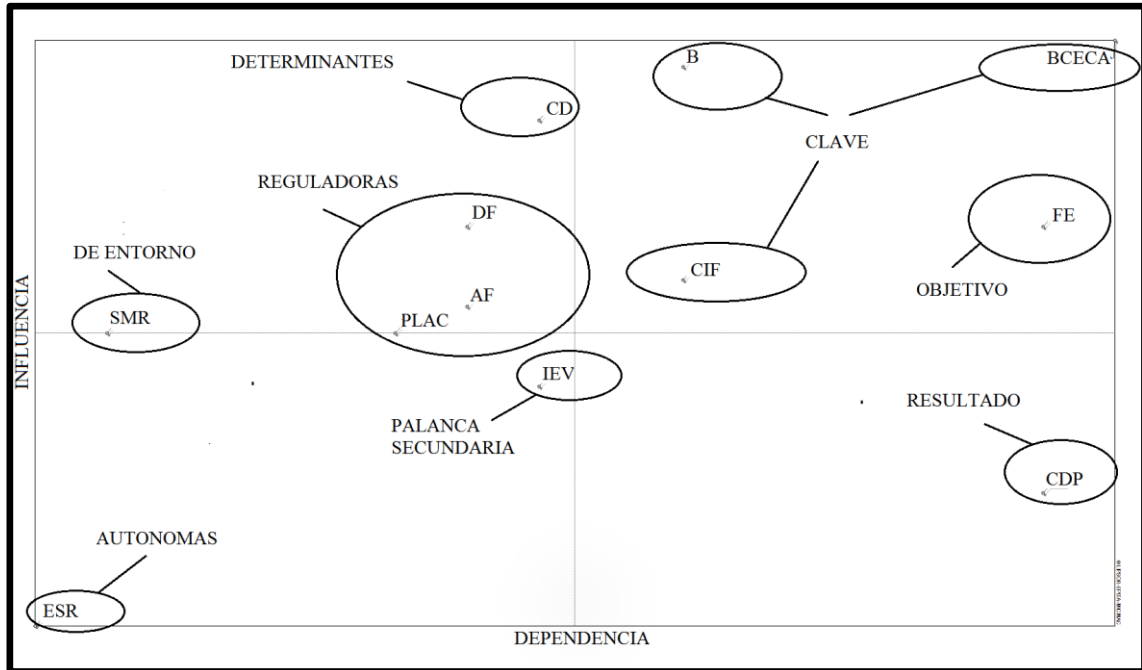
Figura 5.5. Ciclo de adopción de la innovación



Fuente: Hoffmann (2011, p. 44)

La segunda parte de este caso de estudio presenta una perspectiva para identificar globalmente las variables que destacan más en el entorno de orden estratégico que deben ser monitoreadas para la construcción de escenarios de futuro que representen en su conjunto estas dos tecnologías. Se han capturado en el software del análisis MICMAC las variables representativas del sistema y el software ha presentado la proyección de estas. Se muestra su posición en el gráfico siguiente (Figura 5.6).

Figura 5.6. Plano de influencia y dependencia del estudio



Fuente: Elaboración propia. Software Lipsor MicMac (2016)

Acorde al gráfico anterior se tiene en el cuadrante de alta influencia y baja dependencia, las variables determinantes, de entorno y reguladoras. Su importancia radica en que tienen alta incidencia sobre el resto de las demás, es decir, son las que mueven el sistema y por ende son las más estratégicas para ser trabajadas ya que son poco influenciadas por el resto de las variables (Tabla 5.1).

Tabla 5.1.

Cuadrante superior izquierdo

Variable	Abreviatura	Tipo
Sensibilidad del MEMS al ruido	SMR	De entorno
Procesos largos de certificación y aprobación	PLAC	Reguladora
Datos fisiológicos	DF	Reguladora
Acondicionamiento físico	AF	Reguladora
Confiabilidad y desempeño	CD	Determinante

Fuente: Elaboración propia

En el cuadrante contiguo con alto grado de incidencia y alta dependencia, las variables clave y objetivo, las cuales por su naturaleza generan alto riesgo e incertidumbre sobre el sistema (Tabla 5.2).

Tabla 5.2.

Cuadrante superior derecho

Variable	Abreviatura	Tipo
Bajo consumo de energía y capacidad de almacenamiento	BCECA	Clave
Biocompatibilidad	B	Clave
Condiciones de integridad física	CIF	Clave
Fabricación y encapsulado	FE	Objetivo

Fuente: Elaboración propia.

En lo que respecta al cuadrante inferior derecho, las variables resultado serán aquellas que reaccionan a las demás categorías, puede ser utilizada a manera de indicador sobre el resto de las variables, al ser muy dependientes de las otras (Tabla 5.3).

Tabla 5.3.

Cuadrante inferior derecho

Variable	Abreviatura	Tipo
Costos de desarrollo y producción	CDP	Resultado

Fuente: Elaboración propia

Finalmente las variables autónomas y palancas secundarias en el cuadrante inferior izquierdo, siendo importantes para el sistema pero no influyen ni son influidas por el resto de las variables (Tabla 5.4).

Tabla 5.4.

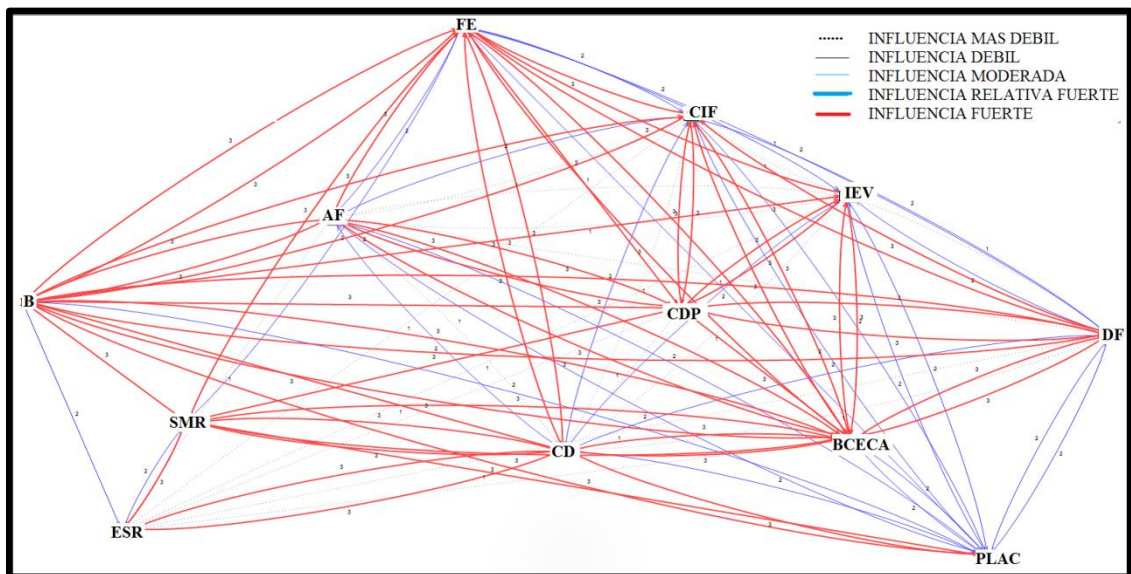
Cuadrante inferior izquierdo

Variable	Abreviatura	Tipo
Ecosistema de software robusto	ESR	Autónoma
Interacción en la experiencia de vida	IEV	Palanca secundaria

Fuente: Elaboración propia

Si se tratase de identificar el grado de influencia exclusivamente entre las variables, se partiría de un mapa muy intrincado, de difícil interpretación y limitado debido a que no brinda información referente al grado de dependencia de estas (Figura 5.7). Por lo que comparativamente el uso del método MICMAC permite visualizar donde se encuentran claramente cada una de ellas, en cuanto a su influencia y dependencia.

Figura 5.7. Relación entre variables



Fuente: Elaboración propia en software Lipsor MicMac (2016)

Por un lado los datos permiten demostrar mediante los resultados de la simulación el tamaño potencial del mercado y en cuanto tiempo puede ser o no atractivo para la

empresa y por el otro, la significancia estratégica de las fuerzas impulsoras para conocer su posición de influencia real sobre el desarrollo de productos futuros, con lo cual se ha reducido la complejidad del sistema a sus variables esenciales.

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de mercado existe una necesidad urgente en las industrias de usuario final por revisar sus inversiones en el aspecto de a que tecnología de sensores apostar, es por ello que se ha presentado una revisión de lo que es y lo que representara la tecnología de orden disruptivo tipo *MEMS* en referencia a los sensores de tipo inercial. Ya que esta sigue avanzando hacia nuevos desarrollos, por medio de la cada vez mayor miniaturización y fusión de los sistemas que integran sus capacidades, orientados hacia soluciones específicas en los sectores de tipo militar, aeroespacial, automotriz y de consumo.

Aunque esta tecnología se encuentra en constante evolución para su aplicación en diversas industrias ha sido importante identificar con certeza un área de oportunidad, el potencial estimado de consumidores que pueda representar y que tendencias marcaran el efecto de catapultamiento de esta, hacia nuevas aplicaciones.

Se identifico un nicho importante de oportunidad de mercado de los sensores inerciales tipo *MEMS* como tecnología de orden habilitadora, aplicada a la tecnología que se lleva puesta en el sector de consumo, el cual provee un filtro inmediato a toda aquella empresa que desee tener una visión pronta sobre que vertiente dentro del abanico actual de aplicaciones tiene un claro potencial futuro de negocios.

Mediante un análisis de tipo prospectivo se demostro este potencial, utilizando el modelo de Bass como herramienta que permitio hacer una aproximación sobre el tamaño previsto de la demanda sobre el reloj inteligente, producto con mayor perspectiva de crecimiento de la tecnología que se lleva puesta, definido así por las prestigiadas

agencias de análisis de datos a nivel mundial. De ahí que se escogiera para el análisis cuatro naciones representativas como potenciales receptores de este nuevo producto.

Se encontro que esta demanda se traduce como el patron en el tiempo de la adopción o difusión de los distintos tipos de consumidores (innovadores e imitadores) lo que permite identificar de manera indirecta la estrecha relación de la demanda sobre su tecnología base, los *MEMS* de tipo inercial.

También se pudo validar que cuanto mayor sea la magnitud del coeficiente de innovación en un país, este ofrecera mayores condiciones a los nuevos jugadores entrantes para tener un mercado de consumidores cautivo y exclusivo correspondiente a los innovadores, a los adoptadores y la mayoría temprana. Ya que contarán con un periodo de tiempo inicial crítico (tal y como lo mostrarón los gráficos de tendencia de adopción en el tiempo) antes de que surjan otras compañías y tecnologías de orden sustituto, que compitan por parte del mercado restante, perteneciente a los consumidores potenciales representantes de la mayoría tardada y adoptadores retrasados. Pero a diferencia de que aún y cuando pueden acceder las compañías líderes a este segmento último de consumidores, se encontrarán con muchos jugadores entrantes, además del bajo atractivo que represente la innovación en su parte del ciclo maduro y final de su comercialización. Por lo que complementario a un coeficiente de innovación alto, se buscará un coeficiente de imitación bajo por parte de estas compañías en países objetivo donde decidan explotar sus innovaciones. La consecuencia es buscar un posicionamiento rapido no sólo del producto sino de la marca al cabo de poco tiempo, lo que conlleve a cubrir un porcentaje importante de la masa crítica e influyente que lo pueda adquirir.

El uso del analisis estructural a través de la herramienta MICMAC cuya lógica básica subyace en hacer una exploración del futuro (prospectiva) sobre la base de las

interacciones de una serie de variables “*drivers*”, permitió encontrar si efectivamente entre estas dos tecnologías (los sensores *MEMS* de tipo inercial y la tecnología que se lleva puesta) se puede generar un marco global completo como aproximación de la realidad a manera de ser un medio para verla y con ello saber cuales tendencias son las de mayor peso y riesgo, permitiendo enmarcar acciones de vigilancia tecnológica de toda aquella empresa que quiera dar seguimiento a la evolución del sistema. Lo cual permitió relacionar las mas significativas y a la vez delimitar aquéllas que no aporten valor agregado.

Entre las reflexiones y hallazgos del analisis estructural, se resalta que en primera instancia se deberá poner atención a la evolución y resultados que muestren los sensores inerciales tipo *MEMS* en referencia a la fuerza impulsora de su respuesta en sensibilidad a los fenómenos de ruido externo ya que esto impacta a la confiabilidad y el desempeño como variable de tipo determinante. Estas dos fuerzas impulsoras anteriores serán factor clave para el desarrollo de nuevos productos donde se visualizan diferentes nichos de mercado, con lo que se podrá identificar hasta que grado se estará en posibilidades de desarrollar aplicaciones clave, como lo serán las de orden fisiológico y de acondicionamiento físico. También se debe poner atención sobre la aportación de alto riesgo e incertidumbre en los campos de: bajo consumo de energía, biocompatibilidad y capacidad para monitorear condiciones de integridad física, lo que implicará volcar recursos así como infraestructura a la parte de investigación y los resultados que se tengan a nivel prototipo, se recomienda a las empresas de base tecnológica que deseen incursionar en este tipo de productos monitorear los resultados que de ello emanen a través de las patentes, artículos, memorias de congresos y revistas especializadas, ya que estas referencias servirán para delinear las implicaciones de su factibilidad técnica a

nivel de producción en masa, sobre la variable de nuevos materiales, métodos de fabricación y encapsulado. Esta última tendencia será el factor preponderante que genere el esquema para la definición de costos, lo cual condicionará el desarrollo comercial de nuevas aplicaciones, con la complementación de la aplicación de software como la interfaz de usuario, ambas plataformas secundarias, las cuales soportarán la estrategia de mercadotecnia en la introducción del producto al mercado objetivo.

Los aspectos que se proponen de interés para futuras investigaciones esta el aplicar una extensión del modelo de Bass que consiste en incluir el efecto de productos complementarios, es decir, que la compra de un producto es contingente a la compra de otro producto básico la compra de videojuegos (software) depende de la disponibilidad de consolas (hardware), con lo cual para prospectar el mercado de los primeros es necesario prospectar el mercado de los segundos, una comparativa similar se puede dar tanto entre el reloj como el telefono inteligente.

Otra área fértil de investigación es la aplicación del modelo de Bass ampliado para analizar la influencia que los nuevos medios como Internet e Internet de las Cosas pueden generar en la difusión de un nuevo producto, con el cual es probable se produzca un efecto favorable y no, tanto para su difusión en mayor rapidez o subsecuente fracaso en menor tiempo.

Finalmente el uso de la prospectiva como disciplina y como método, además de haber demostrado su validez y eficacia para generar información para la toma de decisiones independientemente del grado de confianza que aporte, seguirá siendo útil para la generación de políticas públicas y planeación estratégica de las empresas como parte de sus decisiones en inversión, en consecuencia la constante necesidad de mejorar los

métodos para realizarla, para que permita desarrollar cada vez más una mejor visión del futuro cuya imagen sea estructurada, transformadora y realizable.

REFERENCIAS

- Acar, C., & Shkel, A. M. (28 de mayo de 2003). Experimental evaluation and comparative analysis of commercial variable-capacitance MEMS acelerometers. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 13 (5), pp. 634-645.
- Baltes, H., Brand, O., Fedder, G., Hierold, C., Korvink, J., & Tabata, O. (2004). *Enabling Technology for MEMS and Nanodevices*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Bass, F. (Enero, 1969). A New Product Growth Model for Consumer Durables: The Bass Model. *Management Science*, 15 (5), pp. 215-227.
- Bass, F. (Diciembre, 2004). Comments on "A New Product Growth Model for Consumer Durables": The Bass Model. *Management Science*, 50 (12), pp. 1833-1840.
- Bower, J. L., & Christensen, C. M. (1 de Febrero de 1995). Disruptive technologies: Catching the wave. *Harvard Business Rev.*, 73 (1), pp. 43-53.
- Chollet, F., & Haobing, L. (2015). *A (not so) short introduction to MEMS*. Obtenido de <http://memscyclopedia.org/introMEMS.html>
- Ehrfeld, W., & Ehrfeld, U. (2001). *Progress and profit through micro technologies. Commercial applications of MEMS / MOEMS*. Mainz: SPIE 4557.
- Escorsa, P., & Valls, J. (2003). *Tecnología e innovación en la empresa*. Barcelona: UPC.
- Esfandyari, J., De Nuccio, R., & Xu, G. (2010). *Introduction to MEMS gyroscopes*. Recuperado el 27 de Octubre de 2015, de SolidState Technology: <http://www.electroiq.com/articles/stm/2010/11/introduction-to-mems-gyroscopes.html>

- Fourt, L. A., & Woodlock, J. W. (Octubre, 1960). Early prediction of market success for new grocery products. *J. Marketing*, 25 (1), pp. 31-38.
- Frank, R. (2000). *Understanding smart sensors*. Norwood: Artech House.
- Gad-el-Hak, M. (2002). *The MEMS handbook*. New York: CRC Press.
- Ganz, M. (Febrero, 2001). *Laboratorios Draper*. Recuperado el 4 de Junio de 2015, de <http://www.draper.com/history>
- Godet, M. (1997). *De la anticipación a la acción. Manual de prospectiva*. Barcelona: Alfaomega.
- Godet, M. (2011). *Bonnes nouvelles des conspirateurs du futur*. Paris: Dunod.
- Godet, M., Monti, R., Meunier, F., & Roubelat, F. (2000). *La Caja de herramientas de la prospectiva estrategica*. Paris: Librairie des Arts et Métiers.
- Jacobson, J. (Enero, 2001). *MIT Media Lab*. Recuperado el 15 de Agosto de 2015, de <https://www.media.mit.edu/research/highlights>
- Jouvenel, B. (1968). *El arte de prever el futuro*. Madrid: Rialp.
- Kempe, V. (2011). *Inertial MEMS Principles and Practice*. Cambridge: University Press.
- Kondratief, N. D. (1984). *The Long Wave Cycle*. New York: Richardson & Snyder.
- Kraft, M. (Junio, 2000). Micromachined Inertial Sensors: The State of the art and a Look into the Future. *IMC Measurement and Control*, 33 (6), pp. 164-168.
- Kraft, M., & White, N. M. (2013). *MEMS for automotive and aerospace applications*. Cambridge: Woodhead.
- Linton, J. D. (Noviembre, 2002). Forecasting the Market Diffusion of Disruptive and Discontinuous Innovation. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 49 (4), pp. 365-374.

- Lipsor. (2011). *La Prospective "Pour penser et agir autrement"*. Recuperado el 12 de Abril de 2016, de Methods of prospective: <http://en.lapropective.fr/methods-of-prospective/software/59-micmac.html>
- Lyneis, J. M. (Abril, 2000). System dynamics for market forecasting and structural analysis. En *System Dynamics Review*, 16 (1) pp. 3-25. New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Malluf, N. (2000). *An introduction to microelectromechanical systems*. Norwood: Artech House Inc.
- Mansfield, E. (Octubre, 1961). Technical change and the rate of imitation. *Econometrica*, 29 (4), pp. 741-766.
- Martínez, M. (Noviembre, 2011). El paradigma sistémico, la complejidad y la transdisciplinariedad como bases epistémicas de la investigación cualitativa. *Redhecs*, 11 (6), pp. 1-10.
- Myers, S., & Marquis, D. G. (1969). *Successful industrial innovations: a study of factors underlying innovation in selected firms*. Washington: National Science Foundation.
- Naisbitt, J., & Aburdene, P. (1990). *Megatrends 2000*. New York: Wm Morrow Co.
- Prime Farady Technology Watch. (2002). *An Introduction to MEMS*. Loughborough: Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering.
- Utterback, J. (1994). *Mastering the Dynamics of Innovation*. Boston: Harvard Business School Press.
- Wearable Sensor Market Report*. (2014). Recuperado el 10 de Marzo de 2016, de IHS Newsroom: <http://press.ihs.com/press-release/technology/wearable-sensor-market-expand-sevenfold-five-years>

- Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering. (2002). *An Introduction to MEMS*. Loughborough: Prime Faraday Technology Watch.
- Woodman, O. J. (2007). *An Introduction to Inertial Navigation. Technical Report, number 696*. Recuperado el 9 de Septiembre de 2015, de University of Cambridge, Computer Laboratory: <http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-696.pdf>
- Yazdi, N., Ayazi, F., & Najafi, K. (Agosto, 1998). Micromachined Inertial Sensors. *Proceedings of the IEEE*, 86 (8), pp. 1640-1659.
- Zotov, S. A., Rivers, M. C., Trusov, A. A., & Shkel, A. M. (Noviembre, 2011). Folded MEMS Pyramid Inertial Measurement Unit. *IEEE Sensors Journal*, 11(11), pp. 2780-2789.

APÉNDICE

APÉNDICE A**ABREVIATURAS**

MST	Tecnología de micro-sistemas
MEMS	Sistemas micro-electromecánicos
MM	Micro-máquinas
I+D+i	Investigación más desarrollo más innovación
GPS	Sistema de posicionamiento global
DPL	Procesador digital de luz
ABS	Sistema antibloqueo de frenos o Sistema de bolsas de aire
ESC	Estabilidad electrónica controlada
SVG	Gráfico vectorial re-dimensionable
IMU	Unidad de medición inercial
B2B	Hacer negocios por medio electrónico
OCDE	Organización para la cooperación y el desarrollo económico
MP3	Formato de compresión digital para audio
MICMAC	Matriz de impactos cruzados de multiplicación aplicada a una clasificación
E.E.U.U.	Estados Unidos de América