

INFORME DE ACTUALIZACIÓN

ACTUADORES MEMS EN EL SECTOR AERONÁUTICO



("Photo Courtesy of MEMX inc. (www.memx.com)")

Realizado por:

COSME HUERTAS, María Luisa

(Vigilancia Tecnológica, CIMTAN, INTA)

E-mail: cosmehml@inta.es

Tfno.: 983 181799

Mayo 2008

ÍNDICE

1. OBJETO DE ESTUDIO
2. INTRODUCCIÓN
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS
4. CONCLUSIONES

1. OBJETO DE ESTUDIO

El CIMTAN en su afán de mejorar la calidad de sus servicios ha abierto una nueva línea de informes. Son lo que se ha denominado **Informes de Actualización**. Es decir, informes posteriores al inicial, y que recogen las últimas novedades en el tema. En ellos, se trata de ver las últimas tendencias en investigación.

2. INTRODUCCIÓN

En Octubre de 2006, el CIMTAN realizó un estudio titulado: **“Actuadores MEMS en el sector Aeroespacial: Control de flujo”**. En él se hacía un estudio detallado de los diferentes tipos de actuadores, así como los distintos usos que se le daba a estos sistemas en el campo de la aeronáutica. El estudio se centró en particular en el control de flujo, por ser ésta la temática que más estaba en expansión con estos actuadores MEMS.

La principal conclusión a la que se llegó en el pasado estudio es que la aplicación de MEMS al control de flujo está madura, es decir, es una tecnología ampliamente estudiada porque su reducido tamaño les permite moverse y actuar dentro de la capa límite, a la vez que las frecuencias en las que trabajan son del mismo orden que las de los torbellinos que se crean en esta región. Ya se han llevado a cabo ensayos en túnel de viento y los resultados muestran una reducción de la resistencia y un aumento de la sustentación.

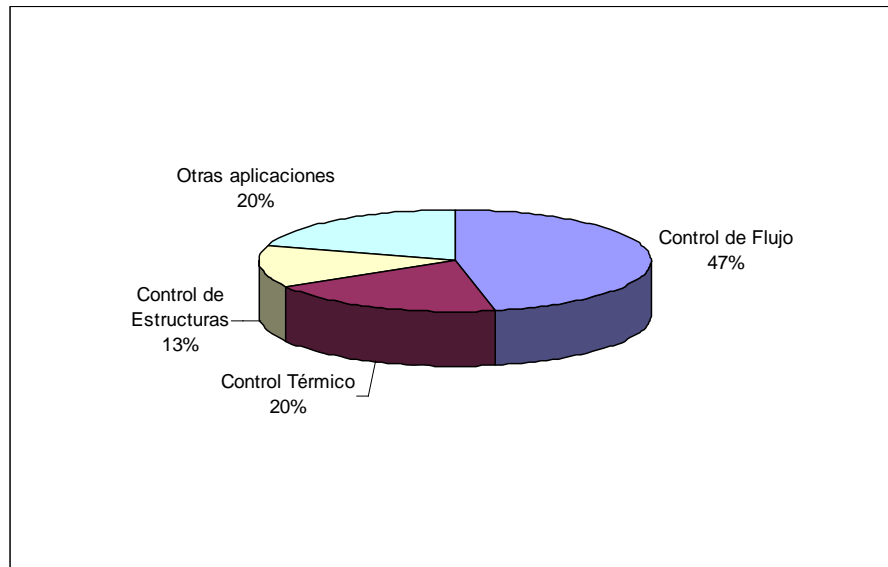
Durante el estudio se identificaron varios tipos de actuadores dependiendo de su interacción con la capa límite: Superficie móvil, inyectores de aire, actuadores térmicos, actuadores de burbuja y de interacción eléctrica y magnética. De ellos, el que más posibilidades de implantación a corto plazo tiene es el denominado “Synthetic jets” enmarcado en los actuadores de inyección de aire. Consiste en pequeñas cavidades con un orificio de salida hacia la capa límite que inyectan aire con la frecuencia resonante de la membrana inferior de la cavidad.

Los actuadores MEMS se enfrentan a dos problemas importantes. Por un lado está el hecho de que para lograr maniobrabilidad se requiere una gran capacidad de computación. Cada actuador MEMS necesita instrucciones individuales en función del flujo que detecta, lo que hace que se necesiten muchos cálculos en paralelo y a gran velocidad. El otro gran problema es su elevado consumo energético. El estudio muestra, que los “Synthetic Jets” son los que menos energía consumen, por lo que siguen siendo los mejores candidatos, pero para su implantación final es necesario aún realizar los test en túneles de viento.

Otras aplicaciones de los actuadores MEMS en el sector que se detectaron a lo largo de la realización del informe fueron: Sistemas de propulsión, sistemas de acoplamiento de satélites, sistemas de control de la orientación, sistemas RF MEMS, actuadores inerciales,...

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tras el analizar los resultados obtenidos desde **Octubre de 2006 hasta Mayo de 2008 (19 meses)**, se ha obtenido un total de **25 resultados** que se han distribuido, según las aplicaciones para las que han sido desarrollados, siguiendo el siguiente esquema:



Como quiera que el informe previo se dedicara explícitamente a **actuadores MEMS para control de flujo**, en este se va a seguir la misma línea para analizar las tendencias. Del resto de aplicaciones, como se hizo anteriormente, se hará mención pero no análisis.

3.1. CONTROL DE FLUJO

3.1.1.- LISTADOS DE DOCUMENTOS

De los **14 documentos** identificados, 3 corresponden a referencias científicas y 11 a patentes. Son los que se relacionan a continuación:

■ REFERENCIAS CIENTÍFICAS

TITULO	FUENTE	AUTORES	CENTROS	PAISES	COMENTARIO	INICIO
DEVELOPMENT OF MEMS-BASED PIEZOELECTRIC MICROVALVE TECHNOLOGIES.	WEB OF SCIENCE	KHODADADI JM LEE C YANG EH	AUBURN UNIV CALTECH	EE.UU.	Microválvulas piezoeléctricas para el control de flujo del sistema de propulsión de las naves espaciales.	01/01/07
CONTROL OF DOUBLE-DELTA-WING VORTEX BY MICRO LEADING-EDGE FLAP	AIAA	CHANG J. CHUNG H. SOHN M.	HANKUK AVIATION UNIVERSITY KOREA AIR FORCE ACADEMY	REPÚBLICA DE COREA	Efecto de microflaps en el control del vórtice en alas doble delta.	25/06/07

TITULO	FUENTE	AUTORES	CENTROS	PAISES	COMENTARIO	INICIO
DEVELOPMENT AND TESTING OF MEMS CONTROL SURFACES FOR HIGH SPEED PROJECTILES	AIAA	DEEDS M. GONZALES D HERMAN D PAPADOPOULOS G. PRYBYLA G. TSAI C WARNER B.	ATK GASL NAVAL SURFACE WARFARE CENTER	EE.UU.	Actuadores MEMS que provocan pequeñas perturbaciones en el flujo situado sobre una superficie.	08/01/07

PATENTES

TITULO	FUENTE	AUTORES	CENTROS	PAISES	COMENTARIO	INICIO
DUAL BIMORPH SYNTHETIC PULSATOR	EPO	BOESPFLUG MATTHEW DONNELLY SCOTT SADDOUGHY SEYED	---	EE.UU.	Control del flujo de fluidos mediante actuadores synthetic jets. Una de las aplicaciones es sobre la superficie aerodinámica de un avión.	07/12/06

MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEM FLUIDIC ACTUATOR FOR E.G. CONTROLLING PROFILE OF E.G. AIRCRAFT'S AIRFOIL. HAS SENSOR MEASURING PRESSURE OF FLUID THAT IS ADMITTED AND WITHDRAWN INTO AND FROM BLADDER TO EXPAND AND CONTRACT ACTUATOR	DERWENT INNOVATION	---	SANDIA CORP	EE.UU.	Sistema de actuadores MEMS de flujo.	24/07/07
---	--------------------	-----	-------------	--------	--------------------------------------	----------

DIELECTRIC ELASTOMER FIBER TRANSDUCERS	WIPO	ALVAREZ ICAZA RIVERA, RODRIGO ALVAREZ SANCHES, JUAN, MANUEL ARTHUR, JOHN; VERNON GALLOWAY, KEVIN, CHALGREN KATZENBERG, HOWARD, SCOTT KOTHARI, RAHUL	---	MÉJICO EE.UU.	Un cambio de textura puede cambiar la aerodinámica. Esta propiedad se usa para controlar la dirección de un avión.	16/11/06
--	------	---	-----	------------------	--	----------

DIELECTRIC ELECTROACTIVE POLYMER	WIPO	DUBOIS, PHILIPPE KOSTER, SANDER MIKHAILOV, SERGUEI	ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE (EPFL) - INSTITUTION	PAISES BAJOS SUIZA	Una de las aplicaciones es para el control de flujo en aviones.	23/11/06
--	------	--	---	-----------------------	---	----------

ELECTRO ACTIVE MATERIAL ACTUATOR EMBEDDED WITH INTERDIGITATED ELECTRODES	WIPO	GOO, NAM SEO PARK, HOON CHEOL YOON, KWANG JOON YOON, YOUNG SOO	KONKUK UNIVERSITY INDUSTRIAL COOPERATION CORP. - INSTITUTION	REPÚBLICA DE COREA	Los actuadores piezocerámicos se usan para el control de superficies en aviones o misiles.	01/03/07
--	------	---	--	--------------------	--	----------

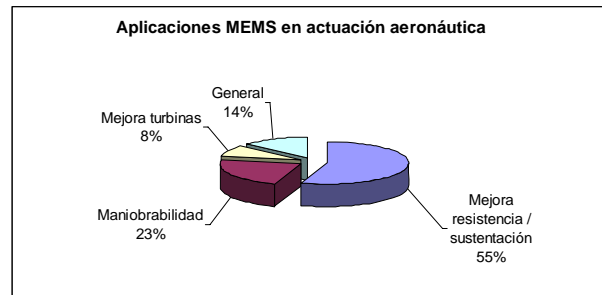
MICROFABRICATION	WIPO	HUCKER, MARTYN, JOHN WARSOP, CLYDE	BAE SYSTEMS PLC - EMPRESA		Actuadores MEMS electrostáticos	26/04/07
AIRFOIL PERFORMANCE MODIFICATION USING SYNTHETIC JET ACTUATORS	WIPO	DESALVO, MICHAEL, EDWARD GLEZER, ARI	GEORGIA TECH RESEARCH CORPORATIO N - EMPRESA	EE.UU.	Sistemas y métodos para modificar el flujo de fluido sobre una superficie. Un sistema representative incorpora un componente capar de generar vortices y un actuador synthetic jet.	18/10/07
A BONDING TOOL AND METHOD	WIPO	HUCKER, MARTYN JOHN WARSOP, CLYDE	BAE SYSTEMS PLC - EMPRESA	REINO UNIDO	Este invento se aplica a transductores que se pueden usar a modo de válvulas para control de flujo en superficie, como por ejemplo, manipulación del control de flujo en las alas de un avión.	06/12/07
WINGLESS HOVERING OF MICRO AIR VEHICLE	WIPO	ROY, SUBRATA	UNIVERSITY OF FLORIDA RESEARCH FOUNDATION, INC. - INSTITUCION	EE.UU.	Uso de fuerzas electrodinámicas para el control de flujo en aplicaciones aeroespaciales.	07/02/08
ADAPTIVE STRUCTURES, SYSTEMS INCORPORATING SAME AND RELATED METHODS	USPTO: App	CASTROGIOVANNI ANTHONY TILIAKOS NICHOLAS	---	EE.UU.	Las estructuras adaptativas se usan para controlar el flujo de fluidos a través de microporos en respuesta a un parámetro medioambiental, como por ejemplo, la temperatura.	06/11/06
ELECTROACTIVE POLYMER DEVICES FOR MOVING FLUID	USPTO: App	HEIM JONATHAN R. HEYDT RICHARD KORNBLUH ROY DAVID PELRINE RONALD E.	SRI INTERNATION AL - EMPRESA	EE.UU.	La fabricación de actuadores de este nuevo material los hace más baratos, ligeros y con mayor capacidad de operación. Entre los sectores de aplicación esta la industria aeroespacial donde el control de flujo es un factor crítico.	21/12/06

3.1.2. ANÁLISIS GRÁFICO

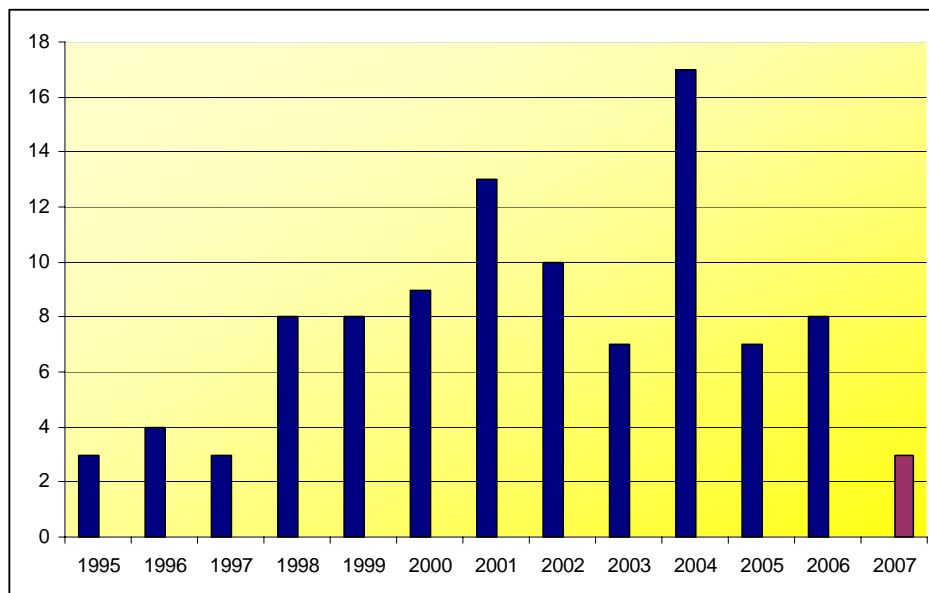
Vamos a hacer, entonces, un **análisis comparativo**, partiendo de los gráficos del otro informe, para ver cómo han ido evolucionando las tendencias durante este tiempo:

■ REFERENCIAS CIENTÍFICAS

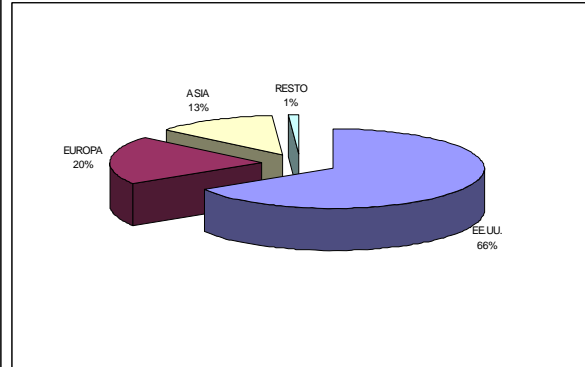
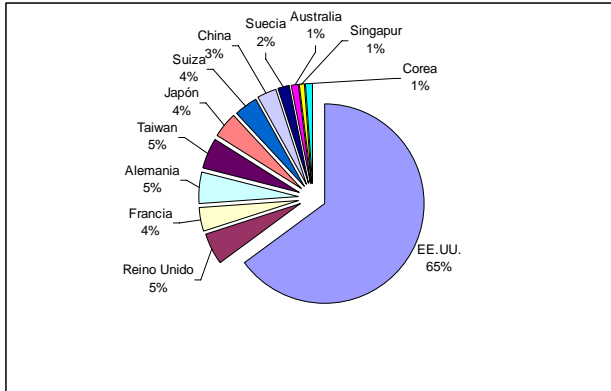
Las **aplicaciones** a las que se refieren los documentos identificados en esta actualización se enmarcan en las clasificaciones “Mejora de la resistencia/sustentación” y “Maniobrabilidad” que se habían realizado en el informe anterior. El reducido número de publicaciones hace que la gráfica de % se mantenga invariable.



En primer lugar se presenta la imagen de la **evolución de las publicaciones** en el tiempo. La tendencia observada es que la comunidad científica sigue teniendo interés en el tema pero no hay aumento significativo de la investigación. Esto indica que la tecnología en este ámbito está madura, como ya se indicó en el informe anterior, y tal y como comentaron los expertos, la tecnología esta lista, ha superado los ensayos en túneles de viento, y esta “lista para que alguna empresa decida probarla en vuelo”. En este sentido, y como se verá mas abajo, si se observa una tendencia alcista en el número de patentes en los últimos años, lo que podría indicar que ya hay compañías trabajando en este sentido, y que los primeros prototipos embarcados en aviones llegarán pronto.

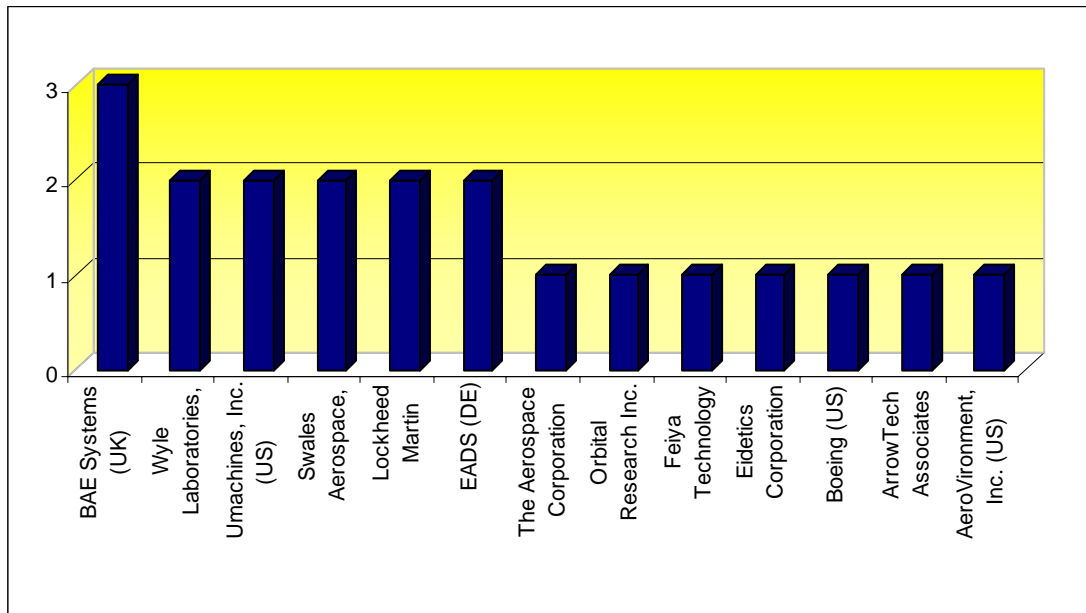


En cuanto a los **países** que publican en este ámbito destaca la nueva incorporación de Corea a este reparto, por lo que la grafica de reporta de artículos por países quedaría de este modo:

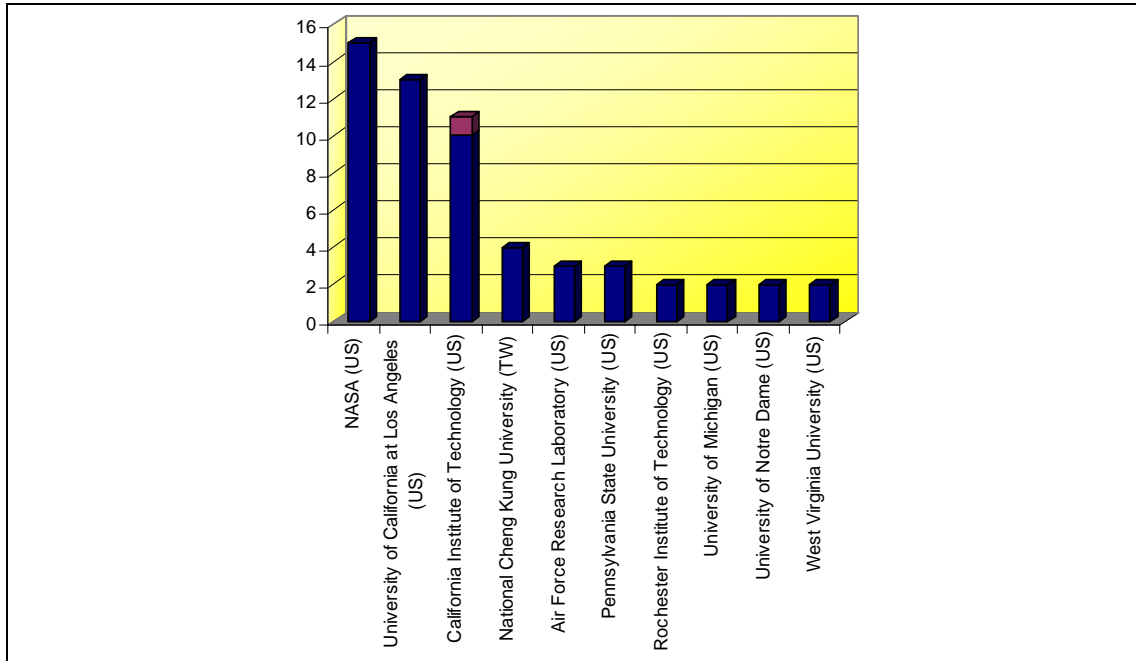


Por zonas geográficas, el liderazgo lo sigue manteniendo EE.UU, aunque Asia aumenta lo cuota de participación.

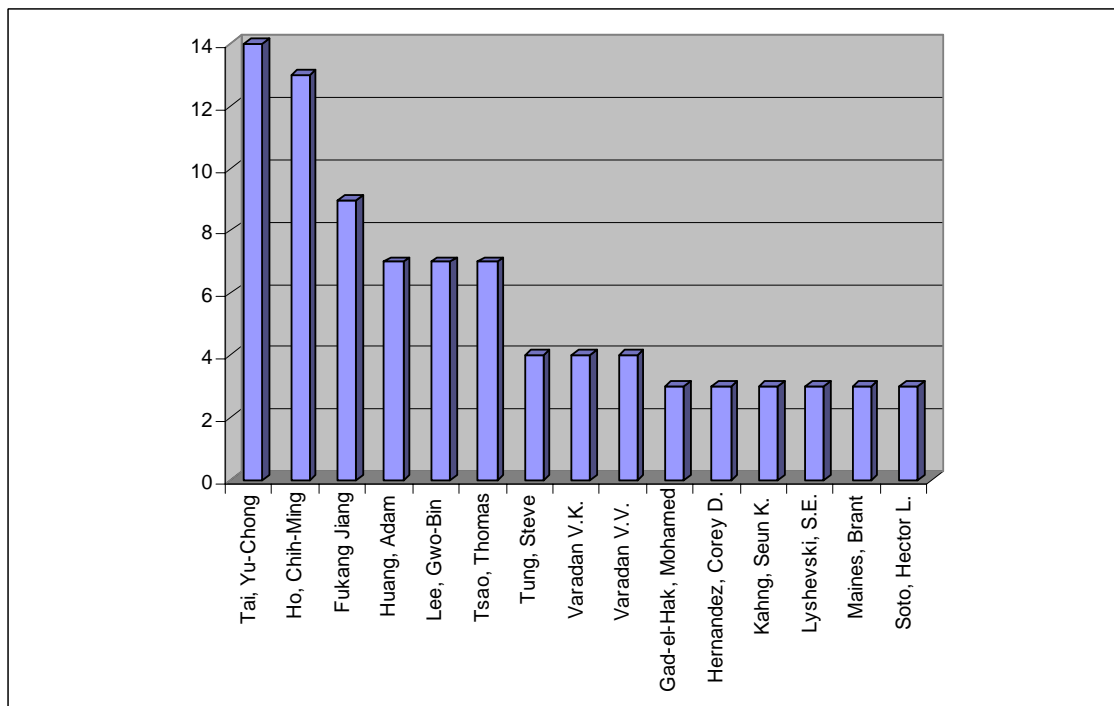
En el gráfico relativo a **empresas** no hay ninguna nueva o que haya publicado en este periodo entre las más representativas, de modo que el gráfico presentado a continuación es idéntico al del informe.



Respecto a los **Centros de I+D y Universidades** más representativos (es decir con más de dos publicaciones), sólo el Instituto de Tecnología de California (CALTECH) ha publicado en este periodo.

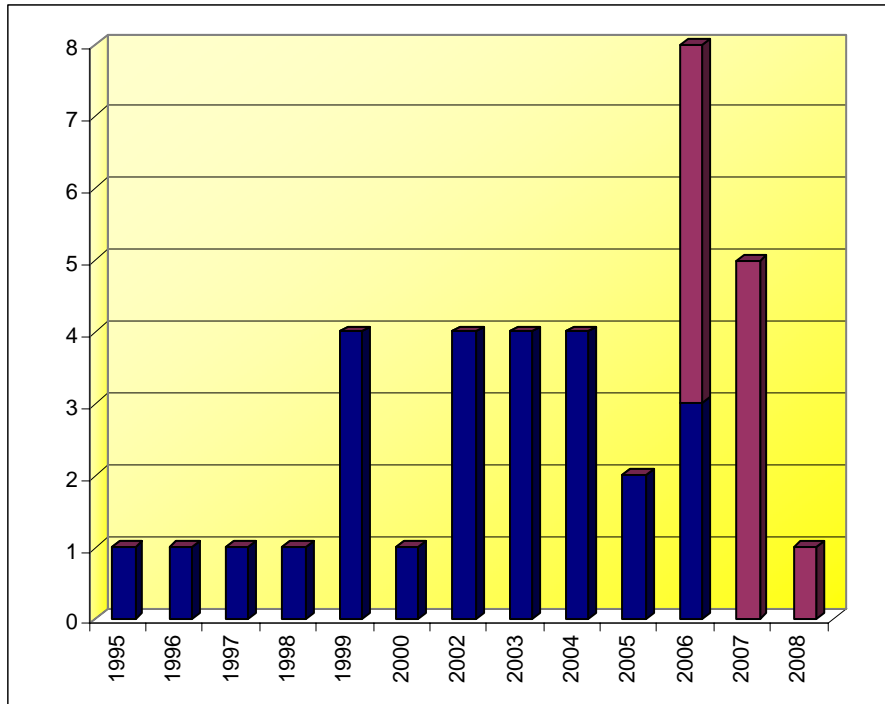


La gráfica de **investigadores** continúa siendo la misma, por lo que el grupo de expertos se mantiene.



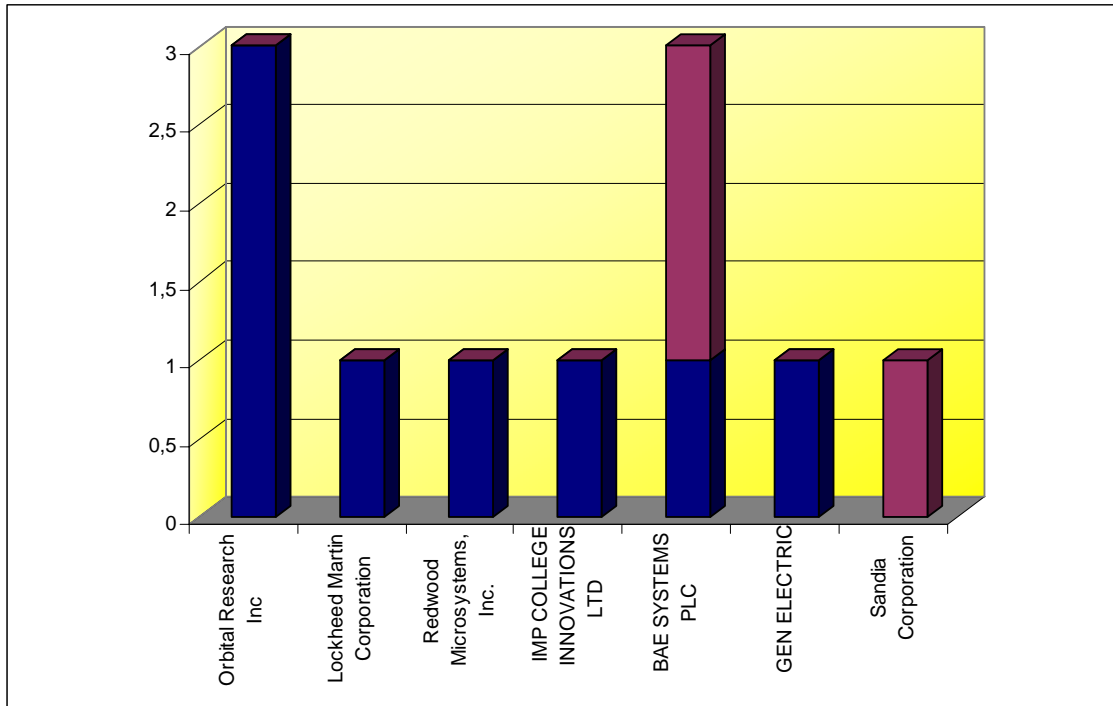
■ PATENTES

La **evolución** de las patentes sigue una marcada tendencia ascendente en el tiempo. Existe un pico pronunciado en 2006, coincide con el descenso acusado en el número de publicaciones tras el pico registrado en 2004. Vendría a confirmar los comentarios de los expertos: los resultados en túneles de viento son positivos y ahora se va a tratar de aplicarlos a un avión real, por lo que las compañías empiezan a patentar sus tecnologías, con el objetivo de proteger sus diseños para sacarles el mayor beneficio posible.

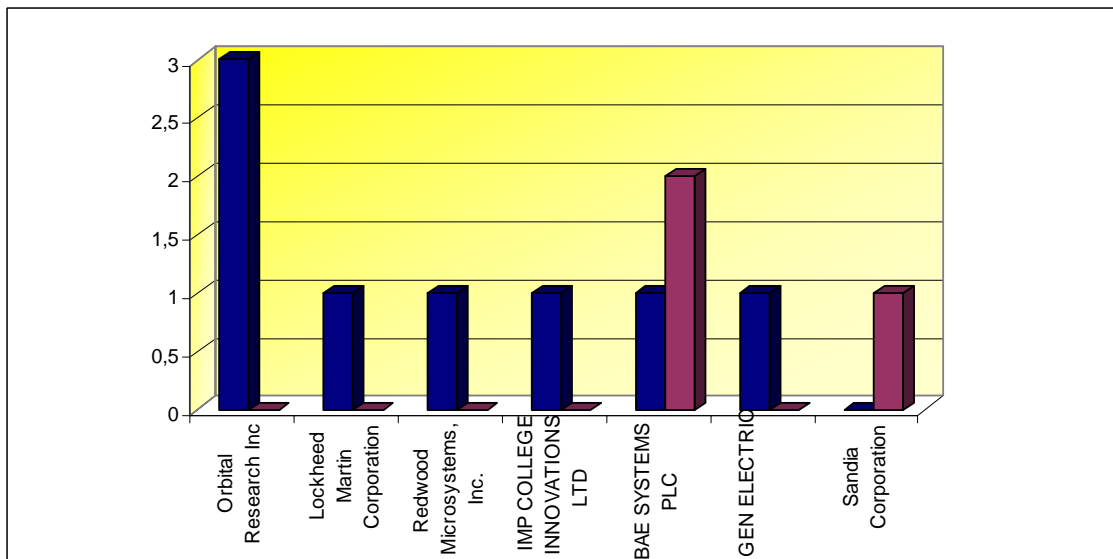


En cuanto a **países**, el liderazgo acusado sigue estando en EE.UU. como ya se había observado en el informe previo.

En **empresas** se observa que la europea Bae Systems Plc. ha aumentado su porcentaje de patentes, de forma que ha llegado a alcanzar a la estadounidense Orbital Research Inc. Esta empresa también ha destacado en cuanto a número de publicaciones científicas. Aparte de las empresas ya identificadas, ha aparecido Sandia Co. interesada en este tema.



En lo que a **Universidades y Centros de I +D** se refiere, hay que destacar que el Georgia Tech Research Corporation sigue manteniendo el liderazgo, a la vez que han aparecido nuevas instituciones interesadas en patentar este tipo de tecnología.



 **PROYECTOS**

No se ha detectado ninguno relevante en este periodo.

3.2. OTRAS APLICACIONES

Se han identificado los siguientes campos. Se dan los listados de los documentos, junto a una breve descripción y el link con acceso directo al documento para mayor información.

- CONTROL DE ESTRUCTURAS**

TITULO	FUENTE	AUTORES	CENTROS	PAISES	COMENTARIO	FECHA
<u>TRIANGULATION WITH CO-LOCATED SENSORS</u>	WIPO	DUNN C. KESSLER S. SHIM, DONG-JIN	METIS DESIGN CORPORATION	EE.UU.	Sistemas capaces de detectar cambios en estructuras, entre ellas, las de los aviones.	22/11/07
<u>METHOD OF MAKING A MICROELECTRONIC AND/OR OPTOELECTRONIC CIRCUITRY SHEET</u>	USPTO: App	JAIN A.	VERSATILIS LLC	EE.UU.	Sistema de sensores y actuadores distribuidos en una superficial aeroespacial para monitorizar fallos en la estructura. El sistema inicialmente empleado es pesado y voluminoso. Estudian la posibilidad de usar actuadores MEMS para reducir peso y volumen.	11/07/07
<u>ACTIVE ISOLATION OF ELECTRONIC MICRO-COMPONENTS WITH PIEZOELECTRICALLY TRANSDUCED SILICON MEMS DEVICES</u>	WEB OF SCIENCE	BABOROWSKI J COLLET M MEYER Y MURALT P VERDOT T	ECOLE POLYTECH FED LAUSANNE FEMTO ST	FRANCIA SUIZA	Aislamiento de microcomponentes electrónicos con películas PZT para protegerlos de las vibraciones del ambiente, por ejemplo en los aviones.	01/02/07
<u>WIRELESS HEALTH MONITORING FOR LARGE ARRAYS OF MEMS SENSORS AND ACTUATORS</u>	SBA	CHING-FANG LIN	AMERICAN GNC CORPORATION	EE.UU.	Sistema automatizado para obtener el estado de la estructura del avión usando un sistema de adquisición de datos wireless a partir de una red de sensores y actuadores dispersos por la estructura.	01/10/06

- CONTROL TÉRMICO**

TITULO	FUENTE	AUTORES	CENTROS	PAISES	COMENTARIO	FECHA
<u>THERMAL MANAGEMENT OF VERY SMALL FORM FACTOR PROJECTORS WITH SYNTHETIC JETS</u>	EPO	MAHALINGAM R. JONES L HEFFINGTON S		EE.UU.	Sistema para control térmico que contiene un actuador synthetic jet.	24/04/08
<u>A MEMS-BASED SHEAR STRESS SENSOR FOR HIGH TEMPERATURE APPLICATIONS</u>	AIAA	FRECHETTE L. LARGER R. MODI V O'GRADY A PAPADOPOULOS G. TILIAKOS N.	ATK GASL - INSTITUCION COLUMBIA UNIVERSITY - INSTITUCION UNIVERSITY OF SHERBROOKE - INSTITUCION	CANADA EE.UU.	Parallel designs, which are typically used in MEMS actuators, have the benefit of behaving more "linearly" as the force is independent of the shuttle displacement, although they do not give very large electrostatic forces	07/01/08

TITULO	FUENTE	AUTORES	CENTROS	PAISES	COMENTARIO	FECHA
<u>FUEL-POWERED ACTUATORS AND METHODS OF USING SAME</u>	WIPO	BAUGHMAN, RAY, H. EBRON, VON, HOWARD FERRARIS, JOHN, P. KOZLOV, MIKHAIL MACAULAY, WILLIAM, ALEXANDER MACDIARMID, ALAN, G. (DECEASED) OH, JIYOUNG RAZAL, JOSELITO SEYER, DANIEL, J. XIE, HUI YANG, ZHIWEI	BOARD OF REGENTS, THE UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM - INSTITUCION INTELLIGENT POLYMER RESEARCH INSTITUTE, UNIVERSITY OF WOLLONGONG - INSTITUCION	AUSTRALIA EE.UU.	Actuadores basado en cantilevers eléctricos se usan en los sistemas MEMS.	13/09/07
<u>MINIATURIZED HIGH CONDUCTIVITY THERMAL/ELECTRICAL SWITCH</u>	WIPO	STENMARK, LARS	ÅSTC AEROSPACE AB - INDEFINIDO	SUECIA	Estructura para realizar control térmico en aplicaciones espaciales.	26/07/07
<u>ADAPTIVE STRUCTURES, SYSTEMS INCORPORATING SAME AND RELATED METHODS</u>	USPTO: App	CASTROGIOVANNI ANTHONY TILIAKOS NICHOLAS		EE.UU.	Estructuras adaptadas para controlar el fluido refrigerante en estructuras que se han de mantener en cierto rango de temperaturas, como, por ejemplo, los vehículos aeroespaciales.	06/11/06
<u>SYSTEM AND METHOD FOR THERMAL MANAGEMENT USING DISTRIBUTED SYNTHETIC JET ACTUATORS</u>	EPO	GLEZER ARI MAHALINGAM RAGHAVENDRAN	GEORGIA TECH RES INST - INSTITUCION	EE.UU.	Sistema para control la temperatura de diversos sistemas. En especial, éste usa actuadores synthetic jet.	07/09/06

• OTRAS APLICACIONES

TITULO	FUENTE	AUTORES	CENTROS	PAISES	COMENTARIO	FECHA
<u>INTEGRATED SENSOR AND CIRCUITRY AND PROCESS THEREFOR</u>	WIPO	YAZDI, NAVID	EVIGIA SYSTEMS, INC. - EMPRESA	EE.UU.	Los sensores MEMS de movimiento, incluyendo acelerómetros, son ampliamente usados en los sistemas de control del sector aeroespacial y de automoción.	24/01/08
<u>OPTICAL MONITORING OF VEHICLE INTERIORS</u>	USPTO: App	BREED DAVID S.	INTELLIGENT TECHNOLOGIES INTERNATIONAL INC. - EMPRESA	EE.UU.	Monitorización óptica del interior de vehículos mediante el empleo de transductores que reciben ondas en el infrarrojo.	18/10/07
<u>MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS AND MICROSENSORS</u>	WEB OF SCIENCE	KAL S (KAL, SANTIRAM)	INDIAN INST TECHNOL - INSTITUCION	INDIA	Información general de sensores MEMS	01/05/07

TITULO	FUENTE	AUTORES	CENTROS	PAISES	COMENTARIO	FECHA
<u>SOME CONCEPTION ON THE APPLICATION OF MICRO-ELECTROMECHANICAL SYSTEMS SENSOR AND ACTUATOR (MEMS) TO NEAR SPACE AIRSHIP - ART. NO. 642361</u>	ISI PROCEEDIN GS	CHEN, JA (CHEN JI 'AN) DUAN, DP (DUAN DENGPING) ZHANG, DM (ZHANG DONGMEI)	SHANGHAI JIAO TONG UNIV - INSTITUCION	CHINA	Los sensores y actuadores MEMS por su pequeño tamaño, bajo peso, bajo consume, actuación estable,... son ideales para medir y controlar el estado de trabajo (temperatura, humedad, presión) de vehículos espaciales.	01/01/07
<u>ADVANCES IN MEMS DEFORMABLE MIRROR TECHNOLOGY FOR LASER BEAM SHAPING - ART. NO. 66630M</u>	ISI PROCEEDIN GS	BIERDEN, PA (BIERDEN, PAUL A.) CORNELISSEN, SA (CORNELISSEN, STEVEN A.) MENN, S (MENN, STEVEN)	BOSTON MICROMACHINE S CORP - INDEFINIDO	EE.UU.	Espejos MEMS deformables para aplicaciones en defensa militar y en el sector aeroespacial.	01/01/07
<u>MEMS DRIVES ADAPTED TO PROVIDE THREE DEGREES OF MOBILITY</u>	WIPO	EPITAUX, MARC	INTEL CORPORATION - EMPRESA	EE.UU.	Sensores y actuadores inteligentes.	19/10/06

4. CONCLUSIONES

En el estudio no se ha identificado ninguna nueva aplicación de los actuadores MEMS que no se hubiese mencionado anteriormente en el informe inicial.

La organización de este informe de actualización se ha hecho en base a la estructura del primer informe, para hacer más sencillo el análisis comparativo. Y a partir de aquí cabrían dos comentarios.

Por un lado, en lo que respecta al control de flujo, las aplicaciones identificadas son las mismas, es decir, se sigue investigando en la misma línea. Si es destacable el hecho de que se ha observado una disminución en cuanto a número de publicaciones científicas a la vez que un aumento del interés por patentar esta tecnología. Esto, como ya se ha mencionado anteriormente, refuerza la hipótesis de que la tecnología está madura, los resultados en los tests en túnel de viento son muy favorables y el siguiente paso es incorporarlo al mercado.

Por otro lado, se ha observado que se siguen investigando otras aplicaciones para los actuadores MEMS con creciente interés.

