

De la belleza de los materiales a las artes y las tecnologías avanzadas para la sociedad innovadora del siglo XXI

Josep Maria Guilemany Casadamon



Reial Acadèmia Europea de Doctors
Real Academia Europea de Doctores
Royal European Academy of Doctors

BARCELONA - 1914



JOSE MARIA GUILMANY CASADAMON, Licenciado (1970) y Doctor en Ciencias Químicas (1974) por la Universidad de Barcelona. Profesor Adjunto Numerario (1978) de la Universidad Complutense, Profesor Agregado Numerario de Metalurgia Física (1982) y Catedrático Numerario de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica desde 1983 en la Univer-

sidad de Barcelona. Artífice de la creación del Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica en el seno de la Universidad de Barcelona y su director (2005). Miembro destacado de la redacción del Libro Blanco (2004-2007), en el seno de las comisiones ANECA que permitió la introducción, en España, de la actual titulación de Ingeniería de Materiales.

Se le considera Pionero en España por la utilización de las Microscopía Electrónica de Barrido y Microsonda Electrónica en el campo de los Materiales que inició en Cambridge, UK (1971) así como pionero de, la utilización de Fundiciones Compactas (1982); Monocristales y Adiestramiento en Doble Memoria de Forma de Aleaciones Inteligentes (1987); en la Ingeniería de Superficies, de las Tecnologías de Proyección Térmica (1988) y en concreto de la Proyección Fría (2009), en la obtención de recubrimientos inteligentes. En 1994 creó el Centro de Proyección Térmica (CPT) en el seno de la Universidad de Barcelona, único en España, que ha dirigido a lo largo de los últimos 24 años de existencia; Centro reconocido como de Innovación Tecnológica (1999) y grupo Consolidado (2001) de la Generalitat de Catalunya.

Es autor de más de 1.200 contribuciones científico-técnicas en temas diversos en el contexto general de Estructura / Propiedades en Ciencia y la Ingeniería de Materiales. Es autor de más de 20 libros y opúsculos, ha dirigido 50 tesis doctorales, dictado más de 130 conferencias a nivel mundial, responsable de más de 160 proyectos de investigación inter-nacionales. Posee más de 35 patentes y secretos industriales.

Elegido Fellow (1977) de la Institution of Metallurgist (IoM³), UK. Secretario y fundador (1978) de la Sección Técnica de Metalurgia del Colegio de Químicos de España. En 1978 elegido Chartered Engineer del The Council of Engineering Institutions, UK. En 1988 elegido miembro distinguido por parte de la Asociación de la Soldadura Española. Mantiene una densa actividad en relaciones Industria- Universidad a nivel mundial y una densa actividad dentro de las plataformas de la Unión Europea.

Premio de la Fundación del Instituto Nacional de Industria (1974). En 1977 recibió la Medalla de Oro y Premio de la Real Academia Española de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Premio de la Fundación Juan March (1981) y en 1982 premiado por la International Metallographic Society, USA. Premio "Emilio Jimeno" del Colegio de Químicos de España (1988). Premio "Domingo Martínez" a la Investigación, Valladolid (1993). Premios de la International Thermal Spray Association en Singapur (2001) y Alemania (2002). Premio Ciudad de Barcelona a la Tecnología concedido por el Ayuntamiento de Barcelona (2005). "Rose Prize" de la Academia de las Ciencias de la R.P China (2010) y en 2011 premio al mejor investigador en el campo de los materiales en España por la Asociación Española de Científicos. En 2013 elegido Vicepresidente de la European Thermal Spray Association (ETSA). En 2017 recibió la medalla de la Universidad de Barcelona y en 2018 nombrado Miembro de Honor del Centro Español de la Soldadura y Tecnologías de Unión (CESOL), entre otros.

De la belleza de los materiales a las artes y las tecnologías avanzadas para la sociedad innovadora del siglo XXI

Excmo. Sr. Dr. Josep Maria Guilemany Casadamon

De la belleza de los materiales a las artes y las tecnologías avanzadas para la sociedad innovadora del siglo XXI

Discurso de ingreso en la Real Academia Europea de Doctores, como
Académico de Número, en el acto de su recepción
el 19 de marzo de 2019

Excmo. Sr. Dr. Josep Maria Guilemany Casadamon
Doctor en Ciencias Químicas

Y contestación del Académico de Número

Excmo. Sr. Dr. Javier Gil Mur
Doctor en Ingeniería Química y Materiales

COLECCIÓN REAL ACADEMIA EUROPEA DE DOCTORES



Reial Acadèmia Europea de Doctors
Real Academia Europea de Doctores
Royal European Academy of Doctors

BARCELONA · 1914

www.raed.academy

© Josep Maria Guilemany Casadamon
© Real Academia Europea de Doctores.

La Real Academia Europea de Doctores, respetando como criterio de autor las opiniones expuestas en sus publicaciones, no se hace ni responsable ni solidaria.

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del “Copyright”, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamos públicos.

Producción Gráfica: Ediciones Gráficas Rey, S.L.

Impreso en papel offset blanco Superior por la Real Academia Europea de Doctores.

ISBN: 978-84-09-09832-3

Depósito Legal: B-8887-2019

Impreso en España –Printed in Spain- Barcelona

Fecha de publicación: marzo 2019

❖ PRESENTACIÓN

Excelentísimo Sr Presidente de la Real Academia Europea de Doctores, Dr Alfredo Rocafort,
Excmos. Sras y Sres. miembros de la Junta de Gobierno de la Academia,
Excmos. Sras y Sres Académicos,
Excmas e Ilustrísimas autoridades
Magníficos y Excmos Rectores,
Ilustrísimos.Sras y Sres,

Querida familia, Señoras, Señores, amigos,

“La gratitud es la memoria del corazón” decía San Agustín con lo que permítanme que de todo corazón exprese ésta mi gratitud en primer lugar al presidente de la Academia para trasladarla con la misma intensidad a todos sus académicos al haberme elegido como miembro de la misma. Puedo asegurar y les aseguro que la responsabilidad adquirida encontrará en este recipiendario su más ferviente defensor de sus fundamentos y principios y será valedor con rigor, esfuerzo y dedicación de todas las responsabilidades que se le demanden. De la misma manera la gratitud en la persona que me propuso el Excmo. Dr Javier Gil Mur con quien a nivel profesional hemos y seguimos compartido momentos de excelencia en el rigor de la ciencia, y a mis padrinos los Excmos. Doctores Xavier Oliver, Màrius Petit i Jaume Armengou, con los que he compartido vivencias en el pasado que recordamos en el presente.

Si es el corazón el que les está hablando no cabe duda que la familia que me dio el ser y la familia que con amor construimos mi esposa Carmen y yo hace ya 47 años es nuestro “principio

y fin” de responsabilidad continuada. Nuestro Hijo Jose Maria, Doctor en Medicina y Cirugía, nuestro orgullo junto con la satisfacción del amor que muestra por su profesión, es el presente y nuestros Nietos Jose Maria y Nadia nuestra alegría y desvelos de futuro. Hemos visto la vida de todos los colores del espectro cromático, pero nosotros con amor siempre hemos sabido escoger la longitud de onda apropiada. Gracias infinitas Carmen y hay que seguir dándole a la vida el color del día a día con la misma alegría y autenticidad con la que pintas tus cuadros y adornas tus poesías, con tu teología, talento y sabiduría.

El corazón pide que no me olvide de todos aquellos educadores que iluminaron mi etapa colegial y juvenil que de la mano de Los Hermanos Maristas cincelaron un perfil en el que la convivencia y el compartir siempre estuvieron presentes. Años después, siendo Presidente de la Federación de Padres de Alumnos de los Colegios Maristas de Catalunya, que honor el servirles y a la Escuela Cristiana que en aquellos momentos estaba pasando por situaciones políticamente complicadas, constaté que la esencia del padre fundador seguía presente y siempre de la mano de la Humildad; la humildad preciosa palabra frente a la soberbia galopante que ahora nos ahoga; como dice el libro de los proverbios “Donde hay humildad hay sabiduría”.

La Universidad aportó la dosis de formación pero a otro nivel, el profesional, en momentos complicados como los que se vivían en los años 60 del siglo pasado. Tuve la suerte de encontrarme con unos compañeros de promoción realmente a la altura de las circunstancias y siempre marcándonos como objetivo la titulación y las ganas de aprender. Tuvimos la suerte de estar en manos de un grupo de profesores de magisterio profundo y de humanismo fuera de toda duda; humanismo que palabra profunda que desata la pasión para ayudar a los demás que nos rodean y de la que estamos tan necesitados.

En mi carrera profesional el que les habla tuvo la suerte de cruzarse con un maestro de recorrido metalúrgico, corría el año 1969 y ya no lo dejé hasta su fallecimiento en 1992. Del maestro Felipe Calvo escribí ya hace muchos años que era un hombre sencillo y sincero, profundo y humano que hizo de la Metalurgia una profesión; de la Universidad su personal ejemplo; de su pluma su permanente lección; la familia su devoción; fue el maestro Felipe A. Calvo, Artesano de lealtades, Académico de talla y Senador defensor de la indefensión, pero sobre todo, fue Persona, y de valía, por su gran corazón.

Leída la tesis doctoral en 1974 en el seno del Departamento de Metalurgia e Instituto Tecnológico Metalúrgico Emilio Jimeno de la Universidad de Barcelona formado por un equipo de investigadores extraordinario y una investigación puntera para Minas de Almadén y los Arrayanes y el traslado del Prof Calvo a la Complutense de Madrid significó mi llegada a esa Universidad en un Departamento que todo estaba por hacer. Mis años en la Universidad Complutense fueron excelentes cuando a las personas se les reconocía por su valía y no por su condición, fueron años de aprendizaje en una Facultad de Químicas repleta de políticos, que lo fueron a posteriori, y de los que aprendí aquello que no debería de hacer cuando adquiriera responsabilidades de dirección y era servirse de la Universidad como trampolín sin servirla. En mi trayectoria la dirección de un grupo investigador acaece en los años 80 al ganar por concurso oposición la plaza de Prof Agregado Numerario en 1982 y de Catedrático Numerario en 1983; un catedrático de 35 años en la Universidad de Barcelona, en aquellos momentos el más joven de España.

En la Universidad respeté las reglas de juego y con ellas, y la ayuda de los 11 Rectores de la Universidad de Barcelona y los dos de la Universidad complutense, junto con sus equipos di-

rectivos con los que tuve la suerte de relacionarme, fragüé una investigación en la que el norte era servir a la sociedad y trabajar muy de cerca con la industria, en los inicios la más cercana y finalmente, hoy día y desde hace muchos años, a nivel mundial puesto que pronto nos dimos cuenta que el equipo investigador formado era competitivo y de forma descarada podía competir incluso frente a las Universidades e Instituciones que ocupaban puestos muy altos del rango mundial, ya que muchas veces no era un problema de dinero y equipamiento, era un problema de ideas y de innovación la que había que poner en juego, y de esto habíamos aprendido y mucho.

Probablemente me olvidaría de muchos nombres, si citara algunos, de aquellos protagonista por lo que me inclino por decir: Mi agradecimiento a todos aquellos que creyeron en mi tanto a nivel académico, como profesional, Universidades, Instituciones, Fundaciones, Empresas, Asociaciones tanto nacionales como extranjeras, con las que trabajé y de cuyo detalle mi curriculum da fe, al estar grabados y resaltados sus nombre, junto con mi gratitud eterna, por todos los valores que de ellos aprendí; los valores cuan falta esta la humanidad hoy de los mismos.

Mi agradecimiento a estos cerca de 5.000 alumnos que han pasado por mis enseñanzas académicas universitarias y los casi 500 a nivel de investigación de más de 40 países de todo el mundo y que hoy son profesionales de reconocido prestigio, así, desde Rectores de Universidad, Catedráticos, Empresarios e incluso directores de Holdings internacionales, eso si, a base de esfuerzo, mucha dedicación y toneladas de sacrificio, como claramente me consta, y que, como valor añadido, nunca se han olvidado de mi persona. Sacrificio es algo que no falta en la ecuación de la vida.

Mi agradecimiento a las generaciones de investigadores y actual equipo directivo que siguen creyendo y se ilusionan en el Centro de Proyección Térmica (CPT) de la Universidad de Barcelona, que ha sido desde 1994 , año en que lo fundé, un apoyo de las investigaciones punteras en Ingeniería de Superficies a nivel mundial; un centro que nació y se consolidó con ánimo de ser autofinanciable y útil en la vertiente académica con el objetivo del fomento de la relación Universidad- Empresa de la que tanto seguimos necesitados de ella. Agradecer al CPT su mecenazgo en la edición del libro del discurso.

Mucho ánimo ilusión y entrega para las nuevas generaciones que llaman a la puerta y que hoy recibimos con medios y a veces mejor pertrechados que otras instituciones nacionales o extranjeras y con ganas de formar a excelentes profesionales pero en el que la vertiente humana y de calidad no debe de faltar en el sentido de servir a una sociedad pero para ello hay que aportar dosis ingentes de ingenio, altura de miras en las ideas e innovación a raudales, pero siempre, con el sentido de la responsabilidad por delante.

My special thanks to all the foreign friends who are here today in this act so impressive, for them my gratitude forever.

Muchas gracias a todos con los que he tenido la suerte de interactuar a lo largo de tantos años y que además hoy algunos nos honran al acompañarnos en este acto tan entrañable.

A continuación procedo a la lectura preceptiva del discurso de ingreso.



ÍNDICE

PRESENTACIÓN.....	7
DISCURSO DE INGRESO.....	17
INTRODUCCIÓN, LOS MATERIALES Y SU ENTORNO.....	17
DE LAS ARTES ANTIGÜAS Y SUS INNOVACIONES A LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL SIGLO XXI.....	23
LOS MATERIALES COMO ARTE EN LA ANTIGÜEDAD.....	25
LOS ANTECEDENTES CIENTÍFICOS EN LA EDAD MEDIA, EL RENACIMIENTO Y EL SIGLO XVII.....	39
PROLEGÓMENOS DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA: LOS MATERIALES EN EL SIGLO XVIII.....	51
LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES EN EL SIGLO XIX.....	65
LOS MATERIALES-INNOVACIÓN DEL PRESENTE: SIGLOS XX Y XXI.....	81
EJEMPLOS INNOVADORES DE MATERIALES EN EL SIGLO XXI... ACEROS & FUNDICIONES.....	95 96
- Aceros HSLA	
- Aceros Inoxidables	
- Aceros Inoxidables al Manganeso	
- Aceros Especiales	
- Aceros Superbainíticos	
- Aceros Q & P	
- Fundiciones ADI y ACI	
- Inoculantes en Fundiciones	
ALEACIONES LIGERAS.....	100
- Para la Industria Aeronáutica	
- Aleaciones Al-Li	
- Aleaciones Base Mg Competitivas	
- El Mg “Green Metal”	
- Titanio Aeronáutico y Biomédico	
- Titanio “Cost effective”	

SUPERALEACIONES	103
- En Alabes de Turbinas	
- Barreras Térmicas	
CERÁMICOS Y SUS COMPUESTOS	105
- Circona Parcialmente Estabilizada	
- Circona como Electrolito Sólido	
- Carburos, Boruros y Nitruros	
- Cerámicas Inteligentes	
- Zeolitas	
- Fullerenos, Grafeno, Nanotubos y Nanofibras de Carbono	
- Nanotubos, Nanohilos y Nanovarillas Cerámicos Oxidados o No	
- Hormigones Regenerativos y Especiales	
MATERIALES SUPERCONDUCTORES.....	116
- En el Sector Biomédico	
- En el Transporte por Levitación	
- Cerámicos Superconductores de Alta Temperatura de Transición	
POLÍMEROS Y SUS MATERIALES COMPUESTOS	117
- Polímeros y Compuestos de Altas Prestaciones	
- Polímeros Biocompatibles y Biodegradables	
- Materiales Poliméricos Reciclables	
BIOMATERIALES.....	121
- Prótesis Metálicas y Fabricación Aditiva	
- Recubrimientos Nanoestructurados de Titania	
- Implante en Cabeza Femoral (BHR)	
- STENTS	
- Implantes Dentales Inteligentes	
- Materiales para uso Preventivo contra Infecciones	
- Implantes Cerámicos de Alta Tenacidad	
- Injertos Óseos Sintéticos (Scaffolds)	
- Implantes Bioabsorbibles	
- Avances en Robótica, Inteligencia Artificial, Informática e Impresión 3D	
- Neuronas Artificiales	
MATERIALES PARA LOS SECTORES DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS	129
- ENERGÍA FOTOVOLTAICA	
- ENERGÍA EÓLICA (TURBINAS EÓLICAS)	
- ENERGÍA DE FUSIÓN (REACTOR ITER)	
- ENERGÍA DEL HIDRÓGENO	
Pilas de combustible	
SECTOR DEL TRANSPORTE Y DEL ESPACIO.....	144
- VEHÍCULO ELÉCTRICO	
Baterías	
- Aleaciones Ligeras	
- Piezas Pulvimetalúrgicas	

- Telescopio Espacial Webb	
- Vehículo Robotizado NASA Curiosity	
APLICACIONES DIVERSAS.....	152
- MATERIALES PARA SENSORES, FOTOCATALÍTICOS Y ELIMINACION DE CONTAMINANTES MEDIOAMBIENTALES	
- MATERIALES CELULARES /ESPUMAS	
- MATERIALES PARA EL DEPORTE Y EL OCIO	
- MATERIALES PARA LA INDUSTRIA 4.0	
MATERIALES E INGENIERÍA DE SUPERFICIES.....	167
- Proyección fría CGS: Introducción	
- Proyección fría CGS: La Tecnología	
- CGS versus parametros Operacionales y calidad de Recubrimientos & recargues & Piezas de fabricación Aditiva	
- Impacto de la tecnología CGS en sus Aplicaciones	
- Proyección fría CGS: Impacto de la Tecnología CGS en la Innovación Tecnológica	
- Recubrimientos de Alta Resistencia al Desgaste para Prestaciones en Condiciones Ambientales Agresivas	
- Recubrimientos de Materiales Intermetálicos Resistentes a Altas Temperaturas	
- Recubrimientos de Aluminio y Aleaciones Ligeras Micro-nano Estructurados de Grandes Espesores para Reparación y Protección de Componentes Industriales de alto Valor Añadido	
- Recubrimientos para Prótesis de Nueva Generación	
- Fabricacion de Recubrimientos 3D	
- Recubrimientos y Fabricacion Aditiva de Vidrios Metalicos	
- Recubrimientos Multifuncionales/Inteligentes	
- CGS, la Innovación e Impacto Tecnológico	
MATERIALES Y RETOS DE LA SOCIEDAD INNOVADORA DEL SIGLO XXI	217
- Inteligencia Artificial	
- Internet de las Cosas	
- El Maker Movement	
- Los Sistemas Ciberfísicos	
BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA	241
DISCURSO DE CONTESTACIÓN.....	271
Publicaciones de la Real Academia Europea de Doctores	285



❖ INTRODUCCIÓN, LOS MATERIALES Y SU ENTORNO

Tengo la fortuna de presentarme con un bagaje de 49 años profesionalmente dedicado y entregado a la Universidad en su dualidad docencia/investigación integrado en un mundo sorprendente de materiales (metálicos, cerámicos, polímeros, y sus compuestos), es decir los protagonistas de lo que representa la Ciencia y la Ingeniería de los Materiales. Este fascinante mundo y su investigación me ha permitido trabajar muy de cerca con la Industria y su entorno así como de las Instituciones de la Unión Europea y otras a nivel mundial, pero siempre desde la Universidad. Son muchos años formando profesionales, modelando tesis y enseñando a saber resolver problemas de orden científico- técnico a medida e intentando, siempre, transmitir la importancia y la necesidad de ser útil a la SOCIEDAD. Por ello y basándome en esta experiencia, hoy, en mi discurso de toma de posesión en la RAED voy a hablar,

DE LA BELLEZA DE LOS MATERIALES A LAS ARTES Y TECNOLOGIAS AVANZADAS PARA LA SOCIEDAD INNOVADORA DEL SIGLO XXI

Que los materiales son imprescindibles a la sociedad actual, resulta evidente ya que basta con solo mirar a nuestro alrededor y darnos cuenta que vivimos en un mundo rodeado de materiales. En efecto, escrito está (ANECA. 2007) que una parte importante del avance económico y técnico-social de un país depende de su nivel en Ingeniería de Materiales, junto con el desarrollo de sus capacidades energéticas y de las Ciencias de la Información. La Ciencia e Ingeniería de Materiales ha sido

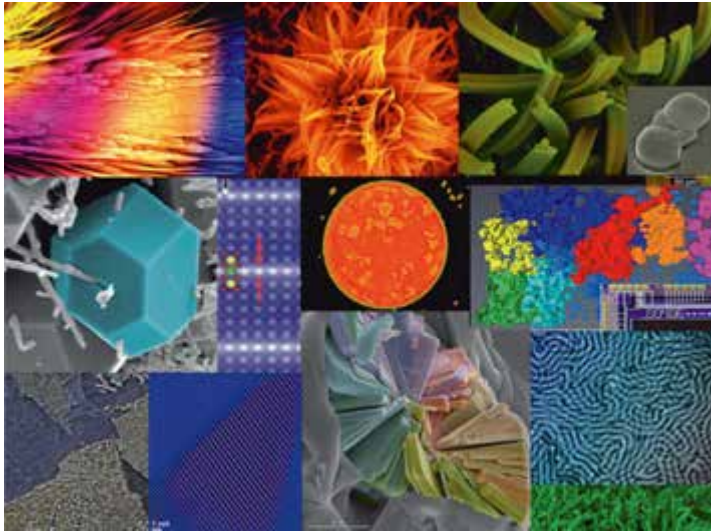
la base y seguirá siendo la que permita ser más competitivos, fabricar, si es el caso, por métodos alternativos, tanto materiales convencionales con más calidad y menor coste, como producir nuevos materiales para satisfacer las demandas de la industria y la sociedad en general, salvaguardando y con respeto, el medio ambiente y en mejora de la salud, entre todos los demás condicionantes.

Pero a que materiales, como protagonistas de este relato, nos vamos a referir?, pues si seguimos el criterio y definición de la “Encyclopedia of Materials Science and Engineering” de 1986 (Berliner Bever.M) los define como “La materia física que es manipulada y utilizada por el hombre sin que su uso dé lugar a una reacción química”, definición que es parcialmente correcta ya que identifica por su singularidad y excluye a sustancias como los combustibles, los reactivos de la industria química los medicamentos y los alimentos, ya que todos ellos en su aplicación conllevan reacciones químicas para un uso efectivo, sin embargo no es satisfactorio para englobar sus enormes posibilidades en sus alcances y sus limitaciones como es el caso de los fenómenos químicos que acompañan a la corrosión/degradación de algunos de ellos. Por ello hoy los investigadores preferimos utilizar una definición complementaria a la anterior pero que resulta más clarificadora y es el de “Toda aquella materia útil a la humanidad para sus aplicaciones tecnológicas” y al que algunos autores añaden “de alto valor añadido”.

Así, por acotar el concepto, de los cientos de miles de materiales naturales o sintéticos (solo en aleaciones metálicas tenemos registradas 450.000) la humanidad hoy, en el Siglo XXI dentro de la Ciencia e Ingeniería de Materiales viene en trabajar y utilizar alrededor de más de 50.000 materiales distintos englo-

bados no solamente con los tradicionales materiales estructurales sino también a los materiales funcionales, nanomateriales y biomateriales, dentro de la clasificación elemental de materiales cerámicos, metálicos, poliméricos y sus compuestos.

A lo largo de los últimos cincuenta años se ha venido trabajando en la obtención y procesado de los materiales estructurales tradicionales, en el conocimiento e interpretación de su estructura en estado sólido y comprensión de sus propiedades para una aplicación en nuevas fronteras de la tecnología. Comúnmente los materiales metálicos han ocupado el centro de gravedad y de sus conocimientos profundos en base científica se les ha caracterizado y construido un mundo sorprendente de materiales en los cuales, hoy día, metálicos, cerámicos, polímeros y sus compuestos conjugan y compiten dentro de sus respectivos alcances y limitaciones en las aplicaciones tecnológicas más avanzadas. Estamos vinculados a materiales superconductores, nuevas clases de materiales semiconductores y magnéticos, materiales para aplicaciones médicas en escalas micro y manométricas, materiales para la generación de nuevas fuentes de energía alternativa, materiales con aplicaciones biomiméticas que tratan de reproducir piel humana, músculos, huesos, incluso se dice neuronas?. Estas son algunas de las nuevas fronteras en nuestro mundo y la Ciencia e Ingeniería de los Materiales ocupan el centro de gravedad de ésta rápida e imparable evolución.



**Fig 1. Macro, Meso, Micro, Nanoestructura de Materiales Diversos
(Guilemany. Materialografía)**

Todos los materiales, Fig 1, son auténticos por su naturaleza cuya nobleza queda reflejada en sus propiedades, no engañan, sus propiedades nos descubren y autentifican sus alcances y sus limitaciones en la aplicación tecnológica. Reconocemos, identificamos y relacionamos sus propiedades caracterizando su macro-meso-micro-nanoestructura que en definitiva es todo lo que identifica su estado sólido; es decir, desde las singularidades de lo que denominamos su estructura atómica y molecular que identifica unos enlaces químicos hasta la estructura materialográfica con sus detalles de sólidos con arquitectura cristalina o no y sus correspondientes defectos y siendo, si son, cristalinos el tamaño, la forma, disposición y distribución de los cristales en el espacio y sus defectos volumétricos.

Si reconocidas sus propiedades como las conocemos con sus alcances, ventajas y limitaciones que las tienen según las condiciones de contorno en su aplicación tecnológica, es cuando

si sobrepasamos estas sus singulares propiedades el material desfallece, se fatiga y se fragiliza hasta romper y hacer fallar el dispositivo, la pieza, la estructura... que soporta. Pero este fallo quien lo provoca, evidentemente, es el hombre en su equivoco comportamiento en usar, a veces por falta de cultura sobre los materiales, el material indebido, pero otras en una clara falta de profesionalidad incurriendo en la picaresca/ fraude flagrante por circunstancias diversas, aunque también el error humano o las catastrofes naturales imprevistas, pueden estar presentes. En cualquier caso aquí está la causa/razón que provoca el deterioro de la propia nobleza de cada material como se demostrará a lo largo de este documento.

Cuando se mira hacia atrás y se considera la evolución que ha experimentado la humanidad, resulta sorprendente observar como los cambios se han acelerado en los últimos años. Así, si consideramos la evolución de los últimos 40.000 años de historia y los acotamos a un año, (365 días), de nuestra vida concluimos que la mayor parte del tiempo el hombre ha vivido en cuevas ya que la ciencia no ocupa ni un solo día, tan solo ocupa 78 minutos del 31 de Diciembre, solo 14 minutos su aventura con la automoción y 13 minutos con la aeroespacial y menos de 1 minuto con la llegada y uso de internet es decir que éste afortunado y complejo mundo de bienes de consumo que forman parte de nuestra vida cotidiana y de los que no sabemos prescindir está en la infancia ya que, como mucho, alcanza a las dos últimas generaciones humanas. En definitiva, partiendo del Homo Sapiens, el desarrollo científico y tecnológico solo ocupa el 0.0148% de la historia del ser humano.

Pero los materiales antes de Ciencia y Tecnología fueron Artes pero las artes a las que me refiero son aquellas que están en la raíz del conocimiento, son las artes del HACER; detrás de lo hecho está la manera. Cosas y maneras son los términos

de la ecuación que, con el coeficiente del talento, conducen al conocimiento. Desde estas Artes se fue capaz de liderar las evoluciones e innovaciones hasta alcanzar las revoluciones tecnológicas de siglos pasados, la que tenemos en el presente y las que estarán por llegar en el futuro, fijense que ya estamos en el comienzo de una nueva, la cuarta revolución industrial y ya hablamos de industria/economía 4.0. Por lo tanto hemos llegado al hoy con una tecnología tan sofisticada que algunas veces nos limitamos a apretar botones sentados ante unas pantallas donde parpadean unos puntos, unas imágenes a todo color con las que nos comunicamos y nos transmitimos ingentes toneladas de información. Hoy el acceso a esta información es, a través de Internet, instantáneo; hace tan solo una generación se podían tardar días cuando no meses en obtenerla.

Pero la denominada sociedad de la innovación no es un invento del SIGLO XXI ya que la sociedad desde sus orígenes está asentada en un conjunto de descubrimientos y tecnologías plagadas de innovación constante y todo ello para mejorar su bienestar en el que los materiales siempre han estado dentro de esta innovación y la evolución histórica inequívocamente así lo refleja.



❖ DE LAS ARTES ANTIGÜAS Y SUS INNOVACIONES A LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL SIGLO XXI

Es esta una historia larga a escala humana, corta frente a los aproximadamente tres millones de años en que se estima la aparición de los primeros Homos, casi insignificante frente a los cinco mil millones de años en que se cifra la edad de la Tierra, que inició su andadura, según parece, con la expansión de un sistema inicial en el que toda la materia del Universo, en un estado realmente inconcebible que tratamos de imaginar fluido y denso (¡trescientos millones de toneladas por cm^3 !) estuvo concentrada en una pequeña región del infinito (Calvo. 1988).

En la Fig 2, (Ashby. 2008) podemos apreciar la evolución en el conocimiento y utilización que la humanidad ha hecho de los distintos materiales en los últimos más de doce siglos y de cuyos aspectos más innovadores me referiré.

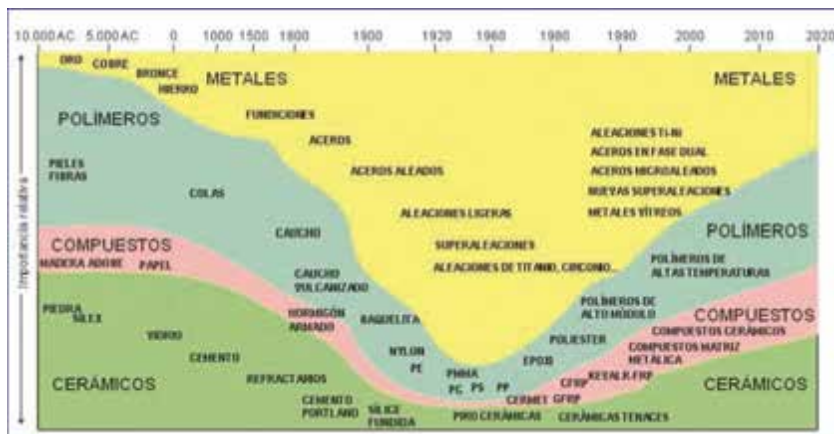


Fig 2. Evolución histórica de los materiales metálicos, cerámicos, polímeros y compuestos (Ashby. 2008).

❖ LOS MATERIALES COMO ARTE EN LA ANTIGÜEDAD

Superadas las edades en que los materiales cerámicos naturales como la piedra inician la andadura del hombre, así como los cerámicos a partir del modelado de la arcilla, o del uso de polímeros naturales en forma de fibras, pieles y del uso de compuestos naturales como los que forman parte de los organismos vivos como los tendones, (sustancias gelatinosas reforzadas con fibras de colágeno), los huesos (fibras cortas de colágeno embebidas en una matriz mineral) o la madera (matriz de lignina con fibras de celulosa), el hombre primitivo era consciente de las excelentes propiedades de estos materiales y los empleaba con fines utilitarios, artísticos (la Venus de Willendorf está tallada en piedra caliza, 25.000 años a.de C.), religiosos y como no en su defensa.

Los metales inician su historia cuando el hombre, que vive intensa y extensamente su medio, se ve sorprendido por el brillo y densidad de unos materiales, los metales nativos a los que, además, puede dar forma sencillamente golpeándolos con útiles de trabajo hechos en piedra labrada o pulida. Esto se produce, según la arqueología, hace aproximadamente diez mil años. Miles de años más tarde en algún lugar de Oriente, probablemente al sureste del mar Caspio. y en el seno de alguna agrupación humana que contaba casualmente con los recursos necesarios (Ingenio, minerales y combustibles), se incorporaron a la historia los metales no casuales, no nativos, aquellos que proceden de los procesos de reducción de sus menas nativas (proceso realizado de forma espontánea al lado de algún hogar y de forma sistemática una vez reconocidas las piedras de las que procedían y el fuego que las calentaba al lado del carbón

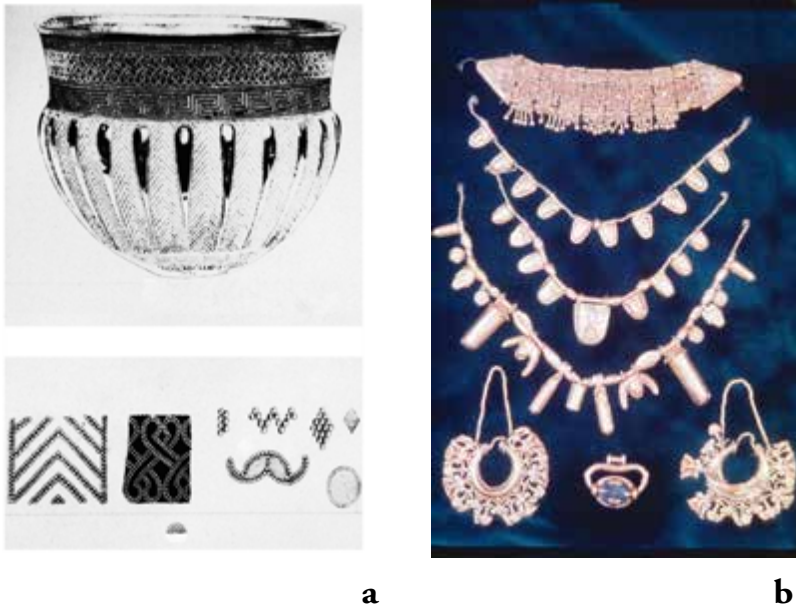
de leña del hogar). Es en Asia Menor (Catal- Hüyük, Suberde y Ali Kosh) donde se han encontrado restos de alfarería en forma de cuencos sencillos así como las instalaciones metalúrgicas más antigua que se conocen (7.000-6.500 años a. de C.), y que se incorporan a la historia sustituyendo o complementando en su uso a los otros materiales (hueso, piedra, madera).

Sin prisas y sin pausas debió iniciarse desde aquel lugar la expansión de la obtención y empleo de los metales no casuales hacia Oriente y Occidente; la expansión se produciría no tanto por el deseo de transmitir el nuevo saber, sino como muestra evidente de poder y de riqueza. Mineros y guerreros, exploradores y mercaderes, debieron ser los personajes de esta historia encargados de su difusión.

El uso del oro y del cobre marca el comienzo de la edad, para algunos, aún no acabada de los metales. Al hombre primitivo le fue fácil encontrarlos en estado nativo e incorporarlos a sus civilizaciones como objetos formados en un nuevo material en los que ejercitó su ya cualificado oficio, adquirido a base de sensibilidad, tenacidad y tiempo de siglos entre piedras, conchas, huesos, marfil, pieles y vidrios el arte de fabricar atributos para la autoridad o joyas para la villanía. Hubo que esperar dos mil años más para llegar a la pericia necesaria para producir las delicadas piezas etruscas y griegas o los finos panes de oro con los que en el antiguo Egipto recubrieron los sarcófagos reales (Calvo. 1964). Así se formó, con tiempo por delante, el artesano orfebre, sensible artífice del arte en los materiales que podríamos centrar en algunos de los avances innovadores de la historia en cuestión.

Ejemplo notable de la maestría así adquirida es un cuenco etrusco de oro (se dice de influencia Fenicia) encontrado en Praeneste 700 años a. de. C. (Fig 3), de aproximadamente 10 cm de diá-

metro y 8 cm de profundidad, decorado (Técnica del Granulado) con más de 137.000 esferillas de oro, de hasta 0,1 mm de diámetro, y soldadas a la lámina decorada por un proceso cuya técnica se perdió, y tuvo que esperar hasta el año 1933 para ser redescubierto y, por cierto, patentado en Inglaterra (BP. N° 415181). El procedimiento consistía en mojar cada esfera en una pasta formada por engrudo, goma de tragantano y minerales carbonatados de cobre tipo malaquita que calentada a 850°C descomponía el mineral de cobre y reducido por la materia carbonosa se formaba el cobre elemental, el cual por difusión en el oro permitía la unión sin dejar residuo sobre la zona soporte y afectar con ello a la calidad de la unión.



**Fig 3. a) Cuenco de Praenestre, 700 años a.de.C. y
b) Tesoro de Aliseda 700 años a.de.C.**

Con anterioridad, los egipcios se dice que ya habían utilizado la soldadura fuerte al unir con plata los tubos de cobre de la tum-

ba de Herepheres. Estas técnicas, tan específicas y depuradas, probablemente fueron practicadas por grupos relativamente reducidos, que desaparecían con los Imperios.

Cuando se cierran las Edades del Cobre y del Bronce, a las que se atribuye una duración relativamente breve, entre los 500 y los 2.000 años y siguiendo con la evolución cronológica, hay que situarse ya justo en los comienzos de la Edad del Hierro. El hombre se venía desarrollando hasta entonces con seis metales: oro, cobre, plata, plomo, estaño y mercurio, y algunas aleaciones como el bronce, electrum (aleación oro-plata con un contenido superior al 40 % en Ag), latón y peltre (aleación estaño-plomo con contenidos variables en plomo, 20-40 %, y algo de cinc).

Hay varias razones para comprender por qué fueron precisamente estos los primeros metales en conocerse. He aquí algunas: a) algunos de ellos- Oro, plata, cobre, hierro meteorítico- pudieron encontrarse en la Naturaleza en estado nativo; b) los óxidos de cobre, plomo, estaño y hierro son fácilmente reducidos, por debajo de los 800°C, con carbón vegetal, y esas temperaturas se pueden alcanzar fácilmente en un hogar alimentado con madera que, además, es el agente reductor; c) algunos de estos metales tienen puntos de fusión muy bajos, como el plomo, el estaño y el mercurio (líquido a temperatura ambiente), por lo que fácilmente pueden separarse, aprovechando su fluidez, del resto de la carga o de la escoria producida durante la extracción por fusión.

La materia primera utilizada procedía de los yacimientos superficiales, ostensibles, originados, por ejemplo, por la acción natural de los agentes atmosféricos sobre las rocas. Así, el oro y el estaño (de la casiterita) se obtuvieron de depósitos de aluvión. Sin embargo, en la Edad del Bronce ya se había pasado a la minería subterránea, profundizando las vetas o filones que

afloraban, realizando un laboreo incipiente, de acuerdo con los testimonios que aporta, entre otros, el historiador Plinio (79-23 años a. de C.) en su Historia Natural (¡treinta y siete libros!) al discutir con gran profusión de detalles muchos aspectos relacionados con la minería y la metalurgia (perforación de túneles, galerías, sistemas de desagüe, entre otros).

Mil años después de descubiertos accidentalmente los procesos de extracción por simple fusión o por reacciones químicas de reducción de los óxidos metálicos, habían quedado ya establecidos con sorprendente intuición los más sencillos para llegar al oro a la plata, al plomo y al cobre, así como para la preparación del bronce a partir de sus menas, además de las técnicas de moldeo. Fue fundamental para este desarrollo la evolución en la construcción y empleo de los hornos, desde la forma más rudimentaria del simple apilado de capas alternadas de mineral y combustible, al horno de cuba con tiro forzado. La corriente de aire producida soplando por una caña de material refractario -como inmortalizaron dos mil quinientos años antes de Cristo los artistas que tallaron los frisos de los templos egipcios- se obtuvo después por medio de fuelles; así lo registró Homero en el siglo VIII a. de C., al describir a Vulcano, bañado en sudor, moviéndose en torno a los fuelles que soplaban en veinte hornos, despidiendo un aire que avivaba el fuego según el Dios deseaba.

Si se prescinde del hierro meteórico identificado en algunos objetos de adorno utilizados por pasadas civilizaciones, el hierro no casual, el que iba a anunciar una nueva Era, aparece cuando, a partir de la reducción de sus menas oxidadas, se utiliza en sustitución del bronce, una vez logradas las propiedades mecánicas y la forma deseadas. La razón de este retraso histórico con relación a los metales anteriormente aludidos hay que buscarla en el elevado punto de fusión del hierro puro, lo que hacía problemático, cuando no imposible, que, una vez reducidos sus

minerales, el hierro metal pudiera ofrecerse en forma líquida y así separarse de la escoria con la que se acompañaba. Por el contrario el hierro se encontraba en estado sólido ocluido en una masa esponjosa, de apariencia no metálica, o en masas sucias (denominadas pellas).

Por todo ello, la Edad del Hierro no pudo empezar antes de que el ingenio y la experiencia desarrollasen una serie de técnicas y utensilios con los que se desescorificase el metal y se pudiese manejar en caliente (en palabras actuales lo que hoy diríamos como el Know-How). Este momento se cifra, según la arqueología, en el año 1.500 a.de C. cuando se descubre que simplemente golpeando en caliente la pella obtenida se consigue, a la vez, desprender la escoria y reunir las partículas de hierro -pastoso a esa temperatura- en una masa consistente.

El producto resultante era hierro maleable, tenaz pero excesivamente blando para que el corte de los utensilios con él fabricados superara al de los de cobre o bronce. Parece probable que la innovación en las técnicas de fabricación del acero, o del hierro acerado por carburación o cementación del hierro original, y los consiguientes tratamientos térmicos de temple y revenido, fueron descubiertos por los Chalibes, súbditos de los Hititas, quienes, a la caída de aquel Imperio, huyeron desde Asia Menor hacia el Sur y hacia Occidente, lo que produjo la propagación de sus conocimientos en el trabajo del hierro, que tan celosamente habían guardado durante casi 200 años.

Sófocles, por el año 450 a. de C. habla del temple de acero y Homero, en su inmortal obra La Odisea, hace referencia al temple y al recocido. En el campo bélico era notable la superioridad de los guerreros equipados con armas de hierro acerado frente a las de bronce así históricamente hay muchos ejemplos que lo confirman como que los "Filisteos entraron en Canaán

gracias al armamento de hierro acerado por lo que los israelitas restaron en inferioridad técnica hasta que Saúl los equipó con armas de hierro”.

En estos casi cerca de 8.000 años de historia rápidamente se ha pasado del empleo de unas piedras al de unos metales que se trabajan y se disfrutan, con los que se laboran y se lucha y con los que el hombre se inmortaliza al lograrlos para la paz o la guerra. Por sorprendente que pueda parecer esta historia, aún cabe añadir los múltiples procesos innovadores/artes/ tecnologías que, una vez desarrollados, aún, salvando las diferencias, todavía persisten hoy día, he aquí algunos notables ejemplos:

- En Egipto se empleaba el adobe (ladrillos de barro mezclado con paja) para la construcción, según describe el libro del Éxodo.
- La alfarería alrededor del torno y la cocción en horno tuvo lugar en Egipto durante el reinado de las dinastías IV y V (2.600-2.350 años a. de C.). De Egipto, el torno pasó a Irán y de allí a la India, donde florecieron las ciudades de Harappa y Mohenjo-Daro, en el Valle del Indo.

En Mesopotamia la cerámica alcanzó elevados niveles de perfección: el Friso de los Arqueros de Susa está construido con ladrillos revestidos de esmalte de sílice coloreados. Precisamente las legiones romanas extendieron esta tecnología por Europa, Asia y África Septentrional.

- Hasta la aparición del método de soplado en el año 4 a. de C., el comercio del Vidrio fue un monopolio egipcio. El imperio romano fue el cauce de expansión y fusión de los conocimientos egipcios y el vidrio llegó a ser un material de uso común. Los primeros vidrios transparentes, la uti-

lización del vidrio en cerramientos, ventanas y las primeras vidrieras datan de esta época. Hacia el año 99 a. de C., aparecieron los primeros espejos hechos con vidrio estañado. El arte de la fabricación del vidrio decayó a fines del imperio romano y los centros de producción más importantes se trasladaron a Constantinopla y al mundo islámico.

- Existe evidencia de que el procedimiento de moldeo a la cera perdida (extensamente empleado en joyería moderna) era ya practicado en Egipto y Mesopotamia para el moldeo de piezas muy pequeñas con gran precisión, como joyas, estatuillas.
- Los sumerios practicaban la unión de piezas metálica, calentando los extremos a unir a temperaturas próximas a su punto de fusión y martilleando en caliente sobre la unión (soldadura por forja).
- 1.700 años a. de C., el hombre aprendió a hacer alambre pasando el metal en caliente por una hilera, probablemente de madera dura (trefilado).
- 2.000 años a. de C., ya se practicaba en China el moldeo de monedas de bronce en moldes permanentes (moldeo en coquilla).
- El proceso de afino del plomo argentífero, por el que se separaba de la plata - proceso conocido con el nombre de copelación- fue descubierto en Asia Menor 2.000 años a. de C. y era una práctica común en el siglo VI anterior a nuestra Era.
- La licuefacción, como técnica de afino, fue aplicada a la extracción del oro y la plata contenidos en minerales -so-

bre todo de cobre- , al aprovechar su mayor solubilidad en el plomo líquido que en el cobre que, fundido, se ponía en contacto con aquél. Solidificados ambos, se refundía el plomo (licuefacción), llevando en solución sólida a los metales más nobles.

- La amalgamación, inicialmente del oro, era conocida y aplicada a la recuperación del oro de las telas viejas, previamente quemadas, cuyas cenizas se amasaban con mercurio. Curiosamente Plinio escribía en relación con el mercurio: “El *argentum vivum* es veneno para todas las cosas, y corroe y rompe los recipientes penetrándolos con putrefacción funesta”.
- Plinio refiere en sus obras el “Dorado en frío” en el que las piezas de cobre son recubiertas de oro mediante la utilización de una fina capa de mercurio depositado sobre el cobre con el que forma una amalgama sobre la cual se presionan láminas de oro que igualmente por difusión quedan adheridas. Magnífico ejemplo de las primeras técnicas de la Ingeniería de Superficies actual mediante la formación de recubrimientos. También aquí habría que añadir, como ya se ha indicado, el arte egipcio en el recubrimiento con panes de oro de los sarcófagos de los faraones aunque, en este caso, por simple bruñido mecánico sobre el sustrato.

La extraordinaria abundancia de recursos minerales en el subsuelo peninsular fue la razón del temprano establecimiento de centros metalúrgicos de gran relieve y tradición en la Península Ibérica, establecimiento que se asocia a culturas autóctonas como la Argárica y la Tartésica.

La cultura Argárica, asentada en la provincia de Almería, representa una primera Edad española del Bronce, de la que, como

testimonio de su actividad, han llegado hasta nuestros días tanto piezas de cobre en forma de hachas, pendientes y sortijas, sobre todo con el tema del ofidio, que, según parece, era patrimonio simbólico de los primeros mineros occidentales representando su actividad excavadora, como de bronce moldeado, en sus famosas espadas de hoja ancha, redondeada y sin filo.

La cultura Tartésica, de impreciso asiento dentro de la actual Andalucía aunque se sostiene que estuviese enclavada en la antigua Onuba (Huelva), encuentra en el entorno de Tartessos el centro minero y metalúrgico de esta civilización. La llegada a las costas meridionales de la Península Ibérica de las colonizaciones Fenicia y Griega significó el desarrollo de la cultura Tartésica durante los siglos VIII al VI a. de C. Sus bronzes fueron llevados hasta los templos de Olimpo. Así lo describe en un pasaje de una de sus obras el griego Pausanias: “En Olympia hay un Thesaurus de los Sikyonios ofrenda de Myron tirano de Sikyon. En el thesauros hay dos cámaras, una de orden jónico y otra dórico. Yo mismo vi que están hechas de bronce y no sé si precisamente Tartésico, como afirman los Eleos”. Por entonces era ya famoso este emporio occidental, cuya referencia nos llega con menos documentos que leyendas, donde sitúan a su famoso rey Arganthónios -nombre legendario de la plata el longevo (se le atribuyen 300 años, pero más parece que de un rey se tratara de una dinastía).

Como evidencia de la actividad minerometalúrgica en aquella región, hay que decir que de los veinte millones de toneladas de escorias aforadas en el siglo XIX en la provincia de Huelva, se estima que cuatro millones corresponden a explotaciones fenicias o tartésicas, lo que permite ubicar allí las explotaciones mineras más importantes de aquel momento (700-500 años a. de C.).

Fruto de esta riqueza natural, sobre todo en plata y oro, y del contacto con estas nuevas civilizaciones, surge una orfebrería de filigrana tartésica, a imitación de la oriental que significa un avance espectacular con respecto a las técnicas utilizadas hasta entonces en la Edad del Bronce en todo Occidente; la joyería utiliza el oro y la plata en la elaboración de formas muy simples, sin emplear la soldadura que en Oriente hacía siglos que se había generalizado, pero con piezas cargadas de habilidad que se manifiesta en el arte de las formas bellas; ejemplos notables los tenemos en los tesoros de Cádiz, Eborá, Carambolo y La Aliseda (Fig 3), entre otros.

Hacia el año 500 a. de C., Tartesos - la primera población de aquella civilización- es arrasada por los cartagineses, que por espacio de 300 años dominarían la Península Ibérica hasta la invasión romana. En esta época comenzó un verdadero expolio de la riqueza lograda; es bien conocida la anécdota de que algunos mercaderes fundían en plata las anclas de sus naves para aumentar el cargamento del expolio. Plinio cita que uno solo de los pozos abiertos por Aníbal en los alrededores de la ciudad de Cartago Nova, el llamado Baebelo, suministraba al día 98,100 kg de plata y que tenía una profundidad de 2.205 m (?). (Como orientación para la credibilidad vale la pena resaltar que actualmente en el mundo la mina más profunda, es la de oro de Mponeng al este de Johannesburgo, Sudáfrica, que alcanza los 4.200 m).

Los romanos, mejores ingenieros que sus antecesores los griegos, hacen evolucionar la técnica y organizan la minería y la metalurgia e introducen el cemento y con ello un hormigón (formado por una mezcla de aglomerante, áridos y agua), ambos muy primigenios a los conocidos hoy día.

Es muy probable que uno de los motivos, al menos iniciales, de la presencia de los romanos en Hispania fuera la explotación de sus tan ponderadas riquezas metalúrgicas. Durante los primeros siglos de dominación, ingentes cantidades de tesoros en metales fueron llevados a Roma. Después, el tributo exigido tuvo que obtenerse de la reactivación de las minas ya explotadas, obra que, aunque lenta y llena de dificultades, se superó con ingenio, además de seguir buscando nuevo yacimientos.

Además de la minería onubense hay que traer a cuento el beneficio del oro contenido en cuarzos y pizarras del noroeste hispano, no en placeres, particularmente en las Médulas (León). El sistema utilizado, conocido como *Arrugiae*, practicado con anterioridad de la dominación romana, es un alarde de ingenio. Consistía en provocar el hundimiento de masas gigantescas, de hasta veinte millones de metros cúbicos de roca - «*ruina montium*»- , y lavar el derribo con agua traída por un sistema de canales con esclusas desde depósitos a más de cien kilómetros de distancia. El agua, se derramaba sobre las rocas derribadas desde desniveles de hasta 100 metros. De los aluviones artificiales producidos se separaba el oro por su densidad. Plinio estimó que de la zona de *arrugiae* de las Médulas (León) se obtuvieron para el erario romano nada menos que unas 20.000 libras romanas de oro cada año, es decir, unas seis toneladas y media.

También las minas de Almadén (Ciudad Real)- un preciado tesoro natural-, fueron explotadas por los romanos. El “*Argentum Vivum*”, que se obtenía a partir de su cinabrio, sirvió igualmente de tributo a los emperadores romanos. Plinio afirmaba que “Hispania es la región que produce mayor cantidad de minio”, nombre con que se conocía al cinabrio.

Aunque Marcial, en la época Flavia, menciona el oro de Bilibilis, sin duda, en pepitas recogidas en las orillas de los ríos Jalón

y Jiloca, que se unen más abajo de la actual Calatayud la importancia que adquiere Bómbilis (Calatayud) así como Turiasson (Tarazona), se la debe a su industria siderúrgica, como refiere Plinio. El mineral de hierro máspreciado se extraía de las minas celtibéricas del Moncayo, que alimentaban estas rudimentarias industrias siderúrgicas. Las espadas del Bómbilis adquirieron, por su temple, excepcional celebridad entre los romanos como comenta Justino al señalar que a todos aventajaba en el hierro porque su temple lo hacían más riguroso. Probablemente este tipo de industria metalúrgica es una precursora de las Ferrerías Vascas y las Fargas Catalanas, de gran tradición en el Medievo Hispano (Calvo y Guilemany. 1984).



❖ LOS ANTECEDENTES CIENTÍFICOS EN LA EDAD MEDIA, EL RENACIMIENTO Y EL SIGLO XVII

En la baja Edad Media, concretamente en el período comprendido entre los años 400 al 1000 de nuestra Era, período conocido como la Edad Tenebrosa, la preocupación por la teología se apodera de los espíritus, y la incipiente alquimia egipcia y las ideas filosóficas cobran en la civilización árabe un sentido especial que trascendería a Europa.

Nace así la Alquimia, arte arcano experimental cuyos cultivadores consideraban a los metales como cuerpos compuestos formados por dos cualidades o principios comunes: el mercurio, que representaba el carácter metálico y la volatilidad, y el azufre, que posee la propiedad de la combustibilidad. Más adelante se unió un tercer principio, la sal, que tenía la propiedad de la solidez y la solubilidad. Estos tres principios o elementos eran llamados la tría prima y vinieron a sustituir a los elementos aristotélicos: aire, agua, tierra y fuego.

Durante toda la época alquimista se pusieron de manifiesto muchas propiedades químicas de los materiales, sobre todo los metálicos, después del descubrimiento de los ácidos minerales por los árabes en el siglo VI y además, operando con crisoles, se llegaron a nuevas aleaciones (al mezclar y fundir conjuntamente distintos metales), pero, no obstante, se interpretan como productos mágicos que, ni son comprendidos ni son utilizados.

El mayor avance en la evolución de los materiales durante la Edad Media hay que buscarle en el hierro, de quien San Isidoro

(560-636), en su obra enciclopédica *Las Etimologías* (Orígenes o *Etymologiae*), concretamente en el capítulo dedicado a los metales, escribe al respecto: “No hay ninguna materia de elementos tan densos, trabados, enlazados entre sí como el hierro, por lo que se cambian con él dureza y frío. Las diferencias del hierro son muchas según la clase de tierra: pues hay uno blando y parecido al plomo, aceptable para usos en llantas y clavos; otro frágil y con impurezas de cobre que va bien en aperos agrícolas; otro que es apreciado sólo en objetos menudos, y entre éstos en tachuelas para calzado militar; otro sufre el orín muy rápidamente. Minas de hierro se encuentran casi en todas partes”. La importancia del hierro en este momento histórico queda bien patente.

Con el advenimiento en el año 982 del Sacro Imperio Romano-Germánico, los materiales metálicos cobran nuevos impulsos construyéndose hornos más altos y más eficaces; se adquiere gran destreza en el empleo y manejo de los metales y aleaciones fundidas, produciéndose obras monumentales como las grandes campanas de bronce de los siglos XIII y XIV. Fruto de este impulso, siglos después, a comienzos del siglo XIV, se construyeron junto al Rin (Alemania) hornos más altos, en los que podía cargarse el mineral de hierro con mayor cantidad de combustible (carbón vegetal), y a los que se insuflaba una corriente de aire más intensa, lográndose temperaturas suficientemente elevadas como para producir hierro líquido que podía moldearse, directamente, en formas variadas.

La obtención del hierro líquido que ya había sido descrito por Plinio, pero cuyo arte de hacerlo se perdió con el transcurso del tiempo representa uno de los mayores avances logrados en la innovación de este tiempo, pero con un inconveniente que lo que se obtenía era fundición de hierro (contenidos en C entre 2- 4% y formación de grafito en su matriz) pero no acero con lo cual las

propiedades distaban mucho de las deseadas y tanto es así que los propios marineros franceses que tenían en sus galeones cañones fabricados en fundición temían más a sus propios cañones que los del enemigo fabricados en bronce.

Entre los alquimistas árabes hay que citar a Geber (siglo VIII), Razés (siglo X), Avicenna (Siglo X-XI) y Averroes (siglo XII). Avicenna escribe sorprendentemente sobre la transmutación: “los alquimistas producen imitaciones de los metales preciosos y no la verdadera transmutación en oro”, lo cual viene a apuntar que no todos estaban de acuerdo con la idea alquimista según la cual al fundir conjuntamente oro, plata y cobre se obtiene oro, ya que el oro original actúa como una semilla que se nutre con la plata y el cobre, y aumenta en peso de acuerdo con las cantidades iniciales de éstos”.

Entre quienes cultivaron la alquimia o se ocuparon de sus temas en Occidente hay que señalar al inglés Roger Bacon (1212-1294), peripatético que hace, sin embargo, múltiples las sustancias, las materias y las formas; a San Alberto Magno (siglo XIII), descubridor del arsénico y escritor entre otros títulos de su tratado *De Alquimia* y del *Libro de los Minerales* (*De Mineralibus*), en el que presenta a las rocas y minerales conocidos y sus propiedades, así como aspectos de interés práctico; Raímundo Lulio (1233-1316), que en su “Árbol de la Ciencia” propone la unificación de todo el saber humano en un esquema jerárquico, y el monje benedictino alemán Basilio Valentino (siglo XV), al que se atribuye el descubrimiento del antimonio descrito en su obra “El carro triunfal del antimonio”.

En el siglo XII se produjo en Europa un resurgir del arte/técnica de la fabricación del vidrio vinculado a la construcción de catedrales y así en centros relevantes como en Venecia (Murano), se descubrió el cristal blanco, incoloro y transparente, que

podía trabajarse para obtener figuras con detalles de una finura desconocida hasta entonces. En la misma época se producía en Bohemia un vidrio muy duro que podía grabarse al ácido con gran facilidad.

En el siglo XIII la fabricación y tallado de lentes y lupas para simple uso de la lectura está muy extendido y en 1454, Luis Van Berkem descubrió la talla del diamante valiéndose del polvo del mismo material. No será hasta finales del siglo XVI particularmente en la Europa de los países bajos y en concreto en Holanda donde se supone la cuna de la fabricación del primer microscopio óptico compuesto (Hans, el padre, y Zacharias, el hijo, Janssens, 1590 en Milddelburg) ya que el tallado de las lentes para la observación había avanzado de forma extraordinaria.

Con el Renacimiento, período comprendido entre mediados del siglo xv y la segunda mitad del xvi, resurge la antigüedad clásica grecorromana y se inicia la llamada en Occidente Edad Moderna. Con ella comienza la Era Científica. Precisamente es en estas fechas cuando va a utilizarse extensamente el trascendental invento de Johann Gutenberg (1440)), la imprenta, y con él se consigue la difusión de tratados sobre lo conocido en materiales y particularmente metálicos.

En efecto, tres son los libros que marcan el comienzo de esta Era Científica: “La Pirotechnia”, de Vannoccio Birínguccio (1480-1539); “De Re Metallica”, de Georgius Agrícola (1494-1555), y “Beschreibung aller füm emistem mineralischen Arzt und Bergk wercksart” de Lazarus Ercker (1574).

El libro “La Pirotechnia”, aparecido un año después de la muerte de su autor (1540), está escrito en italiano. En él se recopilan

todos los conocimientos adquiridos en cuanto a la minería de menas, técnicas de extracción, procesos de fusión de metales y aleaciones, así como afino, moldeo y trabajo en caliente de los metales.

El libro “De Re Metallica” aparece en 1556, igualmente un año después de la muerte de su autor. La monumental obra, escrita en latín, a pesar del origen alemán de Agrícola, es una obra mucho más completa y extensa que la de Biringuccio, recopilándose aspectos muy diversos, referidos a la minería y metalurgia de los últimos siglos, Fig 4.



Fig 4. Grabado en madera de Instalaciones del hierro con el horno y su trabajo en el forjado. Georgius Agricola “De Re Metallica” de 1556.

El libro de Lazarus Ercker, que aparece en Praga en 1574 y cuyo título puede traducirse por “Tratado en el que se describen los aspectos más relevantes de las menas metálicas y minerales”, recoge, como el título indica, los puntos más significativos de la preparación de menas y de la obtención y afino de metales.

Contemporáneo de Agrícola es Paracelso (1493-1541), a quien se le atribuye la palabra reducción para expresar la obtención de los metales a partir de sus óxidos. Igualmente es notable la explicación que daba para la corrosión del hierro y de su resurrección: “el orín, decía, es la muerte del metal, pero estos metales muertos se pueden revivificar o reducir de nuevo al estado de metales por medio del ollín”.

El irlandés Robert Boyle (1627-1691) representa el primer hombre de ciencia que, en su obra “The Sceptical Chymist”, se aparta abiertamente de la alquimia al establecer el concepto de elemento, rompiendo claramente con los cánones alquimistas y aristotélicos al suponer que su número ha de ser muy superior a los tres y cuatro que predecían las respectivas teorías. Se le considera el introductor en el camino de la Ciencia a la Química.

A pesar de los trabajos de Robert Boyle, se debe a Georg Ernst Stahl (1660-1734) la famosa teoría del flogisto que, aunque falsa e inspirada en la filosofía de siglos anteriores, tuvo la virtud de significar un gran avance en la Química de Materiales al coordinar en una doctrina los conocimientos de los procesos de oxidación-reducción de los metales.

Desde el punto de vista metalúrgico, el acero del siglo XVII distaba mucho del acero comercial de hoy, ya que, prácticamente, todo se hacía carburando el hierro dúctil -es decir, por cementación- al cubrir el hierro con una pasta carburante, como la que describe el discípulo de Parácelso, L. Thurneiser,

en 1569, “formada por cuernos o pezuñas de animales, secas y pulverizadas, mezcladas con ollín y crines”. El conjunto se calentaba a 900 °C, cuidando de que no se rompiera la costra, y se terminaba con un enfriamiento rápido en agua. A mediados del siglo XVII se consigue mejorar el procedimiento al cubrir las barras de hierro con una sustancia carburante formada, en su mayor parte, por carbón vegetal, disponiéndose en recipientes perfectamente sellados con arcilla para evitar el acceso de aire, que se colocaban en hornos cerámicos de reverbero durante varios días según el espesor de la capa cementada que se quisiera obtener.

También en este siglo XVII hay que resaltar dos interesantes hechos físicos que aparecen por separado: William Gilbert, en 1600, descubre el ferromagnetismo, y Robert Hooke, en 1660, formula la famosa ley que lleva su nombre sobre el comportamiento elástico de los metales, que sirvió de base, un siglo después, para el desarrollo de las ecuaciones generales de la elasticidad.

Si retrocedemos en el tiempo y se repasa la historia de lo acontecido en la península ibérica desde la Edad Media hasta el siglo XVII, hay que empezar por reseñar la influencia de las culturas visigóticas y musulmana después de la caída del Imperio Romano.

Según todos los indicios arqueológicos, las minas que con tanta actividad se habían explotado en siglos anteriores, empiezan a ser abandonadas a comienzos del siglo V d.d.C. Las minas, pues, debieron quedar prácticamente improductivas durante los siglos de dominación visigótica. Es posible que, en algunos puntos, se siguiera recogiendo oro en placeres, con el cual se llegarían a montar piezas como las del Tesoro de Guarrazar, cuya “corona” de Recesvinto se atribuye a orfebres que conservaron heredada la

exquisitez y la habilidad de sus antecesores de épocas Tarté-
sicas.

Con la presencia de los musulmanes en la Península Ibérica, parece ser que se pusieron una vez más en explotación algunas minas como las famosas de Almadén, cuyo nombre “Al-mahdén”, que significa “la mina” y “azogue”, puede apoyar esta idea. El párrafo de El Katobi no puede ser más preciso acerca de su existencia y explotación: “en el castillo de Obal, a una jornada al norte de Córdoba, hay una mina donde se extrae mercurio y cinabrio, que exportan al mundo entero. Hay en ella empleados 1.000 obreros... desde la superficie al punto más bajo de la explotación había más de 250 brazas”, (1 braza= 1,5 metros). Con el cinabrio se pintaron mezquitas y alcázares en el rojo bermellón característico.

La importancia del hierro en la época medieval hace que su industria se desarrolle rápidamente sobretodo en Basconia y Catalunya dando origen a Ferrerías y Fargas allí donde el agua motriz, el mineral y el combustible hicieron posible la aventura de “Agoias” y “Massers”.

Para tener idea de la importancia de ésta industria, basta decir que en el siglo XV existían, entre Vizcaya y Guipúzcoa, más de 300 Ferrerías, y en Cataluña, más de 150 Fargas (Molera. 1980). La calidad de sus hierros fue bien conocida, como se deriva del comercio floreciente y la exportación que se hacía a países como Francia, Inglaterra y Flandes. La técnica conocida como Forja catalana fue exportada a países tan distantes como Finlandia o Brasil (Fig 5).



Fig 5. Esquema de una instalación del hierro en la Farga Catalana. Horno bajo; golpeo del “masser” y forja de piezas de hierro. Dibujo incluido en la obra “La Farga Catalana” del Dr. Pere Molera (1980).

Se asistió al nacimiento de los gremios o grupos de artesanos del metal: herreros, armeros, cerrajeros, etc., en cuyas manos y con la forja se transformaron las agoias y massers en un sinfín de productos elaborados que van desde las armas, espadas y mazas hasta los clavos, cerrojos y aldabones, pasando por estas auténticas obras de arte que constituyen las famosas rejas de nuestra arquitectura civil y religiosa. Son, por ejemplo, la de la Capilla de la Catedral de Granada, forjada por el Maestro Bartolomé; la de la Capilla Mayor de la Catedral de Toledo, del Maestro Francisco de Villapando; la del coro de la Catedral de Sevilla, que hiciera Fray Francisco de Salamanca; la del coro de la Catedral de Palencia, obra de Gaspar Rodríguez de Segovia,

o la de la capilla de Santa Clara y Santa Catalina de la Catedral de Barcelona obra de Joan Vilalta.

Con el descubrimiento de América, se llega al platino, que aún no era conocido en Europa, pero que los indígenas de la costa ecuatoriana de Esmeraldas y de la provincia de Chocó en Colombia utilizaban desde antiguo.

De la misma manera los Incas emplearon en Cuzco a los orífices y plateros de la cultura sometida Chimu (1150- 1476 d.d.C) expertos en el arte de batir los metales, cobre, oro y plata en el que a la pieza final del tamaño deseado se llegaba por presión en frío y posteriores calentamientos sucesivos con lo que conseguían una innovadora soldadura en estado sólido como hoy la reconocemos y aleaciones por lo que hoy consideramos de aleado mecánico. Una de las aleaciones más importantes fue la denominada Tumbaga de la que está fabricada una máscara que se expone en el Metropolitan Arts Museum de Nueva York (tamaño de 74x40cm) que tiene un impresionante acabado superficial de color oro pero que en realidad solo contiene el 40% de este metal ya que el resto de la aleación es del 48% de Ag y el 12% de Cu. Se han encontrado otros objetos en los tesoros andinos con apariencia de oro macizo que en realidad solo contienen del orden del 12 % en oro y el resto es fundamentalmente cobre.

En la trama histórica aparecen aquellos personajes mezcla de poeta, aventurero, minero, metalúrgico y misionero que protagonizaron acontecimientos muy dispares. Entre ellos, el sevillano Bartolomé de Medina, quien, en 1555, introduce el procedimiento llamado del patio en la extracción de la plata por amalgamación a partir de sus minerales; proceso que requirió una mayor utilización de mercurio. Pedro Fernández de Velasco utilizó con éxito el proceso del patio en el beneficio de

los minerales de plata de baja ley de Potosí (Bolivia) y la utilización de hornos “portátiles” denominados Guairas, parece que diseñados por Juan de Marroquí de los que en 1570 había alrededor de más de 6.000 funcionando en los cerros de Potosí, (Prieto. 1968).

Algunos materiales poliméricos existen en la naturaleza y, con toda seguridad, fueron utilizados desde muy antiguo, pero la primera referencia conocida lo es respecto al caucho y aparece en el libro “Historia Natural y general de las Indias” de G.F. de Oviedo y Valdés (1535). En él se describe que, durante la conquista de México, los hombres de Cortés observaron cómo los indígenas jugaban con masas de madera elástica que obtenían del látex del árbol Ulli. Les sorprendió que el material se pudiera alargar, casi 10 veces su longitud original, sin experimentar deformación permanente o fragilidad a diferencia a lo que sucede en los materiales metálicos; los nativos lo empleaban para fabricar zapatos impermeables y recipientes.

En la vertiente cultural de la presencia española en América hay que dejar constancia de la fundación de las primeras Universidades de aquel continente: la de Santo Domingo en 1538, las de Lima y México en 1551, la de Córdoba en 1614, entre otras.

Al llegar el siglo XVII, era universal la fama de las espadas toledanas irrepetibles por culpa de las aguas del Tajo según la tradición, “En Toledo fui forjada y en el Tajo bautizada”, reza en alguna hoja.

Sin embargo, lejos de estas apreciaciones aparece, en el crepúsculo de la centuria española, la obra de esa figura excepcional que fue Alvaro Alonso Barba, cura de Potosí; su “Arte de los Metales” (1640) fue, sin duda, el mejor libro de materiales de la mano de la metalurgia del siglo XVII. Es un libro sacado de sus

propias vivencias minero metalúrgicas durante más de medio siglo en sus constantes desplazamientos y distintos emplazamientos, por las referencias mineras de las americas. El título completo de la obra indica su contenido: “Arte de los metales, en que se enseña el verdadero beneficio de los de oro, y plata con azogue. El modo de fundirlos todos y cómo se han de refinar, y apartar unos de otros”. La obra de Alonso Barba conoció numerosas ediciones y fue rápidamente traducida a otras lenguas cultas del momento.

Tras el fallecimiento de tan experimentado maestro de minas y metales -Don Albaro-, las cosas fueron degenerando, iba a iniciarse un nuevo siglo en el que España iba a quedar apeada del florecimiento europeo que iba a acontecer (Calvo y Guilemany. 1984).

Es difícil precisar si el primer horno alto en la historia de España fue el de Liérganes, en Santander (1629), obra de Juan Curcio, un industrial liejés, quien, a pesar de haber puesto la mirada en Vizcaya (región en la que concurrían el bosque, el agua, los yacimientos de hierro, la proximidad del mar y una mano de obra enterada en los oficios del hierro), se le negó tal empresa, y al dirigirse a Santander encontró el sitio adecuado en Liérganes, donde construyó dos hornos altos a los que seguirían, cinco kilómetros aguas abajo, unos años después de su muerte, otros dos en una nueva factoría, Santa Bárbara, la futura Cavada. La marcha de estos hornos se vio salpicada por frecuentes crisis y paros en la producción hasta ser expropiados, un siglo después, por Carlos III, (Alcalá Zamora. 1974).



❖ PROLEGÓMENOS DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA: LOS MATERIALES EN EL SIGLO XVIII

Con el comienzo del siglo XVIII, Europa va a iniciar un desarrollo espectacular fruto de la madurez y conocimientos adquiridos a través de siglos anteriores. El avance no se produjo por “generación espontánea”, ni fue fruto de la casualidad; fue la consecuencia de la ya sistemática incorporación de la ciencia a las artes industriales, que dió origen a lo que se entiende como tecnología.

El primer hecho digno de destacar es que la humanidad, que estuvo acompañado hasta ese momento prácticamente por sólo ocho metales, enriquece su conocimiento a través del estudio experimental de los minerales (materia prima) y del desarrollo incipiente de la Química, con el descubrimiento de nuevos metales, (Weeks. 1968). Así, en 1735, Georg Brandt aísla el Cobalto; en 1745, Andreas Sigismund Marggraff aísla el Cinc, en 1746 (hay que anotar que, sin embargo, el latón era conocido y se venía utilizando en Asia Menor desde sesenta años a.de C.); en 1774, Johan Gottlieb Gahn aísla el Manganese; el Wolframio lo descubren en 1783 los españoles hermanos Juan José y Fausto Elhúyar; el Uranio, el Titanio y el Circonio fueron descubiertos por Martin Heinrich Klaproth en 1789; el Cromo, Louis Nicolas Vauquelin en 1797. Y así hasta un total de quince, muchos de los cuales tuvieron que aguardar más de un siglo para que su obtención se industrializara, lo cual es casi una constante histórica no sólo en lo referente a descubrimientos, sino en ideas e invenciones, para las que se ha dicho con razón que tiene un tiempo de incubación, un tiempo de exposición,

un tiempo de adopción y un tiempo de utilización. Cuando una idea fructifica es porque se dan el medio, los factores sociales, intelectuales y económicos (lo que se conoce como circunstancias), aunque también sea cierto que la historia tiene su sala de espera para los descubrimientos precoces, anticipados.

Fruto de la inquietud de aquella época es la creación de Escuelas de Minas como las de Freiberg (1702), Potosí (1757), Chemnitz (1763), San Petesburgo (1773), Clausthal (1775), París (1783) y México (1792), donde se enseña lo aprendido y conocido en geología, minería y metalurgia.

En cuanto a la porcelana, fueron unos navegantes portugueses que la descubrieron en China en el siglo XVI y las muestras que trajeron despertaron gran admiración pero fueron incapaces de reproducirlas ya que en Europa se desconocía la materia prima de la que partían ni tampoco de la técnica del vidriado. En 1695, la fábrica de Saint-Cloud (Francia) produjo una magnífica porcelana parecida a la china, pero no fue hasta 1709, que J.Friederich Böttger de Meissen con la ayuda del químico E.Walther Von Tschirnhaus descubrió, por casualidad, el caolín. Así nació la porcelana alemana alrededor de una primera fábrica en Meissen, Sajonia y que se extendió una vez conocida la composición global de la denominada porcelana dura (mezcla mayoritaria de caolín, feldespatos y cuarzo) a otros países como Francia con sus porcelanas de Sèvres y de Limoges.

Hasta los comienzos de aquel siglo (XVIII) el hierro fundido (arrabio) habría supuesto menos del 5% del hierro total producido. El éxito alcanzado por el Inglés, Abraham Darby en 1709 al emplear en Coalbrookdale carbón de coque (procedente de la destilación de carbones minerales como la hulla) como combustible y reductor, en sustitución del carbón vegetal significó una innovación transcendente que, para empezar, representó

un alivio para la riqueza forestal del momento ya que se estaba acabando con los bosques europeos y un tributo para los ecologistas del momento.

El proceso de sustitución fue lento al principio. Así en la Inglaterra de Darby, y lugar de sus ensayos, había en 1760 sólo diecisiete hornos que empleaban coque, y todavía en 1775 sólo treinta. Sin embargo, en 1790, de los ciento seis existentes en funcionamiento, ochenta y uno trabajaban ya con coque. Si estos datos se comparan con la evolución en Europa donde Willian Wilkinson montó el primero en Francia en 1785, se aprecia la gran lentitud del proceso de asimilación del nuevo y espectacular procedimiento; en Bélgica se instaló otro cerca de Lieja, en 1823; en Alemania, hasta 1850!, no se montó el primero. Así puede comprenderse el gran despeque técnico-comercial de la industria siderúrgica británica en estas fechas, que se volcó en la construcción de puentes, barcos, raíles, maquinaria de todo tipo. En 1850, cuando Alemania estrenaba su horno alto siderúrgico con coque, en Inglaterra había ya 10.000 km de vía férrea tendida. Sin embargo, tuvieron que transcurrir cincuenta años para que el arrabio así producido empezase a ser rival del hierro obtenido con carbón de madera.

Otro de los avances e innovaciones fundamentales en la industria del hierro fue la sustitución de la energía hidráulica por el vapor. En efecto, en 1769 James Watt patenta su máquina de vapor, que utilizaba el obtenido por combustión de carbón mineral, abriendo con ello el camino del progreso industrial y una innovación meritoria en el campo de la industria mecánica lo que representó en 1784 lo que se considera como el inicio de la “Primera Revolución Industrial”. En 1776 el mismo W. Wilkinson, ya citado, había utilizado por primera vez la energía del vapor para accionar una soplante, y en 1782 para mover un martillo de forja que daba 300 golpes/ minuto.

Las dificultades que habían existido hasta principios del siglo XVIII para lograr por cementación un acero homogéneo fueron superadas por el relojero Benjamin Huntsman en 1720, al conseguir fabricar unos crisoles de arcilla refractaria capaces de resistir temperaturas de hasta 1.500°C que se necesitaban para fundir pedazos de barras cementadas. El fundido - acero homogéneo -, una vez moldeado, se conoció como “acero al crisol”. El proceso Huntsman, a pesar de que también fue adoptado muy lentamente por los aceristas, en la propia Inglaterra en 1770 muy pocos lo empleaban, pero la innovación ya era una realidad y por ello el procedimiento alcanzó justa fama y profusión, siendo muy empleado durante los siguientes 150 años para la fabricación de aceros moldeados, pasando a ser piedra clave en el desarrollo industrial de estos años, ya que suministró el acero idóneo para la fabricación de herramientas y piezas moldeadas de gran calidad. Todo esto determinó la separación de los talleres de fundición, donde se obtenía el arrabio de horno alto, de los de refusión y moldeo.

Con el invento del pudelado del arrabio en 1784 de Henry Cort (procedimiento que consistía en calentar en un horno de reverbero y a alta temperatura los lingotes de hierro fundido para eliminar parte de su componente en carbono y las escorias que se habían incorporado al arrabio durante el proceso de obtención), que luego fue mejorado por Joseph Hall en los primeros años del siglo XIX, lo que permitió obtener hierro dúctil en grandes masas, se cierra, en el caso del hierro, un siglo, el XVIII, pletórico en avances en un continuado intento de liberar a la metalurgia del hierro de las limitaciones que imponía el empleo del carbón vegetal.

Si en el siglo XVIII se desarrolló más la industria en Inglaterra que en Francia y Suecia, en estos últimos países se investigó más, se hizo más ciencia. En este quehacer hay que citar en primer lugar a la saga de microscopistas en su intento por revelar la in-

terioridad de los materiales que les pasaba desapercibido a la observación directa del ojo humano por sus ostensibles limitaciones en la capacidad de resolución (0,1mm a 25cm distancia focal). En efecto aunque el microscopio compuesto, que ya se ha indicado, fue inventado presumiblemente por los holandeses Hans y Zacharias Janssens en 1590, y utilizado entre otros por Robert Hooke como queda reflejado en su libro “Micrographia” editado 1665 con dibujos microscópicos de objetos en el campo biológico pero también del corcho al que identifica su estructura celular, lo cierto es que se siguió trabajando y utilizando el microscopio sencillo (una sola lente) y así destacar las imágenes, en forma de dibujos, en el campo de los materiales realizados por el duque naturalista holandés Antony Van Leeuwenhoek (1632-1723), que nos dejó la imagen en crecimiento de la plata de un cristal dendrítico y que denominó “El árbol de Diana”, Fig 6.

Los trabajos de René Antoine Ferchault de Réamur (1683-1757) por su obra “El arte de convertir el hierro forjado en acero” (1722), donde afirma que “el acero era hierro más algo, y que ese algo estaba en exceso en el arrabio y procedía del combustible, del fuego o de los compuestos utilizados en la cementación”, para terminar concluyendo que tales materiales (a los que él llamaba azufres y sales) se absorbían en el hierro. Con este histórico acertijo predijo algo tan importante como la presencia del carbono en el acero, conclusión a la que también llegan, pero sesenta años después, Tobern Bergman y Joseph Priestley, al publicar unos análisis de hierros y aceros. El primero, en 1781, sugirió además la posible alotropía del hierro, y Priestley, descubridor del oxígeno, quien señaló que el hierro y el carbono se combinaban químicamente y que las propiedades del acero son una consecuencia de esta combinación.

Su interés por el fenómeno “la conversión del hierro en acero” hace a Réamur profundizar en el tema. Mide cambios dimen-

sionales en el acero con la temperatura, y valores de fractura en el doblado de piezas en una máquina de ensayos mecánicos que él diseña; así deduce cambios de la microestructura al observar con lentes (microscopio simple) la superficie de fractura, Fig 6. Como se ha dicho, interpreta el endurecimiento del acero en términos de sus azufres y sales (naturalmente Fe_3C , cementita según conocemos hoy) a base de localizar éstos entre agregados de partículas de hierro, y dentro de ellas, así como la posibilidad de su desplazamiento por efecto de la temperatura y el tiempo marcado, es decir, salvados los términos y actualizados los conceptos, los aspectos generales en los que se basan las modernas teorías que explican el fenómeno. Los dibujos con que representa la superficie del acero son un avance de lo que después será interpretado como la estructura/arquitectura cristalina de los metales, aunque él, naturalmente, no supo acertar en la descripción de los mismos.

La aportación de Réaumur es considerada por muchos autores como un anticipo notable de los conocimientos modernos que ponen a los materiales en el camino de la ciencia (Stanley. 1960); un trabajo precoz porque las sugerencias prácticas de Réaumur, con base científica en sus investigaciones, se aceptaron muy lentamente, tanto que algunas tuvieron que esperar más de un siglo para ser confirmadas y enunciadas como cuerpo de doctrina.

También no se puede pasar por alto los trabajos de otro francés el Académico Pierre Grignon que en su libro de 1775 “Memorias sobre la Metamorfosis del Hierro” dibuja, Fig 6, lo que hoy reconocemos como cristales de Ferrita a los que denomina “Grumillons” e indica que el hierro está formado por el apilamiento de un conjunto de grumillons en el espacio, es decir lo que conocemos con el concepto de “granos” y que hoy definimos a los metales policristalinos como un conjunto de granos en el espacio.

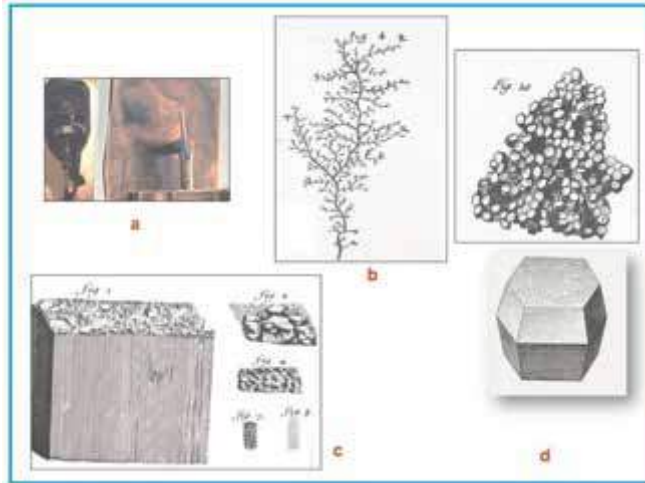


Fig 6. a) Microscopio Sencillo de Antony Van Leeuwenhoek. b) Dibujos de Leeuwenhoek (1703) de lo que denominó “El Arbol de Diana” que hoy interpretamos como morfología dendrítica. La muestra de plata observada era tan pequeña como un grano de arena. c) Dibujos de René Antoine Ferchault de Reamur (1722) de la superficie de un acero en la que intuye la presencia de “Azufres y Sales” que hoy interpretamos como de cristales de Cementita. d) Dos dibujos de Pierre Grignon sobre la superficie en rotura de un hierro que él interpreta como “Grumillons” en lo que hoy día denominamos Granos (1775).

No se debe olvidar, en aquel siglo (XVIII), otra figura poco conocida, Franz Carl Achard, que legó una gran obra (1788), así reconocida ya en su tiempo, titulada “Investigaciones sobre las propiedades de las aleaciones metálicas”. Se da cuenta en ella de los resultados experimentales obtenidos con el estudio de las propiedades físicas de 894 aleaciones y 10 metales puros que él mismo preparó en el laboratorio, discutiendo además sus posibles aplicaciones.

También en esta época se empieza a utilizar el hidrógeno, descubierto en 1766 por Henry Cavendish, por su poder reductor. Así, en 1784, Jakob Berzelius, Torbern Bergman y Friederich Wohler obtienen Wolframio a partir de WO_3 por reducción con hidrógeno (el mismo procedimiento que se usa hoy día),

precisamente el mismo wolframio que ya había sido obtenido un año antes, 1783, por los hermanos Elhúyar al reducir el ácido wolfrámico con carbón, como se ha comentado y se comentará nuevamente.

Hay que reconocer que los grandes descubrimientos, inventos y mejoras tecnológicas que revolucionaron y potenciaron la ciencia y la técnica se hicieron a finales del siglo XVIII, precisamente cuando Antoine Laurent Lavoisier, con la incorporación de la balanza, acaba con el rompecabezas de la teoría del “flogisto”, estableciendo la verdadera naturaleza de la combustión y poniendo con su inmortal obra “Tratado elemental de química”, aparecida en 1789, los cimientos de la química moderna (Bernal. 1969).

Durante el siglo XVIII España intentó, de la mano de Felipe V y posteriormente de Carlos III, incorporarse al movimiento científico y técnico europeo, aunque sus desvelos resultaron estériles. Para salir de la atonía, de la falta de información de lo que ocurría en Europa en este campo científico técnico, se inició un movimiento de aproximación cultural. Gaspar Melchor de Jovellanos se expresaba así refiriéndose a los futuros expertos metalurgos: “los elegidos deberán estudiar en Vergara, primero, un curso completo de matemáticas; segundo, otro de física experimental; tercero, otro de química, y cuarto, otro de mineralogía o metalurgia. Acabados estos estudios deberán hacer un viaje a Francia, Inglaterra y algunas otras provincias del Norte para examinar en ellas las minas de diferentes metales que allí se extraen... “.

Otra de las iniciativas tomadas consistió en la contratación de extranjeros, entre naturalistas, químicos o técnicos; así lo fueron el irlandés William Bowles, los franceses Louis Proust (conocido en Química por su famosa Ley de las proporciones definidas), Agustin De la Planche (Físico) y Joseph Dombey

(Naturalista), y los alemanes Andrés Keterlin y su hijo Juan, entre otros. Sin embargo, el resultado no fue tampoco satisfactorio; he aquí un párrafo ilustrativo en una carta de Christian Herrgen: “Jamás podrá hacerse idea de este desgraciado país. Las sumas enormes que España gasta en fomentar la ciencia no se aplican en ningún lugar del mundo a estos fines. Pero, a pesar de tanto gasto, no se ha progresado nada por ahora; falta una dirección competente y faltan conocimientos en la cabeza de quienes tienen entre manos el asunto”.

Efectivamente, se habían creado reales instituciones y centros de investigación extraordinariamente bien dotados que no desmerecían en nada de los de otros países europeos, pero como el Profesor Enrique Moles concluía en su discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias en 1936: “Hay que buscar la causa del fracaso de los extranjeros de importación, lo mismo que el escaso éxito de los centros de investigación, en algo más general y de todos los tiempos: la administración y la burocracia. Los mejores planes, las intenciones mejores, los propósitos más ideales quedan destrozados contra el muro inmovible de la rutina”.

Sin embargo, y a pesar del panorama (Vernet. 1975), hay que señalar, porque siempre las hay a través de la historia, aportaciones personales que merecen atención.

Antonio de Ulloa (1716-1795), en su relación histórica del viaje a la América meridional, describe por primera vez con rigor científico al Platino (que como ya se ha indicado, conocían y usaban los indígenas). Así dice haber encontrado en 1736 en las arenas del río Pinto (Colombia) “una piedra de tanta resistencia que no es fácil romperla ni desmenuzarla con la fuerza del golpe sobre el yunque de acero”. Los estudios de las muestras, realizados por Watson, dieron a conocer en 1750 este nuevo metal.

De entre el grupo de intelectuales españoles que se dedican a salir al extranjero en viaje de estudios, pocos son los que perseveran en el esfuerzo y adquieren pericia en la materia objeto de su estudio; la inmensa mayoría se limitan a adquirir conocimientos más extensos que profundos, lo que les convierte más en divulgadores que en investigadores. Pero entre los primeros hay que señalar a Fausto Elhúyar (1775-1833) y Juan José Elhúyar (1754-1796), así como a Andrés Manuel del Río (1765-1849); los tres estuvieron, en un momento u otro, en la Escuela de Minas de Freyberg, en Sajonia, y a su regreso a España los hermanos Elhúyar trabajaron con el excelente utillaje del Real Seminario de Bergara, superior a todas las Escuelas de Europa en aquel momento, consiguiendo obtener el wolframio, de lo que informan en 1783 a través de su obra “Análisis químico del wolfram y examen de un nuevo metal que entra en su composición” (1783).

Este wolframio es obtenido a partir del ácido wolfrámico procedente del tratamiento de unas muestras de mineral wolframita, originarias de las minas de estaño de Zinnwald, en la frontera entre Sajonia y Bohemia. Los propios autores describen así su descubrimiento “Habiendo puesto cien gramos de este polvo (ácido wolfrámico) en un crisol de Zamora, guarnecido con carbonilla y bien tapado, a un fuego fuerte, en el cual estuvo hora y media, encontramos rompiendo el crisol después de enfriado un botón que se reducía a polvo entre los dedos. Su color era gris, y examinándolo con una lente se veía un conjunto de glóbulos metálicos entre los cuales había algunos del tamaño de un alfiler”.

Fausto Elhúyar pasa después al Nuevo Mundo, fundando y organizando en México el Real Seminario de Minería en 1792, espléndidamente dotado, en donde se realizaron, según cuenta Louis Proust, grandes descubrimientos; Del Río le atribuye el

del Cerio, aunque todo parece indicar que Fausto Elhúyar llegó a intuir el elemento, pero no llegó a obtenerlo, como se desprende de su comentario “el wolframio rojizo no sólo contiene wolframio” (Cancedo. 1971).

Andrés Manuel del Rio, por su parte estuvo en París con Lavoisier y, tras visitar Inglaterra, se le envió a Méjico como Professor de Mineralogía del Real Seminario descubriendo en 1801 el plomo pardo de Zinapán, un nuevo elemento, el Pancromo o Eritronio, como él lo denominó, y que, paradójicamente, redescubierto más tarde por el sueco Nils Grabiel Sefström, es hoy conocido como Vanadio en recuerdo de la divinidad escandinava Vanadis.

En aquel siglo se intenta adecuar la industria siderúrgica, que aún trabajaba con el tradicional sistema de las Ferrerías y de las Fargas, y algún horno alto que con más pena que gloria lo hacía con carbón vegetal. De aquí que las Reales Sociedades de Amigos del País, en especial la Bascongada, procuraran informarse de los avances conseguidos en el extranjero e hicieron ensayos con vistas a mejorar el rendimiento de Fargas y Ferrerías. Se partía de que para obtener 160 kg de hierro en una ferrería (por añadidura en las fargas) se necesitaba consumir ¡media tonelada de carbón de madera! (Se estaban arrasando bosques enteros), y otra media tonelada de mineral de hierro.

También estimularon aquellas Sociedades la implantación del horno alto encendido con carbón mineral (Coque). Precisamente en las postrimerías de aquel siglo, España, que a través del Estado acababa de fundar las Reales Fábricas de Urbaiceta (1784) y Trubia (1794), tuvo al alcance de la mano el incorporarse a la vanguardia industrial de Europa de haber acertado en el encender con coque el horno alto de Santa Teresa de la Cavada. Este intento fallido, que tuvo que esperar nueva prue-

ba, esta vez con éxito, hasta 1848, significó el total y definitivo alejamiento de Europa, donde se había ya consagrado la victoria del coque sobre el carbón vegetal, además de la apuesta total por el horno alto.

No obstante no se puede olvidar la brillante aunque efímera aparición en la escena de los materiales en general y la metalúrgica española en particular, de un asturiano genial, Antonio Raimundo Ibáñez, Marqués de Sargadelos (Calvo. 1977). La vida de Ibáñez se asoma a una época decadente que él encara con valor, con honestidad y honradez. Así nace su idea de una gran empresa (Fig 7) cerámica y metalúrgica española a la vez, que funda en 1791, a las orillas del Cervo, diócesis de Mondoñedo. Fundidores, forjadores, torneros, ajustadores, carboneros, carpinteros y arrieros cambian pronto la fisonomía del valle. Rugen los hornos y a los tres años Ibáñez era felicitado por el propio Gobierno porque, entre otras cosas, el quintal de municiones para la Real Artillería salido de la fundición de Sargadelos era más barato que el producido en sus Reales Fábricas.



Fig 7. a) Grabado de la instalación de Sargadelos 1791; proyecto fábricas siderúrgica y de cerámica. b) Portada del libro de Agustín de Betancourt “Mémoire sur la force expansive de la vapeur de l'eau” de 1790.

Además de la fabricación de este material, las fundiciones de Sargadelos produjeron potes, baterías, cocinas económicas, tuberías, cadenas, piezas decorativas y obras escultóricas. La concepción empresarial de Sargadelos, una vez más, no sería comprendida en su momento y le llevó a morir brutalmente asesinado, por afrancesado. El prestigio de la cerámica de Sargadelos sigue siendo un referente hoy en España (Calvo y Guilemany. 1984).

También habría que destacar la personalidad de un canario ilustre Agustín de Betancourt quien en plena aventura en Europa de la máquina de vapor de Watt, introduce, de su mano, una “bomba de fuego” que es una máquina de vapor de doble efecto que es presentada en un discurso del autor en la Académie Royale des Sciences, en París en 1790, con el título “Mémoire sur la force expansive de la vapeur de l’eau”, Fig 7. Resaltar las palabras de elogio que recibió de tan ilustres académicos: “Creemos que la academia debe aplaudir el celo y las luces del caballero Betancourt... con una memoria que presenta, digna de la aprobación de la entidad debe de imprimirse en la colección de memorias de los sabios extranjeros”. Su máquina de vapor se utilizó en achique del desagüe de las minas y en el dragado, (CICYT. 1991).



❖ LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES EN EL SIGLO XIX

Como consecuencia de la incidencia de la Ciencia en la Técnica en el transcurso del siglo XIX se logran importantes descubrimientos que tienen numerosas aplicaciones prácticas, esto es lo que hizo posible lo que se ha venido a denominar “La revolución industrial”. En ella los materiales son la clave y siguen jugando un papel decisivo, contribuyendo, entre otros, con metales y aleaciones en la cantidad y calidad que demandaba la nueva sociedad industrial, y recibe del nuevo estilo el estímulo necesario para seguir investigando. La ciencia se constituye así en el máximo motor de la evolución y el progreso.

El invento de la pila eléctrica, realizado por Alessandro Volta en 1800, inaugura el siglo XIX, que habría de ser denso en acontecimientos e innovaciones particularmente alrededor de 1870 en lo que se considera la “Segunda Revolución Industrial”.

En efecto la corriente eléctrica proporciona al químico un agente reductor nuevo de energía regulable que Humphry Davy utiliza con éxito en la experimentación con sales alcalinas o alcalinotérreas en fusión, llegando en 1807 a aislar el Potasio y el Sodio, y en 1803, el Bario, Calcio, Magnesio y Estroncio; sin embargo, fracasó con el Aluminio, que es obtenido por Friedrich Wohler años más tarde, en 1827, al reducir con amalgama de potasio el cloruro de aluminio obtenido por cloración con cloro de la alúmina reducida con carbón.

Otro hecho físico importante es la invención del espectroscopio en 1859 por Robert Wilhelm Eberhard Bunsen y Gustav Robert

Kirchhoff, que permitió detectar nuevos metales como Cesio, Rubidio, Talio, Indio, Tierras Raras (RE), y los elementos predichos por Dmitri Ivánovich Mendeléyev en su clasificación periódica que propuso en 1869. El Eka aluminio lo descubre Paul Émile Lecoq De Boisbaudran en 1875, y se le denomina Galio; el eka silicio lo descubre Clemens Alexander Winkler en 1866, dándole el nombre de Germanio. Estos descubrimientos sancionaron no sólo el nuevo instrumento analítico de base física, sino los principios de la clasificación propuesta por Mendeléyev, que pasó a ser fundamental en la Ciencia Química (precisamente este año 2019 se cumplen 150 años de este hecho que marcó un hito en la Química moderna y que este año tanto la ONU como la UNESCO han proclamado como el “Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos”; tabla periódica que hoy acoge a los 118 elementos conocidos). En la Fig 8, tabla periódica histórica en la Universidad de Barcelona del Prof Garcia Banús, (Mans. 2009).

Fig 8. Tabla Periódica (pintura al óleo) en el Edificio Histórico de la Universitat de Barcelona (Aula Garcia Banús). Fue realizada por Antoni Garcia Banús en 1934. Fue restaurada en 2008 con patrocinio de BASF Española. Foto Prof. Claudi Mans i Teixidó.

Aunque descubiertas las leyes de la electrólisis por Michael Faraday en 1834, la corriente eléctrica no se aplicó a los procesos metalúrgicos hasta 1869, empezando por el afino electroquímico, que significó un gran avance no sólo en Metalurgia, sino también en la propia tecnología eléctrica y los materiales en general, ya que la obtención de cobre de elevada pureza contribuyó a la acelerada expansión de ésta.

En 1886 Paul Héroult, en Francia y Charles Hall, en América, patentan el proceso de obtención de Aluminio por electrólisis de un baño fundido que contiene alúmina disuelta en criolita (Habashi. 1969), proceso que se aplica sólo un año después a escala industrial. Disponible el aluminio, Hans Goldschmidt, en 1894, lo utiliza en un nuevo proceso, eminentemente químico (Metalotermia) para reducir óxidos, obteniendo Cromo y Manganeso.

En el año 1887 puede decirse que comienza la moderna hidrometalurgia, al patentar Bayer el proceso de lixiviación de bauxita en autoclave, y al desarrollar, John S. McArthur y Robert W. Forrest el proceso de cianuración, que tanto éxito alcanzó en el beneficio del oro en detrimento del uso del mercurio.

En la metalurgia férrea (Habashi. 1994), se produce en 1850 un invento trascendental que significó una Innovación y con ello una evolución sin precedentes en la producción del acero ya que se podía transformar el arrabio del horno alto en acero; se trata del convertidor ideado por Sir. Henry Bessemer en Inglaterra que tras la prueba exitosa realizada en 1855 producía un producto final, el acero, que se podía moldear como el acero de los crisoles Hunstman, pero en masas mucho mayores y a menor coste.

El convertidor Bessemer abrió las puertas a la moderna Siderurgia y fue un apoyo de indiscutible valor para la Ingeniería

y pasó a ofrecer a la sociedad industrial el acero necesario para la transformación de la revolución Industrial. Este trascendental invento se completó por Sydney Gilchrist Thomas con la ayuda de su primo Percy Carlyle Gilchrist en 1878 (año de la patente presentada), al conseguir convertir arrabios con elevado contenido en fósforo, como era el caso del procedente de menas europeas, en un convertidor con recubrimiento básico reconocido como convertidor Thomas aunque también algunos hablan del convertidor Thomas-Gilchrist. Se debe a Thomas la utilización de las escorias ricas en fósforo procedentes de su convertidor para la agricultura, lo cual representa un buen ejemplo de reaprovechamiento industrial de un subproducto.

Con la introducción del gigantesco horno de afino Martín-Siemens en 1868 obra del francés Pierre Martin, juntamente con los convertidores anteriores, y el “crecimiento” del horno alto, que alcanza ya alturas de hasta 30 metros en esta época, la Siderurgia si que, se puede decir, va a marcar el ritmo de la revolución industrial (Tylecote. 1976).

A finales del siglo XIX se empieza a hacer los primeros intentos por aplicar la energía eléctrica para la calefacción de los hornos siderúrgicos, lo que llevó, ya en los primeros años del siglo XX, a la aparición del horno eléctrico por parte del francés Paul Héroult en una planta comercial en USA en 1907 que tuvo un éxito extraordinario y que sigue teniendo, en la fabricación de aceros y aleaciones especiales.

También en el siglo XIX, al postularse la arquitectura/ estructura cristalina de los metales, se afirman las bases científicas de la Ciencia de los Materiales desde la Física y la Química, ciencias que se vienen desarrollando sistemáticamente con el apoyo de la experimentación.

Alois Von Widmännstatten, en 1804, llama la atención sobre la peculiar y atractiva estructura geométrica que descubre al examinar la superficie atacada del meteorito de Krasnojarsk, estructura materialografica que hoy se conoce por su nombre (Widmännstatten).

La utilización del microscopio compuesto a lo largo del siglo ya había demostrado sus enormes posibilidades dentro de los distintos campos de la ciencia y se había desarrollado lo suficiente en el campo biológico como para que sus posibilidades tentaran a quienes trabajaban con sólidos inorgánicos (minerales y metales). El inglés Sir Henry Clifton Sorby de la Universidad de Sheffield, es considerado el padre de la metalografía precisamente por utilizar el microscopio óptico en el estudio de la estructura metalográfica de los metales. Es cierto que él no fue el primero en examinarlos al microscopio, pero si fue quien lo hizo sistemática y profundamente para llegar a intuir la importancia de la microestructura en las propiedades de los metales.

Como antecesores hay que recordar al ruso Paul Anosoff, quien, en 1841, había observado las texturas del acero de las espadas de Damasco, reveladas después de su ataque con ciertos reactivos, y a J.R. Von Fuchs (1851), quien de forma análoga había examinado superficies de rotura en el hierro, llegando a la conclusión de que el hierro cristaliza en el sistema cúbico o romboédrico; téngase en cuenta que la cristalografía había avanzado mucho en este período, durante el cual Johann Friederich Christian Hessel, en 1830, había ya llegado a enunciar las treinta y dos clases cristalinas, por combinación de todos los elementos de simetría posibles, agrupándolas en sistemas cristalinos, y el francés Auguste Bravais, en 1849, había ideado las catorce redes cristalinas que conocemos hoy con su nombre.

Sir Henry Clifton Sorby, aunque petrógrafo (circunstancia que, una vez más, viene a confirmar la unidad de la ciencia) aplica las técnicas petrográficas al estudio del acero; prepara superficies pulidas y las ataca químicamente con reactivos específicos, tomando fotografías (Joseph Nicéphore Niépce ya había introducido su descubrimiento de la fotografía en 1825-1827), de las estructuras observadas a nueve aumentos (1864), fotografías que no merecen la atención de nadie. Sin embargo, en el año 1886 Sorby da cuenta de sus trabajos sobre la estructura del acero, a mayores aumentos, ante el Iron and Steel Institute de Inglaterra, y es entonces cuando se les presta la atención que merecían. Sorby descubrió, al examinar a 650 aumentos, la microestructura del acero eutectoide y en ella el constituyente de aspecto perlado (“pearly constituent”), al que el americano Henry Marion Howe, posteriormente, en su libro “Metallurgy of Steel” de 1890, denominaría perlita; Sorby diría respecto a ella: “Este notable constituyente desempeña probablemente una parte principal en el endurecimiento del acero”, concluyendo además que la estructura de la perlita es el resultado de la descomposición de una fase estable a alta temperatura y que aquélla no se produce si se temple. Identifica también la estructura de Widmännstätten de la ferrita en los aceros hipoeutectoides sobrecalentados comparándola con la del meteorito Agram examinado en 1808.

La línea de investigación abierta por Sorby en Inglaterra, ya en 1864, hace adeptos, y así Adolf Martens, en Alemania (1878) que representa la escuela alemana, empieza a estudiar metalográficamente Fig 9, las microestructuras de distintas aleaciones y Floris Osmond, en Francia (1893) que representa la escuela francesa, interpreta la estructura de la que denomina martensita, en honor a Martens, y adopta los nombres de ferrita, perlita y cementita, sugeridos por Howe, a los que añade el de austenita, en honor de Robert Austen. En Estados Unidos, Albert Sauveur demuestra, en 1893, que el tamaño de grano de la austenita se incrementa al aumentar la temperatura de austenización.



Fig 9. Dibujo de una dendrita de Adolf Martens, con anotaciones manuscritas y micrografía de Microscopía Óptica de una Fundición Gris con grafito laminar del propio Martens (1878).

Haciendo un paréntesis dentro de esta descripción de las escuelas indicar que, Emilio Jimeno Gil en España llega a la escuela alemana de Adolf Martens con quien trabaja en las técnicas metalográficas del momento y a su regreso a España creará escuela y editará, pero ya en 1922, un libro histórico como es “Metalografía” (Fig 10) desde la Universidad de Oviedo y años más tarde, en 1929, en la Cátedra de Química Inorgánica de la Universidad de Barcelona funda el Laboratorio de Metalografía en el edificio histórico. Años después El Prof Jimeno fue Rector de la Universitat de Barcelona entre 1939 y 1941 (Jimeno. 1940).

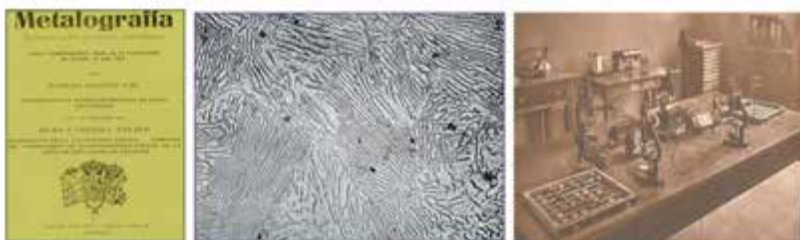


Fig 10. Portada libro “Metalografía” de Emilio Jimeno Gil (1922). Micrografía de Microscopía Óptica de un acero 0,85% C con el constituyente Perlítico característico. Laboratorio de Metalografía en la Universitat de Barcelona creado en el curso académico 1929-1930.

Los estudios metalográficos comentados hasta aquí, no excluyen otros que van a constituir con ellos la trama científica del cuerpo de la microscopia aplicada a la interpretación de los materiales. Así, el carburo de hierro (denominada cementita) que C.J.B.Karsten había aislado en 1827 en el acero lo identifica Frederick Abel en 1888 como de fórmula Fe_3C . En 1861, D.K.Tschernoff afirmaba en su libro “La estructura del acero” que el acero no endurece si no se calienta a una temperatura por encima de un punto crítico (si se calienta a temperatura inferior a la del rojo cereza oscuro). P.G. Tait, en 1873, demuestra la alotropía del hierro mediante medidas de la fuerza electromotriz. F. Osmond y J. Werth, en 1885, publicaron los puntos críticos del hierro y del acero, que fueron la base de la “teoría alotrópica del endurecimiento del acero”, con la conclusión importante, aunque errónea, de que la dureza de la martensita era debida a la presencia de una supuesta fase alotrópica del hierro, la denominada fase beta. Esta interpretación equivocada se mantendrá hasta comienzos del siglo XX, cuando, por difracción de Rayos X, se demuestra la inexistencia de este hierro beta.

En el campo de las propiedades físicas y, en concreto, de las mecánicas, el físico inglés Thomas Young describe en 1807 el módulo de elasticidad que lleva su nombre para ensayos de tracción. Thomas Tredgold publica en 1822 un tratado general sobre los ensayos mecánicos de los metales, aunque los ensayos mecánicos ordinarios no quedan establecidos con rigor hasta 1870. En 1822 Augustin Cauchy, desarrolla la teoría de la elasticidad que lleva su nombre y Wilhelm Wertheim, en 1849, muestra que el módulo de Young es mayor en un cobre con acritud que en uno recocido. En 1829 Simeon Poisson introduce el coeficiente que lleva su nombre, mientras A. Martens, en 1890, aclara la fractura frágil en los aceros (“blue brittlenses”).

A pesar de que la teoría de la elasticidad estaba muy desarrollada en 1871, la propiedad de la plasticidad en los metales, siguió inexplicada hasta 1934 a través de la teoría de las dislocaciones. No obstante, C.A. Neumann observó el maclado mecánico en la ferrita al ensayar sobre meteoritos (básicamente hierro-níquel) y W. Lüders, en 1860, observa las líneas de fluencia en la superficie de los metales, conocidas por líneas de Lüders y J.A. Ewing y W. Rosenhain, en 1899, afirmaron ya que los metales se deforman por un proceso de deslizamiento por planos internos y según direcciones determinadas. Todavía dentro de las propiedades mecánicas hay que registrar el trabajo en 1860 del alemán A. Wöhler quien describió el fenómeno de fatiga en los metales y aleaciones, obteniendo las primeras curvas S-N.

Quizás el trabajo de A.F. Noyes en 1858, al observar el aumento del tamaño de grano en unas varillas de platino al ser calentadas en un mechero con llama reductora, sea el primero en el que se intuye el fenómeno de recristalización y crecimiento de grano; aunque se debe a S. Kalischer, en 1882, el primer trabajo sistemático sobre este tema referido al recocido de metales sometidos a previo trabajo en frío. A. Ledebur, en 1883, relaciona el tamaño de grano con la temperatura de recristalización y el tiempo de recocido. J.E. Stead, en 1898, concluye que el proceso de recristalización tiene lugar por nucleación y crecimiento de nuevos cristales, exentos de deformación, a partir de los pre-existentes deformados.

El estudio de la conductividad eléctrica de los metales y aleaciones se inicia en 1867 por Augusto Mathiessen, enunciando la ley que se conoce con su nombre.

La famosa Regla de las Fases que Willard Gibbs enunciara en 1875 (y que pasará unos años prácticamente inadvertida) fue aplicada por Rijn Van Alkemade (1893) a sistemas policompo-

mentos, y por H.W.Roozeboom (1899) a distintos sistemas de aleación. Los principios termodinámicos y la Regla de las Fases a partir de este momento ya no podrán ser ignorados por los estudiosos de los sistemas en equilibrio tanto en los de aleación (Metalurgia Física- Física de Materiales) como en las reacciones químicas que conducen al metal (Procesos de Metalurgia Extractiva). Para el trazado de los diagramas correspondientes, Gustav Tammann aporta (1903) sus equipos para análisis térmico, poderosa herramienta para el estudio de la solidificación y fusión de metales y aleaciones, así como el de las transformaciones en estado sólido.

F. Guthrie, en 1885, experimentando sobre solidificación con aleaciones Pb-Bi y Sn-Bi, observa que la porción que solidificaba en último lugar tenía siempre la misma composición, cualquiera que fuese la proporción de los metales en la aleación inicial. A esta última porción la llamó aleación eutéctica, llegando a la conclusión de que no era un compuesto químico. Tras los trabajos de Guthrie, y a partir de 1887, aparecen publicadas una gran cantidad de curvas de fusión y solidificación (temperatura-tiempo), pero sobre todo diferentes aleaciones, cuyo trazado se facilita con la introducción de los termopares por Henry Le Chatelier, en 1888.

William Roberts- Austen, a través de sus trabajos entre 1891 y 1899, contribuye en gran manera al avance de la Ciencia de los Materiales de la mano de la Metalurgia Física; así son conocidos sus trabajos aplicados al estudio de las fases que aparecen en los aceros al carbono, sobre todo la identificación de la austenita. Igualmente son de destacar los trabajos encaminados a interpretar la variación de propiedades físicas y mecánicas que experimentan los metales frente a sus impurezas, así como su exhaustivo estudio en aleaciones Cu-Ag que sirvieron para sentar las bases de la teoría de las soluciones sólidas en las aleaciones.

A partir de los trabajos de Roberts-Austen sobre aceros al carbono y determinados los puntos críticos, H.W. Roozeboom, en 1900, aplica la regla de las fases de Gibbs y construye el diagrama de fases o diagrama de equilibrio del sistema Fe-Fe₃C. Al trabajo de Roozeboom siguen los de C.T. Heycock y F.H.Neville, construyendo el diagrama del sistema cobre-estaño. A partir de aquí los diagramas de fases iluminan las microestructuras en los sistemas de aleación. Por esta razón los primeros años del siglo XX fueron especialmente fecundos en este campo (Aitchison. 1960).

El interés por obtener nuevas aleaciones de importancia industrial es manifiesto a lo largo de todo el siglo XIX, así P. Berthier fabrica ya, en 1820, aleaciones de Fe-Cr y M.H.Jacobs, en 1857, en Austria, Aceros al wolframio. Sin embargo, la aleación que alcanzó mayor interés fue, sin duda, los Aceros al Manganeso y silicio, fabricados por Robert Hadfield en 1871. Como se ha indicado éste interés por modificar las propiedades de los metales puros en busca de los materiales idóneos por incorporación de uno u otros elementos metálicos no es antiguo ya que la historia señala que se inició por intuición, se desarrolló con tesón y se consagró por necesidad antes de que la ciencia les diera la razón.

Paralelamente a las consideraciones termodinámicas y al concepto de equilibrio se establecieron a finales del siglo XIX las leyes básicas de la cinética química, aunque su desarrollo se prolonga a lo largo del siglo XX.

En el campo de los materiales cerámicos a finales del siglo XVI-II aparecen las primeras exigencias de vidrio óptico. Los primeros globos para lámparas eléctricas aparecieron en 1879. La primera máquina para el soplado y modelado del vidrio la creó L. Appert en 1885. En 1899, entraron en funcionamiento las primeras máquinas automáticas para la fabricación de botellas

y, más adelante, en 1904 se inició la fabricación de vidrio Pyrex. En 1902, Emile Fourcalt inventó el laminado vertical del vidrio que permitía la fabricación de vidrieras. En 1918, Louis Boudin inventó máquinas que laminaban el vidrio colado entre rodillos procedimiento que se extendió universalmente.

En cuanto a los cerámicos refractarios, los de sílice se obtuvieron en 1866 y, posteriormente, los de alúmina. En 1880 se desarrollaron los refractarios de magnesita y en 1896 el refractario de cromita. En 1891, E.G.Acheson obtuvo el carburo de silicio, al que denominó comercialmente Carborundum y en 1899, C.B.Jacobs obtuvo la alúmina abrasiva o corindon artificial.

La obtención de los primeros polímeros sintéticos es mucho más reciente, concretamente en el siglo XIX, ya que en 1819, se comercializaron los primeros impermeables y zapatos de caucho en Inglaterra, pero adolecían de muchos defectos que no se resolvieron hasta el descubrimiento de la vulcanización. Es en 1838 que T.Hancock descubrió la vulcanización del caucho pero no es hasta el 1844 que se inician los primeros pasos hacia lo que hoy en día es la industria de los polímeros cuando Charles Goodyear patentó el proceso de vulcanización, que permite obtener un material con la misma elasticidad que el caucho pero con un intervalo de temperaturas de servicio más amplio y mucha mayor resistencia a los disolventes; en 1851, registró una patente de obtención de la vulcanita o ebonita.

Por primera vez se modificó químicamente un polímero y se fabricó un polímero termoestable. El siguiente avance significativo tuvo lugar en 1899, cuando se descubre la posibilidad de obtener resinas de fenol-aldehído. Ésta es la fecha que se puede considerar como la del nacimiento de la actual industria de las “materias plásticas”, donde los polímeros sintéticos empiezan a desplazar a los naturales.

En 1860 el inventor inglés Sir Frederick Walton patentó el linóleo. La primera síntesis por llegar al caucho sintético la consiguió el francés Apollinaire Bouchardat en 1879, que produjo un polímero de isopreno muy parecido al natural, lo que aceleró la reducción de la necesidad del latex para producir el caucho natural. El descubrimiento del nitrato de celulosa lo fue en 1846 por Christian Schönbein y en 1855, se concedió en Inglaterra la primera patente para la obtención de fibra artificial (“seda artificial”) por parte del suizo George Audemars y en 1884, St.Hilaire de Chardonnet obtuvo la fibra de seda artificial tratando la celulosa pasada por un orificio a través de una solución coagulante. Evidentemente y una vez más tardaran muchos años en llegar a un mercado como el de las fibras textiles sintéticas que hoy día es impresionante e imprescindible.

En 1888 Friedrich Reinitzer llega al descubrimiento de los Cristales Líquidos que, un siglo después, forman parte de nuestra vida cotidiana, sin darnos cuenta, en multitud de sistemas como son en las pantallas de televisión o de ordenadores, dispositivos en móviles, relojes y sistemas optoelectrónicos varios.

Tras el descubrimiento por Antoine Henry Becquerel, en 1897, de la radioactividad y el descubrimiento, dos años después, del Polonio y el Radio por los esposos Curie, se va a iniciar una nueva etapa que va a conducir nada menos que a la llamada Tecnología Nuclear.

Se cierra así un siglo, el XIX, en el que la ciencia se constituye en el máximo motor de la técnica, y con ello se está forjando un mundo cuya humanidad empieza a modificar sus hábitos industriales a base de las nuevas tecnologías desarrolladas y la innovación que ello conlleva (Singer. 1954). En este panorama los materiales, ya científicos, siguen jugando su papel.

Antes de pasar la hoja del siglo XIX vale la pena indicar que el hecho histórico de la Guerra de la Independencia, tan relacionada con la Revolución Francesa aleja a España de esta empresa, la hace perder el ritmo.

Los que podríamos considerar científicos de la época derivaron a la política. La Universidad, mal entendida, es pasto de múltiples planes y esquemas administrativos de dudosa competitividad. Don Miguel de Unamuno lo decía así a finales del siglo (1898): “De este tejer y destejer desde el ministerio la tela de Penélope de nuestra enseñanza oficial, nadie hace caso. Cada ministro trae su receta, cambia las etiquetas de los frascos y el lugar de colocación de algunos y sólo consigue que, confundándose los que despachan en la droguería, hagan una barbaridad”.

La industria de los materiales y particularmente la metalúrgica en el siglo XIX estuvo prácticamente polarizada a la fabricación de armas y municiones para el Ejército. Por eso una ligera reactivación volvería a poner en marcha las fábricas de Trubia y Orbaiceta pero también se inauguraron hornos altos y fundiciones: Marbella (1832), Madrid (1834), Barcelona (1838), todas ellas alimentadas con carbón vegetal.

Tras el éxito obtenido por el militar don Francisco Antonio Elorza y Aguirre en 1848, al conseguir utilizar el coque como reductor y combustible en los hornos de Trubia, siguieron otros hornos altos, sobre todo en la zona cubierta por el carbón asturiano así se realizan las instalaciones de Mieres (1852), La Felguera (1859) y Baracaldo (1865), todas las cuales utilizaron ya coque.

En esta época la sutil invasión del capital extranjero hizo, fruto de la miopía e incapacidad del momento, que la minería, tanto a de metales férreos como la de no férreos, suministrase a toda

Europa su insaciable demanda para su Revolución Industrial, llegando a nuestros días prácticamente exhaustos nuestros más acreditados distritos mineros. Este fue el origen, en 1866, de la Tharsis Sulphur, con capital británico; de la Río Tinto Mines (1873), con capital francés, para explotar los yacimientos de piritas ferrocobrizas en Huelva (Pinedo. 1963); y de la Orconera Iron Ore, fundada con capital británico en 1874; y de la Société Franco-Belga des Mines de Somorrostro (1876), fundada con capital francés, británico, belga y alemán, para extraer mineral de hierro de Santander y Vizcaya; y de la Real Compañía Asturiana de Minas, fundada con capital belga en 1853, para explotar las minas de cinc de la provincia de Santander; y de la Sociedad Minero Metalúrgica de Peñarroya, fundada en 1881 con capital francés, para explotar los yacimientos de mineral de plomo (Sobrino. 1971). Todo un récord, que hoy estamos viviendo en forma repetitiva en otros países del mundo.

El mineral era exportado, por lo general, a precios ínfimos para después, una vez extraído el metal en los respectivos países, volver a importarlo a precios internacionales. Esta línea de actuación siguió y ha seguido hasta nuestros días, y España, con una minería cuya racional explotación hubiese podido significar fuente de riqueza suficiente para su industrialización y el acercamiento a Europa, sirvió para acrecentar aún más el abismo científico-técnico abierto un siglo antes.

Por citar hechos notables en este período, que también los hubo, ya que el ingenio español quedó fuera de las negociaciones de los “torpes o concupiscentes políticos del momento”, digamos que precisamente en aquel siglo se realizaron las primeras pruebas de navegación submarina a cargo de Cosme García Sáez, Narciso Monturiol e Isaac Peral y Caballero; que en 1848 se inauguró la primera línea de ferrocarril Barcelona-Mataró, aunque hasta 1884 no se construyera la primera

locomotora nacional, bajo la dirección de Ramón Cases Sirera; que en 1861 se ensayó el primer automóvil a vapor y en 1889 otro movido con motor de explosión y que en 1836 se construyó en Barcelona el primer barco español movido a vapor.

Por la misma época, Juan de La Cierva comentaba sobre el Ministerio de Instrucción Pública que, “era una verdadera manigua de legislación, incoherente, contradictoria y confusa”. Es evidente que en este caos no cupo ambiente para la investigación sentida, practicada con meticulosidad y seriedad, y programada (Calvo y Guilemany. 1984).



❖ LOS MATERIALES - INNOVACIÓN DEL PRESENTE: SIGLOS XX Y XXI

Los planteamientos establecidos y los desarrollos logrados en el siglo XIX van a completarse a lo largo del XX, produciéndose como consecuencia el desplazamiento de la sabia intuición y experiencia, por el rigor científico.

La introducción de las técnicas de difracción de rayos X por Von Laue en 1912 y el posterior desarrollo por W.H.Bragg, W.L.Bragg y sus colaboradores a partir de 1914, confirman y analizan la arquitectura cristalina de los metales y aleaciones.

La aplicación de los Rayos X como técnica analítica permite descubrir otros dos metales: el Hafnio, que descubren Dirk Coster y George de Hevesy en 1923, y el Renio, descubierta por Walter.K.F.Noddack, Ida.E.Tacke y Otto.C.Berg en 1924.

Arne Westgren, al demostrar en 1922 que los hierros alfa, (beta) y delta tienen la misma arquitectura cristalina cúbica centrada en el cuerpo, mientras que el hierro gamma es cúbico centrado en las caras, sienta las bases para la correcta interpretación de las transformaciones en estado sólido que acontecen en los aceros al tratarlos térmicamente.

A los pocos años de confirmada la ordenación atómica que conduce al cristal, Yakov Frenkel, C.J.Wagner y Walter. H. Schottky, entre 1930 y 1936, vienen a contestar ese orden reconociéndole pero con sus defectos puntuales, tales como vacantes e intersticiales, defectos que sirvieron para explicar procesos

como la difusión, conocidos, pero inexplicables hasta entonces. Geoffrey Ingram Taylor, Egon Orowan y Michel Polanyi, separadamente, aunque en el mismo año (1934), adelantan la existencia, también, de defectos lineales, que denominan dislocaciones y que hoy son cuerpo de doctrina en el comportamiento plástico de los metales y aleaciones.

Con el desarrollo de la Microscopia Electrónica de Transmisión (TEM), Fig 11, como consecuencia de los trabajos de Ernst Ruska (1931) y su maestro Max Knoll en el Politécnico de Berlín, a partir de los años treinta los investigadores van a disponer de poderosos instrumentos para el examen a grandes aumentos de la estructura de los materiales, y así se consigue confirmar la existencia de los defectos cristalinos enunciados, y llegándose, cincuenta años después, de la mano de pioneros como el Prof.H.Hashimoto de la Universidad de Osaka, Japón, 1980, a visualizar la danza de los átomos en microscopias de alta resolución (HRTEM). Ruska, fue Premio Nobel de Física en 1986 compartido con los físicos Gerd Karl Binnig y Heinrich Rohrer, investigadores de IBM en Zurich y descubridores del Microscopio de Efecto Tunel (STM) en 1982 y que luego dió paso al de fuerzas atómicas (SAFM).

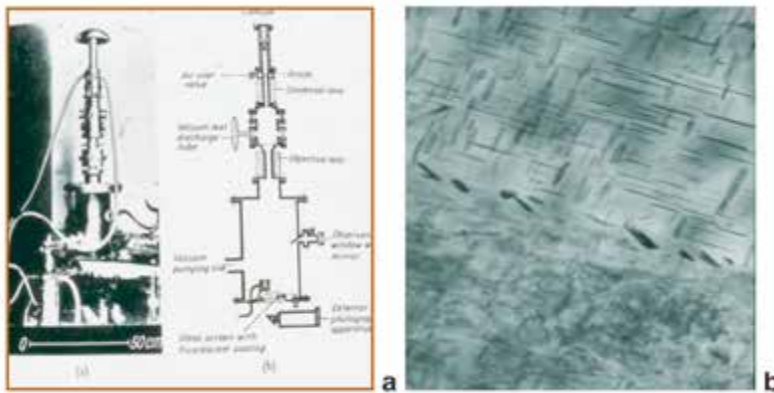


Fig 11. (a) Primer Microscopio Electrónico de Transmisión (TEM) instalado en el mundo (1931) en el Politécnico de Berlín por E.Ruska y esquema de distribución de sus componentes. (b) “Replica de Carbón” de la superficie de un duraluminio en la que se observan los precipitados de Al_2Cu sobre la matriz de Aluminio, obtenida en 1954, por el pionero mundial de preparación de réplicas en el campo de los materiales el Prof. Jack Nutting, Rector de la Universidad de Leeds, que fue años después, 1992, profesor visitante del Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica de la Universitat de Barcelona hasta su fallecimiento en 1998 (Nutting, 1965).

El interés por el estudio de las constantes cristalográficas y de las propiedades mecánicas de monocristales (obtenidos a partir de técnicas como las de William Bridgman y Jan Czochralski) permite llegar casualmente a Galt y Herring en 1952 a la obtención de monocristales exentos de defectos, o con un número extraordinariamente pequeño, que se conocen con el nombre de “Whiskers” que, a diferencia de los anteriores (“defectuosos”), poseen una extraordinaria resistencia mecánica.

E.C. Bain, en 1923, descubre las superestructuras o superredes, con lo que, indirectamente, llega al conocimiento de las transformaciones en estado sólido que conocemos con el nombre de transformaciones orden-desorden.

Williams Hüme- Rothery, en 1926, desarrolla su teoría sobre las soluciones sólidas sustitucionales, y, más tarde, Fritz Laves da a conocer las fases intermedias de composición variable, conocidas con su nombre, que poseen una arquitectura cristalográfica definida.

Los ensayos de los metales y aleaciones se hacen práctica común en la industria de los países desarrollados. J.A.Brinnell, en 1900, introduce el ensayo de dureza que lleva su nombre, mientras que Edwin Gilbert Izod, en 1903, y George Charpy, en 1904, normalizan el ensayo de resiliencia. A.A. Griffith, en 1920, enuncia su teoría sobre la propagación de grietas en materiales metálicos, y en 1948 Sir Alan H.Cottrell propone que el abrupto límite elástico (yield point) que presentan ciertos metales es el resultado de la interacción entre dislocaciones y átomos de soluto (atmósfera de Cottrell) que “anulan” el movimiento de aquéllas. También a lo largo de este siglo XX se desarrollan las técnicas de ensayos no destructivos aplicados sobre todo al estudio de defectos internos en los metales y aleaciones, y en particular en sus formas moldeadas y/ o soldadas.

Estos sólidos policristalinos, y en su mayoría polifásicos, que son los metales y aleaciones, empiezan a estudiarse básicamente a la luz de nuevos experimentos y conceptos. Así, E.C.Bain y colaboradores (1929) estudian las transformaciones isotérmicas de la austenita y obtienen los primeros diagramas TTT (originalmente denominadas curvas de la S), quedando establecida la estabilidad, frente a la temperatura y el tiempo de transformación, de las estructuras metalograficas perlítica, bainítica y martensítica en los aceros, como productos de transformación de la austenita. También en 1929 W.L.Fink y E.D.Campbell dan a conocer que la martensita tiene una arquitectura cristalina tetragonal centrada en el cuerpo; H.C.H.Carpenter y J.M. Robertson, en 1939, afirman que la transformación de

la austenita a martensita en los aceros es atérmica, ya que no se trata de una transformación en estado sólido que requiera difusión. M.A. Grussmann y W.E. Jominy introducen en 1938 el concepto de templabilidad y proponen los correspondientes ensayos para su valoración en aceros.

La teoría de la difusión, desarrollada por Adolf Fick en 1850, se vio consolidada tras los trabajos de G. Grube (1932) y Chujiro Matano (1933), al poder determinar coeficientes de difusión. G.R. Fonda, A. Walker y A.H. Young publican en la revista *Physics* (1933) y Irving Langmuir después (1934), los valores de las medidas de la velocidad de difusión de torio tanto a través de límites de grano en una probeta policristalina de wolframio como en el interior de los granos. Ernest Kirkendall, en 1947, muestra el efecto que lleva su nombre, con el que se comprueba la diferente velocidad de difusión de los distintos átomos en soluciones sólidas de diferente concentración, hecho visualizado por el desplazamiento de unos marcadores. Lawrence Stamper Darken, en 1943, calculó, por separado, los coeficientes de difusión de los dos elementos que componen las soluciones sólidas en el experimento de Kirkendall.

No se puede pasar por alto, de la forma cronológica en que se esta presentando esta innovación científica, otros descubrimientos, teorías y avances de lo que hoy en el Siglo XXI constituye cuerpo de rigor y en el que nos asentamos científicamente hablando por su solidez y rigor en que fueron enunciadas o dadas a conocer, es decir aquello que hoy constituyen cuerpo de doctrina (Guilemany. 1988) y que se siguen enumerando.

Heike Kamerlingh Onnes en 1911 descubrió, trabajando con mercurio y su medida de la resistividad a bajas temperaturas que al alcanzar la temperatura de 4,2 K, la resistividad pasaba a ser cero lo que hoy conocemos como fenómeno y propie-

dad de la superconductividad. Una propiedad de la que hoy día llevamos más de 100 años de conocimiento y esta dando paso en un proceso lento pero seguro a su utilización en grandes proyectos como se tendrá ocasión de relacionar en este mismo documento. En 1923 se le concedió el premio Nobel en Física pero no por estos trabajos sino por la licuación del Helio. Hubo que esperar hasta 1957 cuando John Bardeen, Leon Cooper y Robert Schrieffer presentaran una teoría denominada BCS (las iniciales de sus autores) que interpreta y justifica la propiedad pero solo en una parte de los materiales superconductores. Los tres recibieron en 1972, el premio Nobel de Física.

Así, en 1906 Alfred Wilm descubre, casualmente, el fenómeno de endurecimiento por envejecimiento al comprobar los valores de dureza en una aleación de aluminio almacenada durante unos días; los elementos aleantes eran, cobre, magnesio y manganeso y la aleación había endurecido de forma espontánea. El curioso fenómeno permaneció inexplicado hasta los trabajos de P.D. Merica, R.J. Waltenberg y H. Scott en 1919, quienes, al demostrar la disminución de la solubilidad del cobre en el aluminio al descender la temperatura, propusieron que el envejecimiento era debido a la precipitación de una nueva fase de tamaño microscópico y muy dispersa Al_2Cu . Los trabajos de R.F. Mehl y colaboradores, en 1930, sobre este fenómeno, con la ayuda de los rayos X primero y Microscopia Electrónica de Transmisión después, consiguen revelar la disposición del precipitado según planos perfectamente definidos de la fase matriz; contribución importante para la interpretación de un fenómeno del que seguimos beneficiándonos y no solo en las aleaciones ligeras.

En los trabajos sobre recocido de metales y aleaciones deformadas en frío destacan las investigaciones de Gustav.H.J.A. Tamman referidas a la restauración. Charles Crussard (1944)

y P. Lacombe (1947) dieron a conocer el fenómeno de la Poligonización por formación de subgranos en los metales recocidos sometidos previamente a flexión. Estos trabajos establecen la relación entre restauración de propiedades mecánicas y eliminación de defectos lineales y puntuales creados en el metal como consecuencia del trabajo en frío (acritud).

Los estudios sobre solidificación de metales y aleaciones son temas naturalmente muy estudiados. A. B. Chalmers (1950) se atribuye, por ejemplo, la identificación del subenfriamiento constitucional como la causa que origina el crecimiento dendrítico en las aleaciones.

La interpretación de R.F. Mehl (1941) sobre la nucleación de la perlita a partir de la austenita original, en los aceros, fue también una aportación científica importante.

El fenómeno de la corrosión de los metales, aunque conocido pero no interpretado, sólo empezó a preocupar cuando tuvo una repercusión económica que iba haciéndose cada vez más seria, y a interesar cuando la ciencia iba poniendo a disposición del estudioso tanto técnicas como conocimientos. En este campo hay que citar los trabajos del inglés U. R. Evans, quien en 1947 publica un primer libro de “Introducción a la corrosión metálica”, aunque desde mucho antes (1923) venía explicando esta materia en la Universidad de Cambridge, UK.

El conocimiento de las propiedades de los semiconductores, tales como el silicio y el germanio, han hecho posible este minúsculo mundo del transistor y el desarrollo espectacular de los denominados componentes electrónicos. El transistor marca una época en el siglo XX que dio mucho que hablar y que disfrutamos a plenitud en el siglo XXI.

La unión de los metales por soldadura es un paso inevitable en multitud de sus aplicaciones. Ello mismo explica la atención que este problema ha merecido en todo el mundo. Las técnicas desarrolladas y utilizadas se apoyan en principios físicos que van desde el arco eléctrico al haz de electrones o el Láser, pasando por la fricción o los ultrasonidos además de las técnicas convencionales.

En el campo de la conformación se prodigan los avances como es en el caso de la metalurgia de polvos o pulvimetalurgia. Además de su interés en otras aplicaciones, donde esta técnica se utiliza con notable éxito es en la conformación del combustible nuclear; el uranio en polvo se compacta así para salvar el inconveniente de su anisotropía, o bien se compactan mezclas de polvos de uranio y carburos de uranio y plutonio, o de óxidos de U y Pu o de U y Th. La fabricación de las “vainas” para el combustible nuclear pueden cumplir las estrictas especificaciones gracias también a otro ejemplo notable de una aplicación de la metalurgia de polvos para producir endurecimiento en metales intrínsecamente blandos (Al, Mg) por oxidación interna. Los materiales protectores contra las radiaciones deben ser especialmente densos como la aleación W90-Cu6-Ni4, que sólo admitía la conformación pulvimetalúrgica.

La demanda de materiales para la construcción de los modernos aviones para la industria aeronáutica y espacial produce un gigantesco avance en la calidad y cantidad de aleaciones ligeras y superaleaciones desarrolladas.

Tras el descubrimiento de los aceros inoxidable austeníticos por Benno Strauss (1910) y del acero inoxidable ferrítico por Harry Brearley (1912), el campo de los aceros inoxidables y refractarios se ha venido ampliando de una forma continua hasta nuestros días.

Aleaciones especiales y muy específicas para aplicaciones cada vez más concretas, a medida de requerimientos estrictos como las de base berilio, circonio, cadmio, niobio, tántalo tierras raras, e incluso sodio y potasio se ofrecen en catálogo para las modernas tecnologías.

Como consecuencia de los avances registrados en la electrónica, y del interés por conocer con mayor precisión las propiedades físicas de los metales, la ciencia se vio obligada a procurar la obtención de los metales en su grado más elevado de pureza (metales ultrapuros), o con impurezas en trazas, pero concretas y medidas. Para responder a estas exigencias fue preciso y necesario poner a punto técnicas adecuadas como las desarrolladas por W.G. Pfann en 1952 de la “Purificación por Fusión por Zonas”.

Los avances registrados en el campo de la Microscopia Electrónica con los trabajos sobre bobinas deflectoras de Max Knoll (1930), M. Von Ardenne (1938) permiten a Vladimir Zworykin y colaboradores inventar y construir un prototipo que Charles. W. Oatley y D.Mc Mullan (1948- 1952) desde la Universidad de Cambridge acaban redefiniendo en lo que se denominó como el Microscopio Electrónico de Scanning (SEM). Años más tarde se une, Raymond Castaing (1951, año de su tesis doctoral) que supervisado por André Guinier construye la Microsonda Electrónica (EPMA) lo que aporta la capacidad microanalítica sobre las microestructuras de los sólidos. Ambas técnicas en realidad no se comercializaron hasta 1965 y pusieron a disposición de los investigadores dos instrumentos de observación y de análisis potentísimos que han permitido ampliar el conocimiento microestructural y de composición de forma extraordinaria, por un lado, al gran poder de resolución y profundidad de campo de la primera, lo que permite observar directamente superficies de rotura en imágenes tipo 3D a un conocimiento de la composición elemental de las fases examinadas, por medio de la segunda, Fig 12.

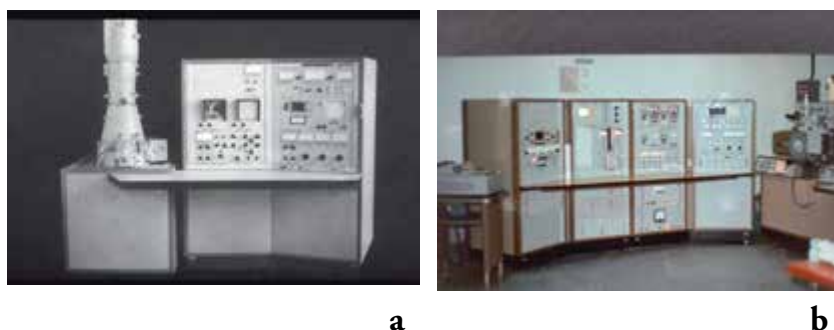


Fig 12 . a) Primer Microscopio Electrónico de Scanning (SEM- S4 de Cambridge Scientific Instruments) y b) Primera Microsonda Electrónica (EPMA- Microscan 5 de Cambridge Scientific Instruments) instalados en España en Diciembre de 1971 ambos en la Universidad de Barcelona. El primero se instaló en el Centro de Microscopía Electrónica y el segundo en la Facultad de Química.

En la evolución de los materiales cerámicos destacar que en 1924, A.E. Van Arkel describió el primer proceso de obtención de carburos y nitruros por deposición a partir de fase vapor. R.R. Ridgeway obtuvo, en 1933, el carburo de boro B_4C . En 1938, P.M. McKenna desarrolló un proceso de obtención de carburo de titanio y carburo de wolframio en solución sólida haciendo reaccionar los componentes en níquel fundido y disolviendo, una vez fría, la fase metálica con agua regia. Este mismo año, P.P. Alexander obtiene boruro de titanio a partir de hidruro de titanio y polvo de boro por sinterización en atmósfera de hidrógeno. En 1947 R. Kiessling llega a los boruros de Mo y de W en sinterización a vacío.

Un grupo de investigadores de la General Electric, USA, dirigidos por Howard. T. Hall en 1955 consiguen obtener diamantes sintéticos utilizando un reactor a Presiones de 10GPa y temperaturas de 2.000°C lo cual abre la puerta a su utilización a niveles industriales dada su elevada dureza, resistencia y precio aunque las propiedades ópticas de los diamantes naturales no se llegan a alcanzar.

La necesidad de llegar a materiales cerámicos que mejoraran la tenacidad y capaces de soportar las exigencias mecánicas en motores de explosión pusieron en marcha a distintos grupos de investigación y en 1945 un grupo de investigadores de la National Bureau of Standards en USA descubren que una solución sólida de óxido de circonio con óxidos de magnesio o calcio estabiliza la forma cúbica de la zircona que en el caso de la zircona pura solo es estable a altas temperaturas. Las propiedades de esta zircona parcialmente estabilizada son muy superiores a las de compuestos cerámicos convencionales y se abre así el extraordinario campo de materiales cerámicos que identificamos como Cerámicos Tenaces.

En esta evolución citar que en 1985 se llega al descubrimiento de los Fullerenos por parte de H.Kroto; en 1986 a las Cerámicas Superconductoras por Karl Alexander Müller y Johannes Georg Bednorz (Premio Nobel de Física de 1987); en 1991 a los Nanotubos de Carbono por S.Lijima y en nuestro siglo 2004 al Grafeno por parte de A.Geim y K.Novoselov de todos los cuales se hará una referencia, avanzado este documento.

A lo largo del siglo XX la química aportó nuevos materiales poliméricos que son ya esenciales en nuestro quehacer diario. Plásticos fenólicos (baquelita) por Leo Baekeland entre 1901-1908; el Acetato de Celulosa fue introducido en 1905 por Camille Dreyfus y su hermano obteniendo película del acetato que pronto sustituyó a las películas de celuloide muy inflamables pero también se utilizó como laca de acetato para la industria aeronáutica para cubrir la tela con la que se envolvían las alas y el fuselaje de los aviones. Las Resinas de cloruro de polivinilo (1914) que condujeron al PVC en 1926 por parte de Waldo.L.Semon; Resinas de urea-formaldehído por H.Goldschmidt y O.Neuss en 1922 muy utilizadas en paredes aislantes

en la industria de la construcción aunque decayeron a partir de los años 1980 y fueron sustituidas por la resina de melanina formaldehído y el poliuretano. Resinas de poliestireno fueron patentadas por The Naugathuck Chemical Co. en 1924.

El policloropreno (neopreno), similar al caucho pero altamente resistente a la corrosión frente a agentes químicos, es descubierto por W.H. Carothers y su producción industrial se inicia inmediatamente (1931). También descubrió en 1935 y patentó en 1938 la poliamida 6-6 (Nylon).

Resinas de polietileno (Bamberger,1937) y en el mismo año las Poliamidas, preparadas por W.W.Triggs; Fibras de poliéster (W.K. Birtwhistle y C.G. Ritchie en 1941); Poliuretano por O.Bayer (1940) y las siliconas (E.G.Rochow y W.F.Gilliam en 1941). Resinas Epóxi en 1936 por P.Castan y S.Greenlee a las que se dió el nombre de Araldite pero ya en 1946. Resinas de polipropileno (J.P.Hogan y R.Banks, 1951) y Policarbonato (H.Schnell 1953).

En 1920, Hermann Staudinger postuló, a partir de medidas de viscosidad, que los polímeros estaban constituidos por cadenas moleculares unidas mediante enlaces químicos y no por agregación física y recibió el Premio Nobel de Química en 1953.

Los descubrimientos de Karl Ziegler y Giulio Natta, relativos a catalizadores estereoespecíficos, permiten obtener masivamente polietileno de alta densidad y polipropileno en la segunda mitad de la década de los 50; ambos investigadores recibieron el Premio Nobel de Química en 1963.

También en esta segunda mitad de la década de los cincuenta se desarrolla el ABS (Acilonitrilo-Butadieno-Estireno), material muy resistente al impacto y que entró con mucha

fuerza en sectores industriales como el de la automoción pero también en aplicaciones industriales diversas como en usos domésticos. Es un material de los que se engloban en los denominados Polímeros Ingenieriles por sus propiedades y altas prestaciones.

El período desde 1955 hasta la fecha se ha caracterizado por una expansión muy importante de la producción y uso de los polímeros en general termoplásticos, sin embargo en los últimos años, más que nuevos polímeros, que también, se han desarrollado mejoras en las propiedades de los polímeros convencionales y se ha aumentado la variedad de grados o tipos aunque recientemente, han aparecido nuevas fibras, los adhesivos acrílicos y los Polímeros biodegradables como grandes e importantes novedades.

Con el descubrimiento de la fisión del átomo de uranio por los alemanes Otto Hahn (Premio Nobel de Química en 1944), Fritz Strassmann, Lisa Meitner y Otto Frisch en 1939 y, con la invención del ciclotrón se descubren nuevos elementos metálicos como en 1937 el Tecnecio por Emilio Segré (Premio Nobel de Física en 1959) y Carlos Perrier, en 1937. Segré juntamente con Glenn T. Seaborg (Premio Nobel de Química en 1951) aislaron el isótopo del Tecnecio-99m que aplicado a la medicina nuclear se usa en más de 10 millones de procedimientos de diagnóstico médico al año; y los transuránicos, Plutonio, Americio, Curio, Berkelio; Californio, Einstenio, Fermio y Mendelevio, entre 1940 y 1961, por el mismo Glenn T. Seaborg y colaboradores. Precisamente en 1941 descubrió el isótopo del Uranio 235 de una enorme importancia en la tecnología nuclear.

En definitiva hoy los materiales y las tecnologías innovadoras que se han ido introduciendo son los protagonistas de un arte

industrial fecundado por la ciencia que ha sido beneficiario de excepción del progreso científico y contribuyente decisivo a la civilización que gozamos y padecemos (Calvo. 1971).



❖ EJEMPLOS INNOVADORES DE MATERIALES EN EL SIGLO XXI

Del análisis del estudio histórico que se acaba de realizar se llega a la conclusión que la civilización moderna está montada materialmente, sobre un mundo sorprendente de materiales, lo cual resulta evidente, y si en las primitivas civilizaciones los materiales fueron pronto elementos importantísimos para su desarrollo, en nuestro tiempo todos los materiales son sencillamente imprescindibles.

Muchos de los problemas técnicos que ya son historia, relacionados con la generación y utilización de la energía, con la aventura espacial, con la industria química, o con la electrónica, por citar unos ejemplos, se resolvieron desde el momento en que se seleccionó o se dispuso de un material con propiedades idóneas. Además, dada la acción recíproca entre ciencia y tecnología, todo avance en el conocimiento básico de los materiales, abría nuevas posibilidades al desarrollo para la seguridad, la economía, la salud, el bienestar o la cultura.

Como se viene sosteniendo, los materiales constituyen una parte del conocimiento que alcanza prácticamente todas las áreas de actividad. Por tanto se podría citar y pormenorizar muchos ejemplos representativos de la innovación de la mano de los materiales, y para ello revisaremos el estado del arte actual con la descripción de algunos de estos acontecimientos que se agrupan en materiales y sectores de alto interés tecnológico:

ACEROS & FUNDICIONES

Solo la estimación de producción mundial de acero en el mundo en 2017 ya es de por sí la primera gran novedad (WSA. 2018), ya que se cifra en 1.689 millones de toneladas con un crecimiento del 15% con relación al año anterior (Hierro-Acero, Hormigón y Madera siguen siendo los materiales que en mayor volumen se producen anualmente a nivel mundial). Para algunos profesionales entre los que me incluyo, los materiales base hierro y en particular el acero sigue siendo un joven material de más de 3.500 años de historia que año tras año se sigue innovando.

Es evidente que de las composiciones de los aceros y fundiciones corrientes, de hace 20 años, se ha pasado a nuevos aceros/fundiciones con propiedades y estructuras muy mejoradas. Se calcula que un 50% de las aleaciones base hierro que hoy se aplican en gran escala a nivel industrial no eran conocidos o no se utilizaban, en sus características actuales, en 1985, y esto que no es excesivamente conocido y divulgado ya constituye, por sí solo, otra gran novedad dentro de la innovación resultante.

He aquí algunos detalles pormenorizados que conviene destacar a día de hoy:

- Hay que hablar desde, los aceros al carbono con bajo contenido en carbono, que se siguen produciendo en gran volumen para reforzar el hormigón para la industria de la construcción, a los aceros HSLA (Alta Resistencia Baja Aleación) que han permitido a la industria del transporte aligerar en el peso de los vehículos además de una mejora de la resistencia mecánica.
- Los aceros especiales como los Inoxidables con una extensa familia de composiciones químicas que dan lugar a una relación resistencia a la corrosión/ resistencia mecánica muy

variable como la que presentan los aceros PH (Precipitation Hardening-Endurecidos por Precipitación) o los Inoxidables Duplex e incluso con contenidos de Cr elevados a la serie de los Aceros Refractarios, resistentes a la oxidación.

- La sustitución de uno de sus elementos de aleación fundamentales como el Ni en los aceros inoxidables están entrando en competencia con el Mn en aceros inoxidables al manganeso, también son aspectos a destacar y altamente innovadores.
- Los Aceros especiales Hadfield, Maraging, Herramientas (Tool Steels), seguirán utilizándose en aquellos campos en que se necesitan hacer frente a propiedades específicas.

Los aceros DP (Dual Phase- Bifásicos), TRIP (Transformation Induced Plasticity- Plasticidad Inducida por Transformación) y TWIP (Twin Induced Plasticity- Plasticidad Inducida por Maclaje), que forman parte de la familia denominada de Aceros Avanzados de Alta Resistencia (AHSS- Advanced High Strength Steels) puesto que unen una combinación extraordinaria de resistencia, ductilidad y tenacidad en un amplio margen de temperaturas seguirán compitiendo en el sector de la automoción ya que cumplen con las regulaciones estrictas en seguridad, reducción en peso, emisiones de CO₂ y conformabilidad del material, a un costo razonable.

- También hay que tener presentes en innovación permanente los Aceros Superbainíticos libres de carburos que fundamentan sus excelentes propiedades de resistencia (se dice >2,1 GPa) y tenacidad ya que forman microestructuras nanoestructuradas.
- No cabe duda que uno de los acontecimientos más innovadores en el campo de los aceros está en las conclusiones y el

fruto de los trabajos de grupos de investigadores americanos (Colorado School of Mines) y británicos (Leeds University). Demostraron que al templear cierto tipo de aceros al C, de baja aleación y bajo contenido en carbono, e interrumpir su temple entre las temperaturas singulares de Ms y Mf, calentando acto seguido, se produce que el C del revenido de la martensita formada difunda a la austenita retenida (en vez de precipitar en forma de cementita), lo que hace que la austenita suficientemente enriquecida en C quede retenida, lo que determina su estabilidad y con ello una estructura ferrítico-austenítica con un comportamiento respecto al impacto tipo Aceros Hadfield (mecanismo de Bain frente a deformación). La estructura metalográfica final pasa por ser de ferrita idiomórfica y austenita de muy alto contenido en C, y sus propiedades son increíbles para el sector del automóvil ya que embuten muy bien y responden frente a impacto mejor que un acero TRIP convencional que, como es sabido y por su naturaleza, se acompañan de composiciones químicas con altos contenidos en Cr, Ni, Mo y Si, por lo tanto más costosos. El proceso que se conoce con el nombre de Temple & Partición (Q&P- Quenching and Partition), ha representado una auténtica novedad mundial al hacer entrar en el mercado aceros competidores de los propios TRIP, con microestructuras ferrítico - austeníticas, termodinámicamente imposibles e impropias de aceros al carbono en tratamientos convencionales (Chen. 2018).

Los aceros, hoy, en general siendo el material estructural por excelencia son prácticamente imprescindibles en todos los sectores industriales.

- En cuanto a las Fundiciones base hierro se trata de un sector industrial que ha experimentado una transformación profunda al pasar de unas fundiciones grises y maleables por no citar

las blancas que, de unas propiedades mecánicas muy limitadas (fragilidad estructural), hace ya unos años, irrumpieron las Fundiciones Esferoidales (presencia de grafito esferoidal) o también denominadas dúctiles, por sus propiedades cada vez más mejoradas y plenamente asentadas en el mercado. Como novedad e innovación a nivel de aplicabilidad industrial hay que recordar las nuevas fundiciones esferoidales derivadas de introducir matriz bainítica en lo que se llaman Fundiciones ADI (Austempered Ductile Iron), que están sustituyendo, a las propias esferoidales convencionales e incluso algunos aceros forjados ya que presentan propiedades mecánicas mejoradas.

Pero también han penetrado en el mercado las denominadas Fundiciones Compactas (presencia de grafito compacto o también denominado vermicular) y que sin ser tan dúctiles presentan buenas propiedades al desgaste particularmente con una matriz bainítica denominadas ACI (Austempered Compacted Iron), y además, mejor conductividad térmica que las esferoidales, Fig 13.

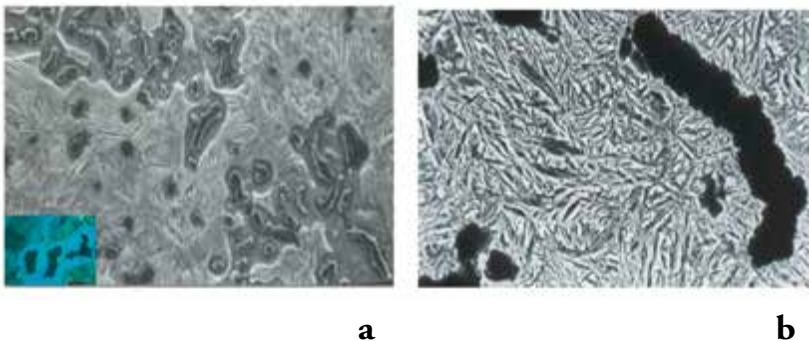


Fig 13. Micrografías de Fundiciones compactas obtenidas en el Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica-UB: a) Con matriz perlítica- Microscopía SEM y Microscopía Óptica (recuadro parte inferior)-. b) Con matriz Bainítica (ACI)- Microscopía SEM-, (Guilemany et al. 1984).

Si a principios de este siglo los fabricantes de automóviles ya estaban sustituyendo el bloque del motor fabricados por fundiciones hacía la utilización de aleaciones de aluminio que dotaban a los automóviles de una reducción de peso considerable hemos asistido en estos últimos años a un tránsito hacía la fabricación de los mismos por fundiciones compactas debido a que presentan mejor rigidez y resistencia a la fatiga que los de aleación ligera como se ha comprobado en los motores turbo-diesel de distintos modelos comerciales.

- En el mismo campo de las fundiciones base hierro, otro gran avance innovador se ha producido en el tratamiento en cuchara y particularmente en lo referente a la continua utilización de las Tierras Raras, así una de sus innovaciones lo es en la utilización del Lantano como fuente primaria de las Tierras Raras en el nodulizante, ferrosilicio- magnesio, ya que, sorprendentemente, aumenta las características de la fundición dúctil en comparación con la que se obtiene utilizando Cerio o Mish metal. Las características nucleantes y su control sobre el proceso así como la disminución del rechazo (shrinkage) y de formación de carburos se minimizan. No obstante la tendencia actual es minimizar al máximo la utilización de tierras raras dado su coste y se ha abierto la puerta a seguir inoculando con FeSiMgCa con presencia de Ba y ausencia de Ce o La, (Baba. 2019).

ALEACIONES LIGERAS

Las aleaciones base Aluminio representan el segundo material metálico de mayor producción en el mundo, 63 millones de toneladas en 2017 (Statista. 2019a), muy por detrás de la producción del acero. Las aleaciones de aluminio son competido-

ras indiscutibles, cuando de aplicaciones estructurales se refiere frente al acero y otras aleaciones, por su baja densidad ($2,7 \text{ g/cm}^3$ frente a los $7,8 \text{ g/cm}^3$ del hierro).

He aquí algunos aspectos innovadores de su presencia en el mercado:

- La industria aeronáutica sigue siendo uno de sus grandes segmentos de desarrollo y aplicabilidad como nos lo demuestra el hecho de que el avión de pasajeros más grande recientemente desarrollado en Europa, el AIRBUS 380 (auténtico ejemplo de investigación y desarrollo cooperativo en favor de la innovación y competitividad europea y que ahora mismo está pasando por horas bajas por su aceptación en el mercado), un 61% está formado por aleaciones base aluminio y mayoritariamente por dos principales, las de la series AA2024 (Al-Cu) y la AA7075 (Al-Zn-Mg).
- La apuesta por las aleaciones de aluminio más ligeras, Al-Li ($2,54 \text{ g/cm}^3$) sigue ya en su tercera generación de desarrollo para salvar las limitaciones iniciales de baja tenacidad aunque juegan a su favor con una excelente soldabilidad. La disminución del contenido en litio con aleaciones como la AA2198 con un 1% de Litio así como la incorporación de nuevos elementos de aleación y tratamientos termomecánicos están consiguiendo buenos resultados como es el caso de AIRBUS que eligió como aspecto innovador la aleación AA2198 para el fuselaje ancho del avión A350 del que, a finales de 2018, ya se han construido 225 aviones y operan en las compañías más acreditadas de todo el mundo (AIRBUS. 2018).
- En el terreno de las aleaciones ligeras, las de magnesio ($1,74 \text{ g/cm}^3$) son las que han experimentado una innovación más notables con la mejora del diseño composicional (introduciendo

elementos de tierras raras), mejora de las estructuras y con ello de sus propiedades. Las aleaciones de magnesio forjadas (Tipo, Mg-8%Gd-5%Y-2%Zn-0,6%Mn) pueden alcanzar un límite elástico de 300MPa y resistencias superiores a 500MPa, lo cual es más del 100% resistentes que las aleaciones de aluminio de la serie AA2024 y un 200% superior de las AA7075 y, además, sustancialmente más ligeras (You. 2017).

Pero hay que enfatizar que estas propiedades en las aleaciones base Magnesio se logran con la mitad del peso del que representarían utilizar aleaciones de titanio y sin todos los inconvenientes del procesado de las aleaciones de titanio. Sin embargo hay que añadir que estas aleaciones de Magnesio de alta resistencia existentes contienen una gran cantidad de elementos de las tierras raras y hoy por hoy son costosas con lo cual siguen existiendo desafíos para las mismas en el futuro inmediato.

- Hay que destacar que para asociaciones de fabricantes de automóviles de todo el mundo y en particular la United States Automotive Materials Partnership (USAMP) que el uso de aleaciones base Magnesio en la sustitución de piezas fabricadas en acero o aluminio es la gran innovación en el sector ya que suponen una reducción de peso y con ello del combustible consumido conllevando una menor liberación de CO₂ a la atmosfera lo que hacen que para muchos el Magnesio con sus aleaciones sean considerados el “Green Metal” del siglo XXI.
- En cuanto al titanio y sus aleaciones (considerados también como ligeros por su óptima relación densidad/ resistencia), los avances e innovaciones que se esperan son múltiples desde el punto de vista de nuevas aleaciones en el sector del transporte y específicamente aeronáutico y su aplicación en campos más

diversos de los actuales a medida que su precio de mercado disminuya. Pero para ello habrá que seguir mejorando sus propiedades que, ya siendo excelentes a través de modificaciones estructurales, se espera puedan incrementarse. En el sector de la industria biomédica el titanio y su aleación Ti 6%Al 4%V y otras derivadas ya son una realidad incontestable, como se describe más adelante en este documento.

- Las aleaciones de Ti podrían ser tan corrientes como los aceros de alta aleación pero su gran problema es el precio motivado por el alto coste de producción basado en el denominado, en Metalurgia Extractiva, como proceso Kroll conducente a un TiCl_4 ya que es un proceso que, hoy día, está en permanente crítica puesto que se le considera contaminante (formación o utilización de Cl, Dioxinas, Furanos). El proceso basado en la electrolisis ígnea del TiO_2 fundido, a semejanza de la industria extractiva del aluminio, es una de las soluciones innovadoras propuestas.

SUPERALEACIONES

La demanda de superaleaciones (Base Niquel, Hierro-Niquel y Base Cobalto) sigue en aumento, ya que tienen excelentes propiedades de resistencia al calor y conservan su rigidez, resistencia, tenacidad y estabilidad dimensional a temperaturas mucho más altas que los otros materiales estructurales aeroespaciales. Las superaleaciones también tienen una buena resistencia contra la corrosión y la oxidación que satisfacen aplicaciones tan exigentes como en turbinas terrestres (en secciones de transición, salidas de gases y boquillas) como aeronáuticas (alabes de turbina de alta presión, cámara de combustión, los dispositivos poscombustión, entre otros) siendo estos los sectores innovadores del que proviene la mayor demanda (Smith. 2016).

Veamos algunos aspectos complementarios de notoriedad a nivel de innovación:

- Un aspecto en el que se sigue trabajando de forma continuada es en el de la mejora estructural de los alabes de las turbinas y concretamente los sistemas con estructuras en sólido procedentes de solidificación direccional, en comparación con otras tecnologías de obtención como la de obtención de componentes monocristalinos (Rolls- Royce's single-crystal turbine blade) que, por otra parte, son mucho más costosas pero que tienen la gran ventaja e innovación de que son más resistentes a la fluencia al carecer de límites de grano e incluso pueden operar a temperaturas más altas que las policristalinas (Nathan. 2017). En cualquier caso hay que evitar la fragilidad en límite de grano y entre otras causas evitar la microporosidad y los fenómenos de microsegregación que se producen en la solidificación. La reducción del coste de producción es otro factor a tener en cuenta.
- El incremento de la temperatura de trabajo de las superaleaciones sigue pasando por la protección de los alabes con recubrimientos de barreras térmicas, tipo Circona parcialmente estabilizada, obtenidas por técnicas diversas como la Proyección Térmica Plasma (Fig 14). La problemática de la utilización de capas de anclaje entre el cerámico- metal encarece el producto final y son varios los caminos en investigación innovadora actual propuestos en intentar disminuir este coste (Crespo, Garcia-Cano. 2015).

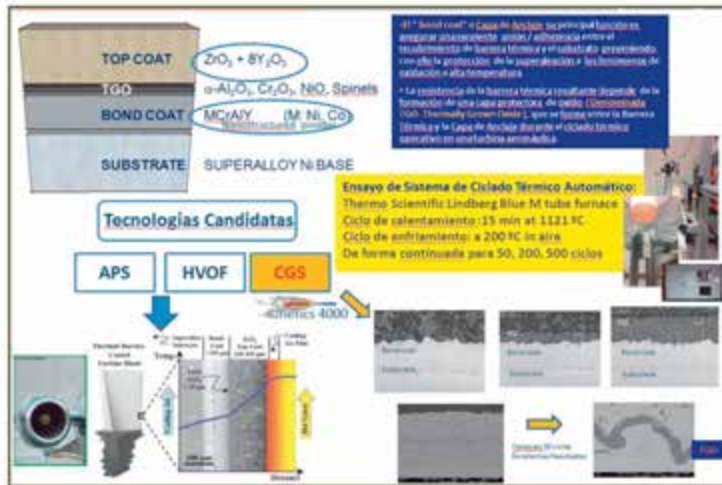


Fig 14. Superaleación de Inconel 625 protegida mediante recubrimiento de Barrera Térmica de ZrO_2 parcialmente estabilizada con $8\%Y_2O_3$ proyectada por Proyección Plasma (APS), utilizando una capa de anclaje de $Co_{32}Ni_{21}Cr_{8}Al_{10.5}Y$ obtenida por Proyección Fría. Los valores de ciclado Térmico confirman su viabilidad mejorando aquellas capas de anclaje obtenidas mediante recubrimientos de Proyección Plasma (APS) y de Alta Velocidad (HVOF). Recubrimientos obtenidos en el Centro de Proyección Térmica de la Universitat de Barcelona para la industria aeronáutica y Harvard University, USA, para medida de tensiones residuales (Lima, 2015). Carlos Lima de la University of Piracicaba, Brasil, Profesor Visitante que fue del Centro de Proyección Térmica (CPT) de la UB.

CERÁMICOS Y SUS COMPUESTOS

A pesar de que los materiales cerámicos son más antiguos que los propios metales lo cierto es que las cerámicas estructurales y con ello los cerámicos avanzados son muy recientes y prácticamente desarrollados a lo largo de los últimos cuarenta años, como ya se ha comentado. Así cabe resaltar:

- La Circona parcialmente estabilizada, bien con Ytria (Y-TZP) o con Ceria (Ce-TZP), son de las cerámicas avanzadas las que mejores propiedades de tenacidad a la rotura presenta (gra-

cias a la transformación en estado sólido del tipo alotrópico/martensítico que le fundamenta) y se ha implementado en diferentes ámbitos tecnológicos con gran rapidez siendo ya imprescindible en sectores muy diversos ya que además es altamente resistente a ambientes corrosivos y a desgaste (Bocanillas, hileras, válvulas y todo tipo de bombas industriales, entre otros sectores en constante innovación).

- Los trabajos innovadores dedicados al procesado y mejora de electrolitos sólidos en pilas de combustible, como es el caso de las denominadas SCSZ, Circona parcialmente estabilizada con Oxido de Escandio (Sc_2O_3), que se utiliza como electrolito en las Pilas de Combustible, SOFC (solid oxyde fuel cells), en lugar del YSZ (Circona parcialmente estabilizadas con Ytria) ya que aumenta su capacidad de producir energía eléctrica, al prácticamente duplicar la conductividad iónica. Tiene buena resistencia mecánica y el coeficiente de expansión térmico es el mismo que las Circonas parcialmente estabilizadas con Ytria.
- Otra familia de materiales cerámicos en aplicaciones avanzadas son los de Nitruro de Silicio Si_3N_4 , además de otros carburos, boruros y nitruros que tienen en común unos elevados módulos elásticos y elevada dureza juntamente en algunos de ellos de muy elevadas temperaturas de fusión cuya aplicabilidad fundamental está en materiales de corte y trabajo a temperaturas elevadas además de una resistencia al desgaste muy elevada como el caso del WC. Constituyen una alternativa en constante innovación para la sustitución del W por su elevado coste en los sectores industriales comentados.
- Recientes trabajos en el campo de los materiales cerámicos convencionales (sistemas Al_2O_3 - TiO_2 - SiO_2 - ZrO_2), que por sus características son solubles en estado líquido (fundido) pero

totalmente insolubles en estado sólido lo que conlleva que, siempre se separan en sus fases individuales después de una solidificación en condiciones convencionales. La formación de fases metaestables permite llegar a sistemas monofásicos que por ser inestables evolucionan en condiciones adecuadas, a las estructuras estables nanocristalinas. En estos trabajos eminentemente aplicados, se destaca la importancia de la metaestabilidad para obtener estructuras con características singulares denominadas Cerámicas Inteligentes. (García-Cano. 2007).

Durante la consolidación del material mediante tratamiento térmico, las fases metaestables se transforman en una estructura donde se produce la inhibición del crecimiento de grano (este efecto es una consecuencia directa de la inmiscibilidad de dos fases en estado sólido) y los materiales se transforman en nanoestructurados. Los materiales así conseguidos y debido a su pequeño tamaño de grano y a su estructura uniforme, exhiben unas interesantes propiedades como elevada dureza y tenacidad, como se ha demostrado en los sistemas Al_2O_3 - TiO_2 y ZrO_2 - Al_2O_3 .

Estas fases metaestables pueden ser producidas por diversas técnicas entre las que se encuentra la Proyección Térmica y en concreto la Proyección por plasma (APS). Las fases de partida inmiscibles en estado sólido pero totalmente solubles en estado líquido, se funden y homogeneizan durante su corta estancia en la zona caliente del plasma. Seguidamente, las partículas fundidas y aceleradas por el plasma, se someten a un enfriamiento rápido o temple en un medio líquido, como el agua o en un substrato enfriado con nitrógeno líquido, formándose a través de este proceso, las fases metaestables.

Los resultados conducen a la obtención de polvos, recubrimientos y piezas consolidadas (Fabricación Aditiva) de cerámicas.

micos metastables altamente innovadores, Fig 15. Así pues a través de la aplicación plasma (APS) y el establecimiento de un proceso de temple se conduce a los materiales originales microestructurados a la formación de su fase metastable que evolucionan a los materiales nanoestructurados tras realizar tratamientos térmicos posteriores; tratamientos que pueden ser las condiciones de Trabajo de la pieza a nivel industrial con lo cual los convierte en cerámicos inteligentes ya que modifican su microestructura en el lugar de aplicación a una microestructura con nanoprecipitados. Se destacan sectores Industriales de aplicación como maquinaria en las industrias química, aeronáutica y transporte en general-automoción y naval- además de la textil para el sistema $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ y en moldes para extrusión y trefilado así como en boquillas de alta abrasión y mecanismos de transporte de materiales altamente abrasivos como hormigón y carbón en el sistema $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, debido a la mejora en propiedades, lo que conlleva un incremento notable de la vida útil de las piezas en servicio.

Los recubrimientos nanoestructurados de Al_2O_3 -13%wt TiO_2 , presentan frente a los microestructurados un aumento del 50% de la dureza; 300% del módulo elástico a flexión y un aumento de resistencia del 300% además de una excelente resistencia al desgaste. Los recubrimientos nanoestructurados de ZrO_2 - 20 wt.% Al_2O_3 , presentan frente a los microestructurados un aumento del 50% de la dureza; 80% del módulo elástico a flexión y un aumento de resistencia del 250% además de una excelente resistencia al desgaste.



Fig 15. Cerámicas inteligentes: APS (plasma)+ QUENCH protocolo de trabajo y resultados: formación de polvos, recubrimientos y piezas de fabricación aditiva metaestables y su evolución a materiales nanocristalinos. Centro de Proyección Térmica (CPT)-UB.

- En temas de innovación en el almacenamiento de gases resaltar los trabajos sobre materiales nanocristalinos porosos del tipo estructural de las zeolitas con aplicabilidad en catálisis, sensores moleculares, electrónica además de almacenamiento de energía (nanoreservoir).

Las zeolitas son el prototipo de sólidos porosos naturales. En estos aluminosilicatos, los bloques de edificios tetraédricos de aluminatos y silicatos están separados por redes que presentan porosidad. Estos microporos tienen dimensiones por debajo de 20Å , siendo el tamaño de estos poros así como la superficie de los canales, importantes para, almacenar (adsorber) gases, almacenar pequeños clústers de átomos o en catálisis (Lee. 2019). Los estudios han llegado a un Tereftalato de Cromo de

arquitectura cúbica que presenta dos tipos de espaciados de 29 y 34 Å de diámetro con volúmenes de 12.700Å^3 y 20.600Å^3 respectivamente. Éstos sólidos adsorben elevadas cantidades de gases como el nitrógeno, gas natural e hidrógeno, y es un tema de enorme interés, particularmente para el caso del almacenamiento de hidrógeno.

Pero además su utilización como catalizador les confiere otros temas de aplicación de alto valor añadido como es el caso de actuar como catalizadores de la conversión de biomasa en combustibles, de la misma manera, que ya se ha utilizado con el petróleo en su conversión en gasolina.

- Sin duda por su singularidad dentro de los materiales cerámicos destacar los Fullerenos y por su gran novedad el Grafeno que, en realidad, pertenecen a la misma familia de materiales ya que todos ellos son formas alotrópicas base carbono juntamente con el diamante y el grafito.

Pero desde el punto de vista de la aplicabilidad no hay que olvidar las Nanoestructuras del carbono entre los que se cuentan los Nanotubos (NTC) y las Nanofibras de Carbono (NFC).

Los NTC (Fig 16), que se caracterizan por ser extremadamente duros, resistentes y flexibles, se están usando en baterías recargables, piezas de automóviles que se incorporaron y se siguen utilizando en desarrollos de la competición de Fórmula 1, artículos deportivos diversos y filtros de agua entre otros. Resaltar la gran cantidad y multiplicidad de trabajos que se están realizando en cuanto a la obtención y procesamiento de nanotubos y nanofibras de carbono así como en su mejora de comportamiento frente a diferentes aplicaciones y en concreto en su utilización como refuerzo en materiales compuestos.



Fig 16. Esquemas de las características estructurales de los Nanotubos e Imagen SEM de Nanotubos de Carbono. (Guilemany. 2017. Materialografía UB).

Los Fullerenos soportan altas presiones y tienen muy buena capacidad para combinarse con otros elementos así como de almacenar dentro de su molécula ,otras sustancias bien gases o incluso fármacos que pueden ser liberados en el interior del organismo de forma controlada, por lo que han sido usados para esta finalidad.

La obtención del Grafeno en 2004 provocó, pero sigue provocando, mucho entusiasmo acerca de las aplicaciones, y no cabe duda que muchas de ellas como aplicaciones potenciales pero aún no reales; es sorprendente que en poco espacio de tiempo se le haya dado a este material una relevancia extrema como se comprueba por la densidad de grupos investigadores e investigaciones en curso en todo el mundo pero algunas de ellas en fase embrionario que deben de superar el camino de su posible transferencia al mercado.

Sus propiedades son en verdad sorprendentes ya que es un material que en estado sólido se organiza en arquitecturas bidimensionales lo que le confiere una extraordinaria elasticidad; es muy resistente y mejor conductor eléctrico que el cobre, transparente y antimicrobiano y compatible con los tejidos biológicos. Sus aplicaciones van desde pantallas de celulares curvas, baterías de carga rápida, blindajes y celdas de combustibles. En Enero de 2019 la empresa japonesa LG ha anunciado la presentación de un televisor de pantalla plegable y en febrero de 2019 se presentan los móviles plegables por parte de tres empresas destacadas en el mundo de las telecomunicaciones.

También recientemente en Diciembre 2018, la revista *Nature Materials* (Masvidal-Codina et al. 2018), ha publicado la referencia de los Trabajos realizados por el Instituto de Microelectrónica de Barcelona y l'Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia (ICN2) sobre un implante de grafeno (se trata de un dispositivo que consiste en un soporte de material polimérico de 5 micrometros de espesor al que se ha añadido una capa de Grafeno). Los investigadores, que ya han solicitado una patente, han dotado a los implantes una red de transistores en lugar de electrodos lo que les permite detectar el campo eléctrico del cerebro con sensibilidades y resoluciones mayores que las que se consiguen con electrodos e incluso captar frecuencias por debajo de 0,1 Hz (Detectar ondas de baja frecuencia supone un gran avance frente a la epilepsia). De momento se ha ensayado en ratones para pasar a pacientes en los próximos dos o tres años. Estos implantes podrían constituir una valiosa herramienta para la investigación de otros trastornos neurológicos como la migraña.

En las mismas fechas Abril 2018, otros investigadores del mismo centro (ICN2) publicaron en la revista Science (Moreno et al. 2018) los resultados sobre la utilización de un grafito poroso que fue elegido el mismo año por la American Chemical Society como la “Molécula del Año 2018”. Los autores del trabajo referencian que el grafeno poroso es semiconductor y que se podría incorporar en dispositivos electrónicos pero además presentan unos poros del tamaño de 1 nm con lo cual su utilización podría desalinizar el agua de mar ya que los iones solvatados en ella tienen tamaños de 1,2nm. Estos investigadores están en la fase de producir una patente y en la de transferencia. En ambos casos son resultados sorprendentes pero en fase de posible superación y adaptabilidad a los requerimientos industriales y están en fase embrionaria justo para el inicio de la transferencia.

Los investigadores que sintetizaron el Fullerenos (Sir H.W.Kroto, R.E Smalley y P.D.Boyer) recibieron el Premio Nobel de Química en 1996 y los que sintetizaron el Grafeno (A.Geim y K.Novoselov) el Premio Nobel de Física en 2010.

- De la misma manera que se han citado los nanotubos de carbono habrá que resaltar la obtención de este mismo de micro/nanoestructuras en multitud de materiales cerámicos con propiedades realmente sorprendentes. Así citar nanotubos, nanohilos, nanovarillas de materiales oxidados como es el caso del TiO_2 (Fig 17) Al_2O_3 , ZrO_2 , $\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, SiO_2 , NiO y ZnO o no, SiC, Si_3N_4 , NB, AsGa, entre otros, cuya aplicabilidad fundamental está en su utilización bien en sensores, fotocatalizadores, dispositivos biomédicos con liberación de fármacos, recubrimientos biocompatibles (Muller. 2015, Vilardell. 2018a), por sus propiedades magnéticas, componentes para productos electrónicos o refuerzo de materiales compuestos, es decir todo un abanico de posibilidades.

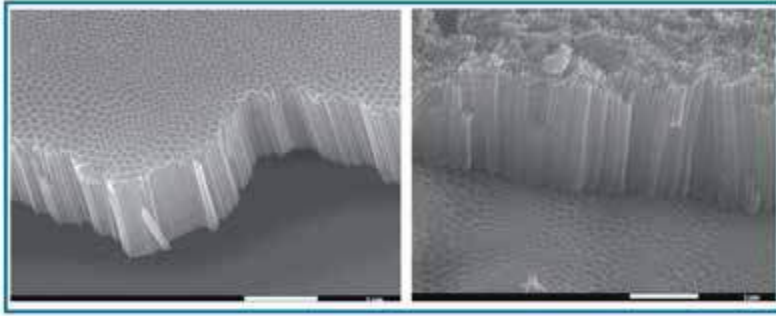


Fig 17. Nanotubos de TiO_2 (“Hierarchical Structures”) obtenidos por oxidación anódica en el Centro de Proyección Térmica (CPT)+ ELECTRODEP- Universitat de Barcelona. (Vilardell. 2018b).

- No cabe duda que el Hormigón es el material compuesto base cerámica más empleado por la humanidad en la industria de la construcción ya que, a sus cifras nos debemos, si tenemos en cuenta que al año producimos, a nivel mundial, 4.129 millones de toneladas (producción en 2016) de cemento (una de las materia prima fundamental para el hormigón). El hormigón resiste bien a esfuerzos de compresión pero mal a tracción y de ello el refuerzo con aceros que se hace en lo que conocemos como hormigón armado.

Es evidente que estamos ante uno de los materiales que en los próximos años más va a transformar la industria de la construcción en cuanto a multifuncionalidades y en particular en su utilidad práctica, así, ya se utilizan hormigones de color incluso cambiantes, hormigones más ligeros, hormigones con propiedades fotocatalíticas y autolimpiables ya son una realidad pero a destacar la de Hormigones Regenerativos en el que los Hormigones Bioactivos son uno de ellos.

Los hormigones, en su proceso de consolidación convencional, deja una microestructura en la que hay miles de millones

de cavidades que en realidad son potenciales grietas que lo importante no es que estén sino que hay que evitar que éstas se propaguen y causen una rotura catastrófica de las estructuras o construcciones en general con él formadas. La presencia del agua puede causar la degradación como ha sucedido en los casos que conocemos como “aluminosis” en que el problema era que un cemento del tipo aluminoso que se utiliza para la fabricación del hormigón y su proporción con otros de los cementos que interviene en su proceso de fraguado no eran las adecuadas de modo y manera que durante el uso y las condiciones de trabajo, éste se degradaba provocando cavidades que frente a las grietas preexistentes fueron creciendo motivando las causas fatales del hundimiento de las estructuras civiles sobre las que se aplicaron.

Con los hormigones regenerativos se intenta evitar el crecimiento de grietas internas o externas provocadas por problemas de degradación muchas veces impredecibles en su aplicación final. Así las bacterias, ya sea *Bacillus pseudofirmus* o *Sporosarcina pasteurii*, se encuentran de forma natural en lagos altamente alcalinos cerca de los volcanes, y pueden sobrevivir hasta 200 años sin oxígeno ni alimento. Se activan cuando entran en contacto con el agua y luego usan lactato de calcio como fuente de alimento, produciendo carbonato cálcico que, como resultado, si estuvieran en los poros de un hormigón acabarían cerrando las grietas. Para mantener la bacteria inactiva hasta que se necesite, se colocan en pequeñas cápsulas biodegradables que contienen el nutriente. Cuando en el hormigón penetra por agrietamiento o no, el agua, esta cuele por los huecos y en contacto con las bacterias con su fuente de alimento incorporada, se activan y con ello el proceso por el cual las bacterias se alimentan del lactato de calcio y forman el carbonato cálcico, y con ello se rellenan las grietas que quedan fijadas (Vijay. 2017).

MATERIALES SUPERCONDUCTORES

Con relación a los materiales superconductores hay que tener en cuenta sus singulares propiedades de, conducción de corriente continua con resistencia cero, la capacidad magnética de los imanes superconductores y efectos de levitación, entre otros. En su aplicabilidad ya se había previsto y se sigue previendo, según los datos que se manejan, un futuro próximo extraordinario marcado por la innovación aunque desde el punto de vista técnico no exento de dificultades dadas las bajas temperaturas críticas superconductoras de los materiales en cuestión (CCAS. 2014).

Así en aplicaciones actuales son los de Baja Temperatura de Transición Superconductor (LTS) los usados y estos son aleaciones metálicas (Nb_3Ge , Nb_3Ti , Nb_3Sn , entre otros) que trabajan con Helio líquido y que siguen siendo protagonistas de innovaciones tecnológicas como en Resonancia Magnética Nuclear (RMN) no solo para la aplicación en campos de la Medicina y la Biología sino también para el estudio de la estructura interna de los materiales.

Aspectos a destacar dentro del estado actual:

- En primer lugar no se puede pasar por alto que detrás de las tecnologías como, las Imágenes por Resonancia Magnética (MRI), o de las Magnetoencefalografías (MEG) o de la Magnetocardiografías (MCG), los imanes y sensores superconductores están detrás, y con ello los grandes beneficios que están aportando a la humanidad en el campo del diagnóstico médico. En estos últimos 50 años los investigadores en este campo han acumulado varios premios Nobel, así el de Física (en 1952 a Felix Boch y Edward.M.Purcell), como de Química (en 1991 a Richard Ernst y en 2002 a Kurt Wüthrich) y de Medicina (2003 a Paul C.Lauterbur y Sir Peter Mansfield).

- Otro ejemplo notable que no puede olvidarse se refiere a las expectativas creadas con el tren de alta velocidad por levitación (MAGLEV Train), basado en imanes superconductores LTS de Nb-Ti. Construido en fase experimental por la Central Japan Railway Company (JRC) alcanzó en 2003 el record de velocidad máxima dejándolo en 581 Km/h; en estos momentos está en las últimas etapas de desarrollo para su puesta en escena en los próximos años (CCAS. 2019).
- Con relación a los materiales cerámicos superconductores de elevada temperatura de transición superconductora (HTS) el tema sigue centrado en la siguiente generación de los YBaCuO (YBCO), $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ y $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ que operan a temperaturas del nitrógeno líquido (77K). Particularmente la fabricación de cables de gran longitud, >100 metros es una realidad y ha habido un progreso muy significativo en la comercialización de los mismos para el transporte eléctrico. Los cables de potencia de superconductores HTS transmiten de 5 a 10 veces más energía que por cables de cobre convencionales de sección transversal equivalente. En USA el primer sistema de cable de transmisión de potencia del mundo en una red comercial es capaz de transmitir hasta 574 megavatios (MW) de electricidad que es suficiente para alimentar la energía de 300.000 hogares; también se están llevando a cabo proyectos de demostración en cables de HTS por parte de empresas de servicios públicos en países como Alemania, Corea, Japón y China, por lo tanto un aspecto limitante como eran las caídas de intensidad parece que en los desarrollos actuales están minorizados.

POLÍMEROS Y SUS MATERIALES COMPUESTOS

De acuerdo con la problemática actual que gira entorno de los polímeros y su degradación medioambiental, hay que hacer

una reflexión previa (K portal. 2019). Así recordemos que, se ha estimado que desde principio del siglo XX hasta hoy la humanidad, a partir de los hidrocarburos fósiles ha producido del orden de 8.300 millones de toneladas métricas de polímeros de los cuales 6.300 MTm al final de su vida útil se han convertido en residuos y de los cuales solo el 9% se ha reciclado/reutilizado, el 12% se ha incinerado y el 79% se ha acumulado en vertederos o en el entorno natural, (Geyer. 2017),. Si continúan las tendencias actuales de producción y reciclado (Se estima que el pasado año se produjeron 330 millones de toneladas, excluidas fibras), en el año 2050 aproximadamente 12.000MTm de residuos estarán en vertederos o en el medio natural (Beckman. 2018). Ninguno de los polímeros conocidos y populares que hemos venido produciendo y que utilizamos de forma habitual es biodegradable. Es evidente que no podemos ser ajenos a este problema de escala mundial motivado solo por la mano del hombre ya que los polímeros son imprescindibles pero necesitan el uso y no el abuso inadecuado de los mismos.

Algunos aspectos sobresalientes de estos materiales son:

- Los denominados Polímero de Altas Prestaciones (High Performance Polymers- HPP) representan la familia de polímeros avanzados, (Mc Cutchion. 2017), que reúnen en sus propiedades el que son ligeros, resistentes a las radiaciones ionizantes, corrosión, abrasión, fatiga y resistencia mecánicas adecuada incluso a temperaturas por encima de los 150°C. Se habla y se incluyen dentro de estos materiales a los Fluoropolimeros (PTFE), Compuestos Fenólicos Modificados, Polietercetonas (Polyaryletherketones-PAEK), Poliimididas, Sulfuro de Polifenileno (Polyphenylene Sulfide- PPS) y Polisulfonas Aromáticas (Aromatic Polysulfones -PSU) con una fuerte demanda en el sector aeroespacial y electrónica. Re-

cientemente la Fabricación Aditiva (Additive Manufacturing) les ha abierto la Puerta como tecnología innovadora a la que también se han incorporado otros polímeros como los de las familias Polieteretercetona (Polyetheretherketone-PEEK), Polietercetona (Polyetherketone-PEK) y Polietercetona (Polyetherketoneketone-PEKK), esta última muy usada en la industria biomédica de implantes. Estos mismos materiales poliméricos mediante la misma tecnología de Fabricación Aditiva se están utilizando, reforzados con nanotubos de carbono, para conformar materiales compuestos de matriz polimérica y que, en un nuevo desarrollo, se están sustituyendo los nanotubos de carbono por grafeno; en este desarrollo está trabajando en estos momentos AIRBUS.

- Por lo general los polímeros (plásticos) biodegradables los forman la familia de los poliésteres, en los que los enlaces éster son hidrolizados en presencia de agua. En esta reacción se provoca la rotura del enlace éster y con ello se consigue descomponer el polímero en sus monómeros fundamentales. El diseño de la macromolécula con el ajuste del número y naturaleza de los monómeros que la componen es indicativo de la facilidad a la rotura y la cinética del proceso de degradación molecular. En este proceso la presencia de bacterias que sintetizan enzimas pueden favorecer la rotura de los enlaces éster facilitando una degradación más efectiva y rápida (Jeziorska 2018).

Los polímeros biodegradables como los basados en Polilactida (PLA), los Poliglicólicos (PGA) o policaprolactona (PCL) que ya se utilizan como en suturas biodegradables, como se comentará en el apartado de Biomateriales, y también en empaquetados de alimentos y bolsas biodegradables se están produciendo a nivel industrial en un ritmo de penetración

en el mercado creciente y parecen representar un camino de continuidad. Es evidente que estos materiales están lejos de ofrecer las propiedades que hemos destacado con relación a los polímeros de altas prestaciones HPP con lo que es un camino abierto y urgente para la investigación y nuevos desarrollos en este tipo de materiales.

- Materiales termoplásticos, termoestables y elastómeros seguirán siendo el motor de la producción mundial de polímeros pero hay que tener en cuenta la dimensión medioambiental y pensar que los polímeros de un solo uso deben ser evitados como así ya lo están entendiendo determinados sectores industriales.

En esta línea están surgiendo Nuevos Materiales Poliméricos totalmente reciclables como es el caso del anunciado recientemente por IBM (IBM. 2019). Han desarrollado nuevos polímeros combinando paraformaldehído y 4,4'-oxidianilina en una reacción de condensación. Cuando se calienta a 250°C, se polimeriza y resulta un sólido altamente elástico resistente a disolventes y totalmente reciclable que además presenta una densidad parecida al del hueso humano. Sin embargo cuando esta misma reacción se realiza a baja temperatura el producto resultante es un gel que presenta propiedades sorprendentes ya que es "autoreparable" ya que si se corta en fragmentos y se aproximan hasta tocar vuelven a unirse en segundos. Según IBM, esta propiedad hace que el polímero en gel sea útil como adhesivo.

Como se señala, en la actualidad, la investigación puntera se enfrenta al gran reto de conseguir polímeros biocompatibles y biodegradables para reducir el impacto ambiental aunque hay que reconocer que no es fácil ya que precisamente en los polímeros convencionales y sus específicas propiedades, su

resistencia reside en la fortaleza de las cadenas de las macromoléculas, por lo que resultan materiales poco biodegradables y es la razón por la que pueden tardar cientos de años en degradarse de forma natural, pero parece que está calando el mensaje de los científicos y además de la alerta ya hay tímidos esfuerzos por buscar una solución innovadora como se acaba de demostrar en los ejemplos aportados.

BIOMATERIALES

Los biomateriales se definen, según el acuerdo alcanzado en el Consensus Conference of the European Society for Biomaterials celebrado en Chester (Inglaterra) en marzo de 1986, (Williams Edt. 1987), “como “cualquier sustancia o combinación de sustancias (a excepción de los fármacos), de origen natural (tejidos bovinos o porcinos, proteínas del tejido conectivo) o sintético (metales, polímeros o cerámicas), que pueden ser usados por algún período, como todo o como una parte de un sistema que trata, aumenta, o reemplaza algún tejido, órgano o función de cuerpo”.

El mercado mundial de la tecnología sanitaria se ha situado en los 433,7 Billones de dólares en 2018 y se espera alcanzará los 600 Billones de dólares en 2025; el mercado europeo representa alrededor del 30% del mercado mundial. El mercado mundial de biomateriales ha movido alrededor de 34 Billones de dólares y se esperan crecimientos que en 2023 alcanzarán la cifra de los 77 Billones de dólares, mercado para el que se avanza que la previsión es que seguirá creciendo debido al aumento de la esperanza de vida de la población y al aumento de lesiones causadas por trastornos cardiovasculares, neurológicos y traumatología, entre otros (Research and Markets. 2018).

Evidentemente se trata de un campo de posibilidades de innovación extraordinarias con materiales que llegan a presentar un valor añadido frente al coste real abismal. Las funciones básicas de este tipo de materiales incluyen la asistencia en la regeneración celular, la sustitución de una parte del cuerpo que ha perdido su función natural debido a un traumatismo o enfermedad o, simplemente, mejorar dicha función o corregir anomalías (Ernst and Young, 2017).

Entre los implantes más comunes se encuentran las prótesis ortopédicas (rodilla, clavícula, articulación de la cadera, columna vertebral o clavos de fijación), implantes cardiacos (válvulas de corazón y marcapasos), implantes para tejidos blandos (implantes de silicona para fines estéticos o colágeno inyectable), implantes dentales y relleno de tejido óseo en la cavidad bucal. Se estima que en USA cada año se implantan 3 millones de prótesis; en Europa se implantan alrededor de 45.000 prótesis cardiacas y casi 300.000 de rodilla, siendo la fabricación europea solo del 15% del total.

Algunas de las aportaciones recientes en este segmento de mercado tan activo y con facilidad a la innovación se concretan en:

- Sin duda, el uso de prótesis metálicas en cadera y rodilla ha sido uno de los grandes éxitos de la cirugía moderna ya que ha mejorado la calidad de vida de las personas (En España en 2017 se implantaron alrededor de 30.000 prótesis de cadera y rodilla).

Nuevas tecnologías innovadoras de Fabricación Aditiva (Modic, 2017) producen piezas que complementan aquellas base titanio ya producidas hace unos años por Moldeo por Inyección (Metal Injection Moulding- MIM). MIM es un proceso que consiste en producir piezas pequeñas metálicas con la misma precisión que la forma que se dota a los plásticos en las

técnicas de moldeo por inyección. A partir de mezclas de polvo de titanio con aglomerantes tipo naftaleno junto con hidruros de titanio que minimizan el efecto de la acción del oxígeno, se han obtenido por MIM piezas que están plenamente integradas en el mercado.

- Nuevos recubrimientos de titanio y aleaciones nanoestructurados sobre los implantes metálicos dan lugar a prótesis innovadoras que tienen mayor dureza y resistencia que los de hidroxiapatita. Presentan una excelente biocompatibilidad con las células del hueso con lo que se pueden fabricar prótesis más durables (mayor vida efectiva del implante) que las convencionales (Guilemany et al. 2014c).
- El que sistema de implante en cabeza femoral (Conocido como Birmingham Hip Resurfacing- BHR), desde hace unos años se ha implantado con éxito en el mundo, (Ford. 2018). Se fundamenta en producir una cabeza postiza que se inserta en la parte final de la cabeza del fémur original. La nueva cabeza se articula contra un vástago que se fija sobre la pelvis. Las prótesis se obtienen por moldeo convencional y se trata de aleaciones de Co-Cr con alto contenido en carbono 0,15 a 0,25% (carburos $M_{23}C_6$ precipitados en una matriz de cobalto) con un acabado poroso final que, entre otras ventajas innovadoras frente a la tecnología convencional de implantes reúne:
 1. No hace falta eliminar toda la cabeza del fémur lo cual es muy indicado para pacientes jóvenes
 2. No se altera ni se modifica el canal femoral /médula.
 3. Se reduce el desgaste en el dispositivo frente a los convencionales.

Los estudios clínicos han demostrado que los pacientes implantados pueden regresar a practicar actividades deportivas con impacto sobre el fémur como correr o el tenis después del implante. Desde su implantación hasta el día de hoy se han producido 175.000 implantes a nivel mundial.

- En el mundo cada año fallecen 17,7 millones de personas por enfermedades cardiovasculares lo que representa un 31% del total de defunciones. Según la American Heart Association, (AHA. 2017), en USA se calcula que cada 40 segundos fallece una persona de ataques de corazón.

El STENT arterial coronario (endoprótesis vasculares), es una malla metálica en forma de tubo que mantiene el lumen abierto después de la operación angioplastia coronaria transluminal percutánea (ACTP). Los primeros stents se fabricaron de acero inoxidable, después de aleación Cr-Co. Más recientemente se fabrican de Ni-Ti, aleación con memoria de forma (Fig 18), que no requieren del denominado balón en la correspondiente inserción. También el uso de polímeros biodegradables y con efecto memoria de forma o no (Sangeetha. 2017), derivados del Ácido Poliláctico (Polylactic Acid- PLA) están siendo estudiados y cercanos a un mercado con un alto efecto innovador. En España en 2017 se colocaron aproximadamente 105.500 stents.

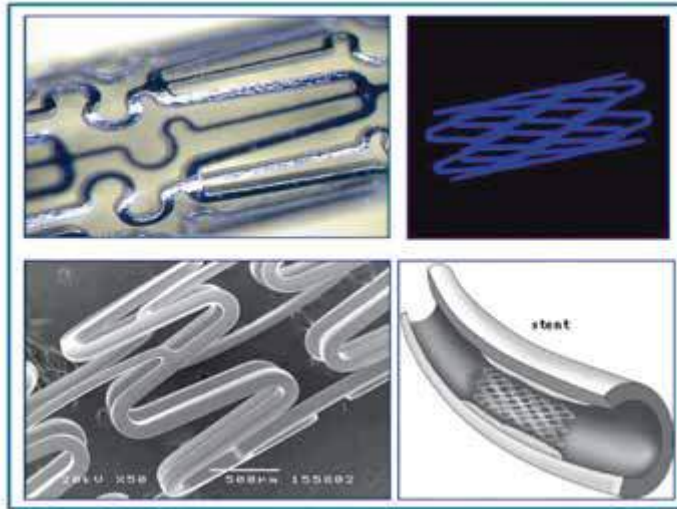


Fig 18. Stents con efecto memoria de forma de NiTi diseñados en el Departament de Ciència dels Material i Enginyeria Metal·lúrgica de la UB (Prof. Xiumu Zhang, Professor visitante) y fabricados en la Academia Sinica de la R.P.China.

- En la nueva generación de implantes dentales innovadores destacar los estudios (Gil. 2014, 2018b), en lo que se considera implantes inteligentes en el que su función no es solo soportar las cargas sino también liberar fármacos y evitando la infección y/o la utilización de biosensores que permitan ver en tiempo real el estado del material osteointegrado en el hueso. La utilización de prótesis dentales base titanio con superficie pasivada y con propiedades biomiméticas aseguran una rápida osteointegración al hueso juntamente con la aplicabilidad de biosensores, basados en medidas de bioimpedancia eléctrica, permiten la detección de bacterias patógenas todo ello facilita al profesional médico recibir en su móvil la evolución del proceso de osteointegración así como de posibles bacterias lo que permite en tiempo real actuar evitando las infecciones mediante tratamiento terapéutico inmediato, (Gil. 2018a).

- Otro aspecto colateral pero no por ello menos importante, y a tener en cuenta es lo que se refiere a la utilización de materiales específicos para uso preventivo. En efecto, en los últimos años, las infecciones en hospitales han aumentado de forma rápida, y se cifra que cada año más de 2,5 Millones de ciudadanos de la Unión Europea se ven afectados por infecciones, en los hospitales, de los cuales más de 90.000 personas mueren cada año como consecuencia de ellas.

Estudios recientes han demostrado que las aleaciones que contienen por encima del 65% en cobre pueden erradicar bacterias peligrosas en cuestión de horas. Este hecho sin duda puede ser muy beneficioso a nivel de equipamiento específico en el sector médico (puertas, utensilios, camas, camillas, estanterías, y otras superficies específicas de trabajo) así como en servicios públicos. En Enero de 2019 (F.S.da Silva) se han presentado unos recubrimientos base cobre obtenidos por proyección fría en el Centro de Proyección Térmica de la UB, que demuestran su viabilidad para este tipo de aplicación tecnológica por su propiedad antibacteriana (Da Silva. 2019).

También a nivel de materiales cerámicos y poliméricos las innovaciones son extraordinarias. En efecto:

- Los implantes cerámicos y sus compuestos de alta innovación como la Circona parcialmente estabilizada con CeO_2 (Rivera. 2016) reforzada con Alúmina (Alumina Toughened Zirconia-ATZ-) presentan altas tenacidades con valores de tenacidad a la rotura de $20\text{MPa}\cdot\text{m}^{-1}$ pero a su vez resistencias al desgaste muy superiores a las que presentan otros materiales en uso, lo cual puede representar un grado de utilización en el implante de más de 20 años de duración, en comparación con la utilización de polímeros como el polietileno de alto densidad-HDPE; algunos de estos cerámicos tienen desgastes de $0,032\text{mm}^3/\text{millón de ciclos}$.

También se está intensificando su uso en instrumental de cirugía así como en implantes muy miniaturizados y todo ello debido a las facilidades del procesado de los materiales cerámicos por tecnologías como el Moldeo por Inyección de Polvos (Powder Injection Moulding- PIM). También cada vez esta miniaturización se acompaña del acoplamiento a dispositivos electrónicos como neuroestimuladores que actúan sobre nervios o conjuntos de nervios.

- Existe una urgente necesidad de disponer de injertos óseos sintéticos con capacidad osteogénica como son los Scaffolds que actúan como huesos sintéticos porosos. Los trabajos de Ginebra.M.P, 2017, se han encaminado en esta dirección con resultados sumamente prometedores en la obtención de arquitecturas 3D tanto en materiales de hidroxiapatita (obtenidas por técnicas de Hidrolisis) como de Fosfato Tricálcico (obtenidas por sinterización) tanto en materiales micro como nanoestructurados.
- Los implantes Bioabsorbibles son de gran interés en aquellas aplicaciones en que la fijación o la reparación de los tejidos es temporal. Se fundamentan en que una vez implantados en el cuerpo, estos absorben agua, se hidrolizan en su reacción con el agua y se degradan en monómeros que son eliminados por el organismo. Se pueden fabricar en forma de placas, clavos, tornillos, uñas, para fijación de fracturas y anclajes y tornillos para recolocar ligamientos o tendones en los huesos, entre otros. El mejor beneficio para el paciente es que no necesita la segunda operación para extraérselos a diferencia de lo que sucede con los implantes metálicos. Los materiales bioabsorbibles en realidad no son nuevos ya que los romanos ya usaban tubo digestivo de “gatos” como material de sutura. A pesar de ello no fue hasta 1960 que los polímeros biodegradables se utilizaron en suturas y desde 1980 el mismo tipo de

materiales se usan en implantes. Como se ha comentado con anterioridad, se trata de homopolímeros como el PLA (Ácido Poliláctico) y PGA (Ácido Poliglicólico) y los Copolímeros que del PLA y del PGA, se pueden obtener. Evidentemente es un campo muy abierto con grandes posibilidades innovadoras de futuro (Jeziorska. 2018).

- Además, otro aspecto dentro de la complejidad de lo que denominamos biomateriales son aplicaciones en materiales diversos como la fabricación de manos artificiales. En efecto es otra realidad desde las simple manuales que permiten la movilidad en abrir o cerrar la mano y que están fabricados con materiales poliméricos convencionales mediante simples o avanzadas tecnologías de impresión 3D hasta proyectos más complejos que incluyen la fabricación de manos artificiales que a través de electrodos actúan sobre el sistema nervioso. Aunque sin ser materiales biocompatibles ya que actúan sobre la parte externa del esqueleto hay que tener presente aquellas prótesis que gracias a los avances de la robótica, inteligencia artificial, informática e impresión 3D como son los exoesqueletos que permiten incorporarse y andar a los afectados por atrofia muscular o las piernas inteligentes controladas por microprocesadores que emulan la funcionalidad de rodillas, tobillos y pies como las que usa Hugh Herr, biofísico del Massachusetts Institute of Technology (MIT) y premio Príncipe de Asturias 2016, por el diseño de sus propias prótesis inteligentes (Mooney. 2014).
- Recientemente se ha publicado que IBM ha diseñado un microchip que imita el funcionamiento del cerebro humano y que permitirá que los ordenadores aprendan de sus propias experiencias, elaboren hipótesis y extraigan conclusiones pertinentes de los resultados. Se acordarán de cosas y extraerán conclusiones imitando el funcionamiento plástico del cerebro humano.

Hasta ahora, parece que se han fabricado dos prototipos del nuevo chip. Ambos han sido grabados sobre silicio en 45 nanómetros y contienen el equivalente de 256 neuronas.

A largo plazo IBM confía en construir un conjunto de componentes con la suma total de 10.000 millones de neuronas (recordemos que el cerebro humano según datos recientes, julio 2018, cuenta con 86.000 millones de verdaderas neuronas).

MATERIALES PARA LOS SECTORES DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS

Como se viene sosteniendo, los materiales constituyen una parte del conocimiento que alcanza prácticamente todas las áreas de actividad. Pero si en algunos de estos sectores estratégicos tiene un protagonismo innegable es en el sector de la energía no solo en la economía de un país sino también en su capacidad de condicionar la competitividad e incluso la propia existencia del resto de actividades productivas. Igualmente hay que destacar la relevancia de los nuevos retos y desafíos a los que en este siglo XXI ya nos estamos enfrentando como son el agotamiento de los combustibles fósiles y el efecto invernadero producido por las emisiones de CO₂ y en los que los materiales ya han sido llamados a jugar un importante papel.

Energía Fotovoltaica

En términos generales, una típica celda/célula solar está fabricada sobre materiales semiconductores, como el Silicio mono o policristalino dopado, formando uniones de tipo p-n/ pnp/ npn; es la denominada “Tecnología del Silicio” (el conjunto de las células fotovoltaicas conectadas en serie forman un panel solar).

La eficiencia de las celdas en el proceso de conversión energética sigue siendo su principal limitación, así las células policristalinas tienen un rendimiento inferior a las monocristalinas pero tienen una gran implantación ya que son más económicas. Existen también los denominados paneles solares de “capa fina” que están formados por el depósito de varias capas de material fotovoltaico, normalmente silicio amorfo (capas del orden de 2 micrómetros), en una base (vidrio o resinas sintéticas). El material más usado es el Silicio amorfo con unas eficiencias del 7 al 13% y más recientemente semiconductores del sistema CdTe, y/o CuInGaSe₂, pero también se habla insistentemente del Grafito además de las Celdas Fotovoltaicas Orgánicas (OPV) con valores de eficiencia altos.

La conversión de energía directamente del sol mediante Tecnología Fotovoltaica (PV) se ha incrementado de forma sustancial (Fig 19) y es un punto importante en la producción global de energía por métodos alternativos. En efecto, según el informe reciente de British Petroleum (BP), la capacidad total de generación de energía solar fotovoltaica alcanzó 301 GW a finales de 2016, lo que representa un aumento del 33,2% respecto de 2015 ya que se aumentó un total de 75 GW de nuevas instalaciones, a la capacidad de energía solar global en 2016. Los mayores incrementos en el mismo año se registraron en China (34.5 GW) y en los EE. UU. (14.7 GW), representando en conjunto dos tercios del crecimiento de la capacidad solar global (Nick. 2018).

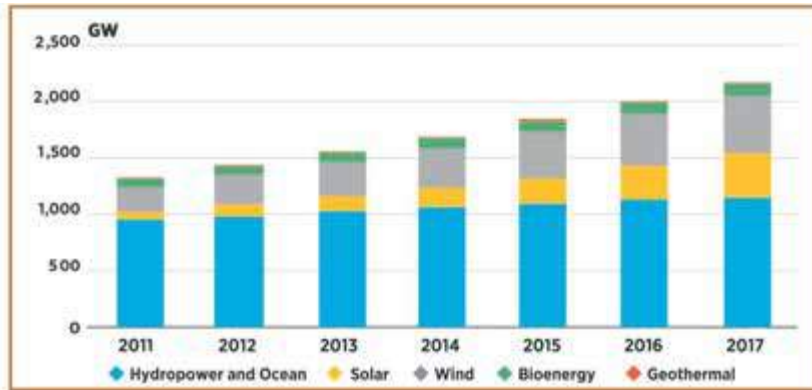


Fig 19. Producción anual mundial comparativa entre distintos sectores fundamentados en energías alternativas. IRENA (International Renewable Energy Agence).

Se afirma que si nos atenemos a los valores de consumo anual en Estados Unidos (3.800 Billones de KWh en 2017), la cantidad de energía producida y consumida se podría obtener directamente a través de energía fotovoltaica. En efecto los expertos señalan que bastaría con disponer de una instalación de celdas solares en un área de 100km x 100km en una región de alta insolación como puede ser el desierto de Arizona, utilizando para ello módulos solares con eficiencias del 15% (Scrivener. 2018).

Con los avances en tecnologías PV, incluidas las técnicas de generación de energía solar concentrada y la disminución de los precios de los módulos fotovoltaicos, la energía solar se ha convertido en la fuente aparentemente más rentable de energía renovable.

Energía Eólica (Turbinas Eólicas)

Esta nueva industria basada en los aerogeneradores (salvando las diferencias a semejanza de los molinos de viento tradicionales), se introdujo ya desde hace unos años irrumpiendo con fuerza ya que es limpia, y es barata (el viento es gratis), y aunque tiene

notables detractores por cuanto para algunos afean el paisaje y afectan a la fauna, lo cierto es que es imparable e incluso ya se han hecho grandes instalaciones en medio del mar (offshore) o de los desiertos (onshore) y la evolución es exponencial, Fig 19.

En el mundo en los últimos cinco años la producción de energía a través de turbinas eólicas se ha multiplicado por tres. Según los datos publicados por la World Wind Energy Association (WWE. 2018), la capacidad total de todos los aerogeneradores instalados en todo el mundo a principios de 2018 alcanzó los 539.291 MW pero hay que tener presente que esta capacidad solo puede cubrir el 5% de la demanda total por lo que es evidente que estamos ante un sector en desarrollo permanente tanto que, en determinados países, la energía eólica se ha convertido en un pilar en sus estrategias para eliminar gradualmente la dependencia de las energía fósil.

Desde el punto de los materiales, las Turbinas Eólicas, y dependiendo de su tamaño cada una de ellas, pueden estar constituidas entre 10 a 25 Tn de Fundición Esferoidal (desde los ejes del rotor donde encastan las aspas, hasta la base del bastidor y engranajes, entre otros). Las palas del aerogenerador son de materiales compuestos ya que están fabricadas de poliéster reforzado con fibra de vidrio o resinas epoxi también reforzadas y las más normales en dimensiones, de los parques eólicos convencionales, tienen tamaños de 35 metros pero en el estado de la tecnología ya se han fabricado palas que alcanzan dimensiones superiores a los 100 metros; la construcción de estas palas es una obra de ingeniería mitad artesanía manual y mitad tecnología punta. En este sector el concepto de eficiencia energética (Chao. 2018), es fundamental y todo lo que representa una disminución de la resistencia al giro de las palas es bienvenido y alguna aportación en este sentido veremos más adelante en este documento.

Un aspecto complementario a introducir en esta tecnología es el reciclado de estas enormes palas de los aerogeneradores al cumplir su vida en servicio y ello dadas las dificultades manifiestas de los materiales que las conforman, habrá que hacerle frente sin dilaciones.

Energía de Fusión (Reactor ITER)

Se espera que en los próximos 50 años se duplique la demanda mundial de energía, a medida que la población de los países en vías de desarrollo aumente su nivel de vida. Por ello es imprescindible encontrar fuentes de energía limpias, seguras y garantizadas que puedan satisfacer las necesidades de las generaciones futuras. La energía de fusión podría ser una solución sostenible para las necesidades energéticas de Europa y del resto del mundo.

Sin duda uno de los proyectos científico-tecnológicos a nivel mundial de producción de energías alternativas innovador se llama proyecto ITER (Su nombre significa “camino” en latín y es el acrónimo en inglés de Reactor Termonuclear Experimental Internacional), con el que se pretende alcanzar temperaturas de unos 100 millones de grados centígrados y demostrar que la energía de fusión es tecnológicamente posible, (European Commission. 2017).

La fusión es el proceso responsable de la energía que libera el Sol; por tanto, se puede decir que la energía de fusión es la que hace posible toda la vida en la Tierra. A diferencia de la energía de fisión, que implica romper átomos muy pesados para liberar energía, la fusión libera energía como resultado de la unión de dos átomos ligeros, por ejemplo, la fusión de dos átomos de hidrógeno para formar uno de helio. En el interior del Sol, los átomos de hidrógeno colisionan entre sí y se fusionan a temperaturas altísimas (cerca de 15 millones de grados centígrados) y sometidos a enormes presiones gravitatorias: cada segundo se fusionan 600 millones de toneladas de hidrógeno formando helio.

En el proyecto ITER, la fusión se reproducirá a una escala mucho más modesta que en el Sol. Pero eso también significa que las temperaturas deberán ser superiores, hasta diez veces más, para obtener una fuente de energía práctica. En el proceso ITER, el combustible para los reactores de fusión se presenta en dos formas de isótopos del hidrógeno: deuterio y tritio, siendo necesario para que ocurra la fusión, su calentamiento a 150 millones de grados centígrados. Este calentamiento produce un “gas ionizado” a alta temperatura, que es el Plasma (cuarto estado de agregación de la materia). Para producir energía de fusión de manera continua, el plasma se debe controlar, calentar y contener utilizando potentes campos magnéticos. El corazón del experimento ITER es el Tokamak más grande del mundo (Un Tokamak tiene forma toroidal, Fig 20).

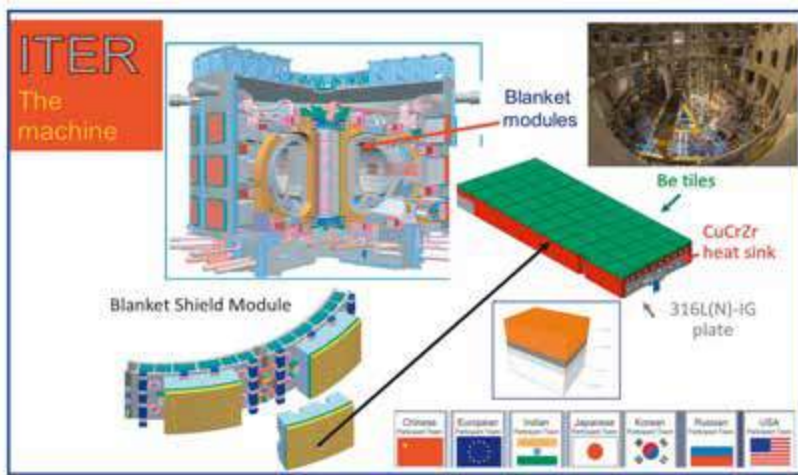


Fig 20. Esquema del reactor de fusión Tokamak (PROYECTO ITER) presentando distintos materiales en partes específicas y particularmente la utilización del Berilio sobre las losetas y solución aportada desde el Centro de Proyección Térmica (CPT-UB) tanto para el disipador térmico como del escudo de Berilio basadas en las tecnologías de recubrimientos por Proyección Térmica. Fotografía de la instalación en construcción (parte superior derecha) y consorcio de los países participantes.

El primer Tokamak se concibió en Moscú en los años 60 y se diseñó específicamente para crear una jaula magnética, tan complicada como ingeniosa, capaz de confinar un plasma de alta energía.

En un dispositivo Tokamak se utilizan campos magnéticos muy potentes para confinar y controlar el plasma. El corazón del Tokamak es una cámara de vacío en forma toroidal. Dentro de esta cámara, y bajo la influencia de enormes presiones y temperaturas, el combustible de hidrógeno gaseoso se convierte en plasma para permitir la fusión de los átomos del hidrógeno. Las partículas cargadas del plasma pueden controlarse mediante las enormes espirales magnéticas que hay ubicadas alrededor de la vasija; habrá que fabricar más de 100.000 kilómetros de los cables superconductores de niobio y estaño que se enrollan en la estructura toroidal de los imanes y que trabajan a temperaturas de 269°C bajo cero.

Este Tokamak será capaz de generar 500 millones de vatios (MW) de energía de fusión en continuo, durante ciclos de hasta 10 minutos.

El reactor ITER tiene un coste de 18.000 millones de euros, esta soportado por la Unión Europea (España como estado miembro participa), Rusia, China, Estados Unidos, Japón, Corea del Sur y la India, se está construyendo en el que se eligió como emplazamiento europeo, Cadarache (Provenza Francesa en el sur de Francia), en estos momentos está en el ecuador de la construcción y está previsto que entre en funcionamiento en diciembre de 2025.

Los materiales (Fig 20) que intervienen tanto en la construcción de la vasija externa en cuyo interior se dispondrá el reactor han sido elegidos de forma rigurosa comprometiendo la Segu-

ridad de la instalación por encima de otros condicionantes. Así el reactor o cámara de vacío está previsto que tenga 30 metros de alto y otros tantos de diámetro, un peso de 23.000 toneladas y, albergará 840 metros cúbicos de plasma. El conjunto de piezas que forman el proyecto ITER comprende un global de más de 10 millones y entre los materiales novedosos destaca la utilización del Berilio ya que es muy eficiente para reducir la velocidad de los neutrones así como para reflejarlos (Guilemany et al. 2013).

En definitiva el objetivo es, como en todos los procesos de energías alternativas, lograr una energía limpia, abundante, segura y barata para dar respuesta al desafío energético del futuro.

Energía del Hidrógeno

La principal característica del hidrógeno frente al resto de combustibles es que posee casi 3 veces más energía en masa que el resto. Por lo tanto no es de extrañar que desde mucho antes del comienzo de este siglo ya se viniera hablando de la “economía del hidrógeno”, que presentaba un escenario energético de futuro en el que el hidrógeno se utilizaría para reemplazar a los combustibles fósiles. La ventaja del hidrógeno es que su combustión solo produce agua y calor sin emisiones contaminantes. Su utilización en pilas de combustible para producir electricidad ya acredita que es una forma limpia y eficiente de generación de energía utilizable en numerosas aplicaciones; en resumen, el hidrógeno es un portador de energía limpio, sostenible, versátil y eficiente.

Aunque el hidrógeno es el elemento más ligero y abundante en el Universo, en la tierra solo se encuentra formando moléculas de otros elementos como el agua o los hidrocarburos (Valladares. 2017). Por lo tanto los 65 millones de toneladas de Hidró-

geno que se producen en el mundo lo son o por reformado de hidrocarburos de combustibles fósiles como el gas natural (El reformado es un proceso térmico donde el hidrógeno se obtiene a partir del metano del gas natural mediante una serie de reacciones con vapor de agua a alta temperatura) ó a partir de la electrolisis del agua (alrededor de un 4%).

El almacenamiento de hidrógeno constituye uno de los principales desafíos para el desarrollo de sus aplicaciones para lo que se siguen tres vías:

- a) Confinando el hidrógeno en estado gaseoso a alta presión.
- b) En estado líquido a temperatura criogénica.
- c) En estado sólido asociado física o químicamente con otros materiales. Así los hidruros metálicos ofrecen un importante potencial para el almacenamiento a baja presión. El desarrollo de nuevos hidruros, con elevada capacidad de almacenamiento, ligeros y de bajo coste, con reducidas temperaturas de desorción y cinéticas rápidas de carga y descarga, son un importante reto de futuro así como también determinados compuestos intermetálicos como el TiFeMn (Bellosta von Colbe. 2019) y los materiales nanoestructurados una gran esperanza.

El binomio Hidrógeno y Pilas de Combustible (Fuel Cells) de hidrogeno aparecen como una solución ideal para los problemas asociados a la industria del transporte en un horizonte a medio plazo (Satyapal. 2017), ya que ofrecen mayor eficiencia energética que los motores de combustión interna y solo producen emisiones de vapor de agua. Sin embargo hay que tener en cuenta las luces y sombras de esta tecnología frente por ejemplo al caso concreto del coche eléctrico y las baterías de iones litio con las que estos funcionan.

Por lo tanto las pilas de combustible son trascendentales para la implantación de la energía del hidrógeno y estas son sus características actuales que permiten analizar el estado de la cuestión:

Pilas de combustible:

Las pilas de combustible están formadas por dos electrodos separados por un electrolito siendo el combustible el hidrógeno que se descompone en uno de los electrodos produciendo electrones y protones generando una corriente eléctrica.

Al tratarse de un proceso electroquímico el rendimiento es muy alto y cercano al 80%, no produce emisiones contaminantes, el funcionamiento es silencioso y permite la generación de energía tanto en aplicaciones portátiles como estacionarias y fundamentalmente para la sustitución de los motores de combustión interna.

Existen varios tipos distintos de pilas de combustible que se clasifican, por lo general, por el intervalo de temperatura de trabajo y por la naturaleza del electrolito:

De Membrana Polimérica (PEMFC); Pilas de Combustible de Metanol Directo (DMFC); Alcalina (AFC); Ácido Fosfórico (PAFC); Carbonato Fundido (MCFC) y Óxidos Sólidos (SOFC).

De todas ellas las PAFC fueron las primeras en ser comercializadas seguidas de las MCFC y las AFC.

En las pilas que operan a bajas temperaturas (PEMFC, AFC, PAFC) son los protones e iones hidroxilo los que transportan la carga, mientras que en las pilas de alta temperatura (MCFC, SOFC) son los iones carbonato y óxido respectivamente los portadores de carga.

Por otra parte, las celdas con electrolitos ácidos (PAFC, PEMFC) presentan transporte de cationes (H^+) hacia el cátodo, mientras que en las de electrolitos básicos (AFC, MCFC, SOFC) hay transporte de aniones OH^- , CO_3^{2-} , O^{2-} , hacia el ánodo. Esta diferencia da lugar a la producción de agua en el cátodo y ánodo respectivamente. De entre ellas se destacan:

Pilas de Membrana Polimérica (PEMFC). El electrolito de estas pilas es una membrana de intercambio iónico que es un excelente conductor protónico. Las temperaturas de trabajo son de 60 a 120°C obteniéndose rendimientos del 40 a 50%.

Las bajas temperaturas de trabajo hacen que sean sistemas idóneos de utilizar en transporte. Las mayores compañías de fabricación de automóviles han desarrollado y están desarrollando camiones, autobuses (USA, UK, Japón, Alemania, Noruega entre otros), tranvías y trenes (Alemania, ya dispone de un tren de hidrógeno desde 2018 que desarrolla una velocidad de 140Km/h y una autonomía de 1.000Km, se trata del Coradia iLin **fabricado por la** empresa acreditada francesa, Alstom) y coches, ya hay 11 empresas constructoras de automóviles, muy acreditadas en el mundo, que comercializan estos coches de hidrógeno (Valladares. 2017). Una de las marcas comerciales ya ha desarrollado coches que han alcanzado velocidades de 310 Km/h y autonomía a depósito de carga total de hidrógeno de 1.000 Km.

Pilas de Combustible de Metanol Directa (DMFC). Por otra parte las mismas Pilas Poliméricas se pueden alimentar con metanol (en lugar de hidrógeno) resultando las (DMFC). El metanol se oxida directamente en el ánodo situándose su rango de trabajo entre los 50 y 100°C.

La aplicación más inmediata son, el transporte y soporte energético para aplicaciones domésticas como para ordenadores y

móviles y representan una opción viable en competencia con las baterías de iones litio.

La principal ventaja es que el almacenamiento del metanol no requiere grandes y voluminosos aparatos como los dispositivos de Hidrógeno, con una reducción drástica de costes y ello a pesar de que el catalizador que utilizan es de platino.

Pilas de Combustible Alcalinas (AFC). Emplean KOH concentrado (85% peso) como electrolito con un rango de temperaturas de trabajo en torno a los 250°C con eficiencias del 70%. En realidad este tipo de celdas es el que la NASA viene utilizando en misiones espaciales ya que se usan para proporcionar electricidad y agua potable a las naves espaciales.

Pilas de Combustible de Ácido Fosfórico (PAFC). Fueron las primeras y utilizan ácido fosfórico como electrolito siendo el cátodo de platino lo cual es un inconveniente por su precio. Trabajan a unos 220°C y la eficiencia puede llegar al 80% en el caso de cogeneración de energía eléctrica por vapor de agua. Son las que se utilizan para autobuses de emisión cero en competencia con los eléctricos (Noruega, Alemania son ejemplos de su uso).

Pilas de Combustible por Carbonato Fundido (MCFC). Emplean carbonatos alcalinos fundidos, (a 600 -700°C forman una mezcla eutéctica de alta conductividad iónica), que son fijados a una matriz cerámica de LiAlO_2 . La eficiencia puede llegar a ser de 80% con cogeneración. La temperatura de trabajo y el carácter corrosivo del electrolito afectan negativamente.

Estas pilas encuentran campo de aplicación en plantas de generación de gran potencia como las instaladas en USA, Italia y Japón.

También la industria naval en los barcos de hidrógeno utiliza este tipo de pila de combustible. Hay varios ejemplos en funcionamiento en el mundo pero tal vez destacar por su novedad, el catamarán “Energy Observer” construido por una empresa japonesa muy conocida en el mundo de la automoción (Toyota) que está dando la vuelta al mundo en estos momentos, utilizando esta tecnología al generar y almacenar el hidrógeno mediante electrolisis del agua de mar. No habrá emisiones de ningún tipo ni a la atmósfera ni al medio marino y además es totalmente silencioso.

Pilas de Combustible De Óxidos Sólido (SOFC). Son las que están generando mayor actividad investigadora y comercial después de las poliméricas.

Se basan en la capacidad de ciertos óxidos de permitir el transporte iónico a temperaturas moderadamente altas (600-1000°C) consiguiendo eficiencias del 85% con la cogeneración. El electrolito normalmente es la Circona parcialmente estabilizada con Ytrio o Escandio, (Fig 21).

Su principal campo de aplicación está en la generación de electricidad en plantas de varios cientos de KW, como las desarrolladas por una empresa alemana acreditada (Siemens). También se están comercializando con vistas a implementarse en el sector del transporte.

NEW TECHNOLOGY TO PERFORM PLANAR SOFC

The proposed NEW technological solution that is presented is based on the possibility to perform a low cost Solid Oxide Fuel Cell using only one technology for the three layers. This type of cells are a good solution for medium-large devices and combined heat and power systems.

This process is specially designed for planar cells, that could be self assembled (Fig1) or porous substrate assembled (Fig2). There are few thickness and size limitations, allowing to the customer the self design of the better cells for their stacks. The temperature working range is from 600°C to 900°C. The use of gradient layers improve the three phase contact area and reduces the mismatch problems.



NEW TECHNOLOGY ADVANTAGES:

- Excellent combination to build COMBINED HEAT AND POWER (CHP) systems
- SELF-ASSEMBLED and POROUS SUBSTRATE
- GOOD ADHESION between the different layers
- ONE ECONOMIC PROCESS for the three layers
- No SIZE or THICKNESS limitation
- Suitable for all SOFC stacks sizes
- Customer SELF DESIGN
- Operation range between 600-900°C

CATHODE REACTION:
 $\text{O}_2 + 4e^- \rightarrow 2\text{O}^{2-}$

CATHODE: La2O3/CeO2 (Porous)

ELECTROLYTE: YSZ (Dense)

ANODE REACTION:
 $2\text{H}_2 + 2\text{O}^{2-} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 4e^-$
 $2\text{CO} + \text{O}^{2-} \rightarrow 2\text{CO}_2 + 4e^-$

ANODE: Ni/YSZ (Porous)

OXIDANT (upward arrow) **FUEL** (downward arrow)



EFFICIENCY: Fuel cells are generally more efficient than combustion engines.

SIMPLICITY: Leading to high reliable long-lasting systems without moving parts.

LOW EMISSIONS: The by-product of the main fuel cell reaction, using H_2 , is pure water.

SILENCE: Fuel cells are very quiet.





Fig 21. Nueva tecnología basada en la fabricación de baterías SOFC planas desarrollado en el Centro de Proyección Térmica (CPT)- UB. Protegido por propiedad Industrial (Guilemany et al. 2012). Se basa en la formación en un solo proceso de proyección térmica plasma APS y de forma secuencial el Cátodo, el Electrolyto y el Ánodo.

Hay que tener en cuenta otro tipo de pilas de combustible como son las de Combustión Biológica (MFC), Pilas de Combustible de Borohidruro (BHFC), Pilas de Combustible de Ácido Fórmico Directa (DFFC), Pilas de Combustible Etanol Directa (DEFC). De estas las más interesantes son las regenerativas:

Pilas de Combustible Regenerativas (RFC). Son dispositivos híbridos capaces de separar agua en sus componentes básicos H_2 y O_2 , por medio de un electrolizador que funciona con Energía Solar. El H_2 y el O_2 generados son posteriormente utilizados como combustibles y oxidantes de una pila de combustible para generar, electricidad, calor y agua. Esta última se vuelve a recircular hasta el electrolizador. La principal ventaja es que no hay

que desarrollar una infraestructura específica para el manejo del H_2 mientras que el principal inconveniente es el de los costes extras para hacer la pila reversible.

En definitiva, el funcionamiento silencioso, con lo que reducen la contaminación acústica, el no producir emisiones ni residuos y su capacidad de entrar en operación en un tiempo corto, hace que puedan dar respuesta a numerosas necesidades actuales. Además el calor producido durante su generación puede ser utilizado en producir agua caliente.

Aparatos portátiles como los teléfonos móviles hasta equipos más voluminosos como generadores autónomos pasando por ordenadores, cámaras de video y cualquier otro uso cubierto por las baterías convencionales son susceptibles de ser sustituidas. Son más pequeñas y compactas que las actuales, el tiempo de operación será mayor, del orden de tres veces, frente a las convencionales, y se puede sustituir el combustible cuando se agotan.

Desde el punto de vista del sector del transporte, durante estos últimos años se ha empezado el desarrollo del mercado del hidrógeno que requiere la construcción de una infraestructura de distribución similar a las actuales estaciones de servicio para asegurar el suministro basado en producción centralizada y gasoductos adaptados o por nuevas redes de tubería. La producción descentralizada en las propias estaciones de servicio que utilicen unidades de reformado o electrolizadores que incorporen sistemas de licuefacción y almacenamiento completaran el panorama de las infraestructuras a medio/largo plazo.

En USA solo en 2016 ya se han exportado al resto del mundo más de 60.000 pilas de combustible y en 2017 las empresas más acreditadas en la fabricación de coches a nivel mundial

han programado un plan de apertura de más estaciones de servicio (“Hidrogeneras”) a nivel mundial para atender a los futuros clientes y en estudios de prospectiva de la Unión Europea indican que Europa en 2025 debería disponer de un mínimo entre 5.000 a 10.000 estaciones de servicio de hidrógeno. Según la Asociación del Hidrógeno de España (AeH2) se estima que en el 2030 habrá 140.000 coches circulando con este tipo de combustible en España.

Otro aspecto importante en favor de la tecnología del Hidrógeno es que éste puede jugar un papel relevante y complementario consistente en el almacenamiento de energías ya que todo el exceso de energía eléctrica provenientes de otros sectores de energías renovables puede ser recuperado utilizando, estos excedentes, para producir hidrógeno. Así el Hydrogen Council de USA, (2017), estima que en los próximos años, entre 250 y 300 TWh de energía excedente solar y eólica se podrían recuperar si se convierten en hidrógeno.

SECTOR DEL TRANSPORTE Y DEL ESPACIO

Estos sectores vienen presididos por los conceptos de ligereza en los materiales, ahorro del combustible y seguridad además de control medioambiental. Muchos son los aspectos innovadores que se podrían citar aunque más en la vertiente del transporte terrestre que en el sector aeronáutico ya que particularmente es éste último un sector muy “conservador” que está atenazado por las lógicas cuestiones de normativa de seguridad con lo cual la flexibilidad en el producto y en nuevos materiales necesita de un tiempo de acreditación, revalidación y auditorias sucesivas, relativamente largo.

Vehículo Eléctrico

El avance decidido en el sector del transporte por contaminación/emisiones cero nos ha llevado al coche eléctrico, que no es nuevo como innovación de este siglo, ya que en el siglo XX y como desarrollos del siglo anterior (las primeras baterías recargables ya aparecieron en 1880), el coche eléctrico era el más utilizado por encima de los coches de vapor y de combustión y ello hasta 1908 cuando Henry Ford produjo, en cadena, el popularísimo Ford T de combustión que hizo que el vehículo eléctrico perdiera definitivamente la carrera.

Prácticamente a finales del siglo pasado y particularmente a lo largo de estos últimos 10 años el resurgir del coche eléctrico ha sido espectacular y ello cuando se han llegado a producir baterías fiables y de largo recorrido, entre las que destacan y en particular las de base iones Litio (Dinger. 2013).

Baterías

La batería de **iones litio (Li-Ion)**, es un dispositivo diseñado para almacenamiento de energía eléctrica que emplea como electrolito una sal de litio que consigue los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo. Actualmente los coches eléctricos que se comercializan recurren a baterías de iones litio con electrolito líquido. Dentro de las baterías de iones litio hay a su vez diferentes subtipos de estas, con pequeñas diferencias químicas, al emplear diferentes elementos en el cátodo y el ánodo, o diferentes proporciones entre estos (por ejemplo las baterías de litio-hierro-fosfato son las más económicas, aunque tienen también menos capacidad por unidad de volumen y masa).

La novedad más importante que estamos viviendo los últimos años tiene que ver con las autonomías de los recargues al pasar de autonomías de unos 150 a 200 km, hasta los actuales 400 a 500 km, que lo ha sido de la mano del empleo de nuevas celdas de batería de iones litio con níquel y cobalto o baterías con celdas de litio-níquel-manganeso-cobalto. Normalmente se emplean ánodos de grafito, o grafito y silicio, y cátodos de litio- níquel- cobalto y aluminio o de litio- níquel- manganeso y cobalto, según los fabricantes. Estas últimas tienen además la ventaja de que tienen también una mayor vida útil (aproximadamente el doble) que las batería de iones litio “antiguas”, mientras que mantienen o mejoran ligeramente la velocidad de recarga y sin apenas aumentar el peso de la batería (algo menos de un 10%). Con ello se ha pasado de una energía específica (energía almacenada por unidad de masa) de unos 100 Wh/kg de las primeras baterías de iones litio, hasta aproximadamente entre 180 Wh/kg y 250 Wh/kg.

Las baterías siguen en permanente evolución y un nuevo tipo de **batería** de litio es la de **Litio y Azufre** que sigue empleando electrólito líquido, y su energía específica podría superar los 350 Wh/kg. Estas utilizan grafeno lo que las encarece pero son una prometedora realidad como lo son las baterías de litio metal que también necesitan del grafeno pero que dan valores de energía específica de 400 Wh/kg con lo que triplican la capacidad de las baterías de litio básicas.

Otro avance lo representan las baterías que modifican el electrolito líquido por uno sólido (denominadas **Baterías de Estado Sólido**) y que representan otro paso más allá de las baterías de Litio metal como lo son con sodio metal, en lugar de litio metal, siendo más barata y teniendo incluso mayor capacidad y con ventajas adicionales como que además pueden funcionar con apenas pérdidas de capacidad de carga a temperaturas am-

biente relativamente bajas (-20°C) lo cual vendría a solucionar un problema con los coches eléctricos actuales, en los cuales con temperaturas muy bajas la autonomía puede disminuir, en casos extremos, hasta tan solo la mitad de la autonomía teórica homologada. Las baterías de estado sólido parecen las mejor situadas para substituir las de ión litio.

Otra novedad lo está en el desarrollo de las baterías denominadas de **celdas de Metal- Aire** en las que aquí el metal puede ser diferente, litio, sodio o aluminio y parecen presentar la mayor energía específica de todas las desarrolladas, por encima de 1.600 Wh/kg.

Por una parte ya se han desarrollado las baterías de electrólito recargable también denominadas **Baterías de Flujo o Celdas Semi-Sólidas de Flujo**. En este caso la filosofía es muy distinta ya que en lugar de conectar eléctricamente la batería del coche lo que se hace es vaciar los dos depósitos del ánodo y cátodo y cargarlos con los electrolitos adecuados que luego interactúan a través de una membrana porosa y generándose la corriente eléctrica (es un principio similar al de las pilas de combustible). Con este tipo de baterías se asegurarían hasta unos 1.000 Km de autonomía y del que ya existen prototipos rodando (El denominado, Quantino 48V, de una empresa alemana, nanoFlowcell Holding que acaba de recibir un encargo de un grupo internacional para la fabricación de 25.000 coches de este modelo). Naturalmente no hay que olvidar de que este coche presenta un inconveniente y es que el coche debe de usar dos depósitos con lo que aumenta el peso a transportar y a su vez este sistema necesitaría de una infraestructura de repostaje de los dos electrolitos que es inexistente hoy día, sin embargo, parece ser que tiene futuro por lo que se acaba de comentar.

Otra alternativa que se apunta para ciertos tipos de vehículos eléctricos es la utilización de **Supercondensadores** en lugar de baterías ya que los condensadores son dispositivos eléctricos capaces de almacenar energía eléctrica durante la carga gracias a un campo eléctrico, y devolverla después al circuito cuando cesa la carga. Su ventaja es que se pueden cargar y descargar muy rápidamente, en tan solo segundos, y tienen una vida útil realmente larga, pero el inconveniente es que la energía específica (alrededor de 30 Wh/Kg) es menor que en las baterías de iones litio. Se emplean por ejemplo en algunos autobuses eléctricos urbanos que se van recargando muy rápidamente en las paradas del recorrido. Para mejorar esta limitación de la energía específica se está trabajando con supercondensadores de grafito que pueden alcanzar, parece ser, los 64 Wh/kg de energía específica.

Intentando aunar lo mejor de ambos sistemas, también existen los conocidos como **Supercondensadores Híbridos** (LIC), por ser una combinación de condensador y batería de ion litio. Por ahora se han empleado en coches de competición híbridos, pero no está claro hasta donde podrá llegar su evolución.

Es evidente que de la mano de los coches eléctricos se está ante una parte de la Ciencia e Ingeniería de Materiales en constante evolución, desarrollo e innovación con un futuro pasando por el presente de dimensiones majestuosas e imprevisibles y en el que la presencia de las “Electrolineras” es pieza clave a la hora del repostaje. Que su evolución e innovación en el sector de la automoción es imparable, no hay duda, y así particularmente en Europa la decisión política del abandono del diésel y la gasolina en un corto espacio de tiempo (en España en 2040) obliga desde ya mismo a unas inversiones en el sector de la automoción.

ción difíciles de predecir aunque de momento ya se habla (Alix-Partner. 2018) de unos 316.000 millones de dólares en cinco años para lanzar unos 200 nuevos tipos de vehículos eléctricos en el mundo. Es evidente que hoy por hoy no está garantizada la electromovilidad y las baterías necesitan una consolidación técnica con una fiabilidad que aún no la tiene a nivel científico-técnico.

- En el sector de la automoción, entre otros, señalaríamos la incorporación de forma decidida de las aleaciones ligeras en sustitución total o parcial en las carrocerías de automóviles con resultados de una disminución sustancial del peso del vehículo, así como de los polímeros y/o materiales compuestos de matriz polimérica con la irrupción de la fibra de carbono como refuerzo en el paneleado interior. Por citar hechos representativos, en distintas marcas de turismos, en los últimos años se ha reducido el peso en carrocería hasta del orden de un 60%.
- La utilización de productos pulvimetalúrgicos en la industria de automoción ha experimentado en los últimos cinco años un aumento considerable así hoy un aproximadamente 80% de la producción mundial de las piezas pulvimetalúrgicas fabricadas (compactación + sinterización de polvos metálicos y como resultados unos sólidos con porosidad controlada- excepto en sinterización en fase líquida) están dirigidos a esta industria de la automoción (Erdemi. 2017). Desde la fabricación de los cojinetes antifricción de toda la vida a la fabricación de piezas de aleaciones ligeras base aluminio o de compuestos de matriz metálica base aluminio reforzado (caso del Al-CSi en los discos de freno) son los responsables de un descenso en el peso global de los automóviles. Pero a la industria pulvimetalúrgica hay que reconocerle su capacidad de innovación en la

búsqueda de nuevos mercados y es el caso del conformado del titanio/aleaciones para la industria aeronáutica o la fabricación de piezas de Espumas Metálicas (Metallic Foams) como las de Aluminio para zonas de impacto-cajas de colisión- para absorción de energía así como en fabricación Aditiva con la que está ahora mismo comprometida.

- Espejos fabricados de Berilio (desbastados y pulidos), han sido utilizados por la NASA para el telescopio espacial James Webb (el que será sucesor del telescopio Hubble) y que se espera será lanzado al espacio en mayo de 2020. Se ha elegido el Be por ser ligero y resistir temperaturas de alrededor de -223°C en el espacio. (NASA. 2018).
- El vehículo robotizado MARS (NASA- Rover Curiosity), que aún está en activo explorando la superficie de Marte desde 2012, contiene Aleaciones Inteligentes (Fig 22) de Memoria de Forma de Ni-Ti en las cintas de rodadura y en muelles, por su gran capacidad de amortiguamiento (NASA 2018) y exactamente sucede con el vehículo robotizado (Rover YUTU-2) enviado muy recientemente (Enero 2019) a la cara oculta de la luna en la expedición de la R.P.China, Chang'e 4.

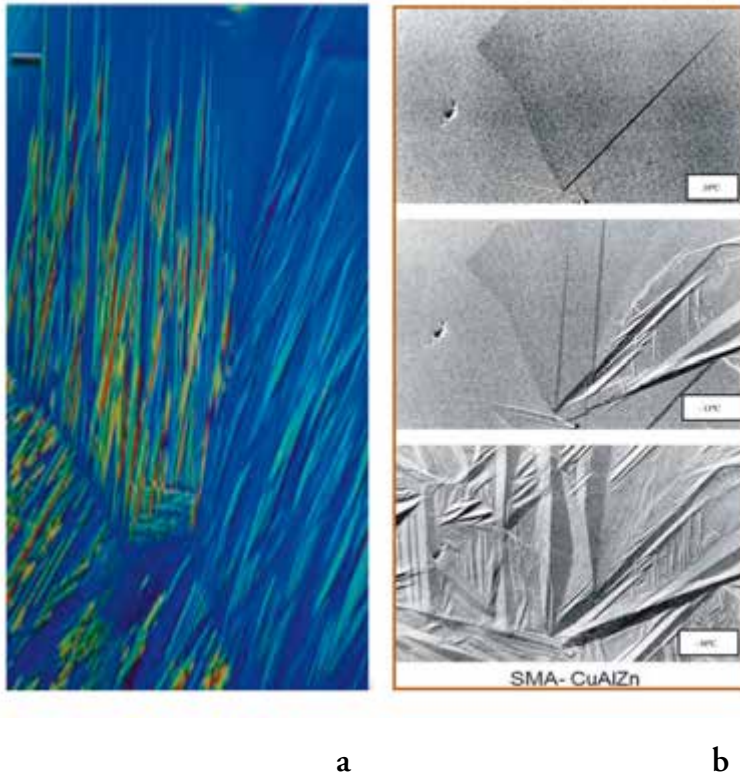


Fig 22 Aleaciones con Memoria de Forma: a) Microestructura en Microscopía Óptica de Martensita reversible con propiedades pseudoplásticas, fácilmente deformable, obtenidas en el Departamento de Metalurgia de la UB. b) Tres microestructuras en evolución desde la fase β original (16°C) a la martensita en transformación al disminuir la temperatura (-11°C y -36°C) en ensayo insitu en el interior de un Microscopio Electrónico de Scanning, (Guilemany et al. 1987). Las placas martensíticas formadas se alojan sobre planos cristalinos de la fase β original perfectamente definidos. Estos trabajos se realizaron conjuntamente con la Universidad Católica de Lovaina (Prof. Luc Delay, profesor visitante de la UB), la Universidad de Southampton, UK (Prof Brian Mellor, profesor vitante del CPT-UB), La Universidad Politécnica de Catalunya (Prof. Vicenç Torra) y la Universitat de les Illes Balears (Prof. Eduard Cesari).

Tampoco hay que olvidar el uso que se ha hecho y se sigue haciendo de las Aleaciones Inteligentes con Memoria de Forma (Shape Memory Alloys - SMA) en todos los despliegues de antenas y paneles solares en los satélites y telescopios de la industria

espacial (a modo de brazos despleables), ya que, las aleaciones SMA han estado presentes en su doble función de forma recogida de las estructuras a baja temperatura y estructuras despleables al aumentar la temperatura, así es el caso y, por su ejemplaridad, de su utilización en el Telescopio Hubble (The Hubble Space Telescope-HST-) ya mencionado.

APLICACIONES DIVERSAS

Dentro de éste apartado se incluyen un conjunto de sectores diferentes y diferenciados de los anteriores en el que algunos de ellos son de gran interés al representar sectores emergentes, muy dinámicos y altamente innovadores con enormes posibilidades de futuro de acuerdo con las condiciones de contorno.

Materiales para sensores, fotocatalíticos y eliminación de contaminantes medioambientales

Se trata de materiales que por sus características y de acuerdo con sus propiedades pueden actuar ampliando las limitaciones de nuestros sentidos así hay que englobar la utilización de materiales que actúan como narices, lenguas y visión artificial.

- La nariz electrónica se define como un instrumento dotado de sensores químicos y de programas informáticos de reconocimiento de modelos que es capaz de reconocer y comparar olores individuales o complejos. Por lo general están basados en materiales de óxidos semiconductores, materiales compuestos polímero/polímero conductores, captosres piezoeléctricos aunque también colorantes o tintes que se usan como olfatos electrónicos o sistemas gustativos.

El interés de disponer de los mismos está basado en la necesidad de avanzar de forma rápida en sistemas de seguridad (tanto en el ámbito civil como militar), en la detección de explosivos, drogas, infecciones. Además la necesidad de sensores bioquímicos que detecten la presencia de elementos patógenos para detección precoz de enfermedades es otro campo de enorme interés.

En el campo biomédico (Wojnowski. 2017) las narices electrónicas se han probado en el diagnóstico de infecciones pulmonares; también en la detección de enfermedades en las vías urinarias así como en casos de infección bacteriana.

- La presencia de contaminantes en el aire en las ciudades causa un número considerable de enfermedades en vías respiratorias que afectan a muchas personas en todo el mundo y según la Organización Mundial de la Salud- (OMS 2017) llegaron a causar del orden de 7 millones de muertes prematuras. Este hecho genera un gran impacto humano en la sociedad además de un significativo coste económico debido a los tratamientos médicos para diagnosticar y mitigar los síntomas de los pacientes afectados. Los avances de los últimos años en ciencia y tecnología de los materiales han generado diversas soluciones tecnológicas en cuanto el tratamiento del aire en ambientes urbanos y la reducción de la exposición de los ciudadanos residentes en ciudades a los gases nocivos.

La utilización de óxidos específicos como el óxido de titanio TiO_2 y su empleo como fotocatalizadores (Gardon 2013b,c), son capaces de eliminar contaminantes inorgánicos y orgánicos gracias al efecto fotoactivo del material al ser irradiados, por ejemplo con luz ultravioleta, o luz visible. Fundamentalmente, Fig 23, los fotones excitan los electrones desde la banda de valencia del material hasta la banda de conducción.

Ambos, electrones y huecos fotogenerados son capaces de degradar los contaminantes a través de diferentes mecanismos y reacciones de oxidación-reducción. Moléculas de agua y oxígeno adsorbidas sobre la superficie del sólido reaccionan con el par electrón-hueco fotoexcitado formando especies oxidantes como radicales hidroxilo o aniones de oxígeno. Son estas especies las que tienen la capacidad de degradar los contaminantes e incluso bacterias presentes en el ambiente a través de una reacción catalizada por el propio material.

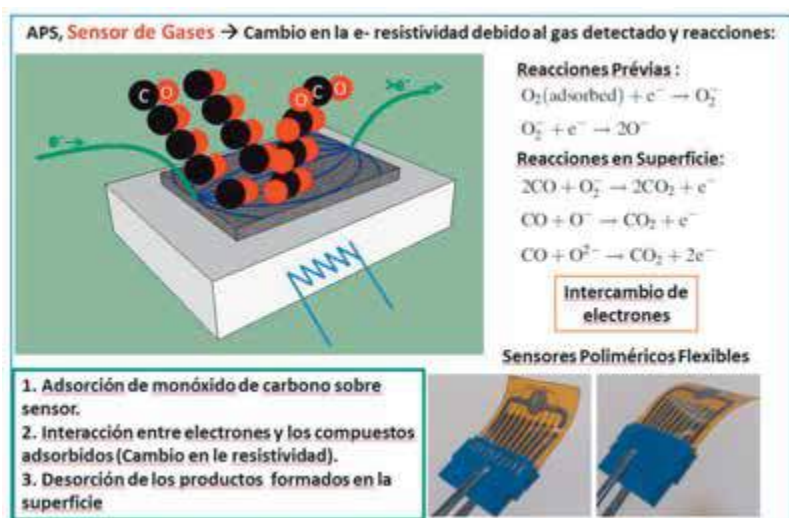


Fig 23. Esquema de sensor obtenido por Proyección Térmica APS (Sobre polímeros flexibles) y reacciones químicas que tienen lugar que conllevan a un cambio de la resistividad y una señal de detección correspondiente del gas contaminante atmosférico. Sensores realizados en el Centro de Proyección Térmica (CPT)- UB y caracterización de propiedades en el MIND- Dpto Electrónica-UB .

Los recubrimientos con propiedades fotocatalíticas han demostrado que el tolueno, el NH_3 en fase gaseosa, el CO se degradan completamente dada la alta capacidad de adsorción del material. En el Centro de Proyección Térmica se han obtenido recubrimientos innovadores de materiales cerámicos tipo TiO_2 que cu-

bren expectativas de mercado interesantes ya que se extienden más allá de las industrias más convencionales. Así, por ejemplo, la posibilidad de modificar superficies de edificaciones, instalaciones y materiales de construcción con el fin de que eliminen contaminantes del aire con luz visible dispone de un mercado atractivo tanto en el sector público como en el privado.

Dotar a las edificaciones urbanas de este tipo de materiales por ejemplo en forma de recubrimientos es de gran interés para la Administración de cualquier territorio con ciudades afectadas con las habituales emisiones de gases contaminantes. Pero es que no sólo es aplicable en el exterior de los edificios, sino que garantizan ambientes libres de contaminantes y bacterias en el interior de edificios y hogares lo que supone un mercado de alto interés. Eliminar especies orgánicas o inorgánicas a través de la luz asegura un entorno doméstico benigno. Así pues, constructores y fabricantes de mobiliario para cocinas y / o baños donde la emisión de vapores y malos olores se den habitualmente suponen un cliente potencial.

La industria química, farmacéutica y biomédica también requiere asegurar entornos con un control exhaustivo del ambiente. Cámaras blancas, hospitales, laboratorios y otras salas donde estas características sean necesarias pueden requerir de los materiales que se comentan. Pero es que a su vez los fabricantes y suministradores de aire acondicionado tanto en ambientes domésticos como industriales se pueden beneficiar de estos recubrimientos ya que los propios dispositivos de los aparatos de ventilación se pueden equipar con este material, eliminando bacterias y gases contaminantes en la entrada de aire de cualquier instalación. Este mercado es extensible a otros productores de sistemas y conducciones/cámaras de ventilación como los que hay en el sector de la automoción y aeronáutico por citar dos sectores específicos y muy concretos.

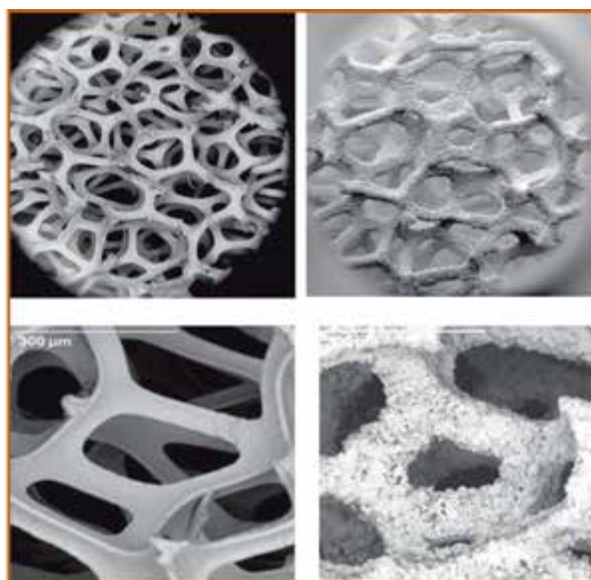


Fig 24. Espumas de Ni sin recubrir y recubiertas (microestructuras SEM) realizadas en el Centro de Proyección Térmica (CPT) de la Universitat de Barcelona. Los recubrimientos pueden ser del tipo fotocatalíticos base TiO_2 u otros óxidos o de fases específicas como las denominadas de Magnéli (Mezcla de Óxidos de titanio no estequiométricos $\text{Ti}_n\text{O}_{2n-1}$), para aplicaciones en celdas Grätzel en las que actúa como material fotosensible (Gardon. 2013a).

- La reducción de contaminantes en fase acuosa también resulta una aplicación muy atractiva. El principio de funcionamiento es el mismo que en el caso de la fase gaseosa, convirtiéndose en una solución industrial de gran interés para la industria y la sociedad. Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales y Potabilizadoras son clientes potenciales; habilitar los tanques, tuberías y diferentes elementos en contacto con el agua a tratar con una superficie que acelere el proceso de degradación de contaminantes gracias a la acción de la luz supone optimizar considerablemente el proceso. Empresas dedicadas al saneamiento de agua potable pueden tener también gran interés en disponer de esta herramienta con el fin de asegurar una máxima calidad del agua suministrada.

La demanda de superficies fotocatalíticas y la posibilidad de producirlas de manera rápida, sostenible y de bajo coste, no se limita a la descontaminación del ambiente en ambientes urbanos ya que la solución tecnológica es aplicable a otros ámbitos de gran interés comercial, Fig 24, (Gardon. 2013c). Así, la acumulación de algas y microorganismos sobre superficies en ambientes marinos está generando un gran impacto económico en la industria portuaria y del transporte marítimo. La bioincrustación (biofouling) en el casco de los barcos reduce el rendimiento de las embarcaciones y a su vez aumenta el mayor consumo de combustible. El uso de recubrimientos fotoactivos sobre estas superficies genera especies oxidantes con la capacidad de degradar los microorganismos presentes. Por lo tanto, el mercado que supone la reducción o eliminación de elementos bioincrustantes sobre una superficie abre una oportunidad capaz de generar importantes beneficios. Además, esta aplicación también es extensible a otros sectores como es la eliminación de microorganismos y algas presentes en biorreactores de membranas, instalaciones de ósmosis inversa, refrigeración industrial para agua y / o centrales de transformación de energía.

También hay que resaltar los trabajos realizados con SnO_2 en la misma dirección de otros óxidos como el TiO_2 por ser un material igualmente fotocatalítico, sin embargo su finalidad fue otra que es el de producir cerámicas coloreadas mediante Proyección Plasma, para efectos decorativos y particularmente la industria biomédica como marcadores instrumentales o en prótesis dentales en comparación con el color natural de los dientes. Estos resultados (Dosta. 2012) indican que se pueden llegar a conseguir coloraciones dentro de una paleta que van del rojo, rosado al gris oscuro en función de la cantidad de SnO_2 amorfo formado y el pigmento utilizado en la composición química global de la mezcla formada en el polvo proyectado.

Materiales Celulares /Espumas

Es conocido que los materiales celulares se pueden clasificar, en función de su origen, en naturales y artificiales (fabricados por el hombre a semejanza estructural de los naturales y que también se les llama espumas). En la naturaleza los ejemplos de materiales celulares son muy abundantes, así desde el corcho, la madera, el coral, las esponjas, el hueso esponjoso o trabecular del cráneo, son ejemplos de sólidos celulares naturales.

La primera observación que hay que tener presente es que no hay que confundir los materiales celulares con los sólidos porosos (Liu. 2014). Los materiales celulares son sumamente porosos, lo que se refleja en la densidad relativa, definida como ρ/ρ_s , donde ρ es la densidad del material celular y ρ_s la del sólido volumétrico o compacto.

Los sólidos celulares (Fig 25) se pueden distinguir de los porosos teniendo en cuenta el valor de la densidad relativa en ambos casos. Los materiales celulares tienen valores de densidad relativa inferiores a 0.3, siendo lo más frecuente que el valor de esta propiedad este comprendido para estos materiales entre 0.02 y 0.2. La densidad relativa en los sólidos porosos siempre es superior a 0.3. Por lo tanto se trata de estructuras con una porosidad muy alta, típicamente del 75 al 95% del volumen consiste en espacios vacíos. La resistencia del material espumado posee una relación de ley de potencia con su densidad; es decir, un material denso al 20% es más del doble que un material denso al 10%. Los materiales celulares, en definitiva, son como una espuma con una geometría de células abiertas reticulada, ligada y conectada de forma continua. Tienen una densidad que oscila entre el 1% y el 20% teórico y una densidad celular de 5 a 25 celdas por cm lineal.

Los materiales celulares se producen actualmente en una amplia gama de todo tipo de materiales polímeros (Poliuretano, Poliestireno, PVC, Poliolefinas..), cerámicos (CSi), metales (siendo el más popular el Aluminio, aunque también se fabrican de níquel, cobre, plata, zinc, plomo, estaño, magnesio, titanio y acero inoxidable). Materiales compuestos de matriz metálica (como el Al reforzado con CSi, Al_2O_3) así como compuestos de matriz polimérica (como el Polipropileno reforzado con nanotubos de carbono) son otros ejemplos de espumas de interés tecnológico altamente innovadoras (Schaedler. 2016).

Se trata de una aplicación en crecimiento progresivo y continuado en sectores populares como el de la construcción (aislante térmico, sonoro, protección al fuego, entre otros), transporte, por su densidad (en automoción por su amortiguamiento al impacto en el caso del aluminio), paneles interiores en aviones y trenes y casco de yates en naval, entre otros son ejemplos representativos.

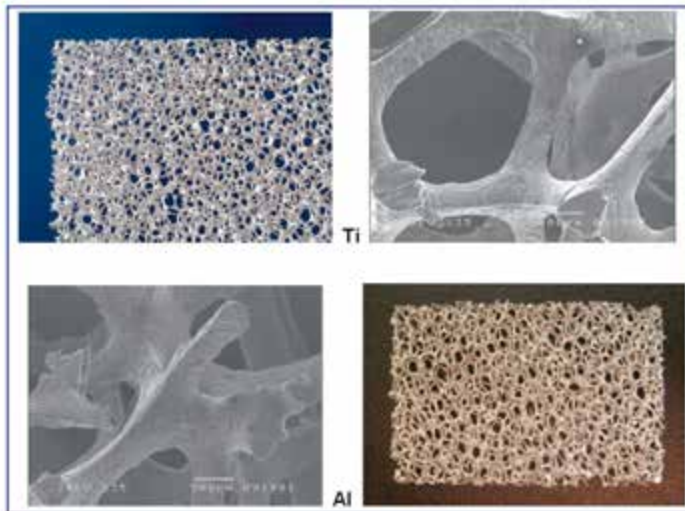


Fig 25. Ejemplos de espumas de Ti (parte superior) y de Al (parte inferior) macrografía y microestructura SEM. Diseñadas en el Departament de Ciència dels Material i Enginyeria Metal·lúrgica de la UB (Prof. Xiumu Zhang, Professor visitante) y fabricados en la Academia Sinica de la R.P.China

Materiales para el deporte y el ocio

Es éste un sector muy específico pero de alta capacidad de innovación y de un volumen económico elevado y con gran valor añadido. Hay muchísima información sobre aplicaciones de materiales en útiles deportivos de última generación como:

- Se siguen fabricando raquetas base aluminio, magnesio, titanio o de materiales compuestos de matriz metálica y compiten frente a aquellas de materiales compuestos de matriz polimérica reforzadas con fibra de carbono o incluso de nanotubos de carbono ya que absorben mejor la energía del golpe. En el mercado se introdujo en 2017 las raquetas de aleación de magnesio reforzadas con grafeno. Sin embargo la gran novedad desde Enero de 2019 es la que ha introducido una empresa acreditada (HEAD. 2019), que indica que estratégicamente ha distribuido el grafeno en el corazón y lo ha extendido por todo el marco, lo que proporciona una gran estabilidad y optimización de la transferencia de energía de la raqueta a la pelota, maximizando la potencia. Se ha presentado en el Open de Australia 2019 resultando ser la raqueta ganadora del torneo.
- Nanotubos de carbono aplicados a los sticks de hockey (HST. 2019) fabricados con fibra de carbono, Kevlar y Fibra de vidrio resisten entre el 60 y el 70% mejor al impacto que los convencionales de madera. No obstante los de madera siguen siendo populares y compitiendo e incluso se refuerzan externamente recubiertos con fibra de carbono o fibra de vidrio.
- De los palos de golf de acero se pasó hace ya unos cuantos años a las de aleaciones de aluminio por su ligereza pero se llegó, por su mejor resistencia, a los de titanio que hace muy pocos años fueron la gran novedad y entran hoy en compe-

tencia con las de circonio también de reciente implantación o los de materiales compuestos de matriz polimérica (epoxy) reforzados con fibra de carbono o fibra de boro.

En cuanto a los “hierros” no cabe duda que el diseño y sus características externas como el perfil de cara y en el acabado superficial es donde más adelantos se han producido siendo los aceros inoxidable del tipo PH (Endurecidos por precipitación) los que siguen siendo muy utilizados así como los bronce de aluminio para hierros más blandos (Golf Digest. 2019). La Ingeniería de superficies ha empezado a intervenir en este campo ofreciendo superficies al impacto muy variadas con recubrimientos estratégicos en los que están trabajando las empresas más acreditadas del sector mundial.

- Bates de béisbol ligeros de, materiales compuestos de matriz polimérica reforzada ó de titanio ó de aleaciones de aluminio altas en circonio y reforzados incluso con nanotubos de carbono (Goldsmith. 2019) mejoran a los de madera tradicional aunque a nivel profesional los de madera siguen siendo los más utilizados.
- En la industria del ciclismo también hay empresas que están apostando por el grafeno y ya lo han introducido, aunque en pequeñas cantidades (menos de 1%), a la fibra de carbono del que está formado el cuadro de la bicicleta (ASM. 2017).

Pero también se acaba de elaborar un nuevo compuesto para los neumáticos al mezclar grafeno con caucho y refuerzo con fibra de carbono que, se indica por parte de una compañía italiana (VITTORIA. 2019), estos neumáticos tienen una mayor durabilidad y agarre siendo un 15% más ligeros y un 18% más resistentes a los impactos que los neumáticos más resistentes ahora mismo en el mercado.

Con relación a los cascos protectores se está pasando de aquellos fabricados de polipropileno, poliestireno, policarbonato a diseños recientes que utilizan aramida reforzados con fibras de grafeno.

- Aleaciones de magnesio (Fernández. 2016), aplicados en los armazones de los carretes de pesca en sustitución de los poliméricos (Se fabrican a través de la tecnología de moldeo semisólido o Tixotrópico (Thixotropic)). El carrete en cuestión es más ligero que si se fabrica en aluminio y con mejor acabado que si se utilizara en material polimérico.
- De las tablas de surf fabricadas con resinas epoxi, espumas de poliestireno, poliuretano y algunas de ellas con refuerzos de fibra de vidrio (Single Quiver. 2018), se llegó a tablas de Surf fabricadas en fibra de carbono en estructuras tipo sándwich con aleación de aluminio, aunque, ahora hay un regreso a los materiales clásicos, en lo que se denomina eco-surf, con la utilización del corcho y la madera.
- Carcasas transparentes de violines fabricadas en resinas poliméricas de policarbonatos en sustitución de la madera así como más recientemente carcasas de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra de carbono están siendo introducidos en el mercado por parte de las empresas fabricantes acreditados a nivel mundial. Se trata de complementarse, con los clásicos violines de madera, ya que aportan una gama de frecuencias algo distinta. Los resultados científicos (Duerinck. 2018) así lo corroboran y abren una perspectiva innovadora en el campo musical con nuevos materiales aplicados al ocio.

Metamateriales

En Ciencia e Ingeniería de Materiales la búsqueda de Nuevos Materiales o de los convencionales con propiedades mejoradas es una constante. Las aplicaciones tecnológicas cada vez piden materiales cuyas propiedades pueden incluso ser antagonicas y no cumplen con las de los materiales naturales, convencionales o de síntesis que conocemos y utilizamos.

El concepto de metamateriales (en el sentido de la palabra griega meta, significa como el más allá o el más que los materiales), teorizado por primera vez en 1967 por el físico soviético Viktor Veselago, parte del hecho que utilizando una combinación, entre lo conocido en ciencia de materiales, de modelación matemática y herramientas predictivas basadas en procedimientos de mecánica computacional se puede llegar a un producto de cuya optimización alcanzar un objetivo que, no es un nuevo material en si en el concepto clásico, sino un nuevo sistema. Estos sistemas pueden abarcar desde superficies texturizadas de ingeniería, superficies artificiales de impedancia, conductores magnéticos artificiales, materiales DNG (doble negativo), superficies de frecuencia selectivas, superficies Photon-icBand (PBG), superficies/ estructuras Electromagnetic-Band-Gap (EBG) e incluso los fractalesoquirales (Bertoldi. 2017).

A modo de ejemplo, los metamateriales con estructuras artificiales o de diseño que presentan características electromagnéticas únicas e inusuales como es el hecho de presentar, la permitividad (ϵ) y permeabilidad (μ) magnética simultáneamente negativas, lo que les caracteriza y los diferencian del resto de los materiales magnéticos convencionales. También estructuras que producen la inversión de la ley de Snell (las ondas electromagnéticas viajan en dirección opuesta a la que normalmente

toman cuando pasan de un material a otro, y en este principio se basaría la invisibilidad del objeto) y del efecto Doppler (para un detector que se aleje del emisor, la frecuencia detectada sería más grande que la emitida, al contrario de lo que sucede en medios convencionales).

El descubrimiento de tales metamateriales está suponiendo el desarrollo de novedosos conceptos, dispositivos y aplicaciones, relacionados con campos tan diversos como seguridad civil y militar, medicina, industria aeroespacial, telecomunicaciones, entre otros pero específicamente es en el terreno de la transparencia del objeto o su invisibilidad donde hay una gran densidad de Trabajos recientes (invisibilidad magnética e invisibilidad acústica) se les denomina también metamateriales topológicos capaces de tener un índice de refracción ajustable ya que esto permitiría cambiar y guiar la dirección de las ondas, lo que abre la puerta a materiales que desvíen las ondas de luz visible y obtengan cierto rango de invisibilidad.

Materiales para la industria 4.0

Lo primero que nos tenemos que formular es si vamos a utilizar materiales distintos a los que hasta ahora hemos utilizado en las 3 anteriores revoluciones industriales y la respuesta es que probablemente no, pero añadiremos que sin estos materiales, los que venimos describiendo, no habría habido ni las tres anteriores ni tampoco la 4ª en la que estamos inmersos; evidentemente se seguirá trabajando en el diseño y generación de nuevos materiales que amplíen el espectro de las propiedades siempre limitantes de los conocidos hasta el día de hoy o que amplíen el abanico de nuevos campos de aplicación.

En esta revolución industrial, la 4ª, el concepto de Industria 4.0 con el que describe afecta a la organización de procesos pro-

ductivos basados en tecnologías y dispositivos que se comunican de manera autónoma a lo largo de la cadena de valor, sobre un modelo de lo que se denomina Fábrica Inteligente (Smart Factory). Dicho término, Industria 4.0, impulsa la transformación digital de la industria a través de la introducción de tecnologías que permiten la hibridación del mundo físico (dispositivos, materiales, productos, maquinaria e instalaciones) con el digital (sistemas software). Esta conexión permite que dispositivos y sistemas colaboren entre sí y con otros sistemas para crear la llamada Industria Inteligente en la cual el análisis de datos (Big Data), la Fabricación Aditiva y la Inteligencia Artificial son parte de sus protagonistas. En cualquier caso los materiales y para el caso por su naturaleza y propiedades cada material, seguirán siendo fundamentales para decidir de qué manera se tratan, se conforman, se modifican se transforman para convertirlos en piezas, componentes o productos finales que debidamente ensamblados formen el resultado final de la aplicación tecnológica colocada en el mercado.

❖ MATERIALES E INGENIERÍA DE SUPERFICIES

Si hay innovación en todo lo referenciado con anterioridad a lo largo de este documento, en cuanto a la contribución de los materiales en la Ingeniería de Superficies, la innovación es total.

A nivel económico si en 2015 el mercado mundial de la Ingeniería de Superficies se movió en un volumen de 141 billones de dólares, se espera que el año próximo, en 2020, se alcance un volumen de 164 billones de dólares, lo cual da una idea del interés y la necesidad de la sociedad industrial entorno a este sector de amplio y rápido crecimiento (Coatings World. 2018).

Teniendo en cuenta que es la superficie de los sólidos la que actúa directamente con su entorno de trabajo en condiciones atmosféricas o no, es lógico que sea ésta superficie la que responda por sus propiedades a las exigencias de durabilidad basadas en la resistencia necesaria para soportar estas acciones externas. Por ello el tratamiento superficial o la utilización de recubrimientos se ha convertido en paso obligado de los productos a nivel de aplicación industrial normalmente motivado por las limitaciones en las propiedades del material macizo (bulk) que desearíamos usar pero que no es lo suficientemente resistente.

Mediante un adecuado tratamiento superficial o mediante la formación de capa/recubrimiento delgado (Thin Film) o grueso (Thick Film), Fig 26, se pueden utilizar materiales a recubrir a un

coste muy inferior que si se utilizaran, de forma maciza (volumétrica), los del recubrimiento que se quiere aportar. Por otro lado se implementa una cultura del ahorro en materiales cuyo consumo en el mundo está alcanzando cuotas prohibitivas y determinando un agotamiento en sus reservas naturales además de unos precios de mercado desorbitados, y lo que queda por venir, pero es que a su vez contribuimos a una disminución en residuos al alargar la vida útil de la pieza o componente tecnológico evitando la rotura o degradación prematura del material no tratado o recubierto, en lo que podemos denominar cultura medioambiental.

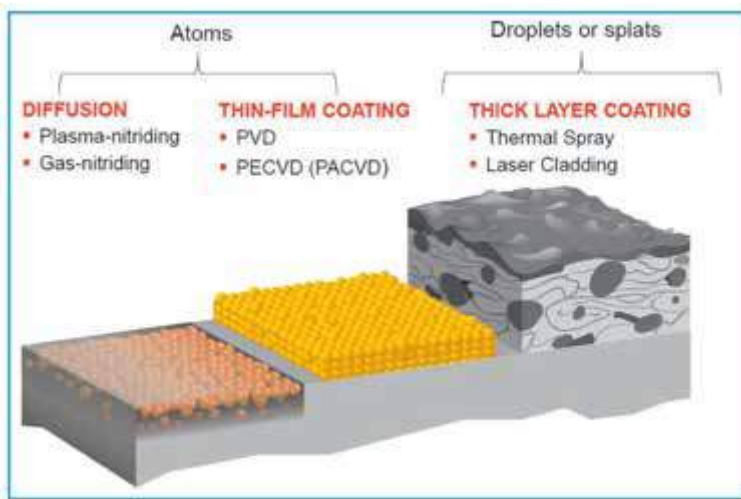


Fig 26. Ingeniería de Superficies, mecanismos en: los tratamientos Superficiales; formación de Capas y formación de Recubrimientos.

En lo que va de siglo XXI se ha pasado prácticamente de unos pocos tratamientos de superficie, conducentes básicamente al endurecimiento superficial, y a contados recubrimientos como el cromado, niquelado o el galvanizado, como protectores de resistencia a la corrosión de la superficie, a un enorme y variado panorama de técnicas diversas y, a su vez, complementarias ya que no existe en el mundo un tratamiento superficial o un **Recubrimiento Universal** que cumpla con todas las que llama-

mos condiciones de contorno. Por lo tanto esta diversidad de tecnologías y en la búsqueda de sus ventajas pero reconociendo sus limitaciones, que las tienen, y en su aplicación, hace que hoy día, podamos concluir que prácticamente cualquier tipo de sustrato, sea cual fuere su naturaleza, puede ser tratado superficialmente o recubierto de cualquier otro tipo de material, bien sea metálico, cerámico, polimérico o compuesto.

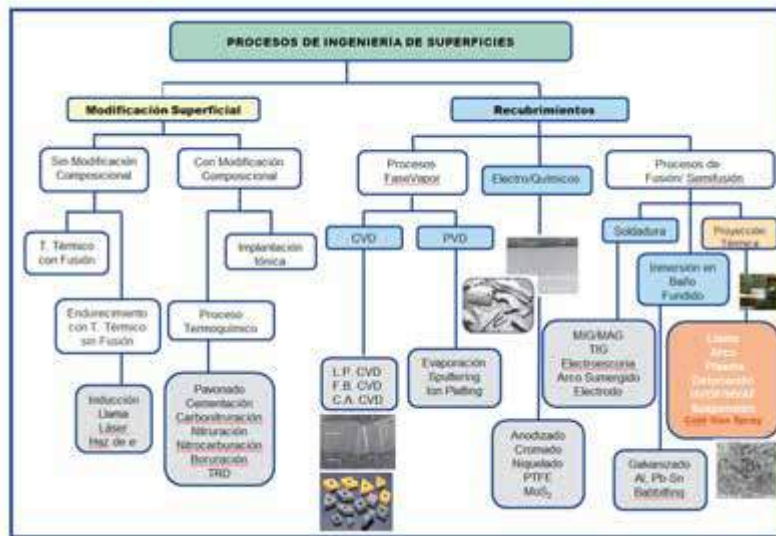


Fig 27. Ingeniería de Superficies: Procesos de Modificación superficial o de formación de recubrimientos

Desde modificaciones superficiales en tratamiento con Láser o mediante Implantación Iónica, a recubrimientos de alto valor añadido como PVD, CVD o Proyección Térmica, son algunas de las tecnologías más innovadoras del presente que lo hacen posible como resume la clasificación completa incluida en la Fig 27.

Las tecnologías avanzadas de recubrimientos han aportado procesos flexibles y rápidos muy al alcance de las innovaciones que la empresa necesita en un amplio campo de aplicaciones industriales y se ha pasado de los **Recubrimientos Protectores**, se

protegen substratos frente a propiedades simples como pueden ser, la corrosión; desgaste - abrasivo, erosivo, fricción-; al efecto térmico; aislándolo o dándole conductividad eléctrica o térmica, a **Recubrimientos Funcionales** para aplicaciones más específicas ya que agregan características adicionales como al caso para dotar al sistema de biocompatibilidad en su implantación en el cuerpo humano o hidrofobicidad en condiciones climáticas hostiles para finalmente, en estos momentos, llegar a los **Recubrimientos Inteligentes** que son capaces de ser sensibles con las condiciones del entorno adaptándose dinámicamente y respondiendo de manera adecuada al estímulo como en el caso de sensores y anticontaminantes ambientales o incluso en el caso de recubrimientos sobre implantes corporales que pueden liberar medicamentos en función del entorno molecular demandante, entre otros. La Fig 28, resume estos estadios añadiendo a su vez la evolución en el valor añadido que aportan.



Fig 28. Evolución de los Recubrimientos, convencionales, funcionales e inteligentes en función a las exigencias de aplicación tecnológica en Ingeniería de Superficies.

Las tecnologías de proyección térmica forman parte de la Ingeniería de Superficies que por sus características singulares permiten obtener recubrimientos de espesores variables e incluso grandes espesores (Figura 26) con propiedades específicas para satisfacer una necesidad industrial concreta

La característica común de las tecnologías de proyección térmica convencionales es el aporte de energía cinética y energía térmica al material de recubrimiento, normalmente en forma de polvo o varilla. El material de partida normalmente se funde total o parcialmente y se proyecta sobre una superficie limpia donde impacta e interacciona mecánicamente e incluso metalúrgicamente con el sustrato. Las características del recubrimiento dependen esencialmente del proceso de Proyección Térmica escogido, de los parámetros de proyección y del material a proyectar (Guilemany et al 2003; Sobolev 2004; Dosta 2006; Pawlowski 2008).

Las técnicas se clasifican en función del origen e intensidad de las energías aportadas; básicamente, a través de Combustión (Proyección Llama, Detonación, Alta Velocidad con Oxígeno (HVOF), Alta Velocidad con Aire (HVOF) o a través de descarga de Arco Eléctrico (Arco y Plasma). En la Fig 29, se representan las distintas técnicas en función del rango de temperatura en los gases y velocidad de las partículas.

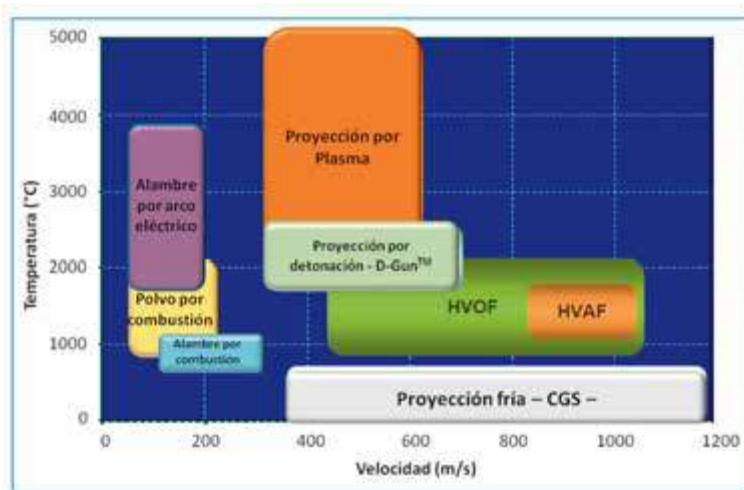


Fig 29 . Tecnologías de proyección térmica según el rango de temperatura del gas y velocidad de las partículas de polvo proyectadas.

En comparación con otros métodos de modificación superficial, la proyección térmica presenta una gran versatilidad en cuanto a los materiales que pueden proyectarse y los sustratos o superficies que se pueden proteger. Prácticamente todos los materiales que funden sin descomponerse dando una fase líquida estable, se pueden utilizar para formar recubrimientos por proyección térmica convencional. Aunque el material proyectado llegue al sustrato fundido o parcialmente fundido, la temperatura del sustrato en conjunto se mantiene cerca de la temperatura ambiente y en ningún caso próxima a sus puntos de fusión. En este caso, la forma y dimensiones externas así como las características estructurales y mecánicas del sustrato no cambian, a diferencia de lo que sucede en otras tecnologías como en soldadura y recargues soldadura, técnicas en las cuales se genera una zona afectada por el calor (ZAC) que normalmente introduce una zona de posible fragilidad en el material original.

Proyección fría CGS: Introducción

La proyección fría (Cold Gas Spray- CGS) se desarrolla a mitad de los años 1980 fruto de los trabajos del Prof. A Papyrin (Alkhimov 1986) y su equipo de investigación en el Institute of Theoretical and Applied Mechanics en la ciudad siberiana de Novosibirsk (Rusia), pero su introducción en el mercado mundial de las tecnologías no se produce hasta este siglo XXI, alrededor de los años 2007/ 2010, y ello en el momento en que la industria militar que las ha monopolizado cede al empuje del desarrollo tecnológico del momento (Champagne. 2007). Precisamente por haber sido pioneros a nivel Internacional en el Centro de Proyección Térmica (CPT) de la Universidad de Barcelona (que he dirigido por espacio de 24 años) al disponer de un equipo en 2009, utilizar y aportar resultados en primicia a lo largo de los últimos años presento en un muy breve resumen, los resultados innovadores que siguen a continuación. La Proyección Fría (Cold Gas Spray- CGS) es una técnica re-

ciente e innovadora que permite producir tanto Recubrimientos como Recargues y conformado de Piezas por Fabricación Aditiva, que pertenece dentro de la Ingeniería de Superficies al campo de la Proyección Térmica.

Esta técnica consiste en un proceso de **deposición de estado sólido** donde **no se produce la fusión** de las partículas de polvo que, como materia prima, son arrastradas por un gas comprimido a velocidades supersónicas que las deposita sobre un sustrato, donde se deforman y se unen rápidamente para formar una capa de material aportado.

Como la temperatura de trabajo es relativamente baja (siempre inferior a la temperatura de fusión), es ideal para depositar materiales sensibles a la temperatura como materiales nano-sub-micro estructurados e incluso amorfos y, como a su vez es muy rápida ya que trabaja a velocidades de deposición de partículas sólidas de 1 a 3 veces la velocidad del sonido, se pueden utilizar materiales reactivos sensibles al oxígeno sin oxidación alcanzándose recubrimientos finales de alta calidad.

La innovación introducida mediante esta técnica en comparación a otras se basa en una reducción del costo del material (materias primas en forma de polvos, gases de proyección, normalmente el nitrógeno), reducción de tratamientos superficiales (pre y post proyección), posibilidad de aumentar la vida útil de las piezas, reducción de los problemas asociados con la fusión del material (oxidación, corrosión, tensiones residuales a tracción, entre otras), el mantenimiento de las micro-nanoestructuras o amorfos iniciales, entre otras características, lo que hace que a su vez se esté hablando de una técnica que genera una tecnología, eficiente, más ecológica y económicamente más asequible que las técnicas convencionales de proyección y deposición y con ello se abre un posible potencial de aplicaciones en el futuro, nunca explorado hasta ahora.

Las ventajas con relación a las técnicas convencionales de Proyección Térmica han hecho que su introducción en el mercado mundial se haya hecho en un tiempo muy corto y los estudios de la fenomenología del impacto entre el polvo proyectado / sustratos o la aplicación tecnológica inmediata por las propiedades mejoradas que resultan se ha hecho en tiempos record y sigue en su interpretación.

Proyección fría CGS: La Tecnología

En Proyección Fría (CGS), (Bedoya. 2013; Villa. 2014; Moridi. 2015; Assadi. 2016; da Silva. 2017), el material de recubrimiento, en forma de polvo, se inyecta en un haz de gas inerte comprimido a presiones entre 25 y 50 bar (normalmente Nitrógeno y excepcionalmente Helio) y precalentado (en estos momentos y en el estado de la técnica, hasta 1.100°C) al que se le dota de velocidades supersónicas al pasar a través de una boquilla convergente/Divergente (Diseño Laval) que le aporta Energía Cinética para impactar sobre el sustrato a velocidad supersónica (entre 600- 1200 ms⁻¹, o incluso superiores). La Fig 30, muestra un esquema del proceso del que se denomina Proyección Fría de Alta Presión (HPCGS).

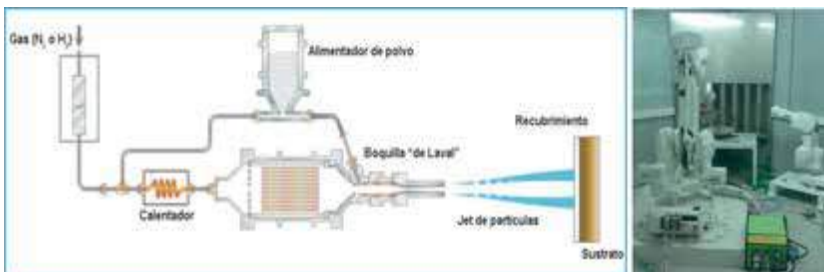


Fig 30. Esquema y dispositivo del proceso de proyección fría de Alta Presión – HPCGS (Equipo instalado en el CPT-UB).

Existen dispositivos de Proyección Fría de Baja presión (LP-CGS) en las que los gases (Aire o Nitrógeno) alcanzan presiones entre 4 a 10 bar y un precalentamiento con temperaturas máximas de 600°C. En estos dispositivos la introducción del polvo en el circuito lo es a la salida de la boquilla convergente-divergente con lo que se alcanzan velocidades muy inferiores ($300-600 \text{ m s}^{-1}$). Evidentemente es una técnica más limitada pero útil en determinados tipos de aplicaciones, sobretodo porque el equipo puede ser utilizado en modo portátil originando recubrimientos/ recargues insitu Fig 31.

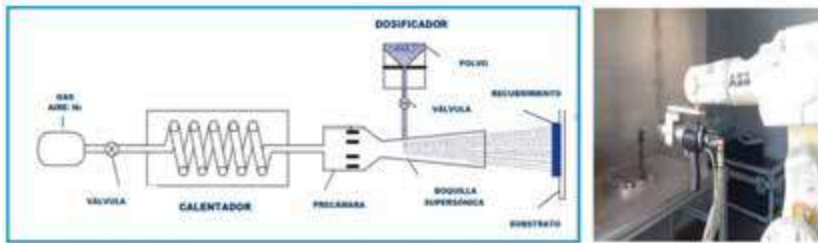


Fig 31. Esquema y dispositivo del proceso de proyección fría de baja presión – LPCGS (Equipo instalado en el CPT-UB).

La formación del recubrimiento del material por CGS resulta de impactos consecutivos de partículas sólidas de tamaño micrométrico en un sustrato. Las partículas de polvos de proyección fría son típicamente de 10-50 μm de diámetro, y la duración del proceso que va desde el impacto de las partículas en el momento del contacto inicial hasta la disipación total de la energía cinética transcurren aproximadamente 100 ns, Fig 32.

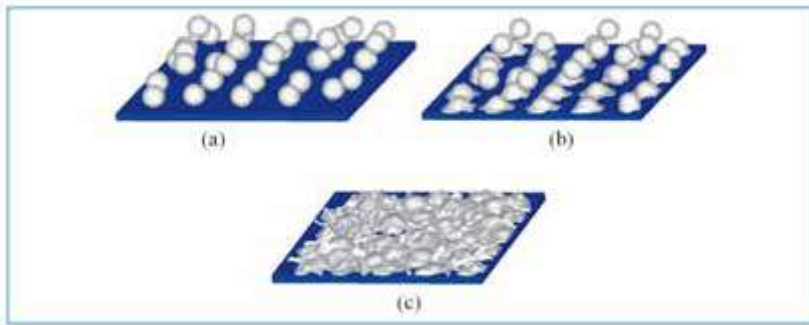


Fig 32. Proceso de formación de recubrimiento por proyección Fría: a) Impacto de las partículas de polvo sobre la superficie; b) deformación viscoplástica de las partículas y c) formación del recubrimiento. (Da Silva. 2017).

El impacto de la partícula se asocia con la deformación viscoplástica de la interacción de cuerpos, que conducen en primer lugar a la compactación secuencial de la materia prima en polvo en un depósito, y en segundo lugar a unión metalúrgica sobre una fracción significativa de las interfaces partícula-partícula. Ambos procesos son fundamentales para obtener un depósito denso y fuerte ya que una compactación incompleta da como resultado una unión pobre con una alta porosidad y como consecuencia una baja resistencia del depósito formado.

En la interacción de las partículas con el sustrato hay que tener en cuenta que van a existir elevadas velocidades de deformación de 10^9s^{-1} combinadas con altas presiones de más de 10GPa por lo tanto se deformaran plásticamente de forma severa al impactar sobre el sustrato, adhiriéndose al mismo, y formando el recubrimiento (Assadi. 2003; Grujdic. 2003). Este es un proceso complejo, ya que la deformación plástica de las partículas que llegan al sustrato, va a depender de las propiedades mecánicas y el estado superficial del propio sustrato. Así cuanto más resistente es el sustrato, más se deformará la partícula que llega, produciéndose un mayor aplastamiento de la misma.

La deformación de la segunda capa de deposición vendrá influenciada por la morfología y estado de las partículas depositadas en la primera capa y no directamente por el sustrato. Esta deformación también producirá cambios. Al mismo tiempo, en el interior del sustrato, y hasta una cierta distancia de la superficie, se podrán distinguir una serie de regiones con deformación plástica severa, cristales fuertemente texturados, granos recristalizados e incluso, según algunos autores, microestructuras solidificadas a distancias menores a 1 micrómetro de la superficie (Assadi. 2016), aunque este último mecanismo no está del todo confirmado ni aceptado por la comunidad científica.

Las partículas que no se hayan adherido al sustrato durante la primera deposición, habrán producido cráteres que, a su vez, modificarán la actividad del sustrato para facilitar la adhesión de nuevas partículas, efecto similar al granallado (“shot peening”). Por lo tanto, también habrá unos parámetros de tipo geométrico, tales como superficie de área de contacto, ancho y profundidad del cráter que deberán ser tenidos en cuenta para conseguir recubrimientos con las propiedades deseadas.

Uno de los parámetros claves del proceso de proyección fría es la velocidad de las partículas previa al impacto sobre el sustrato. Para una deposición adecuada se requiere, dependiendo del material, una cierta velocidad mínima o crítica, este valor depende significativamente de las propiedades termo-mecánicas del polvo y del sustrato (Schmidt. 2009). Por debajo de esta velocidad crítica, las partículas que impactan generan solamente una ligera erosión del sustrato, por encima, la deposición de las partículas mejora hasta un máximo que en algunos casos puede llegar casi al 100%, es decir, como un material macizo (bulk).

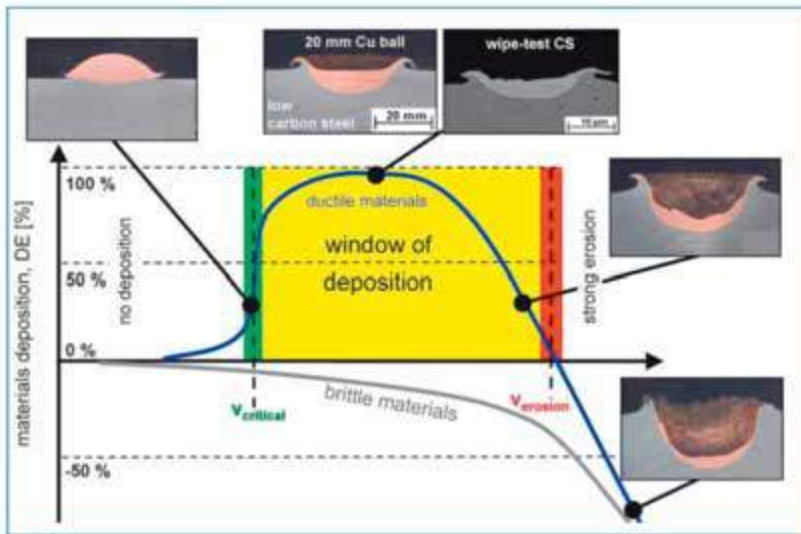
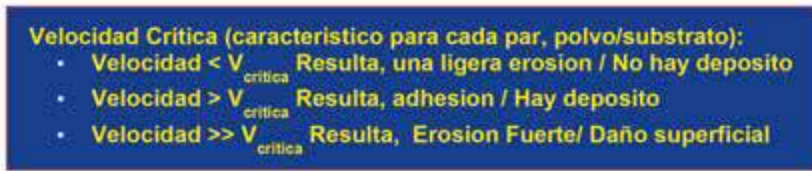


Fig 33. Depósito de una partícula de cobre sobre acero; correlación esquemática entre la velocidad de la partícula frente al valor de la velocidad crítica, la eficiencia de deposición (DE) y los efectos de impacto para una temperatura constante (Schmidt. 2009).(Da Silva. 2017).

Para una deposición adecuada se requiere, dependiendo del material, una cierta velocidad mínima o crítica, este valor depende significativamente de las propiedades termo-mecánicas del polvo y del sustrato (Li. 2006; Schmidt. 2009; Grigoriev. 2014). La Fig 33, muestra esquemáticamente la eficiencia de deposición de materiales (DE) en el caso de una partícula de cobre sobre acero al carbono. Por lo tanto siguiendo este criterio por debajo de esta velocidad crítica, las partículas que impactan generan solamente una erosión del sustrato y ellas se pueden o no deformar pero no se adhieren de forma homogénea, no hay depósito. Como la deposición del material ocurre solo cuando se alcanza la velocidad crítica, un aumento adicional de la velocidad conduce a un fuerte aumento en la eficiencia de deposición (DE) y puede alcanzar una eficiencia de deposición cercana al 100%. Después de alcanzar la mayor

eficiencia de deposición, un aumento adicional de la velocidad de la partícula hace que el DE disminuya debido a los efectos erosivos de la penetración de las partículas en el sustrato o en el material ya depositado en un efecto violento de deformación que puede conducir a un daño superficial severo.

En definitiva:



En CGS, el concepto del Adiabatic Shear Instability (ASI) se considera uno de los mecanismos dominantes para explicar la fuerte unión entre partículas y el sustrato o la capa depositada y está relacionada con el aumento anormal de tensión y el colapso del esfuerzo cortante debido a la deformación plástica severa en la interfase (Assadi. 2003; Schmidt. 2009; Grigoriev. 2014); como ya se ha dicho, hay que tener en cuenta que se habla de tasas de deformación severa de 10^9 s^{-1} . Usando este concepto, se examina el comportamiento de la deformación y se estiman las velocidades críticas. Existen similitudes en cuanto a los procesos de deformación severa que experimentan el impacto partícula de polvo/sustrato en Proyección Fría con los que tienen lugar en procesos de Soldadura por explosión (Kreye. 1985) y con los de simples impactos balísticos (Schmidt. 2006).

La teoría del Adiabatic Shear Instability (ASI) así como las propuestas en otros trabajos (Bae. 2008; Klassen. 2010; Grigoriev. 2014), en que la mayor parte de ellas están basadas en cálculos por Métodos de Elementos Finitos (FEM), han propuesto ecuaciones matemáticas para modelar el comportamiento de la

velocidad crítica y todo y sus limitaciones, son los que se manejan en la bibliografía actual sin embargo es evidente que hay que seguir trabajando de forma más realista para simular un proceso de interacción de un conjunto de partículas de polvo con distintos tamaños chocando contra un sustrato que solo actúa en la primera capa de depósito formado, ya que, en su crecimiento posterior del recubrimiento la interacción es entre los propios materiales que conforman el polvo original ya depositado. No obstante lo que sí es bien sabido y aceptado hoy día es que para obtener recubrimientos densos y compactos con mayor eficiencia de deposición, la partícula debe alcanzar la velocidad crítica.

Por lo tanto, el estudio y la planificación en detalle de los parámetros que controlan el proceso de proyección deben de estar bien definidos y controlados antes de producir cualquier recubrimiento de CGS de óptimas condiciones ya que en el intervalo de velocidades con las que se proyectan las partículas, se producen dos procesos que son competitivos: endurecimiento por deformación y generación de calor por fricción.

Hay que hacer hincapié que la teoría ASI es una interpretación científica de un proceso complejo y prueba de ello es la aparición, recientemente en 2018, de otras teorías como la de “Impact Deformation” basada en los trabajos del Massachusetts Institute of Technology que ponen en duda el hecho de la necesidad del mecanismo previsto por la teoría ASI para la formación del recubrimiento (Hassani-Gangaraj. 2018).

Es importante hacer notar que estos conceptos como la teoría ASI solo afecta e interpreta uniones entre materiales metálicos y no es el caso con cerámicos y polímeros ya que el mecanismo de unión es diferente y por ende además de poco estudiado y poco conocido aún hoy día, espera de una interpretación adecuada.

CGS versus parametros operacionales y calidad de recubrimientos & recargues & piezas de fabricación aditiva

Uno de los mayores atractivos de la técnica de proyección fría es la posibilidad de obtener recubrimientos con unas propiedades únicas, las cuales no son alcanzables a través de medios convencionales de proyección térmica. Esto es debido al hecho que la deposición de los materiales sobre los sustratos para formar el recubrimiento tiene lugar en estado sólido. No se expone a los materiales a altas temperaturas de modo que los materiales no alcanzan su temperatura de fusión. Debido a ello, reacciones no deseables de descomposición u oxidación, son prácticamente eliminadas incluso en materiales muy reactivos.

Las condiciones en la que se realiza la proyección varían en función del tipo de material proyectado, el sustrato, sus composiciones, sus propiedades físico-químicas, entre otras. Estas condiciones determinan la calidad del recubrimiento. La calidad está fijada por las necesidades establecidas por la aplicación para la cual se desea generar el recubrimiento (nivel de porosidad, espesor del recubrimiento, adherencia recubrimiento-sustrato, microestructura, propiedades, entre otras).

La unión de las partículas al sustrato está controlada por diversos factores. Estos factores van desde los parámetros geométricos, como la superficie de contacto y su rugosidad, hasta los parámetros termo-mecánicos como la deformación viscoplástica, velocidad de deformación, la tensión de fluencia, la presión y la temperatura en la interfase.

Las principales variables que se deben tener en cuenta a la hora de llevar a cabo una proyección CGS son:

- Naturaleza, Tipo y Presión del Gas comprimido,
- Temperatura del gas y con ello la transferida a las partículas proyectadas,
- Velocidad de las partículas proyectadas,
- Naturaleza y Características del polvo de proyección,
- Naturaleza y estado superficial del sustrato,
- Distancia de proyección,
- Tasa de alimentación del polvo de proyección,
- Angulo de la pistola de proyección con relación a la superficie del sustrato.

Además, deben de tenerse en cuenta las propiedades fisicoquímicas de los propios materiales como su dureza, plasticidad o reactividad superficial, entre otros. En definitiva estos parámetros operacionales determinan las características de los recubrimientos & recargues o formas autosostenidas (piezas obtenidas por Fabricación aditiva) resultantes.

Por pormenorizar en uno de estos factores hay que señalar el efecto controlante que ejerce el polvo y sus características intrínsecas como el tamaño su distribución y la morfología de las partículas individuales, así, un rango pequeño en la distribución del tamaño de la partícula lo hace más óptimo para proyección fría. En el estado de la tecnología actual la distribución de tamaños de partículas óptima para distintas tecnologías de deposición se resume en el contenido de la Fig 34.

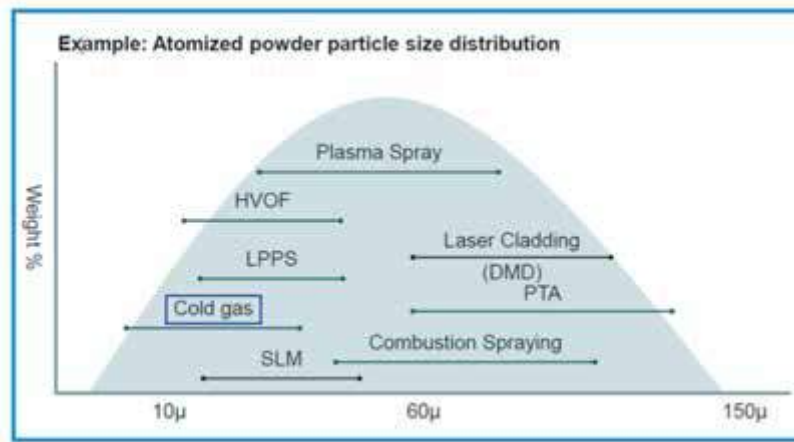


Fig 34. Distribución de tamaño de partículas óptimo para distintas técnicas de proyección.

Pero además, la morfología de las mismas, ya que no hay que olvidar que hay un contacto entre superficies partícula/substrato y es conocido que las partículas no esféricas con superficies rugosas y distintas caras tienen un comportamiento de contacto distinto durante el impacto, así un ejemplo lo tenemos en el contenido de la Fig 35, en la que para polvos de Acero Inoxidable S31600 con morfologías irregular o esférica nos conducen, en parámetros de proyección optimizados, a recubrimientos con espesores distintos ya que la eficiencia de deposición (DE) es distinta por el efecto de retención con el substrato y posterior crecimiento.

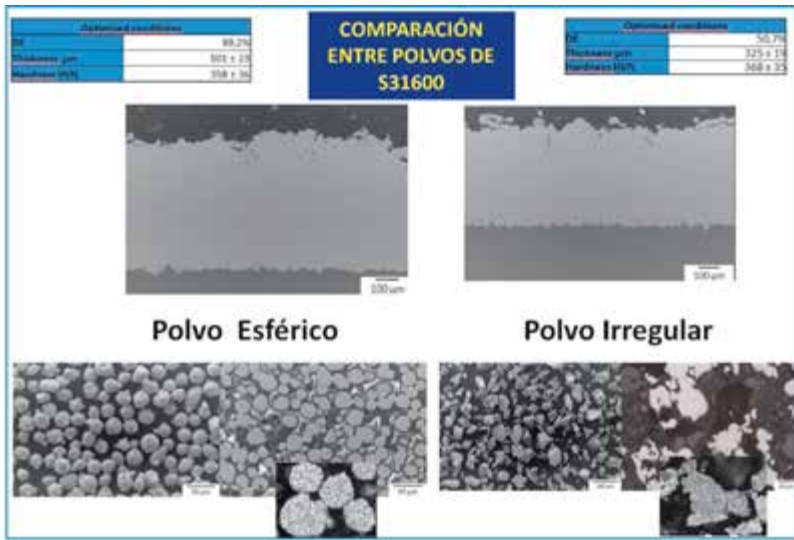


Fig 35. Polvos de Acero Inoxidable S31600L para Proyección Fría (CGS) con morfologías irregular y esférica con relación a las eficiencias de deposición (DE).

Impacto de la tecnología CGS en sus aplicaciones

Hay que entender que la proyección fría se encuentra en los primeros años de su aplicación y diseminación y que se tomó originalmente como punto de partida aquellas aplicaciones en las que las otras técnicas de proyección térmica (HVOF, Plasma, Llama, Arco, como más competitivas) no son viables debido principalmente a las limitaciones de las elevadas temperaturas que confieren al material proyectado con la fusión o fusión parcial de las mismas y su interacción con los sustratos. Pero es que además estas altas temperaturas pueden provocar la reacción de las partículas en estado fundido, con la atmósfera o entre sí, provocando la aparición de óxidos o de estructuras no deseadas o incluso la descomposición de las fases originales que acaban produciendo recubrimientos con propiedades minorizadas con relación a las de los materiales de partida.

Por lo tanto es deseable destacar cuales son estas mejoras de la tecnología CGS y comprender el impacto que están causando a nivel de sus aplicaciones. Así las ventajas que ofrecen los recubrimientos obtenidos por Proyección Fría se concretan en:

- Alta eficiencia en la deposición (dependiendo de los sistemas superiores al 95 %) con capacidad para obtener recubrimientos de alta densidad y dureza.
- Reducción o anulación de la porosidad en los recubrimientos. El efecto compresivo de las partículas que llegan a alta velocidad al sustrato, tiende a cerrar los pequeños poros existentes en las capas subyacentes de material.
- Prácticamente eliminación de óxidos incluso utilizando materiales altamente reactivos dada la rapidez del proceso con velocidades que incluso pueden ser superiores a los 1.200 ms^{-1} y alrededor de 100ns en el vuelo de las partículas de polvo original hasta impactar con el sustrato.
- Al ser un proceso en estado sólido, la composición y la micro-nanocroestructura de los materiales de partida se mantiene en los recubrimientos finales obtenidos. Partiendo de materiales en estado amorfo se llegan a recubrimientos en el mismo estado de amorfización.
- Mínima preparación del sustrato y mínima utilización de técnicas de enmascaramiento, si es el caso.
- Ausencia de tensiones residuales a tracción. Debido principalmente a que las partículas no se encuentran en estado fundido cuando llegan al sustrato. La alta presión aplicada hace que las tensiones residuales a tracción existentes en los recubrimientos generados por proyección térmica convencional, sean sustituidas por tensiones de tipo compresivo.

- Capacidad de obtener recubrimientos con propiedades multifuncionales e inteligentes.
- Capacidad de proyectar materiales especiales termosensibles.
- Capacidad de producir recubrimientos de altos espesores (cm) e incluso de utilización como tecnología de Fabricación Aditiva con la obtención de piezas de formas sencillas e irregulares.
- No se altera la microestructura del sustrato y no se crea ninguna zona afectada térmicamente (ZAC).
- Es de fácil manipulación, rápida y trabaja en atmósfera ambiental.
- Facilidades máximas de adaptarse a sistemas robotizados con aplicaciones automatizadas y proyecciones puntuales o con diseño a medida de la irregularidad de la superficie a recubrir o conformar. La anchura mínima del haz de proyección esta entre 4-8 mm lo que lo hace adecuado para aplicaciones de fabricación aditiva.
- Posibilidad de reutilización de las partículas no adheridas al sustrato (100 % de reciclaje).
- Incremento de la seguridad operacional debido a la ausencia de un haz de gas de alta temperatura, como son el caso de los plasmágenos, combustión, radiación o gases explosivos.
- Respetuoso con el medio ambiente ya que el gas industrialmente utilizado es nitrógeno.
- Menor coste tanto de inversión como de producción, comparado con otras técnicas.



Fig 36. Algunos sectores de aplicación industrial de los Recubrimientos de Proyección Fría. Reproducido con permiso de Oerlikon-Metco.

Como se indicaba en la introducción el desarrollo primigenio de la Proyección Fría se hizo de la mano de la industria militar que pasó a la industria aeronáutica. Pero como se trata de una técnica muy versátil y respetuosa con el medio ambiente además de relativamente barata, de fácil manejo y con unas altas eficiencias de deposición hoy día se ha expandido a otros sectores económicos en un amplio rango de industrias: Química, electrónica, energética, automovilística y transporte en general, artículos de consumo, mecánica, nuclear, energías alternativas entre otras, Fig 36, a lo cual se acompaña de que dada su versatilidad, la naturaleza de los materiales que pueden ser usados para proyección fría, es cada vez más amplia.

Desde un punto de vista amplio, las aplicaciones más comunes de la proyección fría se pueden concretar en:

- Recubrimientos resistentes a la corrosión.
- Recubrimientos resistentes al desgaste (abrasión, erosión, fricción).

- Aeroespaciales (recubrimientos resistentes a la fatiga).
- Recubrimientos resistentes a la oxidación.
- Biomédicas (prótesis, implantes...)
- Para crear superficies multifuncionales y con propiedades específicas como, conductividad o aislamiento térmico y/o eléctrico, superconductoras, magnéticas, capas de anclaje en barreras térmicas o superficies inteligentes como sensores, entre muchas otras.
- En Fabricación Aditiva, en el conformado de piezas autosostenidas.

El proceso de proyección fría ha evolucionado desde todo tipo de materiales metálicos y sus aleaciones pasando por materiales compuestos de matriz metálica hasta llegar a materiales cerámicos y poliméricos aunque estos están aún en un desarrollo de forma incipiente y por lo tanto en sus inicios. En la imagen de la Fig 37, algunos recubrimientos de los que se proyectan de forma habitual en el Centro de Proyección Térmica (CPT).

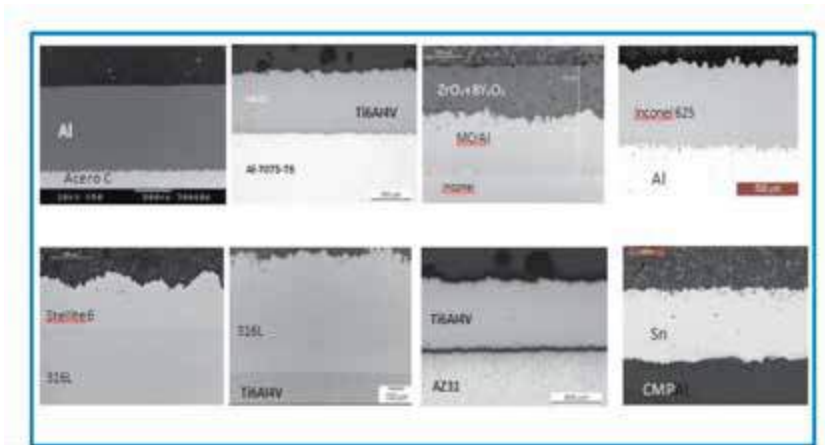


Fig 37 . Algunos ejemplos de recubrimientos de Proyección Fría sobre distintos tipos de sustratos normalizados en el Centro de Proyección Térmica (CPT)-UB.

En la Tabla I, se hace un resumen de los sistemas que ya se proyectan de manera convencional:

Tabla I. Recubrimientos de Proyección Fría.

RECUBRIMIEN- TOS	APLICACIONES	SECTOR INDUS- TRIAL / REFERENCIAS
METÁLICOS		
Al y aleaciones Al, Mg	Resistencia a Corrosión- Protección Anódica; mantenimiento-reparación de piezas en la industria aeronáutica	Aeroespacial; Automoción/(1)
Zn y aleaciones	Resistencia a Corrosión- Protección Anódica; mantenimiento-reparación	Química; Offshore; Maquinaria/ (2)
Cu y Ag	Conductividad Eléctrica; Transferencia de Calor; Sensores ; Resistencia a co- rrosión	Electrónica; Automoción; Energía; Nuclear/(3)
Aceros Inoxidables: Austeníticos/ Ferríticos	Mantenimiento-Reparación;Biomate- riales; Calentamiento Inducción	Energía; Maquinaria; Objetos de consumo; Biomedica/ (4)
Ni y aleaciones / Superalaciones	Resistencia a Oxidación; Protección a Corrosión; Mantenimiento	Energía; Química; Aeroespacial/ (5)
Ti y aleaciones	Biomateriales; Mantenimiento	Biomedicina Química/ (6)
Aleaciones Base Cu	Propiedades tribológicas; resistencia a cavitación	Naval; Maquinaria /(7)
Aleaciones base Co (Stellite)	Resistencia al Desgaste	Energía; Aeroespacial/ (8)
MCrAlY	Resistencia a Oxidación	Aeronáutica; Álabes de Turbinas/ (9)
Ta	Resistencia a corrosión–protección catódica; biocompatibilidad	Química; Biomedicina/ (10)
Ti/Al	Resistencia a la Oxidación a altas tem- peratura	Aeroespacial/ (11)
Co+Ni alloys	Herramientas para la industria Nuclear	Energía/(12)

Cont...

RECUBRIMIENTOS	APLICACIONES	SECTOR INDUSTRIAL / REFERENCIAS
MATERIALES COMPUESTOS		
Al+Al ₂ O ₃ Al+Mg17Al12	Resistencia a la corrosión y desgaste	Química; Energía / (13)
Al+SiC	Componentes electrónicos	Electrónica/ (14)
TiAl ₃ +Al	Resistencia a la Oxidación a altas temperaturas	Aeroespacial/ (11)
A5056 + Inconel718	Resistencia Corrosión	Aeronáutica/ (15)
SiCp+Al 5056	Protección a la Corrosión	Química/ (16)
WC+S31600	Protección a la Corrosión	Química/ (17)
WC+Ni y WC+Co WC+10Co+ 4Cr	Resistencia al Desgaste	Energía; Química/ (18),(19)
Al ₂ O ₃ +Cu	Resistencia a la Corrosión y Desgaste	Química; Electrónica/(20)
Cr ₃ C ₂ +Ni Cr ₃ C ₂ +Ni Cr	Resistencia a la Corrosión y Desgaste	Química/(21)
Ti+ Hydroxiapatita	Materiales biocompatibles /Biomateriales	Biomedicina/ (22)
Nanotubos de Carbono+Cu	Disipadores de calor en sistemas electrónicos	Electrónica/ (23)
CERÁMICOS		
SiC	Resistencia a la Oxidación a altas temperaturas	Transporte/(24)
WO ₃	Fabricación de Fotoelectrodos	Electrónica/(25)
TiO ₂	Fotocatálisis	Medio Ambiental/ (26)
Al ₂ O ₃	Resistencia al Desgaste	Química; Energía/(27)
TiN	Resistencia a la Corrosión y al Desgaste	Energía/ (28)
POLÍMEROS		
Polietileno y Poliamidas	Resistencia a la Corrosión	Química/ (29)
REFERENCIAS EN LA TABLA	1 (Bedoya 2014b; Rokni 2017); 2 (Chavan 2013); 3 (Kim 2013, Chavan 2011); 4 (Villa 2013) ;5 (Ajdelsztajn 2006) ;6 (Vo 2015) ; 7 (Krebs 2014); 8 (Cinca 2013a); 9 (Borchers 2015); 10 (Koivuluoto 2010); 11 (Champagne 2007); 12 (Koivuluoto 2007); 13 (Shockley 2015); 14 (Yu 2014a);15 (Yu 2014b); 16 (Wang 2014);17 (Oliveira 2015); 18 (Couto 2014); 19 (Ji 2015); 20 (Triantou 2015); 21 (Wolfe 2016); 22 (Vilardell 2017); 23 (Bakshi 2008); 24 (Lee 2004); 25 (Bacciochini 2013); 26 (Robotti 2016); 27 (Hodder 2014); 28 (Moridi 2014); 29 (Bush 2017).	

Como puede observarse son ya numerosos los trabajos sobre metales (Al, Cu, Ni, Ti, Ag, Zn...), y aleaciones (como Aceros inoxidables, Aleaciones ligeras, Inconel, MCrAlYs, Aceros de Alta aleación, Superaleaciones, entre otros). En cuanto a materiales compuestos ya se tienen buenos resultados en aquellos sistemas en que existe una fase matriz metálica que proporciona deformabilidad y unión entre las partículas más duras (a menudo cerámicas). Casi cualquier combinación de metales y cerámica es concebible así las aleaciones ligeras reforzadas con cerámicos Al-Al₂O₃ y AA5056-SiC y cermets como WC+Ni, WC+Co, WC+Co+Cr, entre otros, empiezan a introducirse competitivamente en el mercado mundial.

En contraste, los materiales cerámicos no son fáciles en su proyección en Alta Presión (HPCGS) dada su fragilidad dando como resultado fragmentos incrustados en superficies de sustratos metálicos dúctiles. Sin embargo, muy recientemente, se están teniendo resultados altamente satisfactorios a baja presión (LPCGS), es el caso de TiO₂ como fotoelectrodos y catálisis así como con Hidroxiapatita para aplicaciones biomédicas. En este tipo de depósitos la naturaleza del polvo de proyección juega un papel controlante y el éxito en la deposición y crecimiento de las partículas cerámicas parece depender fuertemente de la estructura de las partículas, que pueden tratarse de aglomerados de nanopartículas. El trabajo en proyección fría con materiales cerámicos está por descubrir y podríamos decir que está en su infancia.

Sucede algo parecido con los recubrimientos poliméricos a los que hasta ahora no se les había prestado la suficiente atención y está en fase de estudio incipiente en aquellos que presentan macromoléculas fácilmente deformables.

Algunos ejemplos de aplicaciones específicas en sectores industriales concretos se muestran en las siguientes Figs 38 a 43:



Fig 38. Algunos ejemplos de recubrimientos industriales de Proyección Fría: a) De Zn y aleaciones, resistentes a la corrosión sobre distintos tipos de sustratos para industrias del sector del automóvil, línea blanca, rodillos de impresión. b) Cu y aleaciones, Industria electrónica en general y Disipadores de calor para la industria de automoción.



Fig 39. Algunos ejemplos de recubrimientos de Proyección Fría: Contactores para la Industria eléctrica y electrónica; Recubrimiento de plata sobre recubrimientos de cobre y cobre sobre conectores de aluminio. Conductividad eléctrica y Sensores para la industria del coche eléctrico y trenes de alta velocidad.



Fig 40. Algunos ejemplos de recubrimientos de Proyección Fría para: Aplicación en Células Solares. Utensilios domésticos. Cilindros. Anillos para Pistones. Sobre aleaciones ligeras de Mg, recubrimientos de Acero Inoxidable o de aleación ligera Al-12%Si. Válvulas de Tántalo.

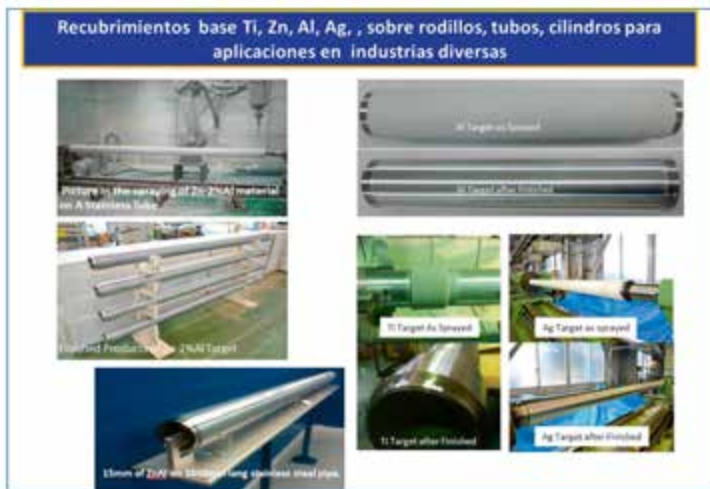


Fig 41. Algunos ejemplos de recubrimientos de Proyección Fría: Recubrimientos diversos, base Ti, Zn, Al, Ag sobre rodillos, tubos, cilindros de industrias diversas.



Fig 42. Algunos ejemplos de recargas/reparación de Proyección Fría: Recubrimientos para reparaciones diversas en la industria aeronáutica. Reparaciones en utensilios y la industria mecánica en general: válvulas, asientos, cojinetes, grandes cilindros. Piezas para Automóviles antiguos.



Fig 43. Algunos ejemplos de Fabricación Aditiva con Proyección Fría (CGS)

Proyección fría CGS: impacto de la tecnología CGS en la innovación tecnológica

En cuanto a los procesos de Proyección Fría altamente innovadores se destacan aquellos que he dirigido y se continúan realizando en el único centro de España que dispone de esta tecnología, en el Centro de Proyección Térmica de la Universidad de Barcelona. Así, cabe destacar aquellos que han generado procesos que han originado Patentes de Invención o de Protección por Propiedad Intelectual y secreto industrial como son los siguientes proyectos innovadores CGS de alto impacto a nivel internacional:

Recubrimientos de alta resistencia al desgaste para prestaciones en condiciones ambientales agresivas

Es muy conocido que los recubrimientos de materiales compuestos WC+Matriz metálica (Co, Ni, CoCr) son los que presentan las mejores características frente a la resistencia al desgaste, y de entre ellos el sistema WC+Co.

Las técnicas de proyección térmica como las de alta velocidad (HVOF) son las que han producido recubrimientos satisfactorios para cubrir la demanda de las industrias especializadas. Sin embargo estos recubrimientos presentan algunas ostensibles limitaciones: aparición de tensiones residuales a tracción que se introducen en la solidificación; la formación de fases secundarias por la descomposición del WC frente a las altas temperaturas alcanzadas en el proceso térmico (entre las fases que se forman, W_2C , W , Co_6W_6C and Co_3W_3C), además de la solubilización de W en la matriz de cobalto.

La Proyección Fría al ser una técnica en estado sólido preserva los cambios estructurales y las estructuras resultantes en recubrimientos incluso los de mayor contenido en fase cerámica (WC+ 12Co, WC+ 17Co y WC+ 25Co) son adherentes al sustrato tanto en aceros y en aleaciones ligeras sobre los que se ha trabajado. Su porosidad es del orden del 0,1% prácticamente recubrimientos macizos. Ello permite trabajar con materiales nanoestructurados en WC en los polvos de partida.

Las propiedades mejoradas comparativamente con los recubrimientos de HVOF son ostensibles, (Dosta. 2013, Couto. 2014a), llegándose a conseguir mejores propiedades tanto de resistencia a erosión, fricción, abrasión e incluso resistencia a corrosión así como la tenacidad de los mismos, Fig 44.

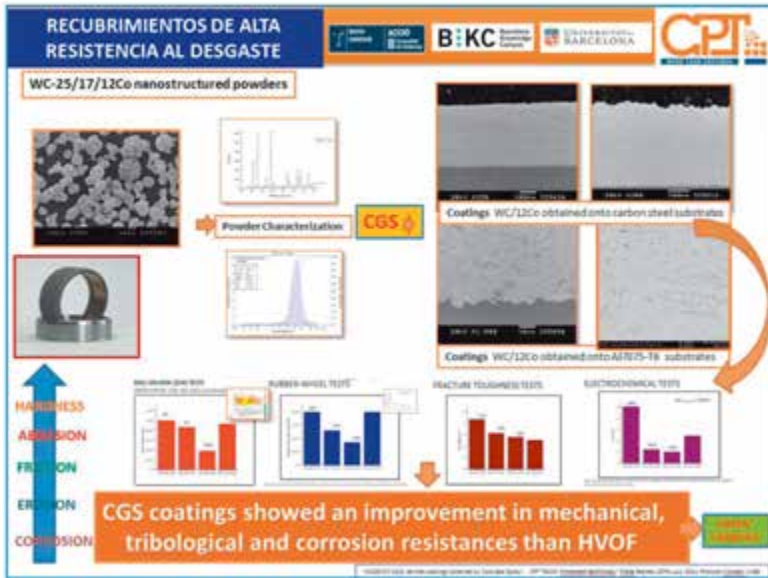


Fig 44. Recubrimientos de WC-Co producidos por CGS con propiedades mejoradas. Realizados en el Centro de Proyección Térmica (CPT-UB).

Precisamente estos aspectos se recogen en la iPP, CPT-UB propiedad industrial de 2014 (Couto. 2014b), teniendo en cuenta que se protegen las condiciones de proyección para este tipo de materiales que también presentan una ventana de deposición muy estrecha al tratarse de materiales compuestos cuyo componente mayoritario es la fase de material cerámico.

Los resultados de estos trabajos han evolucionado recientemente en la aplicación y búsqueda de sustitutos del WC en lo que se ha venido a denominar "Green Carbides" en el que los carburos propuestos son base TiC y SiC así como en la sustitución de la fase metálica del Co por Ti o NiCr, entre otros. Los resultados están en estos momentos bajo la tutela del Proyecto PROCETS vigente de la Unión Europea (Dosta. 2017-2019).

Recubrimientos de materiales intermetálicos resistentes a altas temperaturas

El creciente interés sobre los materiales de aleaciones-compuestos intermetálicos es evidente ya que a sus propiedades inherentes se suma el hecho de su alta resistencia a la oxidación lo que amplía el campo de utilización en aplicaciones como el sector aeronáutico frente a las superaleaciones.

En los últimos años se ha estado trabajando en el CPT en el tema de la obtención de recubrimientos de Materiales intermetálicos frente a los materiales macizos (bulk) precisamente por el ahorro económico que ello significa y así se utilizaron las tecnologías tanto de Proyección Plasma (APS) como de Alta Velocidad (HVOF) que conducen a recubrimientos altamente adherentes al sustrato pero en los que se genera algo de oxidación y con ello una merma de sus propiedades; todo y a pesar de ello se tratan de recubrimientos competitivos frente a otras técnicas de deposición.

La utilización de la Proyección Fría (CGS) ha representado un antes y un después ya que ha permitido la obtención de recubrimientos exentos de oxidación y sin porosidad lo que conlleva a recubrimientos aptos para trabajar con excelente resistencia a la oxidación a temperaturas de 900°C e incluso superiores en los últimos desarrollos realizados. En la Fig 45, se puede apreciar la diferencia entre un recubrimiento HVOF de AlFe frente a un CGS así como detalles de la metodología experimental seguida y otros detalles de otros tipos de aluminuros como los de Nio-bio (NbAl_3) que siguen en investigación continuada además de los basados en metales de transición, hierro, níquel y titanio.

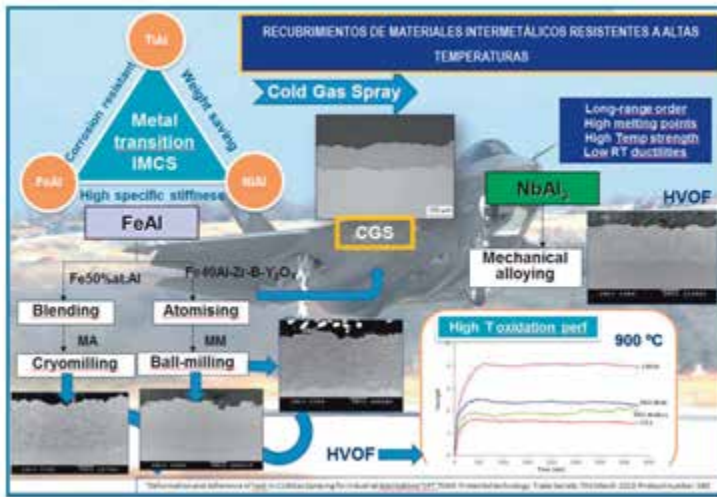


Fig 45. Recubrimientos de aleaciones-compuestos Intermetálicos producidos por Proyección Fría realizados en el Centro de Proyección Térmica (CPT-UB).

Pero hay que tener presente que la obtención de este tipo de recubrimientos CGS está supeditado a un proceso de deposición altamente selectivo ya que la ductilidad de estos materiales es muy baja y por lo tanto controlan las condiciones de deposición con lo que la ventana de deposición es extraordinariamente específica y selectiva y es precisamente esto lo que se ha desarrollado en el CPT y se ha protegido mediante CPT-UB propiedad industrial de 2013 (Cinca. 2013).

No hace falta recordar que los posibles campos de aplicación industrial para estos recubrimientos incluyen componentes para turbinas de vapor, en secciones calientes de motores de turbina de gas también para sistemas de propulsión en aeronáutica (se habla en sustitución de superaleaciones), o como recubrimientos en tubos de intercambiadores de calor, plantas de incineración de residuos sólidos urbanos, ya que, a su vez, hay que tener presente que son resistentes en atmósferas de compuestos de Cloro y Azufre.

Recubrimientos de aluminio y aleaciones ligeras micro-nano estructurados de grandes espesores para reparación y protección de componentes industriales de alto valor añadido

Estas investigaciones claramente se enfocaron hacia las industrias del transporte ya que lo que se pretende es obtener recubrimientos de grandes espesores de aleaciones ligeras. Así, optimizando los parámetros de proyección en Proyección Fría como los factores que pueden influir en el proceso se consiguen recargues y recubrimientos para la reparación y restauración de componentes de alto valor añadido sobre aleaciones ligeras. Se han conseguido recubrimientos de hasta 15mm y se han reparado piezas de índole industrial, Fig 46, por recargues de Proyección Fría.

Los materiales empleados para la obtención de los recubrimientos fueron Al puro, Al-12Si, Al-7,5Mg nanoestructurado y metal-cerámicos Al/Al₂O₃ sobre sustratos de aleación de aluminio AA5087 y aleación de magnesio AZ91D. En todos los casos se han conseguido mejorar propiedades como resistencia a corrosión y/o desgaste de los sustratos protegidos (Bedoya. 2013).



Fig 46. Recubrimientos de Aleaciones de Al producidos por CGS así como recargue y reparación de una llanta de coche dañada realizados en el Centro de Proyección Térmica (CPT-UB).

En la misma Fig 46, se puede apreciar el antes y después de una rueda de un coche, de alta gama, reparada de forma satisfactoria que presentaba un defecto inducido con una profundidad de 4mm. El recargue se ha adaptado perfectamente y han sido fáciles de sanear.

El análisis de la viabilidad económica de la tecnología de proyección fría comparativamente con las tecnologías de HVOF usadas hoy día en reparaciones aeronáuticas ha puesto en evidencia un coste inferior representando alrededor de un 33% de economía en el producto final.

Tanto las condiciones de proyección específicas para cada material proyectado como los detalles operacionales en el proceso de recargues han sido protegidos por la iPP, CPT-UB propiedad industrial de 2014 (Bedoya. 2014a).

Recubrimientos para prótesis de nueva generación

Para evitar el rechazo elevado que tiene lugar en la fabricación actual de prótesis recubiertas basados en Procesos de proyección Plasma al vacío (Equipo en la parte superior izquierda de la Fig 47), surgió la posibilidad de la utilización de la tecnología de Proyección Fría que además de realizarse en condiciones atmosféricas conlleva propiedades notablemente mejoradas tanto sobre sustratos/prótesis metálicas como sobre componentes poliméricos, CPT-UB propiedad industrial de 2012 (Guilemany et al. 2012b) y componentes cerámicos, CPT-UB propiedad industrial de 2012 (Guilemany et al. 2012c).



Fig 47. Algunos ejemplos de recubrimientos de Proyección fría para Prótesis de nueva generación realizados en el Centro de Proyección Térmica (CPT-UB) tanto sobre soportes metálicos como cerámicos y poliméricos.

Pero a su vez se han conseguido recubrimientos de titanio bioinertes de altísima rugosidad ($R_z > 100\mu\text{m}$) y porosidad interconectada, desde prótesis de cadera hasta dentales pasando por piezas de columna vertebral (Fig 47). En todos los casos los recubrimientos obtenidos cumplen con las regulaciones de la FDA (USA Food & Drug Administration) con resultados muy exigentes ya que en el caso de la adherencia con el sustrato se sitúan por encima del doble del mínimo exigido (Dosta. 2009).

Las pruebas de viabilidad y proliferación celular así como los ensayos de diferenciación y mineralización se realizaron con osteoblastos humanos primarios (hoB) proporcionados a través de hueso de rodilla trabecular. Los resultados han confirmado las expectativas y así la respuesta biológica es más positiva cuanto mayor es la rugosidad superficial obtenida de lo cual depende el diseño del proceso y protocolo a seguir de las condiciones operacionales de proyección y forman parte del conocimiento del CPT que ha sido protegido por CPT-UB en forma de propiedad industrial (Guilemany et al. 2014c). Los implantes obtenidos conforman el concepto de “New cost-effective coatings for biomedical implants”.

De la misma manera y de forma totalmente de innovación internacional han resultado ser los resultados biológicos de recubrimientos del material cerámico biocompatible de Hidroxiapatita en el mismo campo de aplicación pero utilizando técnicas de baja presión(LPCGS) que conlleva a la formación de piezas de grandes espesores de hidroxiapatita (conformación de posibles estructuras óseas) como precursoras de Fabricación Aditiva (Véase en la parte inferior izquierda de la Fig 47), todo ello protegido en estos momentos por CPT-UB como propiedad industrial (Guilemany et al. 2015) y datos relevantes en una publicación muy reciente (Vilardell. 2018c).

Fabricación de recubrimientos 3D

Los sistemas de orientación táctil para personas discapacitadas de visión, existentes en el mercado, presentan importantes deficiencias en cuanto que sean resistentes a los elementos externos sin dejar de ser por ello eficaces y agradables al tacto. La Proyección Fría se entendió como una posible candidata en un novedoso proceso de conformación de rótulos de señalización de los que utilizan escritura en altorrelieve centrado en el trazo y escritura “Braille”, basándose en la fabricación de recubrimientos 3DP (Three Dimensional Printing). Mediante esta tecnología CGS se han obtenido rótulos en alto relieve siguiendo estrictamente la normativa en vigor (UNE170.002/2009), con unas propiedades mecánicas considerablemente superiores a las existentes en el mercado y que responde a las necesidades de buscar soluciones contra las condiciones climáticas y el vandalismo y con un coste económico ajustado.

Mediante la tecnología de proyección fría, los altos relieve se consiguen de forma sencilla en un único proceso, automatizado y fácilmente industrializable. Dichos relieves se pueden producir con espesores mayores a 1 mm, buena adherencia y resistencia al rayado tanto sobre sustratos metálicos como sobre sustratos cerámicos (incluido el vidrio), poliméricos y de materiales compuestos, como se aprecia sobre la Fig 48a.

La selección y adecuación de la materia prima para cumplir las especificaciones para el proceso de CGS, así como la optimización de parámetros de proyección y el acondicionamiento de los distintos sustratos como la activación superficial, entre otros, para la obtención de relieves metálicos y/o de materiales compuestos con una gran variedad de espesores fueron objeto de protección mediante iPP, CPT-UB propiedad industrial de 2012 (Guilemany et al. 2012a).



Fig 48. Perfiles 3D sobre sustratos de materiales diversos a) Escritura "Braille" b) Decoración de Palas de aerogeneradores para mejora de eficiencia energética. Realizados en el Centro de Proyección Térmica (CPT).

Los trabajos dirigidos a la fabricación de microboquillas de proyección de diámetros inferiores a 1mm y haces gas/polvo de tamaño inferior amplió el campo en la fabricación de formas/recubrimientos 3D, como se aprecian en la Figura 48b, aplicados a líneas (riblets) en una aplicación de decorado de las palas de los aerogeneradores ya que permiten simular los que existen

en las zonas superficiales de la piel de los tiburones (Figura 48b) y que aplicado a la producción de energía eólica representan canales por los que se impulsa el aire y acelerar la velocidad de las palas y con ello la eficiencia energética de cada turbina eólica. Los resultados están en estos momentos bajo la tutela del Proyecto RIBLET de la Unión Europea (Dosta. 2015-2019).

Recubrimientos y fabricación aditiva de vidrios metálicos

El interés por los vidrios metálicos (Metallic Glasses- MG) se ha desencadenado en parte por sus propiedades mecánicas únicas, en muchos casos superiores a sus homólogos cristalinos. Uno de los principales inconvenientes tecnológicos de los MG es su plasticidad limitada a temperatura ambiente. Los recubrimientos CPT de MG pueden usar el control del tamaño de muestra para aumentar su dureza intrínseca, ya que el tamaño de la zona de proceso puede ser mayor que el grosor del recubrimiento. Por lo tanto, los recubrimientos de MG muestran una resistencia mecánica más alta que sus contrapartes macizas mientras mantienen sus propiedades funcionales.

Los vidrios metálicos (MG) con su falta de orden cristalino han atraído la atención de la comunidad científica debido a sus ventajas ya conocidas, tales como resistencia mecánica y mejores propiedades magnéticas y electroquímicas sobre sus homólogos cristalinos. Gran variedad de MG se ha descubierto en los últimos años en base a aleaciones de los siguientes elementos principales Fe, Ni, Zr, Cu, Al, Mg, Co y también sobre la base de elementos de tierras raras.

Entre la diversidad de MG, las aleaciones en base Al exhiben baja densidad, buena resistencia mecánica y buena resistencia a la corrosión al ser un material ligero, con potencial para la industria

aeroespacial y en aplicaciones en la industria automovilística. Desafortunadamente, los MG en base Al son difíciles de fabricar debido a su baja capacidad de formación de sistemas vítreos (GFA - Glass Forming Ability-) y la necesidad de atmósfera protectora para su producción. Se han hecho muchos esfuerzos en el diseño de la composición de las aleaciones y en la técnica de fabricación para producir MG en base Al con un GFA mejorado. Las composiciones más exitosas constan de aleaciones ternarias Al-TM-RE, donde TM es un elemento de transición (Ni, Co o Fe) y RE un elemento del grupo de las tierras raras (La, Ce, Gd, Y).

Para formar recubrimientos de vidrios metálicos (MG), que consigan retener la estructura metaestable original, se ha utilizado Proyección Fría (CGS), Fig 49, evitando así la oxidación del polvo y ofrece las condiciones ideales para la formación de recubrimientos homogéneos y totalmente amorfos.

A partir de polvos vítreos de la aleación base Al amorfo de composición nominal $Al_{88}Ni_6Y_{4.5}Co_1La_{0.5}$, obtenidos por atomización con gas y posteriormente tamizados con el fin de obtener una distribución de tamaño de partículas desde 20 a 40 micrómetros, se han obtenido sus correspondientes recubrimientos. Los parámetros de proyección optimizados así como las características de los recubrimientos totalmente amorfos, baja porosidad, buena adhesión y excelentes propiedades contra el desgaste y la corrosión en ambiente de cloruros presentan propiedades superiores a otros recubrimientos de MG obtenidos por otras tecnologías. Todo ello se protegió bajo la fórmula de una Patente UB-CPT de Invención ES 2597814B1 en España concedida en 2017 (Concustell. 2017a). Además, la invención se refiere al uso de dicho sistema de recubrimiento como componente o una parte de un componente de un sistema de protección utilizado en las industrias del transporte (automóvil, aeronáutica, naval), aeroespacial y minera.

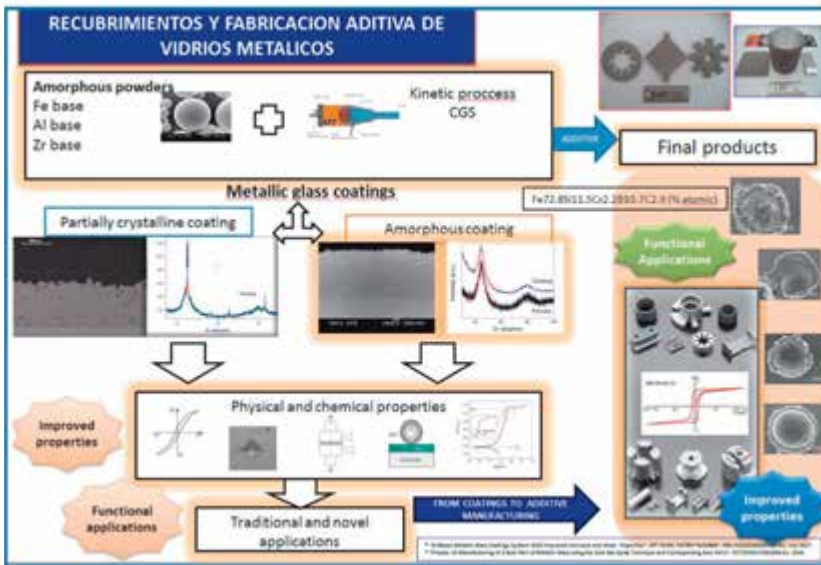


Fig 49. Recubrimientos de Vidrios Metálicos y Piezas de Fabricación Aditiva. Realizados en el Centro de Proyección Térmica (CPT-UB).

Los trabajos con vidrios metálicos en base a la obtención de recubrimientos y los avances registrados en la Tecnología de Proyección Fría en el terreno de la **Fabricación Aditiva** de acuerdo con sus ventajas con relación a otras tecnologías, que son:

- No se generan tensiones residuales a tracción, controlando las variables del proceso,
- Se conserva la estructura (micro-nanoestructurada, amorfa) original del material de partida,
- No hay descomposición, ni oxidación del producto final,
- No hay fusión del material de partida,
- Es rápida,
- Puede no necesitar la utilización de máscaras para la obtención de la pieza final,
- No hay distorsión con cambios dimensionales,

Permitieron producir piezas macizas del amorfo Fe_{72.8}Si_{11.5}Cr_{2.2}B_{10.7}C_{2.9} (% atómico), Fig 49, que presentan propiedades de material ferromagnético blando para utilizar como apantallamiento magnético y que han concluido con la protección de resultados mediante una patente europea UB-CPT PCT/EP2017/081559 presentada en Diciembre 2017. Publicada en Junio 2018. (Concustell. 2017b).

El uso de esta técnica de Proyección Fría no se limita a los vidrios metálicos de base Fe, aunque estas aleaciones ofrecen la mejor oportunidad para su aplicación en núcleos de transformadores y en motores electromagnéticos.

Recubrimientos multifuncionales / inteligentes

En el marco de las energías renovables y sostenibles, las celdas Grätzel (actúan como las células solares pero de bajo costo convirtiendo la energía de los fotones de la luz visible en eléctrica) emplean dióxido de titanio como material fotosensible (Fig 23). Aunque las tres formas alotrópicas de este sólido, rutilo, anatasa y brookita, son dieléctricas, las fases estequiométricas reducidas del óxido metálico están dotadas de una considerable conductividad eléctrica. Conocidas por el nombre de fases de Magnéli, siguen la formulación $Ti_n O_{2n-1}$ (donde $n = 4,5,6,7,8,9$). Al generar vacantes de átomos de oxígeno, que se asocian en planos cristalinos de corte dentro de la estructura del sólido, se crea una reducción significativa entre la banda de conducción y la banda de valencia.

En trabajos preliminares se observó que mediante la utilización de la Proyección Plasma se conseguían recubrimientos de Fases de Magnéli que dieron excelentes resultados en su utilización como electrodos de celdas Grätzel lo que motivó la protección de los mismos mediante una propiedad industrial CPT-UB y Uni-

versidad de Southampton (Gardon. 2013 a). La Unión Europea ha apostado por esta tecnología que quiere hacer de uso mayoritario un sistema flexible de producción de energía renovable mediante las celdas Grätzel lo cual favorecerá su aplicabilidad a nivel industrial en los próximos años. Una publicación de 2015 avala la idoneidad del proceso protegido (Robotti. 2015).

Pero a su vez, el mismo producto resultante en los recubrimientos con capas fotosensibles de dióxido de titanio con sub-óxidos de titanio se consiguieron proyectar sobre polímeros flexibles tipo Kapton[®] lo que como aspecto innovador abría las posibilidades de su utilización como sensores de gases y de radiación. Los resultados experimentales satisfactorios originaron su protección mediante una propiedad industrial CPT-MIND (Dept Electrónica)- UB (Gardon 2013b). Además se tratan de recubrimientos que a nivel industrial ofrecen ventajas complementarias ya que presentan alta eficiencia de deposición, rapidez de producción y el bajo coste frente a otras tecnologías de deposición (Fig 50).

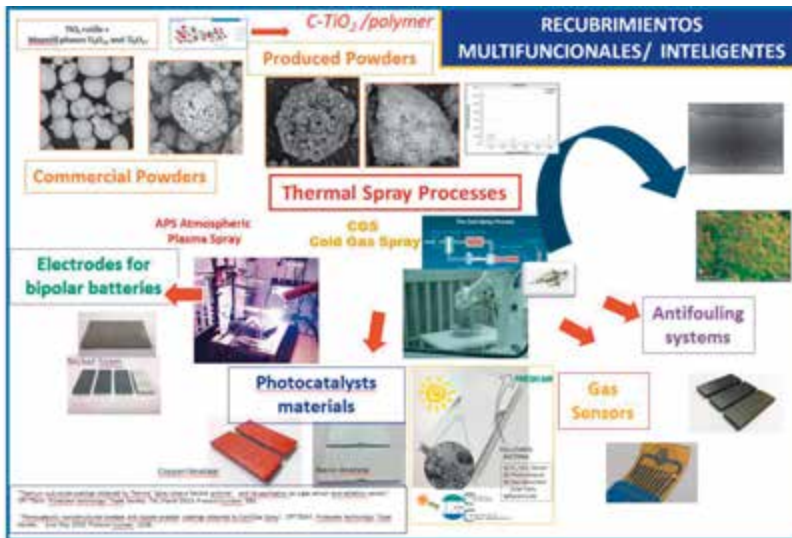


Fig 50. Recubrimientos multifuncionales/Inteligentes, fotocatalíticos, electrodos para baterías, sensores gaseosos entre otros, realizados en el Centro de Proyección Térmica (CPT-UB).

Pero a su vez, tal y como se ha indicado con anterioridad, la utilización de recubrimientos de óxidos específicos como el óxido de titanio TiO_2 y su empleo como fotocatalizadores son capaces de eliminar contaminantes inorgánicos y orgánicos gracias al efecto fotoactivo del material al ser irradiados bien con luz ultravioleta, o luz visible; precisamente este efecto catalítico del propio recubrimiento permitió al CPT otro desarrollo innovador basado en recubrimientos novedosos de cobre/nano-ánatasa pero proyectados por Proyección Fría (CGS), que generaron otra IPP, CPT-UB propiedad industrial de 2013 (Gardon. 2013 c). En estos recubrimientos el cobre actúa como un componente dúctil para su adhesión a los sustratos de acero.

Los recubrimientos con propiedades fotocatalíticas han demostrado que el tolueno o el NH_3 en fase gaseosa se degradan completamente dada la alta capacidad de adsorción del recubrimiento aportado Fig 50. En este estado el proceso se ha mejorado y materiales cerámicos tipo TiO_2 ya se proyectan directamente sobre sustratos metálicos con una buena adherencia y sus multifunciones resultantes.

Otro avance en la dirección de recubrimientos multifuncionales/inteligentes, una vez vistas las posibilidades de la obtención de recubrimientos cerámicos por Proyección Fría, se enfocó hacia las posibilidades de los recubrimientos poliméricos dado que, este tipo de recubrimientos cada vez son más demandados por la industria durante la última década. La combinación de sus excelentes propiedades físicas y químicas, características antiadherentes y resistencia química superior en diferentes medios ha llevado a estos productos como un activo bien valorado en ingeniería de superficies. Recubrimientos poliméricos/Fluoropoliméricos-tipo Halar® /compuestos sin o con refuerzos de partículas cerámicas se obtuvieron por proyección fría tanto a alta presión como a baja y para ello se han tenido que establecer

las condiciones de deposición que fueron el motivo de protección a través de la iPP, CPT-UB propiedad industrial de 2014 (Guilemany et al. 2014a) con la ventaja que la proyección de baja presión al ser un equipo portátil puede ser utilizada en recargues- reparaciones insitu a nivel industrial. Colateralmente se ha podido apreciar las posibilidades que estos recubrimientos juegan en aplicaciones diversas como antifouling (anti-incrustantes) para aplicaciones como la industria naval.

En definitiva se tratan de recubrimientos inteligentes que cubren expectativas de mercado interesantes puesto que se extienden más allá de las industrias más convencionales con la posibilidad de modificar superficies de materiales de construcción, edificios e instalaciones de todo tipo que con su uso consigan una eliminación efectiva de contaminantes como en el caso de grandes ciudades y su efecto de constante emisión de gases que alteran el medio ambiente por su carácter tóxico.

De acuerdo con los resultados alcanzados sobre estos tipos de recubrimientos inteligentes, se protegieron en una nueva iPP, CPT-UB propiedad industrial de 2014 (Guilemany et al. 2014b) ya que al introducir nuevas formulaciones con óxidos de metales de tierras raras así como mezclas de TiO_2 , anatasa con fluoropolímeros se amplió el campo de aplicación ya que, en ambas formulaciones, sus recubrimientos, presentan propiedades de superficies autolimpiables y superficies con propiedades hidrofóbicas que al ser repelentes al agua evitan la formación de hielo en ambientes de baja temperatura lo cual es de gran interés en aplicaciones de instalaciones diversas en ambientes invernales y bajas temperaturas.

Como resultados iniciales pero enfocados hacía las posibilidades de utilizar recubrimientos Hidrofóbicos en el año 2018 se presentó una patente europea, UB-CPT, PCT/EP2018/050664,

(Garcia-Cano. 2018) que utiliza recubrimientos de base fluoropolímeros reforzados con materiales cerámicos depositados por la técnica de Proyección Fría sobre distintos tipos de superficies y en particular de materiales compuestos para aplicación en las palas de los aerogeneradores de las industrias eólicas. Este desarrollo representa un avance importantísimo en la posibilidad de utilizar los aerogeneradores Fig 51, en condiciones invernales para producir energía de forma continuada sin los riesgos de deterioro que se producen en este tipo de instalaciones con la formación de hielo y fallo/explosión en las turbinas de los aerogeneradores. Esta patente es de aplicación en otros y diversos sectores como la industria del transporte en general que sufre las consecuencias del rigor invernal al poder disponer de superficies antihielo (Proyecto HYDROBOND de la EU; Guilemany. 2012e).



Fig 51. Recubrimientos con propiedades hidrofóbicas producidos por Proyección Fría para aplicaciones en condiciones climáticas adversas realizados en el Centro de Proyección Térmica (CPT-UB) bajo el liderazgo del Proyecto Europeo HYDROBOND.

CGS, la innovación e impacto tecnológico

La Proyección Fría se ha consolidado como proceso de producción de recubrimientos competitivos, reparación por recargue rápido y en Fabricación Aditiva de piezas simples y complejas. En términos de aplicaciones industriales, ofrece ventajas únicas tales como recubrimientos densos, sin oxidación, preservación de la micro-nanoestructura/amorfa original, rapidez con una alta eficiencia de deposición, tensiones residuales compresivas, no genera zona afectada en los sustratos, limpia y respetuosa con el medio ambiente, alta seguridad y un coste competitivo, que confiere al producto resultante propiedades difícilmente alcanzables por ningún otro método de deposición de polvo.

En las dos últimas décadas se han empezado a conocer sus posibilidades pero aún queda mucho por recorrer no solo a nivel de investigación básica sino también aplicada e industrialización generalizada. Así desde el diseño de los equipos de proyección a los parámetros operacionales o una comprensión más profunda del mecanismo de deposición además de nuevos desarrollos en sistemas diversos de combinaciones sustrato/recubrimiento no exploradas hasta el momento, tal y como es el caso con los materiales cerámicos y poliméricos, son algunos de los retos con los que nos seguiremos enfrentando en este futuro inmediato.

La Proyección Fría cubre en estos momentos las necesidades del mercado ya que es capaz de producir tanto recubrimientos convencionales, como funcionales e inteligentes además de producir formas autosostenidas mediante Fabricación Aditiva.

Para complementar y comprender esta rapidez de su introducción en el mundo científico-técnico basta con analizar la Fig 52 en la que se extraen del Scopus Index el nivel de publicaciones

de las dos Técnicas Mayoritarias dentro de la Proyección Térmica como son la Proyección Plasma (APS) y la Proyección de Alta Velocidad (HVOF) frente a la Proyección Fría. En prácticamente cinco años la Proyección Fría se ha puesto a la altura del nivel de publicaciones de HVOF y en ascenso continuado aproximándose a la APS, lo cual es realmente sorprendente y gratificante a nivel de innovación continuada.

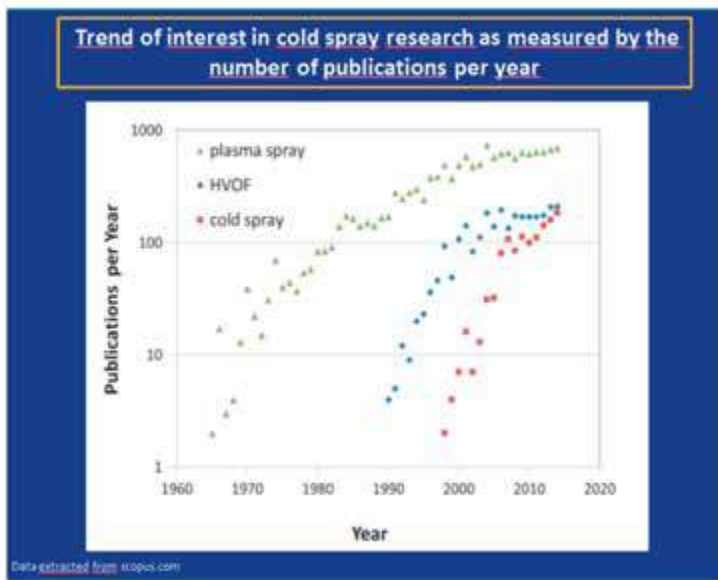


Fig 52. Interés de la Proyección Fría CGS frente a las dos técnicas mayoritarias de la Proyección Térmica convencionales como son la Proyección Plasma (APS) y la Proyección de Alta Velocidad (HVOF).



❖ MATERIALES Y RETOS DE LA SOCIEDAD INNOVADORA DEL SIGLO XXI

Siguiendo y regresando al título del discurso es necesario prestar atención a los conceptos de conocimiento, innovación, investigación y desarrollo ya que existe una gran confusión entre ellos conllevando que muchas veces se manejen de forma arbitraria y con ello enmascaran el auténtico sentido de la innovación en sí; me estoy refiriendo en concreto a tres de ellos, los conceptos paralelos de Investigación (I), Desarrollo (D) e Innovación Tecnológica (IT).

Existen en la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) una serie de publicaciones que recogen de forma fidedigna los conceptos relacionados con el I+D e IT, me refiero a los Manuales reconocidos de Frascati (cuyo nombre corresponde al lugar en Italia donde se celebró la reunión) (FECIT. 2018), y en concreto en su edición más reciente que es la séptima, así como el Manual de Oslo, en su tercera edición (OECD and Eurostat. 2018).

Las definiciones según estos manuales son:

* **INVESTIGACIÓN (I):** Según el Manual de Frascati: Actividad cuyos fines se circunscriben al incremento del conocimiento, sin perseguir, en principio, aplicación específica del resultado.

* **DESARROLLO (D):** Según el manual de Frascati: Es el trabajo sistemático, basado en el conocimiento derivado de la investigación y la experiencia, que está dirigido a producir nuevos

materiales, productos y servicios; a instalar nuevos materiales, productos y servicios, o a mejorar sustancialmente aquellos previamente producidos o instalados.

* **INNOVACIÓN TECNOLÓGICA (IT):** Según el manual de Oslo: Es la conversión de conocimiento tecnológico en nuevos productos, nuevos servicios o procesos para su introducción en el mercado, así como los cambios tecnológicamente significativos en los productos, servicios y procesos convencionales. De una forma menos técnica pero no por ello menos precisa señalar que como ya se ha hecho notar, desde los orígenes de la humanidad el término Innovación ha estado vinculado con el desarrollo y la supervivencia del hombre. La habilidad de los hombres por superar las dificultades del entorno o aprovechándose de ellas imaginando y creando, modificando los medios existentes e inventando de nuevos, le garantizaron su evolución. Una pequeña mejora en el arco de caza o el perfeccionamiento de las técnicas de agricultura les permitieron alimentar y proteger más eficazmente a sus familias y con ello asegurar la existencia de sus civilizaciones. Cuando estas mejoras se difundían, incrementaban el bienestar común haciendo crecer el conocimiento e incluso la seudoeconomía del momento.

Así pues se puede tratar la innovación como el polo decisivo del crecimiento de nuestra sociedad, como detonante de la evolución, de la economía.

Cuando de Innovación se refiere hay una anécdota española que me gusta recordar del siglo XIX y que concierne al artesano español Antonio Gutierrez con la Reina Amalia de Sajonia, esposa de Fernando VII. La reina que por lo visto era muy aficionada a bordar, enseñó en una ocasión al maestro Gutiérrez una aguja fabricada en Inglaterra, lamentándose de no poder conseguir una igual en España. Gutiérrez rogó a la Reina que se

la prestara para examinarla. Al cabo de unos días se la devolvió a la vez que le entregaba otra hecha por él. Cuando la Reina asombrada, se deshacía en elogios y le felicitaba por la finura de su aguja, Gutiérrez le advirtió: “Majestad, lo que tiene en sus manos es el alfiletero; la aguja está dentro”, es decir en la superación de la expectativa estaba, esta, la innovación.

En el mundo actual podríamos clasificar las innovaciones, según la disciplina a la que pertenecen, en dos grupos. En el primer grupo se recogería las innovaciones que provienen de una aplicación directa de una tecnología embrionaria y en el segundo grupo se incluirían aquellas que combinan o modifican un gran número de estas tecnologías embrionarias que como se van acumulando a lo largo del tiempo necesitan un tiempo más largo de maduración para conseguir introducirse en el mercado.

Está demostrado y salvando excepciones, que las hay, que tienen mayores posibilidades de aplicación los grandes descubrimientos que se alumbran en Universidades y Centros de Investigación que aquellos otros que se realizan en Laboratorios de investigación corporativa y en unidades de I+D de las empresas. Alcanzar logros significativos en la investigación básica sin duda es el mejor sistema, tanto para irrumpir en mercados de alta tecnología como para desarrollar mercados incipientes. Sin embargo, no es menos cierto, que algunos de estos logros son difíciles de proteger por parte de las Instituciones, incluso a pesar de las patentes, por lo que algunas de ellas sucumben o simplemente son copiadas sutilmente entrando en el mercado sin reconocimiento de cuál fue su origen inicial.

Sigamos en esta reflexión de los Materiales para la Sociedad; así si nos referimos a los documentos que recientemente se han escrito con relación a las diez preocupaciones globales de la humanidad, parece que estas son las basadas en:

ENERGÍA

AGUA

ALIMENTOS

MEDIO AMBIENTE

POBREZA

TERRORISMO Y GUERRA

ENFERMEDAD

EDUCACIÓN

DEMOCRACIA

POBLACIÓN

Como se puede comprender el orden es totalmente permutable en función, sencillamente, de los cambios tan rápidos que se originan alrededor de nuestro entorno y a las diferentes sociedades a las que se consulta.

Claramente, **Sí** aparece en la lista, la preocupación por la Energía y es cierto, sí que estamos preocupados, ya que si siguiéramos dependiendo de los recursos basados en el petróleo-gas natural, y teniendo en cuenta el conocimiento de las reservas de que disponemos en la actualidad y el consumo actual, prácticamente en 50 años (2070) estos recursos se habrán agotado. Evidentemente las energías alternativas deben de tomar de una vez la iniciativa, pero es que hay más reflexiones que tener en cuenta si se habla de agotamiento de recursos energéticos base petróleo, ya que de esta misma materia prima, el petróleo, la humanidad obtiene materiales tan importantes, cotidianos y estratégicos como son todos los Polímeros (los plásticos, como se conocen en el argot más corriente) de los cuales dependen muchísimas aplicaciones tecnológicas desde la Ingeniería en general (Materiales, Química, Electrónica, Mecánica, Civil-In-

dustrial, textil -fibras artificiales-, entre otras) hasta la biomédica con sus prótesis, instrumental quirúrgico y dispositivos variados, por citar extremos.

Pero sigamos profundizando en esta reflexión y es que hay más motivos para una preocupación añadida ya que es una pena que el mayor aprovechamiento que hacemos hoy día del petróleo lo sea en fabricación de combustibles que quemamos a diario en el motor de combustión interna de los automóviles y transportes en general y que además generamos toneladas de CO₂ con el que contaminamos diariamente más y más el planeta. Un círculo vicioso que no es nuevo que dura décadas y décadas al que hay que poner freno ya, con prisa y sin pausas.

Si volvemos a fijar la atención en la lista de las preocupaciones comentada SI aparece la incertidumbre por la energía como acabamos de relatar pero lo que **No** aparece es la preocupación por el abastecimiento de los materiales y las materias primas de los Recursos Naturales iniciales de donde se extraen para esta infinidad de aplicaciones industriales de las que venimos hablando y que la humanidad necesita y ello en un consumo con crecimientos exponenciales. Por lo tanto, y por ello, se podría llegar a la conclusión de que la sociedad las considera como ilimitadas, no hay problema se acude a la corteza terrestre o a la síntesis química y sino además para ello están los procesos innovadores que nos las van a proporcionar sin más.

Pero es evidente que no es así y nada más lejos estamos de la tozuda realidad ya que de seguir al ritmo actual de utilización, y con las reservas mundiales acreditadas de materias primas, en 50 años habremos agotado: el cobre, el oro y la plata, el zinc, el estaño, el níquel, el wolframio, el molibdeno, entre otros metales estratégicos para la industria y el bienestar en general de la humanidad; somos conscientes que si agotamos las reservas

actuales y no accedemos a más depósitos minerales o no esta la tecnología a la altura de tratar y extraer químicamente los metales de yacimientos agotados con leyes muy bajas estaremos ante un problema de dimensiones desconocidas.

Si hemos de recurrir a sacarlos de la corteza de la tierra en lo que decimos la abundancia de los elementos simples expresada en % en la composición media de las rocas en la litosfera (en lo que técnicamente se conoce como el Clarke), resultaría que para obtener, por ejemplo, 1 Kg de mercurio (unos 74cm^3) de acuerdo con el clarke del mercurio que es el $5 \cdot 10^{-5} \%$ tendríamos que tratar 5.000Tm de corteza!!; reflexionemos, ¿cómo podemos vivir ajenos a esta realidad?, ya que hay que tener en cuenta que nos afecta a todos los profesionales por muy lejos que se esté temáticamente del problema, pero lo cierto es que los **recursos naturales se agotan** y además los esquilamos a marchas forzadas con lo cual hay que ubicarse en la Cultura de la racionalidad atendiendo a un uso y consumo inteligente de los mismos y, que como en el caso de la energía hay que buscarle las soluciones de forma inmediata; en definitiva hay que hacerlo ya. No podemos ignorar la mirada lanzada por los países más poderosos del planeta sobre la Antártida que hoy por hoy esta preservada como Reserva Natural de la Biosfera pero que con el cambio climático hace cada vez más asequibles las reservas de materias primas que se sabe contiene. El cambio climático en estas circunstancias no debiera ser un problema sino al contrario una oportunidad.

En efecto, ésta situación, que a la vez de sorprendente, por desconocimiento o por despropósito existe, se hace imprescindible la búsqueda de soluciones a tiempo para que el problema no pase a ser irreversible y sin solución de continuidad. Soluciones que a su vez no pueden ser ajenas a las situaciones de contorno que le marca la escala social actual a través de los requisitos

geo-técnico-político-económicos globales del momento entre los cuales vale la pena recordar algunos de ellos que son suficientemente representativos para la reflexión:

- La población mundial crece al ritmo anual de 78 millones de habitantes. En 2010 la población mundial giraba alrededor de 7.000 millones de habitantes. En 2019, somos casi 7.500 millones y en 2025 estaremos habitando el planeta cerca de los 8.000 millones.
- En 2050 dos terceras partes de los habitantes del planeta lo hará en ciudades. En Europa, hoy, un 73% de su población ya vive en ciudades y en 2020 se calcula que será del 80% y en España hoy ya estamos en el 79%.
- Más del 80% del PIB mundial se genera en las 600 ciudades más grandes del planeta. Es decir, las ciudades son el centro neurálgico de la actividad económica, lo que crea problemas de desigualdad entre la población. Las ciudades concentran pobreza, pero también representan la principal esperanza para salir de ella. También las ciudades seguirán siendo núcleos generadores de problemas sociales, económicos, y medioambientales, entre otros, como ya estamos viviendo.
- Prácticamente un 40% de la población mundial vive en dos países, China e India.
- La mitad de la población mundial vivirá en zonas del planeta con grandes problemas de suministro de agua.
- En 2025 la edad media de los países de la EU-28 se situará en los 45 años siendo menor en USA 39años, y 37años para los países con economías emergentes dentro del de-

nominado BRICS. Un 22% de la población de los países del G8 tendrá más de 65 años.

- El crecimiento demográfico que ha experimentado Europa en los últimos diez años con 13 millones de nuevos habitantes lo ha sido a través de la inmigración lo que ha permitido que la población europea se sitúe en los 512 millones de habitantes.
- La concentración de dinero es cada vez mayor en menos personas. En el mundo un 80% de la riqueza generada en 2018 fue a parar en manos del 1% de habitantes ricos. 500 ricos ganan tanto como 460 millones de pobres o actualmente tres individuos acumulan más capital que el PIB de los 45 países más pobres del mundo.
- El número de total de coches en el mundo se cifra en 1.200 millones y el próximo año se calcula que circularán 100 millones de vehículos nuevos de los que España fabricará 2,8 millones.
- En 2018, el consumo de petróleo diario en el mundo fue de 99,5 millones de barriles y en 2019 se estima que estaremos en un consumo de 100 millones de barriles (precisamente este año 2019 será el año del doble 100, se producirán 100 millones de vehículos nuevos para un consumo diario de 100 millones de barriles de petróleo). Solo el combustible quemado en las carreteras del mundo emite 1.730 Millones de toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera cada año, gas que como es sabido es el principal causante del efecto invernadero.
- El global de CO₂ en el medio ambiente en cinco años aumentará un 25% del actual. En estos momentos esta-

mos a un nivel medio de 403ppm, por encima de los 400 ppm que se considera un valor límite según los 200 países firmantes del acuerdo de Paris en 2015 sobre el cambio climático.

- La demanda de energía se incrementará en más de un 25% en los próximos diez años, alcanzando altos precios inimaginables hace solo unos años.
- En cuatro años el precio de las materias primas se ha multiplicado por cuatro y lo que queda por ver.
- Las dificultades de suministro de materia primas que aseguren “calidades” en la producción industrial será un problema de primer orden.
- Los costes anuales por deterioro-corrosión- de los materiales que usamos en nuestras instalaciones industriales y en la vida cotidiana alcanzan un valor cifrado alrededor del 4 al 5% del producto interior bruto (PIB) de cada país. Solo en USA el año pasado ha representado una pérdida de 400.000 millones de dólares. En el caso de los metales, siguen sin engañar, puesto que regresan a la fase oxidada que es la termodinámicamente estable ya que es en ésta forma, de compuestos químicos mayoritariamente oxidados, como se encuentran en los depósitos minerales.

¿Cómo se hace frente a las situaciones globales del presente?, ya hace tiempo que los Jefes de Estado y de Gobierno de la Unión Europea en la Cumbre de Lisboa celebrada en el 2000, señalaban que si Europa no se convertía en una “economía basada en el conocimiento”, perdería su competitividad y la posición de privilegio que ocupa en el mundo. Pero si esto debe ser así,

si en verdad hemos de depender de una economía basada en el conocimiento, necesariamente se ha de generar más conocimiento para no estancarse y seguir identificando nuevas áreas o “niches” susceptibles de desarrollar con sus avances nuevas empresas con alta rentabilidad.

Pero es evidente que para conseguir estos buenos propósitos, hacen falta estímulos e inversión en recursos.

Hay que incrementar de forma sostenible la inversión en I+D (Investigación+ Desarrollo) y consolidar un sistema de investigación que genere las condiciones de contorno necesarias para que las empresas, las Universidades y Centros Públicos de Investigación acaben creando la interfase activa que permita de una vez por todas generar Innovación al servicio del hombre. Para ello deben de generarse focos o polos de atracción que debidamente dotados de medios económicos y humanos y con el objetivo de avanzar en una investigación tanto básica como aplicada pero sobretodo UTIL, les haga a la vez activos y generadores de riqueza.

Para ello habrá que considerar el Capital Humano con el que se cuenta, de tal manera que hay que preparar a los estudiantes en las distintas áreas del saber incluido en la Cultura de los Materiales para ser profesionalmente conocedores de los problemas que afectan a la humanidad, además de ser competitivos y estén preparados para avanzar en este mundo global. La cultura de la industrialización del conocimiento se tiene que fomentar desde los primeros cursos juntamente con la protección del talento y la iniciativa. Pero para ello y para conseguir estos buenos propósitos hacen falta estímulos e inversión en recursos.

En efecto, si nos remitimos a los gastos en investigación que la propia UE dedica, les recuerdo que ya estamos en la parte final del Programa Marco HORIZON 2020 (2014 a 2020), con una inversión global de 80.000 millones de euros, frente a los máximos competidores, USA, Japón y R.P.China, sorprende que las buenas voluntades chocan con las inversiones finales, ya que Europa (EU28) como conjunto dedica el 2,03% del PIB, mientras que USA dedica el 2,79% y Japón el 3,29% y es realmente chocante comprobar que China que dedica en la actualidad el 2,07%, ya está invirtiendo por encima de Europa y que con los crecimientos anuales que sigue experimentando su economía pronto alcanzará los países que más invierten en investigación. Por las noticias que nos llegan en la programación del próximo programa marco HORIZON EUROPE que habrá que aprobar relativamente pronto no parece que vaya a cambiar esta tónica realmente miope al no querer ver de cerca las necesidades reales. Otro ejemplo en la dirección incorrecta es el caso de España que había alcanzado niveles por encima del 1,3% PIB en I+D en 2009-2010 y que en estos momentos está en franca regresión ya que nos hemos situado, el año 2017, en el 1,19%, con una cifra de 13.260 millones de Euros de inversión (Fraile. 2018).

Si se examina, Fig 53, la relación de las diez empresas que más invierten en I+D en el mundo en 2018, (Statista. 2019b), y además se comparan con las cifras del año 2017 hay que hacer las siguientes consideraciones:

EMPRESAS QUE MÁS INVERTIERON EN I+D EN EL MUNDO: CIFRAS AÑO 2018	EMPRESAS QUE MÁS INVERTIERON EN I+D EN EL MUNDO: CIFRAS AÑO 2017
1. AMAZON. USA. 22.600 M\$	1. AMAZON. USA. 16.100 M\$
2. ALPHABET (GOOGLE).USA. 16.200 M\$	2. ALPHABET (GOOGLE).USA. 13.000 M\$
3. VOLSWAGEN. ALEMANIA. 15.800 M\$	3. SAMSUNG.KOREA DEL SUR.12.700M\$
4. SAMSUNG.KOREA DEL SUR.15.300M\$	4. VOLSWAGEN. ALEMANIA. 12.100 M\$
5. INTEL Co. USA. 13.100 M\$	5. MICROSOFT. USA. 12.000 M\$
6. MICROSOFT, USA. 12.300 M\$	6. ROCHE.SUIZA. 11.400 M\$
7. APPLE. USA. 11.600 M\$	7. MERCK. USA. 10.100 M\$
8. ROCHE.SUIZA. 10.800 M\$	8. APPLE. USA. 10.000 M\$
9. JOHNSON & JOHNSON.USA.10.600 M\$	9. NOVARTIS. SUIZA. 9.600 M\$
10. MERCK. USA. 10.200 M\$	10.TOYOTA. JAPÓN. 9.300 M\$

Fig 53 .TOP 10: Empresas que más invierten en I+D en el año 2018 comparativamente con lo invertido en 2017.

Se ha aumentado la inversión en I+D en el mundo por parte de las empresas líderes y que la inversión en I+D de algunas de ellas es superior a lo que invierte España anualmente. Se trata de empresas dedicadas al, comercio informático y electrónico (entre ambos un 22,5% del global), y le siguen farmacéuticas y automoción. Amazon se consolida en el líder mundial cuando hace tan solo cinco años (2013) no estaba ni en la lista de los top 10, y además el nivel de inversión actual ha aumentado en solo un año 6.500 M\$.

Empresas nuevas desbancan a empresas que podríamos considerar tradicionales como las del sector de la automoción y ello en un corto espacio de tiempo lo cual parece ser será una constante en los próximos años. De la misma manera observar el gran peso específico de las empresas americanas por encima de las europeas.

Importante hacer notar, y hay que tener presente, que el ser líderes mundiales en I+D no es sinónimo de ser las empresas más innovadoras y es el caso que la empresa que se consideró como la más innovadora en 2017 es la compañía americana, APPLE que no está en la parte superior de la lista de las Top 10, lo cual corrobora que cuando se trata de Innovación no es lo que se gasta sino como se gasta; a pesar de su liderato innovador en 2017, en 2018, ha sido superada por Amazon, Microsoft y Alphabet.

Lo que las empresas más innovadoras tienen en común no es el alto nivel de inversión en I+D, que también, sino la astucia de una acertada lectura y comprensión de las necesidades de sus usuarios/clientes finales e innovan sobre las necesidades que están por articular. Pero todo depende siempre del producto final y su aceptación en el mercado mundial como lo que le ha sucedido a APPLE en que confiando en conocerlo y de aplicarlo en los últimos años, el propio mercado particularmente en R.P.China le ha vuelto la espalda y en 2018 sus ventas han caído ostensiblemente; no obstante la reacción inmediata de APPLE ha sido aumentar el dinero destinado a investigación en 2019 con una inversión de 14.000 millones de dolares y ver la necesidad de implicarse de lleno con la Inteligencia Artificial y en tecnologías de telefonía móvil 5G, salvando, eso si, la agresividad de otros productores locales chinos como en el caso de la telefonía móvil.

Pero fijemos la atención al hecho de que ¿estas empresas que se las considera como empresas tractoras, con sus productos y su economía, y que cubren las necesidades de sectores industriales estratégicos desde la Informática a la Biotecnología pasando por la Automoción, entre otros, si ante una falta de materia prima tuvieran que paralizar sus actividades?; evidentemente no pasa por la cabeza de nadie pero el problema existe y nos alcanzará. Ya hace años que estamos asistiendo a casos bochor-

nosos en el mercado que cuando un producto es esencial y los estados presionados por grupos de poder lo necesitan se es capaz de todo incluso hasta el límite extremo de motivar guerras territoriales de dudoso origen pero que no escapan a la luz de un análisis detallado y pormenorizado de la inteligencia ni de la noticia periodística aunque a veces esta última adulterada en forma de falsas noticias (fake news); casos recientes los hay y no hace falta comentarlos.

Pues bien, ésta es una de las causas que contribuyen a una ocultación de la realidad y del protagonismo que los materiales tienen en el mundo actual como lo han tenido a lo largo de la historia. Nada nuevo, según el aforismo que se utiliza muchas veces en microscopía, de que la imagen de un árbol no tiene por qué ser la imagen del bosque, el periodismo actúa sobre la imagen del árbol olvidando muchas veces que el mundo de los materiales es el inmenso bosque.

Llegados a este punto indicarles que, hoy por hoy, tengo dudas razonables de que la mayoría de la sociedad actual, que se dice avanzada, se asombre ante las tecnologías que utiliza, ni que esté muy interesada en el descubrimiento de las siempre penúltimas partículas donde se produce la identificación materia-energía, o si le conmueve el desarrollo de nuevas prótesis para implantación humana o la referencia de materiales superconductores o por almacenamiento de energía o por la implantación del coche eléctrico o el de Hidrogeno o el de los nanotubos de carbono o el grafeno para las pantallas flexibles de la nueva generación de ordenadores plegables o el de los materiales para industrias de energías renovables, o los beneficios de utilizar los denominados STENTS arteriales que intentan paliar el hecho de que cada año mueren, en el mundo, casi 18 millones de personas por enfermedades cardiovasculares.

Más bien parece que habría que decir que la sociedad gusta en USAR, demanda lo que se ha dado en llamar BIENESTAR (un cajón de sastre en el que todo cabe), bienestar que además quiere recibirlo y poseerlo ya, con exigencias, como si fuera una obligación como si fuera un derecho para el que no aporta ni hace nada para merecer este reconocimiento.

Se monta literalmente en la maravilla tecnológica de un avión de última generación o de un coche de altas prestaciones, por poner dos ejemplos cotidianos y relevantes, olvidando lo que tiene ante sí y todo el esfuerzo ingente que ha representado de capacidad humana y estudios, aciertos y fracasos en el pasado para desarrollarlo, solo lo que importa es tenerlo, usarlo para finalmente tirarlo, sin más!!!. Es evidente que no todo el mundo lo entiende ya que les falta la sensibilidad para comprender y asombrarse de lo logrado.

¿PERO CUAL ES EL ALCANCE DE LA INNOVACIÓN EN MATERIALES Y SU IMPACTO EN LA SOCIEDAD DEL SIGLO XXI?

En Europa ya hace unos años se acuñó el concepto “convergencia tecnológica” con el que se pretende describir la sinergia entre las cuatro grandes áreas de conocimiento: nanociencia y nanotecnología, biotecnología y biomedicina, que incluye ingeniería genética, tecnologías de la información, incluyendo computación avanzada y comunicaciones; y ciencias cognitivas, incluyendo las neurociencias.

Los ejes clave de la convergencia tecnológica se pueden resumir en tres puntos:

1. Trabajar en nanoescala lo que significa combinar átomos para formar moléculas complejas y, mediante un proceso de agregación secuencial, formar finalmente estructuras orgánicas e inorgánicas.
2. Desarrollo de nuevas herramientas basadas en avances espectaculares/ revolucionarios que tienen lugar en las interfases entre las distintas áreas de conocimiento (nano-bio-info-cogno).
3. Mejorar la capacidad mental, física y social del individuo mediante el desarrollo de herramientas de interacción hombre- máquina.

Es evidente que una vez más el protagonismo que los materiales van a alcanzar en aspectos concretos de esta convergencia esta fuera de toda duda.

En efecto, en estos momentos estamos en medio de una profunda transformación/revolución industrial similar a las experimentadas en los siglos anteriores (primera y segunda revoluciones industriales) y que se fundamenta en la tercera que tuvo lugar a principios del siglo actual con las tecnologías de la comunicación basadas en Internet, lo que ha permitido la aparición de nuevas formas de contacto humanas, pero es que en brevísimo espacio de tiempo hemos inaugurado y estamos en la cuarta revolución industrial sobre la que se escribe que lo está cambiando todo, desde la forma en que nos relacionamos entre nosotros, la forma en que funcionan nuestras economías, hasta lo que significa ser humano!!.

Si en la terera revolución industrial el internet de las cosas facilitaba mediante tecnologías 4G nuestra interconexión total a través de las personas via móviles, la tecnología 5G amplía y

permite la conexión personal a las cosas, es decir no solo tendrán una conexión móvil las personas sino también lo que nos rodee y de lo que nos servimos como el automóvil, los electrodomésticos, las prendas de vestir y todo aquello que pueda captar las señales emitidas. Para hacernos una idea del cambio en la red 4G la latencia o velocidad de respuesta de la red a una acción (tiempo de espera) es de unos 40 milisegundos y en tecnología 5G, de uno o dos milisegundos. Se trata de una evolución de la telefonía móvil que de su innovación nos va a transformar cualquier aspecto de nuestra vida en nuestra relación con el entorno.

Los avances en tecnologías de materiales, la cultura, convergencia y racionalización en el uso de materiales, información, miniaturización, conllevaran a una disminución en la utilización de recursos, a una mayor complejidad y a crear productos inteligentes. Las tecnologías antiguas y bien establecidas seguirán desarrollándose en nuevos mercados y aplicaciones. Innovaciones como las nanotecnologías, las fuentes de producción energética portátiles, productos multicomcombustible, miniaturización y utilización de materiales inteligentes, continuarán su crecimiento. La salud seguirá estando influida por los desarrollos de la biotecnología, ingeniería biomédica, y terapias genéticas.

En esta cuarta revolución industrial que vivimos hay diferentes agentes responsables y de entre ellos debemos destacar a las impresoras 3D, la inteligencia artificial, los drones además de **la nanotecnología** ya comentada. Sin embargo, esta cuarta revolución industrial no se define por la aparición de una nueva tecnología, sino por posibilitar la construcción de nuevos sistemas que ya se pudieron producir gracias a la revolución digital anterior y así hay que hablar de:

-INTELIGENCIA ARTIFICIAL: es el gran avance tecnológico de nuestros días y traerá una nueva generación de robots capaces de suplir gran parte de nuestras necesidades. **La inteligencia artificial ha traído y traerá cambios a nuestra vida cotidiana** y, aunque los más pesimistas la consideran una amenaza porque sustituirá a los humanos en muchos trabajos, otros afirmamos que habrá nuevas oportunidades laborales gracias a la aparición de nuevos oficios relacionados con esta revolución tecnológica.

-INTERNET DE LAS COSAS: de la que ya hemos comentado, que significa “trasladar el internet a las cosas como son equipos, dispositivos, productos”, lo cual nos podría llevar a que un dispositivo, como un frigorífico nos informe por ejemplo de la fecha de caducidad de un producto que tiene almacenado. **Gracias a la identificación por Radio Frecuencia (RFID)**, podremos transmitir información desde cualquier aparato instalando un pequeño chip (circuito integrado)-sensor. Estamos más cerca de lo que pensamos que esto suceda, ya que, (Statista. 2019c), a finales de 2018 ya están conectados más de 34.000 millones de dispositivos y se calcula que en el 2020 haya más de 50.000 millones de dispositivos tipo conectados a internet, Fig 54, en estos momentos hay conectados a internet seis veces más dispositivos que habitantes tiene el planeta y ésto que la mitad de la población mundial no tiene todavía acceso a internet.

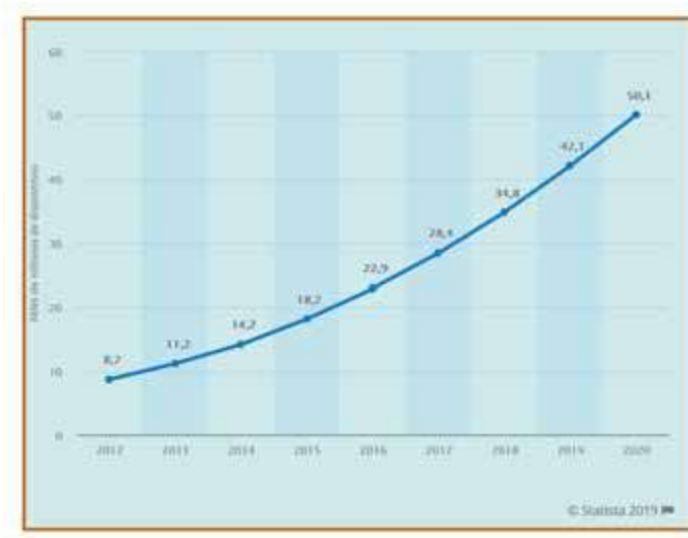


Fig 54 . Previsión de la evolución de los dispositivos conectados a Internet en el mundo (en miles de millones de dispositivos). Más de la mitad corresponden a smartphones.

Fuente Statista 2019.

–EL MAKER MOVEMENT: se afirma que la cuarta revolución industrial ha traído la democratización de la tecnología y ha abierto el acceso a todos los que quieran utilizarla. Este cambio ha originado un nuevo concepto de producción en el que varias manos participan en la creación de un solo producto. Su estandarte es el DIY (do it yourself o hazlo tú mismo) pero sin olvidar el **DIWO (do it with others o hazlo con otros)**, lo que lleva a la obtención del conocimiento trabajando en grupo y a través de la práctica. En consecuencia, las innovaciones en tecnología ya no las traen, únicamente, los grandes fabricantes, sino que son creadas gracias a la acción y el aprendizaje colectivo.

–LOS SISTEMAS CIBERFÍSICOS: se define como el internet industrial de las cosas, fábricas inteligentes o Industria 4.0. Son la consecuencia de dotar de capacidad de computación y de comunicación a los objetos físicos que existen en el entorno de trabajo. El objetivo es hacerlos inteligentes y darles la capacidad de aprender de las interacciones que tienen con el mundo. Es la inteligencia artificial llevada al ámbito de la industria.

En efecto hemos llegado a un ser tecnológico en el que vivimos rodeados por múltiples objetos y tan variados que ha mejorado la forma de vivir y la cuestión es si los sabemos administrar sabiamente ya que en todo caso dependemos del medio natural, los materiales y sus materias primas de donde los hemos extraído no sin grandes dificultades y altas dosis de ingenio. Hemos parcelado la ciencia y la tecnología en sectores y en el caso de la medicina le hemos aportado tantos avances que nos hacen concebir hoy unas expectativas de vida con cifras increíbles, alrededor de los cien años y los más osados la ha cifrado incluso en ¿150 años?. Pero es que además se señala que con calidad de vida, es decir, con la capacidad de disponer de nuevos recursos tanto físicos como intelectuales. No cabe duda que como profesionales hay que seguir progresando para que **todos estos avances e innovaciones alcancen a toda la humanidad** ya que indirectamente nos han cambiado ya el estilo de vida pero tampoco hay que ocultarle lo que nos jugamos en el futuro ya que no nos puede hacer cambiar nuestro fondo con el concepto de vida humana.

La formación y la cultura del conocimiento es el paso previo. En mi opinión, se ha de dar un golpe de timón, en las salidas profesionales hacia el sector del tejido industrial y, la Universidad, ha de buscar las vías de cómo invertir en aquellos estudiantes/profesionales que estén suficientemente preparados para crear riqueza desde dentro de la propia Universidad.

Se trata de una vía que conduce a la creación de empresas de base innovadora financiadas mediante algo tan trascendental como el MECENAZGO. Si en la Universidad tenemos a los mejores estudiantes y profesores de excelencia, este capital humano debe ser aprovechado ya que se está capacitado para crear beneficios desde dentro de la propia Universidad hacia la sociedad. Es una vía de utilidad social, el binomio estudiantes/profesores representa la posibilidad de, basados en la Innovación del conocimiento, crear empresas (Start-Ups) en aquellos sectores que no están cubiertos por la industria convencional ya que este mismo sector industrial y sus empresas pueden estar interesadas en apoyarlas mediante este mecenazgo necesario e imprescindible desde el punto de vista económico; con ello señalamos que es una vía alternativa delante de tantas y reiteradas promesas de la administración con relación a la ayuda a los más jóvenes pero promesas que nunca acaban por llegar de una forma decisiva.

En definitiva las Universidades del siglo XXI, si quieren subsistir, tienen que plantearse esta salida de crear riqueza para crear beneficios no solo económicos sino para una sociedad más fortalecida y UTIL. No cabe duda que es una apuesta con riesgo pero con un calado social extraordinario. La inversión en los más inquietos, capacitados, preparados y con ideas juntamente con profesores o grupos de profesores integrados en la Universidad que sean conocedores del mercado y bien comunicados con el mundo empresarial y su entorno, representan una vía a seguir.

En resumen, a la Universidad se le pidió ya hace siglos que formase a sus estudiantes y lo ha hecho con todo merecimiento; se nos pidió que hiciésemos investigación de calidad y lo cierto que la rentabilidad de lo invertido supera a la de otras instituciones o incluso la propia empresa. Ahora se nos pide,

se pide, a la Universidad del siglo XXI, crear riqueza, como un imperativo de necesidad ya que disponemos del colectivo mejor formado y preparado que cubre desde los estudiantes hasta el profesorado pasando por los antiguos alumnos sus graduados, sus doctores, y sus jubilados, pues hagámoslo y tengamos en cuenta que las profesiones que tendrán éxito en las próximas décadas/lustros aún no existen como tampoco existen los tipos de empresas que lo harán posible.

El impulso al Emprendedor es una nueva cultura que está echando raíces, es imparable y es la llave hacia la Innovación Social y organizativa. El mecenazgo es la fórmula que en la ecuación matemática de la Innovación, la consolidación económica y el bienestar social, tiene la palabra.



Fig 55. Sectores Industriales y Macro, Meso, Micro, Nanoestructura de Materiales Diversos. (Guilemany. Materialografía).

Ciencia y Tecnología con su Innovación seguirán siendo motores del desarrollo y progreso pero para ello habrá que contar con los materiales que lo hará posible y asequible a toda la humanidad si de una vez comprendemos que sus reservas son limitadas. Para ello habrá que entrar en la cultura de fabricación de productos con diseños que orienten la óptima aplicación, reutilización y **reciclaje de una forma seria** y sin complejos. Además habrá que valorizar los recursos contenidos y procedentes de todo tipo de residuos incluidos los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) para su aprovechamiento integral sin poner en peligro la salud humana y creando aquellas empresas que sean necesarias basados en esta orientación y creando mercados fundamentados en la necesidad de conservar nuestro hábitat preservándola de la contaminación medioambiental galopante que ya nos agobia y que no hay que olvidar que una degradación del medio ambiente conduce a una degradación de la humanidad que lo ha originado.

Materiales y energía se necesitan mutuamente para seguir en una sociedad en la que sirvan al hombre y evitando el sometimiento del hombre a la tecnología envolvente. Hay que reconocer que lo que se ha hecho hasta ahora en esta dirección son simples y tímidos intentos basados en soluciones concretas pero la solución global sigue esperando su momento. Las nuevas generaciones tienen este reto ante sí con un futuro espectacular cargado de iniciativas en la que la mano racional del hombre no puede fallar ya que nos jugamos mucho en ello.

Sin la propiedad del conocimiento y la innovación el desarrollo está condenado al fracaso y esto, evidentemente, no comporta el progreso. Con gente preparada como como la que tenemos y con Instituciones que crean en el rol fundamental de formar profesionales que sepan resolver problemas en las empresas a las que se incorporen o creando otras de nuevas que sean innova-

doras, flexibles y con valor añadido, es donde está el futuro. La INNOVACIÓN es la PALABRA CLAVE (Keyword) pero solo si el hombre la sabe manejar con sabiduría y justicia.

Pero se preguntaran y la belleza, donde reside la belleza de los materiales pues para ello simplemente tengan en cuenta las palabras del inolvidable Premio Nobel de Física en 1921, Albert Einstein:

“La belleza reside en el corazón de quien la contempla”,

Pues esto Exmos, Ilustrisimos, Sras, Sres, Amigos, mi corazón así los contempla, como bellos, son bellos.

Barcelona Marzo de 2019
Prof. Josep Maria Guilemany



❖ BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

A

Agricola, Georgious (1556). “De Re Metallica”. Dover Publications. Nueva York (1950). Reproducción de la obra original de 1556. USA.

AIRBUS. (2018). “ A350.XWB.Family”
<https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a350xwb-family.html>. France.(2018).

Aitchison, L. (1960).“A History of Metals”. Vol 1 y 2. MacDonal y Evans. London. UK.(1960).

Ajdelsztajn.L (2006), Jodoin B, Schoenung JM. “Synthesis and mechanical properties of nanocrystalline Ni coatings produced by cold gas dynamic spraying”. Surface and Coatings Technology ; 201.pp 1166–72. Elsevier.UK. (2006).

Alcala Zamora. J.(1974) “Historia de una Empresa Siderúrgica Española: los Altos Hornos de Lierganes y la Cavada 1622-1838”. Diputación Provincial de Santander. Instituto Cultural de Cantabria. Centro de Estudios Montañeses. Santander. España. (1974).

AlixPartner. (2018). “Un estudio alerta del riesgo de las inversiones en vehículos eléctricos” **<https://www.coheglobal.com/tendencias/un-estudio-alerta-del-riesgo-de-las-inversiones-en-vehiculos-electricos.html>**. España. (2018).

- Alkhimov. A.P (1986), Kosarev VF, Nesterovich NI, Papyrin AN. "Method of Applying Coatings". Patente SU 1618778; prio. June 6th. USA. (1986).
- Alonso Barba.A. (1640) "Arte de los Metales". Escuela especial de Ingenieros de Minas de Madrid. Reproducción del original de 1640.España. (1932).
- American Heart Association (2017). "Resumen de estadísticas de 2017 Enfermedad del corazón y ataque cerebral". Circulation doi: 10.1161/ CIR. 000000000000485.USA. (2017).
- ANECA. (2007). "Libro Blanco: Estudios de Grado en Ingeniería de Materiales". Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación. Editado por la Universidad Politécnica de Madrid. DL.M- 52834-2006. Madrid. España. (2007).
- Ashby. M.F.(2008). "Materials Selection in Mechanical Design, Elsevier. Butterworth-Heinemann.Edición 3. USA. (2008).
- ASM. (2017). "Modern Materials for Sports and recreation". Advanced Materials and Processes. July- August. pp16- 20. American Society of Materials. USA. (2017).
- Assadi.H. (2003), Gärtner, F., Stoltenhoff, T., Kreye H. "Bonding mechanism in cold gas spraying". Acta Mater. 51. pp 4379-4394. doi:10.1016/S1359-6454(03)00274-X. Elsevier.USA. (2003).
- Assadi.H (2016), Kreye, H., Gärtner, F., Klassen, T. "Cold spraying – A materials perspective". Acta Mater. 116 ,pp 382-407. doi.10.1016/j.actamat.2016.06.034. Elsevier. USA. (2016).

B

Baba.T.(2019) , Horiya.T., Tokiyama.T., Sato.T., Idei.H., Nishikawa.Y., Kitahara.M., Narita.H. “Process for producing spheroidal-graphite cast iron, and spheroidal-graphite cast iron member obtained from said spheroidal-graphite cast iron”. Patent number US20140348694A1. 14-02-2019.USA. (2019).

Bacciochini. A (2013), Radulescu MI, Yandouzi M, Maines G, Lee JJ, Jodoin B. “Reactive structural materials consolidated by cold spray: Al-CuO thermite”. *Surface and Coatings Technology*. 226. pp 60–67. Elsevier. USA. (2013).

Bae.G (2008), Xiong, Y., Kumar, S., Kang, K., Lee, G. “General aspects of interface bonding in kinetic sprayed Coatings”, *Acta Materialia*. 56 .pp 4858–4868. doi:10.1016/j.actamat.2008.06.003. Elsevier. USA. (2008).

Bakshi.S.R (2008), Singh, V., Balani, K., McCartney, D.G., Seal, S., Agarwal, A. “Carbon nanotube reinforced aluminum composite coating via cold spraying”. *Surface and Coatings Technology*. 202. pp 5162–5169. doi:10.1016/j.surfcoat.2008.05.042. Elsevier. USA. (2008).

Bedoya.J (2013), Cinca.N, Guilemany.J.M. “Recubrimientos Micro-Nanoestructurados de Aleaciones Ligeras Mediante Proyección Fría para la protección, Recuperación y Restauración de Componentes de Elevado Valor Añadido”. *Revista de Metalurgia*. Ref 1237. 49, (3). pp 223- 236. CENIM. Madrid. España. (2013).

Bedoya.J (2014a),Dosta. S, Cano.I.G, J. M. Guilemany. “ Cold Spray processing of thick Al- based and composite coatings

and overlays for repair and protection of light alloy components”.

Intellectual properties protection (iPP). Protegido por Secreto Industrial. Depósito Legal, 31/5/2014. Acta de protocolización número 878. pp 12. Barcelona. España. (2014).

Bedoya.J (2014b), Dosta.S, Cano,I.G, Guilemany,J.M. “On Improving Surface Properties of Mg alloys by Cold Spray Aluminum Based Coatings”. Surface & Coatings Technology. Vol242,pp 292-299. March. Elsevier. UK. (2014).

Beckman. E. (2018).”The world of plastics, in numbers”. 9 agosto 2018. CEST. Ellen MacArthur Foundation, and the National Science Foundation. USA. (2018).

Bellosta von Colbe.J.M.(2019)., Capurso.,G., Franz.A., Benz.U., Zoz.H., Klassen.T.,Dornheim.M.” Scale-up of milling in a 100 liter device for processing of TiFeMn alloy for hydrogen storage applications: procedure and characterization”. International Journal of Hydrogen Energy .January. DOI: 10.1016/j.ijhy.2019.01.174. Elsevier. UK. (2019).

Berliner Bever.M (1986). “Encyclopedia of Materials Science and Engineering”. ISBN 0080221580 . 6.200Pags. Pergamon Press. USA. (1986).

Bernal.J.D (1969). “Science in History”, Vc l. 1-4, Penguin Books, Ltd. Middlesex. UK. (1969).

Bertoldi. K. (2017).,Vitelli.V, Christensen.J.,van Hecke. M.”-Flexible mechanical metamaterials”. Nature Reviews Materials 2, article number: 17066 (2017) Published on line: 17Oct. doi:10.1038/natrevmats .2017.66. USA. (2017).

Biringuccio.V (1540). “The Pirotechnia”. American Institute of Mining and Metallurgical Engineers. Nueva York. USA. (1959). Reproducción de la obra original de 1540.

Borchers C (2015), Stoltenhoff T, Hahn M, Schulze M, Assadi H, Suryanarayana C, Gärtner F, Klassen T. “Strain-Induced Phase Transformation of MCrAlY”. *Advanced Engineering Materials* .17. pp723–731. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. Germany. (2015).

Bush.T. B (2017), Khalkhali, Z., Champagne, V., Schmidt, D. P., Rothstein, J. P. “Optimization of Cold Spray Deposition of High-Density Polyethylene Powders”. *J. Therm. Spray Technol.* 26 . pp 1548–1564. USA.(2017).

C

Calvo.F.A.(1964). “La España de los Metales”. Patronato Nacional de Investigación Científica y Técnica-CENIM , Madrid. España. (1964).

Calvo. F. A.(1971), “La Metalurgia: Una disciplina olvidada”. Universidad de Salamanca. España. (1971).

Calvo. F. A.(1977). “Momento Científico Técnico de la Fábrica de Hierro de Sargadelos”. Cuadernos del Seminario de Estudios Cerámicos de Sargadelos. España. (1977).

Calvo. F. A. (1984). Guilemany.J.M. “La Metalurgia desde su Historia”. Editor Asociación Técnica Española de Fundición, ATEF Servicio de Publicaciones. 23pags. ISBN 0010-0544. DL:M-1558-1970. Madrid. España. (1984).

Calvo. F. A. (1988). “Antiguas Artes, Nuevas Tecnologías”. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid. España. (1988).

Cancedo. J. (1971), “D’Elhuyar y el siglo XVIII Neogranadino”. Ministerio de Educación Nacional, Instituto Colombiano de Cultura Hispánica. XXIII. Bogotá. Colombia. (1971).

CCAS (2014). Coalition for the Commercial Application of Superconductors. “Superconductivity”. 36pags. CCAS. USA. (2014).

CCAS (2019). Coalition for the Commercial Application of Superconductors. “Commercial applications of superconductors: Overview of Applications”.28pags. © 2019 CCAS. USA.(2019).

Cinca. N. (2013a), Guilemany J.M. “Structural and properties characterization of stellite coatings obtained by cold gas spraying”. Surface and Coatings Technology .220. pp 90–97. Elsevier. UK. (2013).

Cinca.N. (2013b), List.A, Gärtner. F, Guilemany. J.M, Klassen.T. “Deformation and Adherence of FeAl in Cold Gas Spraying for Industrial Applications”.

Intellectual properties protection (iPP). Protegido por Secreto Industrial. Depósito Legal, 25/1/2013. Acta de protocolización número 71. pp 16. Barcelona. España. (2013).

Coalition for the Commercial Application of Superconductors-CCAS-(2019).“Superconductivity: Present and Future Applications”.CCAS. 39pags. USA. (2019).

Coatings World (2018). “Global Coatings Market Overview”.

Coatings World. August 2018. USA. (2018).

Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología-CICYT. (1991). “Descripción de las máquinas del Real Gabinete. Juan López Peñalver”. ISBN 84-87111-21-1. Madrid. España. (1991).

Concustell.A.(2017a),Henao,J,Garcia-Cano.I,Dosta. S, Guilemany.J.M, Suhonen.T.

“Al-Based Metallic Glass Coatings System With Improved Corrosion and Wear Properties”.

Patente de Invención ES 2597814 B1. Solicitada (22 de Julio de 2015). IET 11 de Octubre de 2016. Concedida 24 de Octubre de 2017. UNIVERSITAT DE BARCELONA. Centro de Proyección Térmica (UB). España. (2017).

Concustell.A.(2017b),Henao,J,Garcia-Cano.I,Dosta. S, Guilemany.J.M.

“Process of Manufacturing of a Bulk Part of Metallic Glass Using the Cold Gas Spray Technique and Corresponding Bulk Parts”.

Patente de Invención EP16382591.2.Solicitada (7 Diciembre de 2016). UNIVERSITAT DE BARCELONA. Centro de Proyección Térmica (UB). España.

Submission number 5848281.PCT application number PCT/EP2017/081559.Date of receipt 05 December 2017. Receiving Office European Patent Office, The Hague. Netherlands. (2017). International Publication Number WO 2018/104323 A1. Date Publication 14 June (2018).

Couto. M (2014a), Dosta S ,Fernandez J, Guilemany JM.

“Comparison of the Mechanical and Electrochemical Properties of WC-17 and 25Co Coatings Obtained by High Velocity Oxy-Fuel and Cold Gas Spraying”. Journal of Thermal

Spray Technology. Vol 23, Issue 8, pp 1251-1258. ASM International. USA. (2014).

Couto. M (2014b), Dosta S ,Putzier,J, Cano.I.G, Guilemany JM. “WC25/17/12Co cermet coatings obtained by Cold Gas Spray”.

Intellectual properties protection (iPP). Protegido por Secreto Industrial. Depósito Legal, 10/7/2014. Acta de protocolización número 1186. pp 13. Barcelona. España. (2014).

Crespo.V (2015), Garcia-Cano.I, Dosta.S, Guilemany. J.M. “The Influence of Feedstock Powders on the CGS Deposition Efficiency of Bond Coats for TBCs”.Journal of Alloy and Compounds. 622, pp394-401. Elsevier.UK. (2015).

CH

Chao.J. (2018). “Wind technology advancements continue to drive down wind energy prices. Energy & Green Tech. August 23, 2018 Lawrence Berkeley National Laboratory.USA. (2018).

Champagne. V. K. (2007). “The cold spray materials deposition process Fundamentals and applications”. doi.org/10.1533/9781845693787.frontmatter.USA. (2007).

Chavan. N.M. (2011)., Ramakrishna. M., Phani. P.S., Rao. D.S., Sundararajan. G. “The influence of process parameters and heat treatment on the properties of cold sprayed silver coatings”. Surface and Coatings Technology. 205, pp 4798–4807.Elsevier.UK.(2011).

Chavan. N.M (2013), Kiran B, Jyothirmayi A, Phani. P.S, Sundararajan G. “The corrosion behavior

of cold sprayed zinc coatings on mild steel substrate”. *Journal of Thermal Spray Technology*, 22, pp 463–70. USA. (2013).

Chen. B. (2018), Liang, J., Kang, T., Cao, R., Li, C., Liang, J., Li, F., Zhao, Z., Tang, D. “A Study of the Optimum Quenching Temperature of Steels with Various Hot Rolling Microstructures after Cold Rolling, Quenching and Partitioning Treatment”. *Metals*. 2018, 8, 579; doi:10.3390/met8080579. MDPI. Basel, Switzerland. (2018).

D

Da Silva, F.S (2017), Cinca, N. Dosta, S. Garcia-Cano, I. Guilemany, J.M. Benedetti, A.V. “Cold Gas Spray Coatings: Basic Principles, Corrosion Protection and Applications”. *Eclética Química Journal*, 42, pp 9-32. UNESP. Brasil. (2017).

Da Silva, F.S (2019), Cinca, N. Dosta, S. Garcia-Cano, I. Guilemany, J.M. Caires. C, Lima. A, Silva, C.M, Oliveira, S.L, Caires, A.R.L, Benedetti. A.V. “Corrosion Resistance and Antibacterial Properties of Copper Coating Deposited by Cold Gas Spray”

Surface and Coatings Technology. Vol 361. pp 292- 301. March. Doi.10.1016/j.surfcoat.2019.01.029. Elsevier. UK. (2019).

Dinger, A. (2013), Martin. R., Mosquet, X., Ralb. M., Rozoulis, D., Russo. M., Sticher, G. “Bateries for Electric Cars: Challenges, Opportunities and the outlook to 2020”. THE Boston Consulting Group. Brochure 15 pags. Dusseldorf. Germany. (2013).

Dosta. S. (2006), Miguel, J.R, Guilemany, J.M. “La Proyección Térmica: Recubrimientos Competitivos para un Crecimiento

- Industrial Sostenible”. Química e Industria. ISBN 84- 690-2349-7.pp 9.Madrid. Spain. (2006).
- Dosta. S. (2009), Cinca.N., Garcia.J., Salito.A., Guilemany.J.M. “Perspektiven für das Kaltgasspritzen in der Medizintechnik”.Thermisches Spritzen e.V.ISSN 1612-6750. pp151-156. Germany. (2009).
- Dosta. S. (2012), Torrell.M., Garcia-Cano.I, Guilemany.J.M. “Functional Coloured Ceramic Coatings Obtained by Thermal Spray for Decorative Applications”. Journal of The European Ceramic Society. Ref JECS-D-11-00933. 32, pp 3685-3692. European Ceramic Society. Elsevier Editorial System. UK. (2012).
- Dosta. S. (2013),Couto.M., Guilemany.J.M. “Cold Spray Deposition of a WC-25Co Cermet Onto Al7075-T6 and Carbon Steel Substrates”.Acta Materialia. Ref A-12-1300. Vol 61. Issue 2. pp 643- 652.Elsevier. USA. (2013).
- Dosta. S. (2015-2019), Garcia-Cano.I, Guilemany.J.M. “Riblet-Surfaces for Improvement of Efficiency of Wind Turbines”. (Riblet4Wind). Entidad financiadora: European Commission. Programa HORIZON 2020. H2020-NMP-PILOTS-2015.Topic: NMP-02-2015. Proposal Project 657652. Project Number: 686135 – Riblet4Wind. 8 socios de 5 paises europeos.EU. (2015-2019).
- Dosta. S. (2017-2019), Garcia-Cano.I, Sanchez.J., Guilemany.J.M. “PROtective composite Coatings via Electrodeposition and Thermal Spraying” (PROCETS). Entidad financiadora: European Commission. Programa HORIZON2020. H2020-NMP-PILOTS-2015. NMP-02-2015. Project 686135 – PROCETS. 15 socios de 10 paises europeos. EU.(2017-2019).

Duerinck.T. (2018), Kersemans.D., Skrodzka.E.4, Leman.M,- Verberkmoes.G., VanPaepegem.W. "Experimental Modal Analysis of Violins Made from Composites". 18th International Conference on Experimental Mechanics (ICEM18), Brussels, Belgium. Proceedings 2018, 2, 535; doi:10.3390/ICEM18-05457. MDPI. Basel, Switzerland.(2018).

E

Erdemi. O. (2017). "The Development and Applications of Powder Metallurgy Manufacturing Methods in Automotive Industrie. International Journal of Research and Development, Vol.9, No.3. pp100-114. December, Special Issue. USA. (2017).

Ernst and Young (2017). "Pulse of the industry: Medical Technology Report 2017". ©2017 EYGM Limited. EYG no. 05262-174Gbl and CSG no. 1708-2374727. USA. (2017).

EUROPEAN COMMISSION (2017). "Communication from the commission to the European Parliament and the Council EU contribution to a reformed ITER project". Brussels, 14.6.2017. COM(2017) 319 final. EU. (2017).

F

FECIT. (2018), Federación Española para la Ciencia y la Tecnología y OCDE, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. "Manual de Frascati 2015:Guía para la presentación y recopilación de información sobre la investigación y desarrollo experimental". NIPO: 057-17-100-0; e-NIPO: 057-17-101-6. DL: M-21470-2018. ISBN:978-92-6423880-0 (print) ISBN 978-926423901-2 (PDF). Madrid. España. (2018).

Fernandez. M. (2016). "Los complejos dispositivos de los carretes de pesca deportiva". <http://www.cotodepezca.com>. España.(2016).

Ford.M.C.(2018)., Hellman.M., Kazarian., Clohisy.J.C, Nunley.R.M., Barrack.R.L. "Five to Ten-Year Results of the Birmingham Hip Resurfacing Implant in the U.S. The Journal of Bone and Joint Surgery (JBJS). November 7, 2018 - Volume 100 - Issue 21 - p 1879-1887.doi: 10.2106/JBJS.17.01525. USA. (2018).

Fraille. R. (2018). "La inversion en I+D+i, 2018: Análisis de la situación a nivel internacional, nacional y autonómico".EAE Business School.ISBN 978-84-17476-13-7. Mayo. Barcelona.España. (2018).

G

Garcia-Cano.I.,(2007), Dosta.S., Miguel. J.R., Guilemany.J.M. "Production and Characterization of Metastable Al_2O_3 - TiO_2 Ceramic Materials". Journal Materials Science. Vol 42. (22), pp9331- 9335. Springer. USA.(2007).

Garcia-Cano.I(2018), Dosta.S, Guilemany.J.M, Lusvarghi.L, Bolelli.G. "Process for obtaining a dense superhydrophobic or hydrophobic, icephobic and wear resistant coating by means of Cold Gas Spray technique". Patente de Invención EP17151460.7. Solicitada (13 Enero de 2017). UNIVERSITAT DE BARCELONA. Centro de Proyección Térmica (UB)- UNIMORE (Italia). Submission number 5949942. PCT application number PCT/EP2018/050664.Date of receipt 11 January 2018.Receiving Office European Patent Office, The Hague.Netherlands. (2018).

- Gardon.M (2013a), Guilemany. J. M., Wills.R. “Titanium Oxide Coatings Obtained by Atmospheric Plasma Spray and its Performance as Electrodes”
Intellectual properties protection (iPP). Protegido por Secreto Industrial. Depósito Legal, 10/1/2013. Acta de protocolización número 51. pp 18. Barcelona. España.(2013).
- Gardon.M (2013b), Dosta.S, Guilemany. J. M., Monereo. O., Vescio.G, Cirera.A. “Titanium sub-oxide coating obtained by Thermal Spray onto a flexible polymer and its application as a gas sensor and radiation sensor”.
Intellectual properties protection (iPP). Protegido por Secreto Industrial. Depósito Legal, 7/3/2013. Acta de protocolización número 580. pp 17. Barcelona. España. (2013).
- Gardon.M (2013c), Dosta.S, Guilemany. J. M., “Photocatalytic nanostructured anatase and copper/anatase coatings obtained by Cold Gas Spray”.
Intellectual properties protection (iPP). Protegido por Secreto Industrial. Depósito Legal, 2/5/2013. Acta de protocolización número 1208/1. pp 15. Barcelona. España. (2013).
- Geyer. R., (2017), Jambeck.J.R., Lavender-Law.K. “Production, use, and fate of all plastics ever made”. *Science Advances* Vol. 3, no. 7, DOI: 10.1126 / sciadv.1700782. Jul. USA. (2017).
- Gil.FJ (2018a). “Avances Tecnológicos en Implantología Oral: Hacia los Implantes Dentales Inteligentes”. *Discurso de Ingreso en la Real Academia Europea de Doctores*. ISBN:978-84-697-9148-6. RAED. 302pags.Barcelona. España.(2018).
- Gil.FJ (2018b). Ruperez.E, Velasco. E, Aparicio. C, Manero. J.M. “Mechanism of fracture of NiTi superelastic endodontic rotary instruments”. *Journal of Materials Science Materials*

- in Medicine 29(8).DOI: 10.1007/s10856-018-6140-7. August. Springer Nature Switzerland. (2018).
- Gil.F.J (2014). Herrero.M, Lázaro. P.J, Rios.J.V. “Implant-abutment connections: Influence of the design on the microgap and their fatigue and fracture behavior of dental implants”. Journal of Materials Science Materials in Medicine. 25. (7). DOI:10.1007/s10856-014-5211-7. April. Springer Nature Switzerland. (2014).
- Ginebra. M.P (2018),Barba. A, Maazouz.Y, Diez-Escudero. A, Rappe. K, Español. M, Montufar. E.B, Öhman-Mägi. C, Persson. C, Fontecha.P, Manzanares. M.C, Franch. J. “Osteogenesis by foamed and 3D-printed nanostructured calcium phosphate scaffolds: Effect of pore architecture”. Acta Biomater. (1).79.pp135-147. doi: 10.1016/j.actbio.2018.09.003. Epub 2018 Sep 6.Elsevier. UK. (2018).
- Goldsmith.B.R. (2019).” The Different Types of Baseball Bats”.<https://livehealthy.chron.com/different-types-baseball-bats-2255.html>.USA. (2019).
- Golf Digest. (2019).”Game improvement irons: Hot list 2019”. <https://www.golfdigest.com/hot-list/golf-clubs/game-improvement-irons/fourteen-tc560-forged>. USA. (2019).
- Grigoriev.S (2014), Okunkova.A.,Sova,A., Bertrand. P.,Smurov.I. “Cold spraying: From process fundamentals towards advanced applications”. Surf. Coatings Technol. 268 . pp 77–84.Elsevier. UK. (2014).
- Grujicic.M (2003), Saylor.J. R, Beasley.D.E, DeRosset.W. S, Helfritch. D. “Computational analysis of the interfacial bon-

ding between feed-powder particles and the substrate in the cold-gas dynamic-spray process”. Appl. Surf. Sci. 219. pp 211–227. Elsevier. UK. (2003).

Guilemany.J.M (1984), Llorca-Isern.N. “Metallographic Differences Between Compacted Graphite Cast Iron and Vermicular Graphite Cast Iron / Unterschied in der Gefügeausbildung von Gubeisen mit Kompakgraphit und Gubeisen mit Greupelgraphit”. Practical Metallography. 21. pp299-306. Riederer-Verlag. Germany. (1984).

Guilemany. J.M. (1987), Mellor. B.G, Miguel.J.R., Gil.F.J. «Etude de l'évolution en temperature de la transformation martensitique par Microscopie Electronique a Balayage (SEM)». Revue de Metallurgie. 84, 492, Sept. Paris. France. (1987)

Guilemany.J.M (1988). «Cien Años de Metalurgia Física». Química e Industria. Vol 34. N° 10,pp 951-957. Octubre. Madrid. España. (1988).

Guilemany.J.M (1994). «Felipe Calvo: Retrospectiva de un Maestro». Edición patrocinada por el Centro Español de la Soldadura y la Universitat de Barcelona. ISBN 84-604-9637-6 .Pags 109. Madrid. España. (1994).

Guilemany.J.M.(1997).,Nutting.J.,Miguel.J.R., Dougan.M.J., de Paco.J.M., Dong.Z., Llibre.J.”Free- standing Components Produced by HVOF Spray Forming: Coatings Stand Alone”. Materials World.Vol 5. Num 4. pp 197- 198. IoM. UK. (1997).

Guilemany.J.M.(2003)., Miguel.J.R., de Paco.J.M., Armada.S.,Calero.A.,Sobolev.V.,Delgado.J.,Demestre. J.M.,Fer-

nandez.J. “Recargues por Proyección Térmica”.Capítulo 3 del Libro “Soldadura de los Aceros. Aplicaciones”. M.Reina Gómez.Editoril Weld Work. S.L. ISBN 84- 607-7487- 2. 4ª Edición.Madrid.pp 83- 92. España. (2003).

Guilemany.J.M (2012a), Dosta.S., Fernández.J, Garcia-Cano.I., Iliescu.S. “Proceso de conformación de rótulos de señalización del tipo de los que utilizan escritura en altorrelieve centrado en el trazo y escritura “Braille” mediante la tecnología de proyección fría”. iPP (Intellectual properties protection)/ Trade & Industrial secrets. iPP Reference/Protocol Number: 2030. Affidavit: 19th, September 2012. Thermal Spray Centre/ Centro de Proyección Térmica (CPT). Universitat de Barcelona.Barcelona. España. (2012).

Guilemany. J.M (2012b),Dosta.S, Cinca.N, Fernández.J, Garcia-Cano.I. “Feasibility of Cold Gas Spraying to Produce Metal Coatings onto Activated Polymeric Substrates”.Intellectual properties protection (iPP). Protegido por Secreto Industrial. Depósito Legal, 2/10/2012. Acta de protocolización número 1240B. pp10. Centro de Proyección Térmica (CPT). Universitat de Barcelona. Barcelona. España. (2012).

Guilemany. J.M (2012c),Dosta.S, Cinca.N, Fernández.J, Garcia-Cano.I. “Feasibility of Cold Gas Spraying to Produce Metal Coatings onto Activated Ceramic Substrates”.Intellectual properties protection (iPP). Protegido por Secreto Industrial. Depósito Legal, 2/10/2012. Acta de protocolización número 1240A. pp12. Centro de Proyección Térmica (CPT). Universitat de Barcelona.Barcelona. España. (2012).

Guilemany.J.M(2012d),Garcia-Cano.I., Torrell. M., Iliescu.S., Fernández.J., Dosta.S. “New SOFC (CPT-cell) Production Using a Smart APS Process”

Intellectual properties protection (iPP). Protegido por Secreto Industrial. Depósito Legal, 31/10/2012. pp 15. Acta de protocolización número 2334/1. Centro de Proyección Térmica (CPT). Universitat de Barcelona. Barcelona . España. (2012).

Guilemany.J.M(2012e),Garcia-Cano.I., Dosta.S. "New cost/effective superHYDROphobic coatings with enhanced BOND strength and wear resistance for application in large wind turbine blades" (HYDROBOND).
Entidad financiadora: European Commission. VII Programa Marco. FP7-NMP- 2012-SMALL-6.Proposal No:310531-2 HYDROBOND CP-FP. 8 socios de 5 países europeos. EU.(2012- 2017).

Guilemany.J.M (2013). Proyecto de Investigación Aplicada Orientada al Desarrollo Experimental del "FIRST WALL PANELS" para la Reactor Experimental de Fusión ITER (ITER BLANKET) ".CDTI. Subprograma de Apoyo a la Industria de la Ciencia. Ref Expediente IDC-20101156. CPT-UB.España. (2010- 2013).

Guilemany. J.M (2014a), Dosta.S, Garcia-Cano.I. Gardon.M. "Polymer/ Fluoropolymer/ Composite Coatings onto Metallic/ Ceramic/Polymeric/ Composite Substrates by Means on Cold Gas Spray". Intellectual properties protection (iPP). Protegido por Secreto Industrial. Depósito Legal, 19/3/2014. Acta de protocolización número 343. pp 7. . Centro de Proyección Térmica (CPT). Universitat de Barcelona. Barcelona. España. (2014).

Guilemany.J.M (2014b), Gardon.M, Robotti.M., Concustell. A., Dosta.S, Garcia-Cano.I. "Self-cleaning, photocatalytic and superhydrophobic coatings obtained by Cold Gas Spray". Intellectual properties protection (iPP). Protegido por Secreto

to Industrial. Depósito Legal, 31/3/2014. Acta de protocolización número 431. pp 13. Centro de Proyección Térmica (CPT). Universitat de Barcelona. Barcelona. España. (2014).

Guilemany. J.M (2014c), Cinca.N, Dosta.S, Garcia-Cano.I. “Feasibility of cold gas spraying to produce high roughness high porous titanium coatings for metallic prosthesis”. Intellectual properties protection (iPP). Protegido por Secreto Industrial. Depósito Legal, 17/10/2014. Acta de protocolización número 1870.pp 21. Centro de Proyección Térmica (CPT). Universitat de Barcelona. Barcelona. España. (2014).

Guilemany. J.M (2015), Cinca.N, Dosta.S, Garcia-Cano.I., Vilardell. A.M. “Multifunctional Micro-Nano Structured Hydroxyapatite Coatings onto Titanium

and Ti6Al4V for Biomedical Applications by Cold Gas Spray”. Intellectual properties protection (iPP). Protegido por Secreto Industrial. Depósito Legal, 16/4/2015. Acta de protocolización número 809.pp 13. Centro de Proyección Térmica (CPT). Universitat de Barcelona. Barcelona. España. (2015).

H

Habashi.F.(1969). “Principies of Extractive Metallurgy”. Vol. I: General Principles. ISBN 0-677-01-7707. Gordon and Breach. Nueva York. USA. (1969).

Habashi.F.(1994). “A History of Metallurgy”. ISBN 2- 980-3247-1-X. Published by Metallurgy Extractive Quebec, Enr. Canada. (1994).

Hassani-Gangaraj.M. (2018), Veysset, D., Champagne, V.K., Nelson,K.A., Schuh.C.A. “Adiabatic shear instability is not necessary for adhesion in cold spray”. Acta Materialia 158.

pp 430-439. DOI:10.1016/j.actamat.2018.07.065. July. Elsevier. USA. (2018).

HEAD. (2019). <https://www.head.com/es-ES/sports/tennis/graphene360-speed-racquets/>. (2019).

HockeySticksMaterials-HSM-.(2019). http://www.hockeysticks.co.uk/hockey_stick_materials.htm. (2019).

Hodder, K. J. (2014), Nychka, J. A., McDonald, A. G. “Comparison of 10 μm and 20 nm Al- Al_2O_3 Metal Matrix Composite Coatings Fabricated by Low-Pressure Cold Gas Dynamic Spraying”. J. Therm. Spray Technol. 23. pp 839–848. ASM. USA. (2014).

Hydrogen Council (2017). “Hydrogen scaling up: A sustainable pathway for the global energy transition”.

Hydrogen Council. 78pags. November. USA.(2017).

I

IBM. (2019). IBM discovers first new class of polymers in decades. IBM Science Internal report. 4 pags. USA. (2019).

J

Jeziorska.R.,Szadkowska.A.,Spasowka.E,Lukomska.A., Chmielarek.M. “Characteristics of Biodegradable Polylactide / Thermoplastic Starch /Nanosilica Composites: Effects of Plasticizer and Nanosilica Functionality”.Advances in Materials Science and Engineering.Volume 2018, Article ID 4571368. 15 pages.doi.org/10.1155/2018/4571368. Hindawi. London. UK. (2018).

Ji. G. (2015), Chen X, Wang H, Bai X, Dong Z. “Deformation Behaviors of Cold-Sprayed WCCo Particles”. *Journal of Thermal Spray Technology* .24. pp 1100–10. ASM. USA(2015).

Jimeno Gil. E. (1922). “Metalografía”. Universidad de Oviedo. Publicación de la Facultad de Ciencias. Impreso en Calatayud, MCMXXII. España.(1922).

Jimeno Gil. E. (1931). “Laboratorios de Química Inorgánica y Analítica y de Metalografía” Universidad de Barcelona. Facultad de Ciencias. Diciembre. España. (1931).

Jimeno Gil. E. (1940). “Ciencia y Técnica”. Sociedad Anónima Española de Traductores y Autores de Madrid. España, (1940).

K

K Portal. (2019). “Material of the 21st century: Plastics move the world” Trade Fair for Plastics and Rubber.https://www.k-online.com/cgi-bin/md_k/lib/pub/tt.cgi/Material_of_the_21st_century_Plastics_move_the_world. Germany (2019).

Kim. D. (2013), Park. J, Lee J, Kim. D, Tark. S.J, Ahn. S, Yun. J.H, Gwak. J, Yoon. K.H, Chandra. S, Yoon. S.S. “Cold spray deposition of copper electrodes on silicon and glass substrates”. *Journal of Thermal Spray Technology* 22. pp1092–1102. ASM.USA. (2013).

Klassen, T. (2010), Gärtner. F., Schmidt. T., Kliemann. J.O., Onizawa. K, Donner. K. R., Gutzmann. H., Binder.K., Kreye.H. “Basic principles and application potentials of cold gas spraying”. *Materwiss. Werksttech.* 41 .pp 575–584.Germany. (2010).

Koivuluoto. H. (2007), Lagerbom. J., Vuoristo. P. “Microstructural studies of cold sprayed copper, nickel, and nickel-30% copper coatings”. *J. Therm. Spray Technol.* 16. pp488–497. ASM. USA. (2007).

Koivuluoto. H. (2010), Bolelli. G., Lusvarghi. L., Casadei. F., Vuoristo. P. “Corrosion resistance of cold-sprayed Ta coatings in very aggressive conditions”. *Surf. Coatings Technol.* 205. pp 1103–1107. Elsevier. UK. (2010).

Krebs. S. (2014), Gärtner. F, Klassen. T. “Cold Spraying of Cu-Al-Bronze for Cavitation Protection in Marine Environments”. *Journal of Thermal Spray Technology.* 24. pp126–135. ASM. USA. (2014).

Kreye. H. (1985), Hammerschmidt. M, Woidneck. C. “Discussion on the fusion characteristics during the process of explosion welding”. *Schweissen und Schneiden/ Welding and Cutting.* 37. pp 297–302. Germany. (1985).

L

Lee. H. Y. (2004), Yu. Y. H., Lee. Y. C., Hong. Y. P., Ko. K. H. “Cold Spray of SiC and Al₂O₃ with Soft Metal Incorporation: A Technical Contribution”. *J. Therm. Spray Technol.* 13. pp184–189. ASM. USA. (2004).

Lee. S. (2019), Kima. B., Kim. J. “Predicting performance limits of methane gas storage in zeolites with an artificial neural network”. *Journal of Materials Chemistry A.* 7. pp 2709-2716. DOI: 10.1039/C8TA12208C. RSC. UK. (2019).

Li. C. J. (2006), Li. W. Y., Liao. H. “Examination of the Critical Velocity for Deposition of Particles in Cold Spraying”.

Journal of Thermal Spray Technology. 15, pp 212-222. ASM. USA. (2006).

Lima C.R.C (2015), Crespo.V, Dosta.S, Garcia- Cano.I, Guilmany.J.M, Clarke. D.R. “Study of the Application of Photoluminescence Piezospectroscopy for Residual Stresses Measurements in Thermally Sprayed TBCs”. Les Rencontres Internationales sur la Projection Thermique (7RIPT). European Thermal Spray Association (ETSA). Proceedings RIPT, CD Edition. Limoges. Francia. (2015).

Liu.P.S (2014), . Chen.G.F. “ Application of Porous Metals”. Journal of Porous Materials. Springer.USA. (2014).

M

Mc Cutchion.P. (2017). “High-performance polymers – a new era of development” . Materials Worl. pp 33-35. August.UK. (2017).

Mans Teixidó.C (2009). “Historia de L’Ensenyament de la Química a la Universitat de Barcelona. Notícies per a Químics (NPQ).Nº 445.Any XLI. Març- Abril. pp22. España.(2009).

Masvidal-Codina,E. (2018), Illa.X, Dasilva.M, Bonaccini Callia.A, Dragojević.T, Vidal-Rosas.E.E, Prats-Alfonso.E, Martínez-Aguilar.J, De la Cruz.J.M, Garcia-Cortadella.R, Godignon.P, Rius.G, Camassa.A, Del Corro.E, Bousquet.J, Hébert.C, Durduran.T, Villa.R, Sanchez-Vives. Maria V, Garrido.J.A, Guimerà-Brunet.A. “ High-resolution mapping of infraslow cortical brain activity enabled by graphene microtransistors”. Nature Materials. Doi:10.1038/s41563-018-0249-4.(2018). Published: 31 December. (2018). Elsevier. USA. <https://www.nature.com/articles/s41563-018-0249-4>.

- Modic. E.E (Edit). (2017).“Opportunities for additive manufacturing in medical devices”. Today’s Medical Developments. November . USA. (2017).
- Molera.P. (1980). “La Farga ”.Dopesa. ISBN 84-7234-438-5. Pags 110. Barcelona. España.(1980).
- Mooney.L.M.(2014).,Rouse.E.J.,Herr.H.M. “Autonomous exoskeleton reduces metabolic cost of human walking during load carriage”.Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. doi.org/10.1186/1743-0003-11-80. May. USA. (2014).
- Moreno.C. (2018). Vilas-Varela.M., Kretz.B., Garcia-Lekue.A.,Costache.M.V., Paradinas.M., Panighel.M., Ceballos.G., Valenzuela.S.S., Peña.D., Mugarza.A. “Bottom-up synthesis of multifunctional nanoporous graphene”.Science 13 Apr 2018.Vol. 360, Issue 6385, pp. 199-203.DOI: 10.1126/science.aar2009.USA.(2018).
- Moridi, A. (2014), Hassani-Gangaraj, S. M., Guagliano, M., Dao, M. “Cold spray coating: review of material systems and future perspectives”. Surf. Eng. 30 . pp369–395. Institute of Materials, Minerals and Mining.Taylor & Francis.UK. (2014).
- Muller.C (2015), Pacheco.I, Cinca.N, Garcia-Cano.I, Sarrret.M, Guilemany.J.M , Gomez de Salazar.J.M, Barrera.I.“-Some Modifications on the Standard Approach to Obtain Useful Surface Structures of TiO₂”. EuroInterfinish 2015. CD Edition. Lund, July. Sweden. (2015).

N

NASA. (2018). ”James Webb Space Telescope”

National Aeronautics and Space Administration Page Last Updated: Oct. 22, 2018 Page Editor: Rob Garner NASA Official: Brian Dunbar. USA. (2018).

Nathan.S. (2017). “Jewel in the crown: Rolls-Royce’s single-crystal turbine blade casting foundry”. Rolls-Royce report.September .UK.(2017).

Nick.S. (2018). “ Top solar energy producing countries top 10 largest solar energy producing countries in the world (2018)”. Mar 05. Energy and Fuels. Mar. USA. (2018).

Nutting .J. (1965), Baker, R.G. .”The Microstructure of Metals”. Institute of Metals. Monographs and reports. N°30 . UK. (1965).

O

OECD and Eurostat.(2018). “Oslo Manual 2018”. Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition. ISBN:9789264304604 (PDF). OECD and Eurostat. Paris. Francia.Octubre (2018).

Oliveira, A. B. (2015), Bastos, A. C., Fernandes, C. M., Pinho, C. M. S., Senos, A. M. R., Soares, E., Sacramento, J., Zheludkevich, M. L. Ferreira, M.G.S. “Corrosion behaviour of WC-10% AISI 304 cemented carbides”. Corros. Sci. 100 .pp322–331. Springer Nature. Switzerland .(2015).

Organización Mundial de la Salud (OMS 2017). “7 millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica”.Asamblea Mundial de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. Switzerland. (2017).

P

Pawlowski, L.(2008).”The science and engineering of thermal spray coatings”. John Wiley & Sons, Chichester, 2nd ed.UK. (2008).

Pinedo,I (1963). “Piritas de Huelva”, Editorial Summa, Madrid. España.(1963).

Prieto,C. (1968). “La minería en el Nuevo Mundo” Ediciones Revista de Occidente. Madrid. España. (1968).

R

Research and Markets (2018). ““Biomaterials - A Global Market Overview”. PRNewswire. April 06. Dublin. Irlanda. (2018).

Rivera. S. (2016). “Materiales estructurales cerámicos basados en zircona estabilizada con ceria y reforzados con alúmina. Aplicación en el campo dental y biomédico”. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo. España. (2016).

Robotti.M. (2015), Dosta. S, Gardon.M, Kourasi.M, Mellor. B.G, Wills,R, Garcia- Cano.I, Guilemany.J.M.

“Enhancing the Performance of Common Electrode Materials Obtained by Means of Atmospheric Plasma Coatings”.Journal of Energy Storage. Published DOI10.1016/j.est.2015.12.001. Elsevier. UK. (2015).

Robotti, M. (2016), Dosta, S., Fernández-Rodríguez, C., Hernández-Rodríguez, M. J., Garcia-Cano, I., Melián, E. P., Guilemany, J. M. “Photocatalytic abatement of NO_x by C-TiO₂/polymer composite coatings obtained by low pressure cold gas spraying. Appl. Surf. Sci. 362. pp274–280.Elsevier. UK. (2016).

Rokni. M. R. (2017), Nutt, S. R., Widener, C. A., Champagne, V. K., Hrabec, R. H. "Review of Relationship Between Particle Deformation-Coating Microstructure and Properties in High Pressure Cold Spray". *Journal of Thermal Spray Technology*. Vol 2, 6, pp 1308 -1355. ASM.USA. (2017).

S

Sangeetha.K. (2017), Aisverya. S, Jisha- Kumari. A.V., Sukumaran.A, Sudha. P.N. " Biodegradable Shape Memory Polymers- A Mini Review". *Advances on Biotechnology & Microbiology*. 6(5): 555722. DOI: 10.19080/AIBM.2017.07.555722. USA.(2017).

Satyapal. S. (2017). "Hydrogen and Fuel Cells Overview". DLA Worldwide Energy Conference . National Harbor, MD.U.S. Department of Energy. Fuel Cell Technologies Office. April,USA.(2017).

Schaedler.T.A. (2016)., Carter.W.D. "Architected Cellular Materials". *Annual Review of Materials Research*. Vol. 46:187-210 April 21, 2016 doi.org/10.1146/annurev-matsci-070115-031624.Springer. USA. (2016).

Schmidt. T. (2006), Gärtner. F, Assadi. H, Kreye. H. " Development of a generalized parameter window for cold spray deposition". *Acta Materialia*.54. pp 729–742. Elsevier. USA. (2006).

Schmidt. T. (2009), Assadi. H., Gärtner. F., Richter. H., Stoltenhoff. T., Kreye. H., Klassen. T. From particle acceleration to impact and bonding in cold spraying. *J. Therm. Spray Technol*. 18 . pp 794–808.USA. (2009).

- Scrivener.D. (2018). “Ten record breaking and trend setting solar farms you may not know about”. Pager Power . May. USA. (2018).
- Shockley. J. (2015), Descartes. S, Vo. P, Irissou. E, Chromik. R.R. “The influence of Al₂O₃ particle morphology on the coating formation and dry sliding wear behavior of cold sprayed Al-Al₂O₃ composites”. Surface and Coatings Technology. 270. pp324–333. UK. (2015).
- Singer.C (1954), Holmyard. E.J , Hall.A.R, Williams.T.L. “A History of Technology”, Vol. 1 a 7. Oxford, At the clarendon Press. UK. (1954-1978).
- Single Quiver (2018). The different types of Surfboard Materials. <https://www.singlequiver.com/>. (2018).
- Smith, T. M. (2016), Esser. B. D., Antolin.N, Carlsson.A, Williams. R. E. A., Wessman.A., Hanlon.T., Fraser. H. L., Windl.W, McComb. D. W., Mills. M. J. “Phase transformation strengthening of high-temperature superalloys”. Nature Commun. 7, 13434 doi: 10.1038/ncomms13434.USA. (2016).
- Sobolev.V. (2004), Guilemany.J.M., Nutting.J. “High Velocity Oxy-Fuel Spraying”. W.S.Maney & Sons Ltd. ISBN 1-902653-72-6. The Institute of Materials, Minerals and Mining. IoM³ . 397p. London.UK.(2004).
- Sobrino.J.L. (1971). “Los Metales”, IV Jornadas Minero Metalúrgicas, pp 537-631, Cartagena. España. (1971).
- Stanley.C. (1960). “A History of Metallography”. The University of Chicago Press. USA. (1960).

Statista. (2019a). El portal de estadísticas: “Evolución anual de la producción mundial de aluminio en refinerías de 2006 a 2017”. <https://es.statista.com/estadisticas/600190/produccion-mundial-de-aluminio-en-refinerias/>. Madrid. España. (2019).

Statista. (2019b). El portal de estadísticas: “Companies with the highest spending on research and development 2018”. <https://www.statista.com/statistics/265645/ranking-of-the-20-companies-with-the-highest-spending-on-research-and-development/>. Madrid. España. (2019).

Statista. (2019c). “Previsión de la evolución de los dispositivos conectados a Internet en el mundo de 2012 a 2020 (en miles de millones de dispositivos)” <https://es.statista.com/estadisticas/517654/prevision-de-la-evolucion-de-los-dispositivos-conectados-para-el-internet-de-las-cosas-en-el-mundo/>. Madrid. España. (2019).

T

Triantou, K. I. (2015), Pantelis, D. I., Guipont, V., Jeandin, M. “Microstructure and tribological behavior of copper and composite copper+alumina cold sprayed coatings for various alumina contents”. *Wear*. 336–337. pp 96–107. Elsevier. UK. (2015).

Tylecote. R. F. (1976). “A History of Metallurgy”. The Metals Society, London , UK. (1976).

V

- Valladares. M.R. (2017). “Global Trends and Outlook for Hydrogen”. IEA Hydrogen Technology Collaboration Program (TCP). 19pags. Diciembre. USA. (2017).
- Vernet.J. (1975). “Historia de la Ciencia Española”. Instituto de España, Cátedra Alfonso X el Sabio. Madrid. España. (1975).
- Vijay.K. (2017).,Murmu.M.,Deo.S.V. “Bacteria based self healing concrete – A review”. Construction and Building Materials. Volume 152, 15 October 2017, Pages 1008 -1014. doi.org/10.1016/j.conbuildmat. 2017.07.040. Elsevier. USA. (2017).
- Vilardell, A. M. (2017), Cinca, N., Cano, I. G., Concustell, A., Dosta, S., Guilemany, J. M., Estradé, S., Ruiz-Caridad, A., Peiró, F. “Dense nanostructured calcium phosphate coating on titanium by cold spray” Journal of European Ceramic Society. 37 . pp 1747–1755. Elsevier. UK. (2017).
- Vilardell, A. M. (2018a), Cinca, N., Garcia-Giralt.N, Muller.C., Dosta, S., Sarret.M, Garcia-Cano.I., Nogués.X., Guilemany, J. M. “In-vitro study of hierarchical structures: Anodic oxidation and alkaline treatments onto highly rough titanium cold gas spray coatings for biomedical applications”. Materials Science & Engineering C . Vol 91. pp 589-596. doi.org/10.1016/j.msec.2018.05.071. Elsevier. UK. (2018).
- Vilardell, A. M. (2018b), Cinca, N., Pacheco. I., Santiveri.C., Dosta, S., Garcia-Cano.I., Guilemany. J. M., Sarret.M, Muller.C. “Hierarchical Structures of Anodised Cold Gas Sprayed Titanium Coatings”

Transactions of the Institute of Metal Finishing, 96:2, 71-78. Doi.org/10.1080/00202967.2018.1419625. Taylor & Francis. USA. (2018).

Vilardell, A. M. (2018c), Cinca, N., Dosta, S., GarciaCano, I., Guilmany, J. M. "Feasibility of using low pressure cold gas spray for the spraying of thick ceramic hydroxyapatite coatings". International Journal of Applied Ceramic Technology. August; 00:1-9. doi.org/10.1111/ijac.13088. Wiley. USA. (2018).

Villa, M. (2013), Dosta, S, Guilmany, J.M. "Optimization of 316L Stainless Steel in Light Alloys Using Cold Gas Spraying". Surface and Coatings Technology. Vol 235. pp 220-225. Elsevier. UK. (2013).

Villa, M. (2014), Dosta, S, Fernández, J. Guilmany, J.M. "Recubrimientos de Acero Inoxidable sobre Aleaciones Ligeras Obtenidas por Proyección Fría (Cold Gas Spray)". Soldadura y Tecnologías de Unión. Año XXV. Número 137, pp 26- 29. Elsevier España. (2014).

VITTORIA.(2019). <https://www.vittoria.com/us/graphene-technology>. Italy. (2019).

Vo.P. (2015), Goldbaum. D, Wong. W, Irissou. E, Legoux. J, Chromik. R.R, Yue. S. "Cold-spray processing of titanium and titanium alloys". Powder Metallurgy. pp 405–423. Elsevier.UK.(2015).

W

Wang, Y. (2014), Normand, B., Mary, N., Yu, M., Liao, H. "Microstructure and corrosion behavior of cold sprayed

- SiCp/Al 5056 composite coatings”. *Surf. Coatings Technol.* 251. pp 264–275. Elsevier. UK. (2014).
- Weeks. M. E. (1968), H. M. Leicester. “Discovery of the elements”. *Journal of Chemical Education.* Easton.Pa. USA. (1968).
- Williams, D.F.Edt. (1987). “Definitions in Biomaterials: Proceedings of a Consensus Conference of the European Society for Biomaterials, Chester, England, 3-5 March 1986, Progress in Biomedical Engineering, Vol. 4. ISBN: 0444428585. Elsevier. Amsterdam. The Netherlands. (1987).
- Wojnowski. W., Dymerski. T., Gębicki. J., Namieśnik. J. “Electronic Noses in Medical Diagnostics”. *Curr Med Chem.* Oct. Bentham Science. doi: 10.2174/0929867324666171004164636. USA. (2017).
- Wolfe., D. E. (2006), Eden. T. J., Potter. J. K., Jaroh. A. P. “Investigation and characterization of Cr_3C_2 -based wear-resistant coatings applied by the cold spray process”. *J. Therm. Spray Technol.* 15. pp 400–412. ASM. USA. (2006).
- World Steel Association (2018). “World Steel in Figures”. ISBN 978-2-930069-89-0. Bruselas. Belgica. (2018).
- World Wind Energy Association- WWE-, (2018). “Wind Power Capacity”. February 12, 2018. Press Releases Statistics. USA. (2018).

Y

- You.S (2017), Huang.Y, Kainer.K.U., Hort.N. “Recent research and developments on wrought magnesium alloys”

Journal of Magnesium and Alloys. 5 . 239–253
doi.org/10.1016/j.jma.2017.09.001. Elsevier. UK.(2017).

Yu. M. (2014a), Suo. X, Li. W, Wang. Y, Liao. H. “Microstructure, mechanical property and wear performance of cold sprayed Al5056/SiCp composite coatings: Effect of reinforcement content”. Applied Surface Science .289. pp188–96. Elsevier. UK. (2014).

Yu. M. (2014b), Chen. H, Li. W, Suo. X, Liao. H. “Building-Up Process of Cold-Sprayed Al5056/In718 Composite Coating”. Journal of Thermal Spray Technology.24. pp 579–586.ASM.USA. (2014).



Discurso de contestación

Excmo. Sr. Dr. Javier Gil Mur

Resulta un gran honor para mí contestar en nombre de la Real Academia Europea de Doctores el discurso de ingreso del Excmo. Dr. José María Guilemany Casadamón, vayan estas primeras palabras mi sentido agradecimiento a su Presidente Excmo. Dr. Alfredo Rocafort y a los estimados miembros de la Junta Directiva. Quiero agradecer a los miembros de nuestra institución la confianza y al haber aceptado al Dr José María Guilmenany para el ingreso en nuestra prestigiosa institución. Muchísimas gracias.

Glosar la obra y méritos de un nuevo académico no está exenta de una gran complejidad y más si éste discurso recae en uno de sus discípulos. Yo quedé prendado de sus lecciones cuando era estudiante de la Universidad de Barcelona sobre la belleza de los Materiales y de como con la tecnología son capaces de dar respuestas cada vez más sorprendentes a muchos problemas de la sociedad. Estoy seguro que todos han podido admirar a partir del brillante discurso de ingreso del nuevo académico la importancia de la ciencia y la tecnología de materiales.

Uno de los valores que nuestra querida Real Academia aprecia con un extraordinario reconocimiento es la transversalidad y personalidades que han desarrollado una excelencia en la ciencia básica, en la ciencia aplicada, en la capacidad docente, así como la transferencia de los conocimientos a la sociedad. En este caso, el nuevo académico reúne todos los ingredientes, un excelente profesor, un riguroso científico, un innovador y emprendedor compulsivo y además una persona con los valores de cariño a las personas, amor a la verdad, lealtad, amante del trabajo bien hecho y sensible con los que más necesitan.

Creo que es lo más parecido a lo que los académicos de esta institución los Drs Eugenio Oñate y Jaime Rodrigo de Larrucea comentaban sobre el mito del profesor universitario como

“superhombre” aludiendo a las ideas del Profesor Richard Felder de la Universidad de Carolina del Norte. Tras señalar la complejidad del trabajo universitario (se exige una docencia e investigación de primer nivel, capacidad de gestión, soluciones a problemas industriales o de la empresa, captación de fondos, internacionalización, etc...). Felder afirma que los profesores hay que dividirlos en docentes o investigadores. El Dr José María Guilemany destroza esta división, a Felder y a la Universidad de Carolina del Norte. El nuevo académico personifica en una unidad de vida el buen profesor, en la que su investigación alimenta su docencia hasta la frontera del conocimiento y difunde la aplicación y la transferencia de su saber a la sociedad. Transferencia que es el justo retorno a la sociedad de todo lo que nos ha dado.

NOTAS PERSONALES

Analizar la personalidad y contribución del Dr Guilemany en el mundo de la Ciencia de los Materiales y concretamente en la Metalurgia necesita obligatoriamente hacer un resumen muy condensado, son tantas las contribuciones que agotaría a los asistentes en su relación.

El Dr Guilemany nace en Barcelona en el mes de enero de 1947, estudia en los Maristas y después realiza los estudios de Química en la Universidad de Barcelona. Antes de finalizar de manera brillante la licenciatura conoció al Dr Felipe Calvo Calvo y se inicia como becario de colaboración bajo su dirección. Esta unión entre el maestro Dr Calvo y el Dr Guilemany será inquebrantable con una fidelidad absoluta impregnada de gratitud y de correspondencia durante toda la vida.

Los primeros trabajos que realiza son en el ámbito de Metalurgia Extractiva, en concreto en el estudio de las características pirolíticas del mineral de mercurio de Almadén. Desarrolla los trabajos en el departamento de la Universidad de Barcelona y en Instituto Tecnológico Metalúrgico Emilio Jimeno. En 1970 defiende la Tesis de Licenciatura titulado “Geoquímica y descomposición térmica del cinabrio” obteniendo la máxima calificación.

Es en el curso académico 1970-71 cuando empieza su labor docente siendo encargado de prácticas. Durante diferentes períodos de tiempo obtiene becas para estancias en el extranjero como en el Instituto de Investigación del Cobre en Yugoslavia, en la Universidad de Newcastle, Cambridge, etc. Es de destacar que después de una estancia del Dr Calvo en la Universidad de Cambridge, juntos abren la aplicación de la microscopía electrónica de barrido para el estudio de los materiales. Podemos afirmar que ellos dos fueron los pioneros de la aplicación de esta microscopía en nuestro país en este ámbito de conocimiento.

En 1974, defiende la Tesis Doctoral “Estructura y mineralogénesis de minerales de mercurio de Almadén” obteniendo la máxima calificación. Los estudios tienen un reconocimiento por el INI y ayudan a mejorar los procesos extractivos del mercurio rompiendo teorías arcaicas y demostrando nuevas vías que mejoraban su metalurgia extractiva.

Posteriormente, el Dr Calvo ocupa una plaza en la Universidad Complutense de Madrid y el Dr Guilemany se traslada con él para continuar su aprendizaje al lado de su maestro. La visión a largo plazo, su interés en seguir aprendiendo le hace tomar una dura decisión de marchar a Madrid. Es de destacar que en esos momentos de recién casado con Carmen y con su pequeño

hijo José María abandonen Barcelona para ir como Profesor Adjunto a la Universidad Complutense de Madrid. Si de destacar es la decisión del Dr Guilemany todavía destaca más la generosidad de su esposa de trasladar a su familia con su hijo pequeño a una nueva ciudad. Muchas gracias Carmen.

En esta época el Dr Guilemany se hace cargo del grupo de investigación del Dr Calvo ya que éste es asignado como Rector para gestar la nueva Universidad de Alcalá de Henares. En estos años él se encarga de la investigación y de las Tesis Doctorales que dirigía el Dr Calvo, como un hermano mayor. Uno de estos estudiantes es el Dr José María Gómez de Salazar y Caso de los Cobos que se incorpora en el año 1978 y que fue un miembro destacado en la labor investigadora y ayudó a sacar adelante todos los proyectos. Otro ejemplo de lealtad, trabajo incasable y honradez.

Es hasta 1982 que el Dr Guilemany no vuelve a la Universidad de Barcelona como agregado numerario asignado a la materia de Metalurgia Física. Al año siguiente obtiene la Cátedra de Universidad siendo el catedrático más joven en España en aquel momento.

Sus temas de investigación, como hemos visto se iniciaron en los temas de metalurgia extractiva del mercurio, para posteriormente trabajar en las fundiciones compactas de matriz bainítica, en Transformaciones en Estado Sólido Provocadas por la Técnica de la Superficie Pulida (TSP): Aceros; Fundiciones Esferoidales; Fundiciones Compactas; Aleaciones Ligeras Base Aluminio».

«Transformaciones en Estado Sólido Provocadas por la Técnica de la Superficie Pulida por Resistencia (TSPR) en Procesos Convencionales y Atípicos (Soldadura y Fatiga Térmica): Aceros CrMo; Fundiciones Esferoidales; Fundiciones Compactas con Matriz Ferrítica, Perlítica, Bainítica; Aceros Duplex».

«Estudio de la Producción y Caracterización de la Transformación Martensítica en Aleaciones con Memoria de Forma Base Cobre y Nuevos Materiales Inteligentes».

«Metalografía Dinámica: Transformación Martensítica Termoelástica».

«Obtención y Caracterización de Monocristales de Aleaciones con Memoria de Forma Base Cobre».

«Nuevos Procedimientos de Educación de Doble Memoria de Forma en Aleaciones, basado en Martensita Estabilizada».

«Optimización EstructuraPropiedades de Cobres Térmicos Obtenidos en Colada Continua».

«Estructura y Propiedades de Materiales Disimilares Cerámico/Metal y Metal/Metal».

«Caracterización de Nuevas Aleaciones de Metal Duro y Cermet».

«Nuevos Materiales y Recubrimientos Obtenidos por Técnicas de Proyección Térmica de Hipervelocidad (HVOF)».

«Simulación Matemática de Procesos de Proyección Térmica».

«Estructura - Propiedades de Cobres Industriales y Aleaciones».

«Estructura - Propiedades de Aceros Inoxidables Sinterizados».

«Estructura - Propiedades de Recubrimientos Resistentes a la Corrosión y/o Desgaste Obtenidos por Proyección Térmica Plasma y Alta Velocidad (HVOF)».

«Estructura - Propiedades de Recubrimientos de Barrera Térmica Obtenidos por Proyección Térmica Plasma y Alta Velocidad (HVOF)».

«Estructura - Propiedades de Recubrimientos Biocompatibles Obtenidos por Proyección Térmica Plasma y Alta Velocidad (HVOF)».

«Estructura - Propiedades de Materiales Poliméricos y sus Mezclas Obtenidos por Proyección Térmica de Llama, Plasma y Alta Velocidad (HVOF)».

«Estructura - Propiedades de Materiales Multicapa y Gradual Obtenidos por Proyección Térmica Plasma y Alta Velocidad (HVOF)».

«Estructura - Propiedades de Aluminios Industriales para Aplicación en Conductores Eléctricos».

«Estructura - Propiedades de Recubrimientos Obtenidos por Tecnologías PVD y/o CVD».

“Sistemas de Control de Calidad en Recubrimientos”.

“Estructura - Propiedades en Aceros Tecnológicos y Correlación Matemática”.

“Conformado de Nuevos Materiales por Proyección Térmica”.

“Diseño, Obtención, Estructura y Propiedades de Nuevas Formulaciones de Polvos para Proyección Térmica”.

“Recubrimientos de Materiales Nanoestructurados”.

“Materiales Metaestables”.

«Estructura - Propiedades de Recubrimientos Obtenidos por Tecnologías de Proyección Fría (Cold Gas Spray)».

“Diseño, Obtención, Estructura y Propiedades de Nuevos Recubrimientos Obtenidos por Proyección Térmica para Aplicaciones en Baterías SOFC”.

«Estructura y Propiedades de Nuevos Recubrimientos Obtenidos por Tecnologías de Proyección Térmica Convencional y Proyección Fría, Multifuncionales».

“Cold Gas Spray (Proyección Fría) y Additive Manufacturing (Fabricación Aditiva)”.

Estos son los temas de investigación que el Dr Guilemany ha desarrollado con una producción científica de más de 1200 contribuciones, como capítulos de libros, artículos científicos y contribuciones en congresos. 21 libros publicados, 165 contratos de investigación, 31 tesis doctorales dirigidas, 35 patentes, organizador de congresos, creador e impulsor de centros e infraestructuras de investigación. Entre los Premios más destacados, el Premio Ciudad de Barcelona 2005, Rose Prize de la Academia China de Ciencias, Premio Emilio Jimeno, Fellow del Institute of Metals, Fellow de la «Royal Microscopical Society, Premio y Medalla de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en su Sección de Ciencias Naturales, entre los más importantes.

Quiero acabar mi discurso con mi experiencia personal con el Dr Guilemany que explicaría con más exactitud su parte más humana y personal de su figura.

En mi último año de la licenciatura de Ciencias Químicas escogí la especialidad de Metalurgia que luego se convertiría en Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y tuve la gran fortuna de conocer al Profesor José María Guilemany y que gracias a esto cambió radicalmente mi vida profesional.

La clase era de Metalurgia Física era de 8 a 9 de la mañana y cada clase era una hora de nuevos conocimientos, nuevos descubrimientos apasionantes en el mundo de los materiales. No había faltas de puntualidad ya que era lo más importante del

día. Para él las clases eran importantísimas, era su actividad primordial como profesor universitario. Lamentablemente, en la actualidad, muchos profesores de Universidad ven la docencia, no como la misión esencial de la Universidad, sino como una carga o un castigo. En ocasiones, se comenta, la carga docente y cuando un profesor no hace investigación de calidad se le castiga con más clases. Una tendencia que hemos de erradicar, pienso que no solamente se debe evaluar por la cantidad de publicaciones científicas sino también por la calidad e innovación docente. También la buena docencia basada siempre en una buena investigación debe ser premiada.

El Dr Guilemany destacaba absolutamente del resto de la plantilla de los profesores, además de un excelente docente era un excelente científico. Me acuerdo de las diapositivas cuidadas, de los ejemplos de aplicación industrial, ... de lo bien que se preparaba las clases. El Dr Guilemany se imponía con la autoridad del catedrático fundamentada en una base científica excelente y una docencia de altísima calidad. Todos le llamábamos el Dr Guilemany, cosa muy poco habitual entre los estudiantes, pero el respeto que merecía su trabajo bien hecho le otorgaba ese respeto de todos sus alumnos.

A veces, utilizaba un lenguaje poco habitual para comentar las diapositivas que iban ilustrando la clase, nos señalaba las diapositivas con un puntero telescópico, como aquellas antenas de radios de coche que antes se equipaban en los capos. A modo de anécdota, no me olvidaré de la frase que un día el Dr Guilemany dijo nos explicaba la difusión del carbono en un acero "Como pueden ver ustedes en la punta del puntero puntiagudo.... Ustedes pueden observar la migración del carbono". Lo bueno es que nadie se reía sino seguía con atención la dirección de la punta del puntero puntiagudo para entender la formación de la perlita en la estructura de los aceros.

En el departamento tenía anticuerpos producto de la reacción inmunológica al cuerpo extraño. En aquel momento él era un cuerpo extraño entre profesores que no vivían con fidelidad su misión académica ni el rigor científico de su vida universitaria. La mediocridad les llevaba a faltar a la justicia, pero la evidencia era tan clara que perdían toda credibilidad y reforzaba al grupo de investigación.

Cuando acabé la carrera, yo tenía planteado el ser profesor en un colegio siguiendo la vocación docente que me venía de mi madre, que fue maestra nacional con la especialidad de parvulista, Yo quería ser como mi madre, hacer este servicio a la sociedad como educador y tener tantos alumnos que me quisieran como a ella. Sin embargo, me atreví a pedir al Dr Guilemany hacer la Tesis de licenciatura, continuar aprendiendo del maestro, aquel que me hizo querer los metales. Me preparé y le fui a ver cargado de humildad para ver si me podía aceptar en su equipo de investigación. La alegría fue grande cuando me dijo que sí y trabajar en aleaciones con memoria de forma.

El primer día no me olvidaré, él me comento Sr Gil usted podrá fabricar una aleación diaria por tanto podrá fabricar seis a la semana. Con un simple cálculo ví que el sábado quedaba comprometido, pero estaba contento. Ahora si un profesor dijera esto podría ser acusado de moobing o de explotación estudiantil por un sindicato de clase. Sin embargo, yo veía la gran oportunidad, el trabajo era para mí la inversión de mi futuro. Por ello, me dediqué en cuerpo y alma.

El cariño y dirección que ponía el Dr Guilemany hacía que los doctorandos hiciéramos locuras, cambiar cargas en los hornos a las dos o tres de la madrugada para obtener más monocristales, Nos íbamos de copas los viernes y sábados por la noche para llegar al horno de monocristales denominado Danieliño y

cambiar las muestras para tener una mayor producción, poner nitrógeno líquido al microscopio y una vez acabada la tarea nos íbamos a dormir.

Era muy exigente, pero él daba ejemplo, iba por delante. A veces, en la corrección de mi Tesis Doctoral, no me olvidaré nunca, yo le dejaba el capítulo que había escrito (30-40 páginas) en el buzón de su entonces domicilio de la calle Conde de Borrell un domingo por la mañana y el lunes a las 7.30 lo tenía corregido con pelos y señales y describía que experimentos debería completar para obtener mayores y mejores conclusiones basadas en la experimentación.

Hay una anécdota en la corrección de mi Tesis Doctoral. Cuando al inicio de un párrafo final de un capítulo escribía Por último,... me lo tachaba y él escribía con un bolígrafo rojo Finalmente,.. cuando en la siguiente versión yo escribía Finalmente me tachaba y ponía Por último.... No sabía que hacer hasta que tome la decisión escribía las dos expresiones y añadía entre paréntesis táchese lo que proceda. Este hecho, me daba mucha paz ya que veía que el Dr Guilemany era humano y por fin pude observar una falta de coherencia.

No tenía novia, pienso que debía ser imposible con el ritmo de trabajo que llevábamos y yo explicaba en mi casa los quehaceres en el laboratorio. Mis padres veían lo feliz que era e hicieron del Dr Guilemany una persona de mi familia.

Era ejemplar en el momento de marchar para casa y estar con su esposa y el joven José María. Estoy seguro que tenía que esforzarse pues en ocasiones estábamos a punto de obtener una imagen en el microscopio muy buena pero su obligación familiar (su cariño a su esposa y a su hijo) hacía que el filamento

perdiera potencia y se apagaba el microscopio. Un ejemplo de dedicación y cuidado a la familia.

En su vida profesional ha tenido un camino duro, incomprendiones, envidias, contradicciones, lo que es muy doloroso personas por las que él apostó y que se dio y que luego le devolvieron con deslealtades, infidelidades e injusticias. Nunca he oído de él descalificaciones o insultos por su parte, la actitud del Dr Guilemany era el silencio y si preguntabas te explicaba pero sin descalificar. De todas formas, ante la injusticia luchaba hasta el extremo para lograr el restablecimiento del orden y la corrección. Es el camino de los grandes.

Para mí, como ustedes pueden comprender este acto me llena de emoción y de plenitud. Un discípulo proponiendo a su maestro, a la persona que a mí me ha enseñado a ser profesor universitario, a ser un investigador riguroso, a ver en el trabajo bien hecho el camino a seguir sin desfaceller es un extraordinario honor. Me siento que he podido con este pequeño discurso de respuesta poder corresponder en una pequeñísima parte la gratitud y la admiración que tengo por mi maestro. El es una parte esencial de mi trayectoria vital y es por ello que cumpla un deseo y una necesidad de corresponder, aunque sea de esta manera tan minúscula todo lo que usted ha hecho por mí y por tantos compañeros míos. Tu considerabas al Dr Felipe Calvo como maestro de saberes, yo te considero un maestro de maestros.

Sean mis últimas palabras de felicitación por tu valioso discurso y por tu vida dedicada a la metalurgia y de cordial bienvenida a la Real Academia Europea de Doctores. Señores académicos tengo la certeza de que su trabajo hará relucir a nuestra institución como foco de cultura, investigación y transferencia

EXCMO. SR. DR. JAVIER GIL MUR

de conocimiento. Muchas gracias por su confianza y muchas gracias a todos por su atención.



**PUBLICACIONES DE LA REAL ACADEMIA
EUROPEA DE DOCTORES**

Directori 1991

Los tejidos tradicionales en las poblaciones pirenaicas (Discurs de promoció a acadèmic numerari de l'Excm. Sr. Eduardo de Aysa Satué, Doctor en Ciències Econòmiques, i contestació per l'Excm. Sr. Josep A. Plana i Castellví, Doctor en Geografia i Història) 1992.

La tradición jurídica catalana (Conferència magistral de l'acadèmic de número Excm. Sr. Josep Joan Pintó i Ruiz, Doctor en Dret, en la Solemne Sessió d'Apertura de Curs 1992-1993, que fou presidida per SS.MM. el Rei Joan Carles I i la Reina Sofia) 1992.

La identidad étnica (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Ángel Aguirre Baztán, Doctor en Filosofia i Lletres, i contestació per l'Excm. Sr. Josep Ma. Pou d'Avilés, Doctor en Dret) 1993.

Els laboratoris d'assaig i el mercat interior; Importància i nova concepció (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Pere Miró i Plans, Doctor en Ciències Químiques, i contestació per l'Excm. Sr. Josep Ma. Simón i Tor, Doctor en Medicina i Cirurgia) 1993.

Contribución al estudio de las Bacteriemias (Discurs d'ingrés de l'acadèmic corresponent Il·lm. Sr. Miquel Marí i Tur, Doctor en Farmàcia, i contestació per l'Excm. Sr. Manuel Subirana i Cantarell, Doctor en Medicina i Cirurgia) 1993.

Realitat i futur del tractament de la hipertròfia benigna de pròstata (Discurs de promoció a acadèmic numerari de l'Excm. Sr. Joaquim Gironella i Coll, Doctor en Medicina i Cirurgia i contestació per l'Excm. Sr. Albert Casellas i Condom, Doctor en Medicina i Cirurgia i President del Col·legi de Metges de Girona) 1994.

La seguridad jurídica en nuestro tiempo. ¿Mito o realidad? (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. José Méndez Pérez, Doctor en Dret, i contestació per l'Excm. Sr. Ángel Aguirre Baztán, Doctor en Filosofia i Lletres) 1994.

La transició demogràfica a Catalunya i a Balears (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Tomàs Vidal i Bendito, Doctor en Filosofia i Lletres, i contestació per l'Excm. Sr. Josep Ferrer i Bernard, Doctor en Psicologia) 1994.

L'art d'ensenyar i d'aprendre (Discurs de promoció a acadèmic numerari de l'Excm. Sr. Pau Umbert i Millet, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'Excm. Sr. Agustín Luna Serrano, Doctor en Dret) 1995.

Sessió necrològica en record de l'Excm. Sr. Lluís Dolcet i Boxeres, Doctor en Medicina i Cirurgia i Degà-emèrit de la Reial Acadèmia de Doctors, que morí el 21 de gener de 1994. Enaltiren la seva personalitat els acadèmics de número Excms. Srs. Drs. Ricard Garcia i Vallès, Josep Ma. Simón i Tor i Albert Casellas i Condom. 1995.

La Unió Europea com a creació del geni polític d'Europa (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Jordi Garcia-Petit i Pàmies, Doctor en Dret, i contestació per l'Excm. Sr. Josep Llorc i Brull, Doctor en Ciències Econòmiques) 1995.

La explosión innovadora de los mercados financieros (Discurs d'ingrés de l'acadèmic corresponent Il·lm. Sr. Emilio Soldevilla García, Doctor en Ciències Econòmiques i Empresarials, i contestació per l'Excm. Sr. José Méndez Pérez, Doctor en Dret) 1995.

La cultura com a part integrant de l'Olimpisme (Discurs d'ingrés com a acadèmic d'Honor de l'Excm. Sr. Joan Antoni Samaranch i Torelló, Marquès de Samaranch, i contestació per l'Excm. Sr. Jaume Gil Aluja, Doctor en Ciències Econòmiques) 1995.

Medicina i Tecnologia en el context històric (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Felip Albert Cid i Rafael, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'Excm. Sr. Ángel Aguirre Baztán) 1995.

Els sòlids platònics (Discurs d'ingrés de l'acadèmica numerària Excma. Sra. Pilar Bayer i Isant, Doctora en Matemàtiques, i contestació per l'Excm. Sr. Ricard Garcia i Vallès, Doctor en Dret) 1996.

La normalització en Bioquímica Clínica (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Xavier Fuentes i Arderiu, Doctor en Farmàcia, i contestació per l'Excm. Sr. Tomàs Vidal i Bendito, Doctor en Geografia) 1996.

L'entropia en dos finals de segle (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. David Jou i Mirabent, Doctor en Ciències Físiques, i contestació per l'Excm. Sr. Pere Miró i Plans, Doctor en Ciències Químiques) 1996.

Vida i música (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Carles Ballús i Pascual, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'Excm. Sr. Josep Ma. Espadaler i Medina, Doctor en Medicina i Cirurgia) 1996.

La diferencia entre los pueblos (Discurs d'ingrés de l'acadèmic corresponent Il·lm. Sr. Sebastià Trías Mercant, Doctor en Filosofia i Lletres, i contestació per l'Excm. Sr. Ángel Aguirre Baztán, Doctor en Filosofia i Lletres) 1996.

L'aventura del pensament teològic (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Josep Gil i Ribas, Doctor en Teologia, i contestació per l'Excm. Sr. David Jou i Mirabent, Doctor en Ciències Físiques) 1996.

El derecho del siglo XXI (Discurs d'ingrés com a acadèmic d'Honor de l'Excm. Sr. Dr. Rafael Caldera, President de Venezuela, i contestació per l'Excm. Sr. Ángel Aguirre Baztán, Doctor en Filosofia i Lletres) 1996.

L'ordre dels sistemes desordenats (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Josep Ma. Costa i Torres, Doctor en Ciències Químiques, i contestació per l'Excm. Sr. Joan Bassegoda i Novell, Doctor en Arquitectura) 1997.

Un clam per a l'ocupació (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Isidre Fainé i Casas, Doctor en Ciències Econòmiques, i contestació per l'Excm. Sr. Joan Bassegoda i Nonell, Doctor en Arquitectura) 1997.

Rosalía de Castro y Jacinto Verdaguer, visión comparada (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Jaime M. de Castro Fernández, Doctor en Dret, i contestació per l'Excm. Sr. Pau Umbert i Millet, Doctor en Medicina i Cirurgia) 1998.

La nueva estrategia internacional para el desarrollo (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Santiago Ripol i Carulla, Doctor en Dret, i contestació per l'Excm. Sr. Joaquim Gironella i Coll, Doctor en Medicina i Cirurgia) 1998.

El aura de los números (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra, Doctor en Enginyeria de Camins,

Canals i Ports, i contestació per l'Excm. Sr. David Jou i Mirabent, Doctor en Ciències Físiques) 1998.

Nova recerca en Ciències de la Salut a Catalunya (Discurs d'ingrés de l'acadèmica numerària Excma. Sra. Anna Maria Carmona i Cornet, Doctora en Farmàcia, i contestació per l'Excm. Josep Ma. Costa i Torres, Doctor en Ciències Químiques) 1999.

Dilemes dinàmics en l'àmbit social (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Albert Biayna i Mulet, Doctor en Ciències Econòmiques, i contestació per l'Excm. Sr. Josep Ma. Costa i Torres, Doctor en Ciències Químiques) 1999.

Mercats i competència: efectes de liberalització i la desregulació sobre l'eficàcia econòmica i el benestar (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Amadeu Petitbó i Juan, Doctor en Ciències Econòmiques, i contestació per l'Excm. Sr. Jaime M. de Castro Fernández, Doctor en Dret) 1999.

Epidemias de asma en Barcelona por inhalación de polvo de soja (Discurs d'ingrés de l'acadèmica numerària Excma. Sra. Ma. José Rodrigo Anoro, Doctora en Medicina, i contestació per l'Excm. Sr. Josep Llorc i Brull, Doctor en Ciències Econòmiques) 1999.

Hacia una evaluación de la actividad cotidiana y su contexto: ¿Presente o futuro para la metodología? (Discurs d'ingrés de l'acadèmica numerària Excma. Sra. Maria Teresa Anguera Argilaga, Doctora en Filosofia i Lletres (Psicologia) i contestació per l'Excm. Sr. Josep A. Plana i Castellví, Doctor en Geografia i Història) 1999.

Directorio 2000

Génesis de una teoría de la incertidumbre. Acte d'imposició de la Gran Creu de l'Orde d'Alfons X el Savi a l'Excm. Sr. Dr. Jaume Gil-Aluja, Doctor en Ciències Econòmiques i Financeres) 2000.

Antonio de Capmany: el primer historiador moderno del Derecho Mercantil (discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Xabier Añoveros Trías de Bes, Doctor en Dret, i contestació per l'Excm. Sr. Dr. Santiago Dexeus i Trías de Bes, Doctor en Medicina i Cirurgia) 2000.

La medicina de la calidad de vida (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Luís Rojas Marcos, Doctor en Psicologia, i contestació per l'Excm. Sr. Dr. Ángel Aguirre Baztán, Doctor en psicologia) 2000.

Pour une science touristique: la tourismologie (Discurs d'ingrés de l'acadèmic corresponent Il·lm. Sr. Dr. Jean-Michel Hoerner, Doctor en Lletres i President de la Universitat de Perpinyà, i contestació per l'Excm. Sr. Dr. Jaume Gil-Aluja, Doctor en Ciències Econòmiques) 2000.

Virus, virus entèrics, virus de l'hepatitis A (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Albert Bosch i Navarro, Doctor en Ciències Biològiques, i contestació per l'Excm. Sr. Dr. Pere Costa i Batllori, Doctor en Veterinària) 2000.

Mobilitat urbana, medi ambient i automòbil. Un desafiament tecnològic permanent (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Pere de Esteban Altirriba, Doctor en Enginyeria Industrial, i contestació per l'Excm. Sr. Dr. Carlos Dante Heredia García, Doctor en Medicina i Cirurgia) 2001.

El rei, el burgès i el cronista: una història barcelonina del segle XIII (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. José Enrique Ruiz-Domènec, Doctor en Història, i contestació per l'Excm. Sr. Dr. Felip Albert Cid i Rafael, Doctor en Medicina i Cirurgia) 2001.

La informació, un concepte clau per a la ciència contemporània (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Salvador Alsius i Clavera, Doctor en Ciències de la Informació, i contestació per l'Excm. Sr. Dr. Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra, Doctor en Enginyeria de Camins, Canals i Ports) 2001.

La drogaaddicció com a procés psicobiològic (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Miquel Sánchez-Turet, Doctor en Ciències Biològiques, i contestació per l'Excm. Sr. Pedro de Esteban Altirriba, Doctor en Enginyeria Industrial) 2001.

Un univers turbulent (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Jordi Isern i Vilaboy, Doctor en Física, i contestació per l'Excm. Sra. Dra. Maria Teresa Anguera Argilaga, Doctora en Psicologia) 2002.

L'envelliment del cervell humà (Discurs de promoció a acadèmic numerari de l'Excm. Sr. Dr. Jordi Cervós i Navarro, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'Excm. Sr. Dr. Josep Ma. Pou d'Avilés, Doctor en Dret) 2002.

Les telecomunicacions en la societat de la informació (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Àngel Cardama Aznar, Doctor en Enginyeria de Telecomunicacions, i contestació per l'Excm. Sr. Dr. Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra, Doctor en Enginyeria de Camins, Canals i Ports) 2002.

La veritat matemàtica (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Josep Pla i Carrera, doctor en Matemàtiques, i contestació per l'Excm. Sr. Dr. Josep Ma. Costa i Torres, Doctor en Ciències Químiques) 2003.

L'humanisme essencial de l'arquitectura moderna (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Helio Piñón i Pallarés, Doctor en Arquitectura, i contestació per l'Excm. Sr. Dr. Xabier Añoveros Trías de Bes, Doctor en Dret) 2003.

De l'economia política a l'economia constitucional (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Joan Francesc Corona i Ramon, Doctor en Ciències Econòmiques i Empresariales, i contestació per l'Excm. Sr. Dr. Xavier Iglesias i Guiu, Doctor en Medicina) 2003.

Temperància i empatia, factors de pau (Conferència dictada en el curs del cicle de la Cultura de la Pau per el Molt Honorable Senyor Jordi Pujol, President de la Generalitat de Catalunya, 2001) 2003.

Reflexions sobre resistència bacteriana als antibiòtics (Discurs d'ingrés de l'acadèmica numerària Excma. Sra. Dra. Ma. de los Angeles Calvo i Torras, Doctora en Farmàcia i Veterinària, i contestació per l'Excm. Sr. Dr. Pere Costa i Batllori, Doctor en Veterinària) 2003.

La transformació del negoci jurídic como consecuencia de las nuevas tecnologías de la información (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Rafael Mateu de Ros, Doctor en Dret, i contestació per l'Excm. Sr. Dr. Jaime Manuel de Castro Fernández, Doctor en Dret) 2004.

La gestión estratégica del inmovilizado (Discurs d'ingrés de l'acadèmica numerària Excma. Sra. Dra. Anna Maria Gil Lafuente, Doctora en Ciències Econòmiques i Empresariales, i contestació per l'Excm. Sr. Dr. Josep J. Pintó i Ruiz, Doctor en Dret) 2004.

Los costes biológicos, sociales y económicos del envejecimiento cerebral (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Félix F. Cruz-Sánchez, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'Excm. Sr. Dr. Josep Pla i Carrera, Doctor en Matemàtiques) 2004.

El conocimiento glaciar de Sierra Nevada. De la descripción ilustrada del siglo XVIII a la explicación científica actual. (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Antonio Gómez Ortiz, Doctor en Geografia, i contestació per l'acadèmica de número Excma. Sra. Dra. Maria Teresa Anguera Argilaga, Doctora en Filosofia i Lletres (Psicologia))2004.

Los beneficios de la consolidación fiscal: una comparativa internacional (Discurs de recepció com a acadèmic d'Honor de l'Excm. Sr. Dr. Rodrigo de Rato y Figaredo, Director-Gerent del Fons Monetari Internacional. El seu padrí d'investidura és l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Jaime Manuel de Castro Fernández, Doctor en Dret) 2004.

Evolución histórica del trabajo de la mujer hasta nuestros días (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Eduardo Alemany Zaragoza, Doctor en Dret, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Rafel Orozco i Delclós, Doctor en Medicina i Cirurgia) 2004.

Geotecnia: una ciencia para el comportamiento del terreno (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Antonio Gens Solé, Doctor en Enginyeria de Camins, Canals i Ports, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra, Doctor en Enginyeria de Camins, Canals i Ports) 2005.

Sessió acadèmica a Perpinyà, on actuen com a ponents; Excma. Sra. Dra. Anna Maria Gil Lafuente, Doctora en Ciències Econòmiques i Empresariales i Excm. Sr. Dr. Jaume Gil-Aluja, Doctor en Ciències Econòmiques i Empresariales: "Nouvelles perspectives de la recherche scientifique en économie et gestion"; Excm. Sr. Dr. Rafel Orozco i Delcós, Doctor en Medicina i Cirurgia: "L'impacte mèdic i social de les cèl·lules mare"; Excma. Sra. Dra. Anna Maria Carmona i Cornet, Doctora en Farmàcia: "Nouvelles stratégies oncologiques"; Excm. Sr. Dr. Pere Costa i Batllori, Doctor en Veterinària: "Les résistences bactériennes a les antibiotiques". 2005.

Los procesos de concentración empresarial en un mercado globalizado y la consideración del individuo (Discurs d'ingrés de l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Fernando Casado Juan, Doctor en Ciències Econòmiques i Em-

presarials, i contestació de l'Excm. Sr. Dr. Josep Ma. Costa i Torres, Doctor en Ciències Químiques) 2005.

“Son nou de flors els rams li renc” (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Jaume Vallcorba Plana, Doctor en Filosofia i Lletres (Secció Filologia Hispànica), i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. José Enrique Ruíz-Domènec, Doctor en Filosofia i Lletres) 2005.

Historia de la anestesia quirúrgica y aportación española más relevante (Discurs d'ingrés de l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Vicente A. Gancedo Rodríguez, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Josep Llord i Brull, Doctor en Ciències Econòmiques i Empresarials) 2006.

El amor y el desamor en las parejas de hoy (Discurs d'ingrés de l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Paulino Castells Cuixart, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Joan Trayter i García, Doctor en Ciències Econòmiques i Empresarials) 2006.

El fenomen mundial de la deslocalització com a instrument de reestructuració empresarial (Discurs d'ingrés de l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Alfredo Rocafort i Nicolau, Doctor en Ciències Econòmiques i Empresarials, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Isidre Fainé i Casas, Doctor en Ciències Econòmiques i Empresarials) 2006.

Biomaterials per a dispositius implantables en l'organisme. Punt de trobada en la Historia de la Medicina i Cirurgia i de la Tecnologia dels Materials (Discurs d'ingrés de l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Josep Anton Planel·l i Estany, Doctor en Ciències Físiques, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Pere Costa i Batllori, Doctor en Veterinària) 2006.

La ciència a l'Enginyeria: El llegat de l'école polytechnique. (Discurs d'ingrés de l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Xavier Oliver i Olivella, Doctor en Enginyeria de Camins, Canals i Ports, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Josep Pla i Carrera, Doctor en Matemàtiques) 2006.

El voluntariat: Un model de mecenatge pel segle XXI. (Discurs d'ingrés de l'acadèmica de número Excma. Sra. Dra. Rosamarie Cammany Dorr, Doctora en Sociologia de la Salut, i contestació per l'Excma. Sra. Dra. Anna Maria Carmona i Cornet, Doctora en Farmàcia) 2007.

El factor religioso en el proceso de adhesión de Turquía a la Unión Europea. (Discurs d'ingrés de l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Josep Maria Ferré i Martí, Doctor en Dret, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Carlos Dante Heredia García, Doctor en Medicina i Cirurgia) 2007.

Coneixement i ètica: reflexions sobre filosofia i progrés de la propedèutica mèdica. (Discurs d'ingrés de l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Màrius Petit i Guinovart, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Josep Gil i Ribas, Doctor en Teologia) 2007.

Problemática de la familia ante el mundo actual. (Discurs d'ingrés de l'acadèmic honorari Excm. Sr. Dr. Gustavo José Noboa Bejarano, Doctor en Dret, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Paulino Castells Cuixart, Doctor en Medicina i Cirurgia) 2007.

Alzheimer: Una aproximació als diferents aspectes de la malaltia. (Discurs d'ingrés de l'acadèmica honoraria Excma. Sra. Dra. Nuria Durany Pich, Doctora en Biologia, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Eugenio Oñate, Doctor-Enginyer de Camins, Canals i Ports) 2008.

Guillem de Guimerà, Frare de l'hospital, President de la Generalitat i gran Prior de Catalunya. (Discurs d'ingrés de l'acadèmic honorari Excm. Sr. Dr. Josep Maria Sans Travé, Doctor en Filosofia i Lletres, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. D. José E. Ruiz Domènec, Doctor en Filosofia Medieval) 2008.

La empresa y el empresario en la historia del pensamiento económico. Hacia un nuevo paradigma en los mercados globalizados del siglo XXI. (Discurs d'ingrés de l'acadèmic corresponent Excm. Sr. Dr. Guillermo Sánchez Vilariño, Doctor Ciències Econòmiques i Financeres, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Jaume Gil Aluja, Doctor en Ciències Econòmiques i Financeres) 2008.

Incertesa i bioenginyeria (Sessió Acadèmica dels acadèmics corresponents Excm. Sr. Dr. Joaquim Gironella i Coll, Doctor en Medicina i Cirurgia amb els ponents Excm. Sr. Dr. Joan Anton Planell Estany, Doctor en Ciències Físiques, Excma. Sra. Dra. Anna M. Gil Lafuente, Doctora en Ciències Econòmiques i Financeres i Il·lm. Sr. Dr. Humberto Villavicencio Mavrich, Doctor en Medicina i Cirurgia) 2008.

Els Ponts: Història i repte a l'enginyeria estructural (Sessió Acadèmica dels acadèmics numeraris Excm. Sr. Dr. Xavier Oliver Olivella, Doctor en Enginyeria de Camins, Canals i Ports, i Excm. Sr. Dr. Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra, Doctor en Enginyeria de Camins, Canals i Ports, amb els Ponents Il·lm. Sr. Dr. Angel C. Aparicio Bengoechea, Professor i Catedràtic de Ponts de l'escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, Il·lm. Sr. Dr. Ekkehard Ramm, Professor, institute Baustatik) 2008.

Marketing político y sus resultados (Discurs d'ingrés de l'acadèmic corresponent Excm. Sr. Dr. Francisco Javier Maqueda Lafuente, Doctor en Ciències Econòmiques i Empresariales i contestació per l'acadèmica de número Excma. Sra. Dra. Anna M. Gil Lafuente, Doctora en Ciències Econòmiques i Financeres) 2008.

Modelo de predicción de "Enfermedades" de las Empresas a través de relaciones Fuzzy (Discurs d'ingrés de l'acadèmic corresponent Excm. Sr. Dr. Antoni Terceño Gómez, Doctor en Ciències Econòmiques i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Paulino Castells Cuixart, Doctor en Medicina) 2009.

Células Madre y Medicina Regenerativa (Discurs d'ingrés de l'acadèmic corresponent Excm. Sr. Dr. Juan Carlos Izpisúa Belmonte, Doctor en Farmàcia i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Joaquim Gironella i Coll, Doctor en Medicina) 2009.

Financiación del déficit externo y ajustes macroeconómicos durante la crisis financiera El caso de Rumania (Discurs d'ingrés de l'acadèmic corresponent Excm. Sr. Dr. Mugur Isarescu, Doctor en Ciències Econòmiques, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Alfredo Rocafort Nicolau, Doctor en Ciències Econòmiques i Empresariales) 2009.

El legado de Jean Monnet (Discurs d'ingrés de l'acadèmica numerària Excma. Sra. Dra. Teresa Freixas Sanjuán, Doctora en Dret, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Fernando Casado Juan, Doctor en Ciències Econòmiques) 2010.

La economía china: Un reto para Europa (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Jose Daniel Barquero Cabrero, Doctor en Ciències Humanes, Socials i Jurídiques, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Alfredo Rocafort Nicolau, Doctor en Ciències Econòmiques i Empresariales) 2010.

Les radiacions ionitzants i la vida (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Albert Bieta i Solà, Doctor en Medicina, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. David Jou i Mirabent, Doctor en Ciències Físiques) 2010.

Gestió del control intern de riscos en l'empresa postmoderna: àmbits econòmic i jurídic (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Ramon Poch i Torres, Doctor en Dret i Ciències Econòmiques i Empresariales, i contestació per l'acadèmica de número Excma. Sra. Dra. Anna Maria Gil i Lafuente, Doctora en Ciències Econòmiques i Empresariales) 2010.

Tópicos típicos y expectativas mundanas de la enfermedad del Alzheimer (Discurs d'ingrés de l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Rafael Blesa, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Josep Llorç i Brull, Doctor en Ciències econòmiques i Dret) 2010.

Los Estados Unidos y la hegemonía mundial: ¿Declive o reinención? (Discurs d'ingrés de l'acadèmic corresponent Excm. Sr. Dr. Mario Barquero i Cabrero, Doctor en Economia i Empresa, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Alfredo Rocafort i Nicolau, Doctor en Ciències Econòmiques i Empresariales) 2010.

El derecho del Trabajo encrucijada entre los derechos de los trabajadores y el derecho a la libre empresa y la responsabilidad social corporativa (Discurs d'ingrés de l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. José Luis Salido Banús, Doctor en Dret, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Manuel Subirana Canterell) 2011.

Una esperanza para la recuperación económica (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Jaume Gil i Lafuente, Doctor en Econòmiques, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Josep Gil i Ribas, Doctor en Teologia) 2011.

Certes i incertes en el diagnòstic del càncer cutani: de la biologia molecular al diagnòstic no invasiu (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Josep Malvehy, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Josep Llorç, Doctor en Econòmiques i Dret) 2011.

Una mejor universidad para una economía más responsable (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Senén Barro Ameneiro, Doctor en

Ciències de la Computació i Intel·ligència, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Jaume Gil i Aluja, Doctor en Ciències Econòmiques i Empresariales) 2012.

La transformació del món després de la crisi. Una anàlisi polièdrica i transversal (Sessió inaugural del Curs Acadèmic 2012-2013 on participen com a ponents: l'Excm. Sr. Dr. José Juan Pintó Ruiz, Doctor en Dret: “*El Derecho como amortiguador de la inequidad en los cambios y en la Economía como impulso rehumanizador*”, Excma. Sra. Dra. Rosmarie Cammany Dorr, Doctora en Sociologia de la Salut: “*Salut: mitjà o finalitat?*”, Excm. Sr. Dr. Àngel Aguirre Baztán, Doctor en Filosofia i Lletres: “*Globalización Económico-Cultural y Repliegue Identitario*”, Excm. Sr. Dr. Jaime Gil Aluja, Doctor en Econòmiques: “*La ciencia ante el desafío de un futuro progreso social sostenible*” i Excm. Sr. Dr. Eugenio Oñate Ibañez de Navarra, Doctor en Enginyeria de Camins, Canals i Ports: “*El reto de la transferencia de los resultados de la investigación a la industria*”), publicació en format digital www.reialacademiadoctors.cat, 2012.

La quantificació del risc: avantatges i limitacions de les assegurances (Discurs d'ingrés de l'acadèmica numeraria Excma. Sra. Dra. Montserrat Guillén i Estany, Doctora en Ciències Econòmiques i Empresariales, i contestació per l'acadèmica de número Excma. Sra. Dra. M. Teresa Anguera i Argilaga, Doctora en Filosofia i Lletres-Psicologia) 2013.

El procés de la visió: de la llum a la consciència (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Rafael Ignasi Barraquer i Compte, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. José Daniel Barquero Cabrero, Doctor en Ciències Humanes, Socials i Jurídiques) 2013.

Formación e investigación: creación de empleo estable (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Mario Barquero Cabrero, Doctor en Economia, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. José Luis Salido Banús, Doctor en Dret) 2013.

El sagrament de l'Eucaristia: de l'Últim Sopar a la litúrgia cristiana antiga (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Armand Puig i Tàrrach, Doctor en Sagrada Escripura, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Jaume Vallcorba Plana, Doctor en Filosofia i Lletres) 2013.

Al hilo de la razón. Un ensayo sobre los foros de debate (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Enrique Tierno Pérez-Relaño, Doctor en Física Nuclear, y contestación por la académica de número Excma. Sra. Dra. Ana María Gil Lafuente, Doctora en Ciencias Económicas y Empresariales) 2014.

**Colección Real Academia Europea de Doctores
Fundación Universitaria Eserp**

1. *La participació del Sistema Nervios en la producció de la sang i en el procés cancerós* (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Pere Gascón i Vilaplana, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'acadèmica de número Excma. Sra. Dra. Montserrat Guillén i Estany, Doctora en Ciències Econòmiques i Empresarials) 2014.
ISBN: 978-84-616-8659-9, Dipòsit Legal: B-5605-2014
2. *Información financiera: luces y sombras* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Emili Gironella Masgrau, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. José Luis Salido Banús, Doctor en Derecho) 2014.
ISBN: 978-84-616-8830-2, Depósito Legal: B-6286-2014
3. *Crisis, déficit y endeudamiento* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. José Maria Gay de Liébana Saludas, Doctor en Ciencias Económicas y Doctor en Derecho y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Juan Francisco Corona Ramón, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales) 2014.
ISBN: 978-84-616-8848-7, Depósito Legal: B-6413-2014
4. *Les empreses d'alt creixement: factors que expliquen el seu èxit i la seva sostenibilitat a llarg termini* (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Oriol Amat i Salas, Doctor en Ciències Econòmiques i Empresarials, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Santiago Dexeus i Trias de Bes, Doctor en Medicina i Cirurgia) 2014.
ISBN: 978-84-616-9042-8, Dipòsit Legal: B-6415-2014

5. *Estructuras metálicas* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Joan Olivé Zaforteza, Doctor en Ingeniería Industrial y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Xabier Añoveros Trias de Bes, Doctor en Derecho) 2014.
ISBN: 978-84-616-9671-0, Depósito Legal: B-7421-2014
6. *La acción exterior de las comunidades autónomas* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Josep Maria Bové Montero, Doctor en Administración y Dirección de Empresas y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. José María Gay de Liébana Saludas, Doctor en Ciencias Económicas y Doctor en Derecho) 2014.
ISBN: 978-84-616-9672-7, Depósito Legal: B-10952-201
7. *El eco de la música de las esferas. Las matemáticas de las consonancias* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Vicente Liern Carrión, Doctor en Ciencias Matemáticas (Física Teórica) y contestación por la académica de número Excma. Sra. Dra. Pilar Bayer Isant, Doctora en Matemáticas) 2014.
ISBN: 978-84-616-9929-2, Depósito Legal: B-11468-2014
8. *La media ponderada ordenada probabilística: Teoría y aplicaciones* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. José Maria Merigó Lindahl, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Josep Pla i Carrera, Doctor en Ciencias Matemáticas) 2014.
ISBN: 978-84-617-0137-7, Depósito Legal: B-12322-2014
9. *La abogacía de la empresa y de los negocios en el siglo de la calidad* (Discurso de ingreso de la académica numeraria Excma. Sra. Dra. María José Esteban Ferrer, Doctora en Economía y Empresa y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Carlos Dante Heredia García, Doctor en Medicina y Cirugía) 2014.
ISBN: 978-84-617-0174-2, Depósito Legal: B-12850-2014
10. *La ciutat, els ciutadans i els tributs* (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Joan-Francesc Pont Clemente, Doctor en Dret, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Enrique Tierno Pérez-Relaño, Doctor en Física Nuclear) 2014.
ISBN: 978-84-617-0354-8, Dipòsit Legal: B-13403-2014

11. *Organización de la producción: una perspectiva histórica* (Discurso de ingreso de los académicos numerarios Excmo. Sr. Dr. Joaquín Bautista Valhondo, Doctor en Ingeniería Industrial y del Excmo. Sr. Dr. Francisco Javier Llovera Sáez, Doctor en Derecho y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. José Luis Salido Banús, Doctor en Derecho) 2014.
ISBN: 978-84-617-0359-3, Depósito Legal: B 13610-2014
12. *Correlación entre las estrategias de expansión de las cadenas hoteleras Internacionales y sus rentabilidades* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Onofre Martorell Cunill, Doctor en Economía y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Josep Gil i Ribas, Doctor en Teología) 2014.
ISBN: 978-84-617-0546-7, Depósito Legal: B 15010-2014
13. *La tecnología, detonante de un nuevo panorama en la educación superior* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Lluís Vicent Safont, Doctor en Ciencias de la Información y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. José Daniel Barquero Cabrero, Doctor en Ciencias Humanas, Sociales y Jurídicas y Doctor en Administración y Alta Dirección de Empresas) 2014.
ISBN: 978-84-617-0886-4, Depósito Legal: B 16474-2014
14. *Globalización y crisis de valores* (Discurso de ingreso del académico de Honor Excmo. Sr. Dr. Lorenzo Gascón, Doctor en Ciencias Económicas y contestación por la académica de número Excmo. Sra. Dra. Ana María Gil Lafuente, Doctora en Ciencias Económicas y Empresariales) 2014.
ISBN: 978-84-617-0654-9, Depósito Legal: B 20074-2014
15. *Paradojas médicas* (Discurso de ingreso del Académico Correspondiente para Venezuela Excmo. Sr. Dr. Francisco Kerdel-Vegas, Doctor en Medicina y Cirugía y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. José Llord Brull, Doctor en Ciencias Económicas y Doctor en Derecho) 2014.
ISBN: 978-84-617-1759-0, Depósito Legal: B 20401-2014
16. *La formación del directivo. Evolución del entorno económico y la comunicación empresarial* (Discurso de ingreso de los académicos numerarios Excmo. Sr. Dr. Juan Alfonso Cebrián Díaz, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales y del Excmo Sr. Dr. Juan Ma-

ría Soriano Llobera, Doctor en Administración y Dirección de Empresas y Doctor en Ciencias Jurídicas y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Fernando Casado Juan, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales) 2014.

ISBN:978-84-617-2813-8, Depósito Legal: B 24424-2014

17. *La filosofia com a cura de l'ànima i cura del món* (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Francesc Torralba Roselló, Doctor en Filosofia i Doctor en Teologia, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. David Jou i Mirabent, Doctor en Física) 2014.

ISBN: 978-84-617-2459-8, Dipòsit Legal: B 24425-2014

18. *Hacia una Teoría General de la Seguridad Marítima* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Jaime Rodrigo de Larrucea, Doctor en Derecho y Doctor en Ingeniería Náutica y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Juan Francisco Corona Ramón, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales) 2015.

ISBN: 978-84-617-3623-2, Depósito Legal: B 27975-2014

Colección Real Academia Europea de Doctores

19. *Pensamiento Hipocrático, Biominimalismo y Nuevas Tecnologías. La Innovación en Nuevas Formas de Tratamiento Ortodóncico y Optimización del Icono Facial* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Luis Carrière Lluch, Doctor en Odontología y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Antoni Terceño Gómez, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales) 2015.

ISBN: 978-84-606-5615-9, Depósito Legal: B 3966-2015

20. *Determinantes de las Escuelas de Pensamiento Estratégico de Oriente y Occidente y su contribución para el Management en las Organizaciones del Siglo XXI.* (Discurso de ingreso del académico Correspondiente para Chile Excmo. Sr. Dr. Francisco Javier Garrido Morales, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. José Daniel Barquero Cabrero, Doctor en Ciencias Humanas, Sociales y Jurídicas y Doctor en Administración y Alta Dirección de Empresas) 2015.

ISBN:978-84-606-6176-4, Depósito Legal: B 5867-2015

21. *Nuevos tiempos, nuevos vientos: La identidad mexicana, cultura y ética en los tiempos de la globalización.* (Discurso de ingreso del académico Correspondiente para México Excmo. Sr. Dr. Manuel Medina Elizondo, Doctor en Ciencias de la Administración, y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. José Daniel Barquero Cabrero, Doctor en Ciencias Humanas, Sociales y Jurídicas y Doctor en Administración y Alta Dirección de Empresas) 2015.
ISBN: 978-84-606-6183-2, Depósito Legal: B 5868-2015
22. *Implante coclear. El oído biónico.* (Discurso del ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Pedro Clarós Blanch, Doctor en Medicina y Cirugía y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Joaquín Barraquer Moner, Doctor en Medicina y Cirugía) 2015.
ISBN: 978-84-606-6620-2, Depósito Legal: B 7832-2015
23. *La innovación y el tamaño de la empresa.* (Discurso del ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Carlos Mallo Rodríguez, Doctor en Ciencias Económicas y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. José María Gay de Liébana Saludas, Doctor en Ciencias Económicas y Doctor en Derecho) 2015.
ISBN: 978-84-606-6621-9, Depósito Legal: B 7833-2015
24. *Geologia i clima: una aproximació a la reconstrucció dels climes antics des del registre geològic* (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Ramon Salas Roig, Doctor en Geologia, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Enrique Tierno Pérez-Relaño, Doctor en Física Nuclear) 2015.
ISBN: 978-84-606-6912-8, Dipòsit Legal: B 9017-2015
25. *Belleza, imagen corporal y cirugía estética* (Discurso del ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Josep Maria Serra i Renom, Doctor en Medicina y Cirugía y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. José María Gay de Liébana Saludas, Doctor en Ciencias Económicas y Doctor en Derecho) 2015.
ISBN: 978-84-606-7402-3, Depósito Legal: B 10757-2015
26. *El poder y su semiología* (Discurso del ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Michael Metzeltin, Doctor en Filología Románica y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Joaquim Gironella i Coll, Doctor en Medicina y Cirugía) 2015.
ISBN: 978-84-606-7992-9, Depósito Legal: B 13171-2015

27. *Atentados a la privacidad de las personas* (Discurso de ingreso del académico de honor Excmo. Sr. Dr. Enrique Lecumberri Martí, Doctor en Derecho y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Joan-Francesc Pont Clemente, Doctor en Derecho) 2015.
ISBN: 978-84-606-9163-1, Depósito Legal: B 17700-2015
28. *Panacea encadenada: La farmacología alemana bajo el yugo de la esvástica* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Francisco López Muñoz, Doctor en Medicina y Cirugía y Doctor en Lengua Española y Literatura y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Joan-Francesc Pont Clemente, Doctor en Derecho) 2015.
ISBN: 978-84-606-9641-4, Depósito Legal: B 17701-2015
29. *Las políticas monetarias no convencionales: El Quantitative Easing*” (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Juan Pedro Aznar Alarcón, Doctor en Economía y Administración de Empresas y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. José Luis Salido Banús, Doctor en Derecho) 2015.
ISBN: 978-84-608-299-1, Depósito Legal: B 25530-2015
30. *La utopía garantista del Derecho Penal en la nueva “Edad Media”* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Fermín Morales Prats, Doctor en Derecho y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. José María Gay de Liébana Saludas, Doctor en Ciencias Económicas y Doctor en Derecho) 2015.
ISBN- 978-84-608-3380-2, Depósito Legal: B 26395-2015
31. *Reflexions entorn el Barroc* (Discurs d’ingrés de l’acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Salvador de Brocà Tella, Doctor en Filosofia i lletres, i contestació per l’acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Josep Gil Ribas, Doctor en Teologia) 2016.
ISBN- 978-84-608-4991-9, Depósito Legal: B 30143-2015
32. *Filosofia i Teologia a Incerta Glòria. Joan Sales repensa mig segle de cultura catalana* (Discurs d’ingrés de l’acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Josep-Ignasi Saranyana i Closa, Doctor en teologia i doctor en filosofia, i contestació per l’acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Francesc Torralba i Roselló, Doctor en teologia i doctor en filosofia) 2016.
ISBN- 978- 84- 608-5239-1, Depósito Legal: B 1473-2016

33. *Empresa familiar: ¿Sucesión? ¿Convivencia generacional?* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Miguel Ángel Gallo Laguna de Rins, Doctor en Ingeniería y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Pedro Clarós Blanch, Doctor en Medicina y Cirugía) 2016.
ISBN- 978 84 6085663-4, Depósito Legal: B 3910-2016
34. *Reflexiones y alternativas en torno a un modelo fiscal agotado.* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Antoni Durán-Sindreu Buxadé, Doctor en Derecho y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Joan-Francesc Pont Clemente, Doctor en Derecho) 2016.
ISBN- 978-84-608-5834-8, Depósito Legal: B 4684-2016
35. *La figura del emprendedor y el concepto del emprendimiento.* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Antonio Pulido Gutiérrez, Doctor en Economía y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. José Daniel Barquero Cabrero, Doctor en Ciencias Humanas, Sociales y Jurídicas y Doctor en Alta Administración de Empresas) 2016.
ISBN- 978-84-608-5926-0, Depósito Legal: B 4685-2016
36. *La Cirugía digestiva del siglo XXI* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Juan Carlos García-Valdecasas Salgado, Doctor en Medicina y Cirugía y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Xabier Añoberos Trias de Bes, Doctor en Derecho) 2016.
ISBN: 978-84-6086034-1, Depósito Legal: B 5802-2016
37. *Derecho civil, persona y democracia* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Alfonso Hernández-Moreno, Doctor en Derecho y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Joan-Francesc Pont Clemente, Doctor en Derecho) 2016.
ISBN: 978-84-608-6838-5, Depósito Legal: B 7644-2016
38. *Entendiendo a Beethoven* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Francisco Javier Tapia García, Doctor en Medicina y Cirugía y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Pedro Clarós Blanch, Doctor en Medicina y Cirugía) 2016.
ISBN: 978-84-608-7507-9, Depósito Legal: B 10567-2016

39. *Fútbol y lesiones de los meniscos* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Ramon Cugat Bertomeu, Doctor en Medicina y Cirugía y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Pedro Clarós Blanch, Doctor en Medicina y Cirugía) 2016.
ISBN: 978-84-608-8578-8, Depósito Legal: B 12876-2016
40. *¿Hacia un nuevo derecho de gentes? El principio de dignidad de la persona como precursor de un nuevo derecho internacional* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Santiago J. Castellà Surribas, Doctor en Derecho y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Joan-Francesc Pont Clemente, Doctor en Derecho) 2016.
ISBN: 978-84-608-8579-5, Depósito Legal: B 14877-2016
41. *L'empresa més enllà de l'obra estètica* (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Jordi Martí Pidelaserra, Doctor en Ciències Econòmiques i Empresariales, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. José Luis Salido Banús, Doctor en Dret) 2016.
ISBN: 978-84-608-9360-8, Depósito Legal: B 15757-2016
42. *El reto de mejorar la calidad de la auditoria* (Discurso de ingreso del académico correspondiente Excmo. Sr. Dr. Frederic Borràs Pàmies, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Emili Gironella Masgrau, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales) 2016.
ISBN: 978-84-608-9688-3, Depósito Legal: B 16347-2016
43. *Geografia, diffusione e organizzazione cristiana nei primi secoli del cristianesimo* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Angelo Di Berardino, Doctor en Teología - Doctor en Historia y Filosofía y contestación por el académico de número Excmo. y Mgfco. Sr. Rector Armand Puig i Tàrrach, Doctor en Sagrada Escritura) 2016.
ISBN: 978-84-617-5090-0, Depósito Legal: B 21706-2016
44. *Los cónsules de Ultramar y Barcelona* (Discurso de ingreso del académico correspondiente Excmo. Sr. Dr. Dr. Albert Estrada-Rius, Doctor en Derecho y Doctor en Historia y contestación por el académico de

- número Excmo. Sr. Dr. Carlos Dante Heredia García, Doctor en Medicina y Cirugía) 2016.
ISBN: 978-84-617-5337-6, Depósito Legal: B 21707-2016
45. *El implante dental y la Osteointegración* (Discurso de ingreso del académico correspondiente Excmo. Sr. Dr. Carlos Aparicio Magallón, Doctor en Medicina y Cirugía y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Pedro Clarós, Doctor en Medicina y Cirugía) 2016.
ISBN: 978-84-617-5598-1, Depósito Legal: B-22187-2016
46. *La empresa social compitiendo en el mercado: principios de buen gobierno* (Discurso de ingreso del académico de número Excmo. Sr. Dr. José Antonio Segarra Torres, Doctor en Dirección de Empresas y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Miguel Ángel Gallo Laguna de Rins, Doctor en Ingeniería Industrial) 2016.
ISBN: 978-84-617-5971-2, Depósito Legal: B-23123-2016
47. *Incertidumbre y neurociencias: pilares en la adopción de decisiones* (Discurso de ingreso del académico correspondiente Excmo. Sr. Dr. Jorge Bachs Ferrer, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Jaime Gil Aluja, Doctor en Ciencias Políticas y Económicas) 2016.
ISBN: 978-84-617-6138-8, Depósito Legal: B-23124-2016
48. *¿Puede el marketing salvar al mundo? Expectativas para la era de la escasez* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. José Luis Bueno Iniesta, Doctor of Business Administration y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Miguel Ángel Gallo Laguna de Rins, Doctor en Ingeniería Industrial) 2016.
ISBN: 978-84-617-6499-0, Depósito Legal: B 24060-2016
49. *Calidad de vida de los pacientes afectados de cáncer de próstata según el tratamiento realizado* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Ferran Guedea Edo, Doctor en Medicina y Cirugía y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Albert Biete Sola, Doctor en Medicina y Cirugía) 2016.
ISBN: 978-84-617-7041-0, Depósito Legal: B 26030-2016

50. *Relazioni conflittuali nelle aziende familiari: determinanti, tipologie, evoluzione, esiti* (Discurso de ingreso del académico numerario Excmo. Sr. Dr. Salvatore Tomaselli, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales, Dirección de Empresa y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Miguel Ángel Gallo Laguna de Rins, Doctor en Ingeniería Industrial) 2017.
ISBN: 978-84-617-7820-1, Depósito Legal: B 1712 -2017
51. *Sobre el coleccionismo. Introducción a la historia* (Discurso de ingreso del académico correspondiente Excmo. Sr. Dr. Manuel Puig Costa, Doctor en Medicina y Cirugía y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Pedro Clarós, Doctor en Medicina y Cirugía) 2017.
ISBN: 978-84-617-7854-6, Depósito Legal: B 1713-2017
52. *Teoria de la semblança i govern universitari* (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Jaume Armengou Orús, Doctor en Enginyeria de Camins, Canals i Ports, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra, Doctor en Enginyeria de Camins, Canals i Ports) 2017.
ISBN: 978-84-617-8115-7, Depósito Legal: B 2853- 2017
53. *Història de la malaltia i de la investigació oncològica. Retorn als orígens* (Discurs d'ingrés de l'acadèmic numerari Excm. Sr. Dr. Mariano Monzó Planella, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Joaquim Gironella Coll, Doctor en Medicina i Cirurgia) 2017.
ISBN: 978-84-617-8179-9, Depósito Legal: B 2854-2017
54. *Diagnóstico precoz del Cáncer de Pulmón: El Cribado, una herramienta para avanzar en su curación* (Discurso de ingreso del académico de número Excmo. Sr. Dr. Laureano Molins López-Rodó, Doctor en Medicina y Cirugía y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Pedro Clarós, Doctor en Medicina y Cirugía) 2017.
ISBN: 978-84-617-8457-8 , Depósito Legal: B 3937-2017
55. *Honor, crédito en el mercado y la exceptio veritatis* (Discurso de ingreso del académico de número Excmo. Sr. Dr. Felio Vilarrubias Guillamet, Doctor en Derecho y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Pedro Clarós, Doctor en Medicina y Cirugía) 2017.
ISBN: 978-84-617-8867-5 , Depósito Legal: B 6307-2017

56. *La vida és una llarga oxidació* (Discurs d'ingrés de l'acadèmica numerària Excma. Sra. Dra. Nicole Mahy Géhenne, Doctora en Farmàcia, i contestació per l'acadèmic de número Excm Sr. Dr. Rafael Blesa González, Doctor en Medicina i Cirurgia) 2017.
ISBN: 978-84-617-9179-8, Depósito Legal: B 6308-2017
57. *Salud periodontal y salud general: la alianza necesaria* (Discurso de ingreso de la académica numeraria Excma. Sra. Dra. Nuria Vallcorba Plana, Doctora en Odontología y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Jaime Rodrigo de Larrucea, Doctor en Derecho y Doctor en Ingeniería Náutica) 2017.
ISBN: 978-84-617-9253-5, Depósito Legal: B 8541-2017
58. *Gobierno y administración en la empresa familiar* (Discurso de ingreso del académico de número Excmo. Sr. Dr. José Manuel Calavia Molinero, Doctor en Derecho y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Joan-Francesc Pont Clemente, Doctor en Derecho) 2017.
ISBN: 978-84-697-2296-1, Depósito Legal: B 10562-2017
59. *Darwin, Wallace y la biología del desarrollo evolutiva* (Discurso de ingreso del académico de número Excmo. Sr. Dr. Daniel Turbón Borrega, Doctor en Filosofía y Letras y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Felio Vilarrubias Guillamet, Doctor en Derecho) 2017.
ISBN: 978-84-697-2678-5, Depósito Legal: B 11574-2017
60. *EL asesoramiento financiero, la figura del Asesor Financiero y de las E.A.F.I.s* (Discurso de ingreso de la académica de número Excma. Sra. Dra. Montserrat Casanovas Ramon, Doctora en Ciencias Económicas y Empresariales y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. José Maria Gay de Liébana Saludas, Doctor en Ciencias Económicas y Doctor en Derecho) 2017.
ISBN: 978-84-697-3635-7, Depósito Legal: B 15061-2017
61. *Dieta Mediterránea: una visión global / La nutrición comunitaria en el siglo XXI* (Discursos de ingreso de los académicos de número Excmo. Sr. Dr. Lluís Serra Majem, Doctor en Medicina y Excmo. Sr. Dr. Javier Aranceta Bartrina, Doctor en Medicina y Cirugía, contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. José Ramón Calvo Fernández, Doctor en Medicina y Cirugía, y la Excma. Sra.

Dra. Maria dels Àngels Calvo Torras, Doctora en Veterinaria y Doctora en Farmacia) 2017.

ISBN: 978-84-697-4524-3, Depósito Legal: B 17729-2017

62. *La conquista del fondo del ojo* (Discurso de ingreso del académico de número Excmo. Sr. Dr. Borja Corcóstegui, Doctor en Medicina y Cirugía y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Pedro Clarós, Doctor en Medicina y Cirugía) 2017.
ISBN: 978-84-697-4905-0, Depósito Legal: B 22088-2017
63. *Barcelona, Galería Urbana* (Discurso de ingreso del académico de número Excmo. Sr. Dr. Juan Trias de Bes, Doctor en Arquitectura y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Jaime Rodrigo de Larrucea, Doctor en Derecho y Doctor en Ingeniería Náutica) 2017.
ISBN: 978-84-697-4906-7, Depósito Legal: B 24507-2017
64. *La influencia del derecho español en México* (Discurso de ingreso del académico Correspondiente para México Excmo. Sr. Dr. Jesús Gerardo Sotomayor Garza, Doctor en Derecho y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Jordi Martí Pidelaserra, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales) 2017.
ISBN: 978-84-697-5210-4 , Depósito Legal: B 25165-2017
65. *Delito fiscal y proceso penal: crónica de un desencuentro* (Discurso de ingreso del académico Correspondiente Excmo. Sr. Dr. Joan Iglesias Capellas, Doctor en Derecho y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Emili Gironella Masgrau, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales) 2017.
ISBN: 978-84-697-6524-1, Depósito Legal: B 25318-2017
66. *Laïcitat i laïcisme en l'occident europeu* (Discurs d'ingrés de l'Emm. i Rvdm. Dr. Lluís Martínez Sistach, Doctor en Dret Canònic i Civil, i contestació per l'acadèmic de número Excm. Sr. Dr. Francesc Torralba Roselló, Doctor en Filosofia i Doctor en Teologia) 2017.
ISBN: 978-84-697-6525-8, Depósito Legal: B 28921-2017
67. *Lo disruptivo y el futuro: tecnología y sociedad en el siglo XXI* (Discurso de ingreso del académico Correspondiente Excmo. Sr. Dr. Luis Pons Puiggrós, Doctor en Administración y Dirección de Empresas, y

- contestación del Académico de Número Excmo. Sr. Dr. José Ramón Calvo Fernández, Doctor en Medicina) 2017.
ISBN: 978-84-697-8211-8, Depósito Legal: B 29804-2017
68. *Avances Tecnológicos en Implantología Oral: hacia los implantes dentales inteligentes* (Discurso de ingreso del académico de Número Excmo. Sr. Dr. Xavier Gil Mur, Doctor en Ingeniería Química y Materiales, Rector de la Universidad de Catalunya y contestación del Académico de Número Excmo. Sr. Dr. Jaime Rodrigo de Larrucea, Doctor en Derecho y Ingeniería Náutica) 2018.
ISBN: 978-84-697-9148-6, Depósito Legal: B 1862-2018.
69. *La función del marketing en la empresa y en la economía* (Discurso de ingreso del académico de Número Excmo. Sr. Dr. Carlo Maria Gallucci Calabrese, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales y contestación del Académico de Número Excmo. Sr. Dr. Jaime Rodrigo de Larrucea, Doctor en Derecho y Ingeniería Náutica) 2018.
ISBN: 978-84-697-9161-5, Depósito Legal: B 1863-2018
70. *El nuevo materialismo del siglo XXI: Luces y sombras* (Discurso de ingreso de l académica de Número Excma. Sra. Dra. Mar Alonso Almeida, Dra. en Ciencias Económicas y Empresariales y contestación del Académico de Número Excm. Sr. Dr. Pedro Aznar Alarcón, Doctor en Económicas y Administración de empresas) 2018.
ISBN: 978-84-09-00047-0 , Depósito Legal: B 5533-2018
71. *La dinámica mayoría – minoría en las sociedades de capital* (Discurso de ingreso del académico Correspondiente Excmo. Sr. Dr. Rodolfo Fernández-Cuellas, Doctor en Derecho y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Emili Gironella Masgrau, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales) 2018.
ISBN: 978-84-09-00419-5 , Depósito Legal: B 6898-2018
72. *Rubén Darío, Japón y Japonismo* (Discurso de ingreso del Académico de Honor, Hble. Sr. Naohito Watanabe, Cónsul General del Japón en Barcelona y contestación por el académico de número Excmo. Excmo. Sr. Dr. José María Bové Montero. Doctor en Administración y Dirección de Empresas) 2018.
ISBN: 978-84-09-01887-1, Depósito Legal: B 12410-2018

73. *Farmacología Pediátrica: pasado, presente y perspectivas de futuro* (Discurso de ingreso de la académica correspondiente Excm. Sra. Dra. M^a Asunción Peiré García, Doctora en Medicina y Cirugía y contestación por el académico de número Excmo. Sr. Dr. Pere Gascón Vilaplana, Doctor en Medicina) 2018.
ISBN: 978-84-09-02147-5 , Depósito Legal: B-13911-2018
74. *Pluralismo y Corporativismo. El freno a la Economía dinámica* (Discurso de ingreso del académico de número Excmo. Sr. Dr. Juan Vicente Sola, Doctor en Derecho y Economía y contestación por el académico de Honor Excmo. Sr. Dr. Edmund Phelps, Premio Nobel de Economía 2006) 2018.
ISBN: 978-84-09-02544-2 , Depósito Legal: B-15699-2018
75. *El Valor del liderazgo* (Discurso de ingreso de la académica de número Excm. Sra. Dra. Mireia Las Heras Maestro, Doctora en Dirección de Empresas y contestación por el académico de Número Excmo. Sr. Dr. José Antonio Segarra, Doctor en Administración de Empresas) 2018.
ISBN: 978-84-09-02545-9 , Depósito Legal: B-15700-2018
76. *Reflexiones sobre la autoría de las publicaciones científicas* (Discurso de ingreso de la académica Correspondiente Excm. Sra. Dra. Marta Pulido Mestre, Doctora en Medicina y Cirugía y contestación por el académico de Número Excmo. Sr. Dr. Pedro Clarós, Doctor en Medicina y Cirugía) 2018.
ISBN: 978-84-09-03005-7, Depósito Legal: B-16369-2018
77. *Perspectiva humanística de la bioética en estomatología / odontología* (Discurs d'ingrés de l'acadèmic Numerari Excm. Sr. Dr. Josep M. Ustrell i Torrent, Doctor en Medicina i Cirurgia, i contestació per l'acadèmic Numerari Excm. Sr. Dr. Ferran Guedea Edo, Doctor en Medicina i Cirurgia) 2018.
ISBN: 978-84-09-04140-4, Depósito Legal: B-21704-2018
78. *Evolución de la información relacionada con la alimentación y la nutrición: retos de adaptación por el consumidor* (Discurso de ingreso del académico Correspondiente Excmo. Sr. Dr. Rafael Urrialde de Andrés, Doctor en Ciencias Biológicas y contestación por el académico de Número Excmo. Sr. Dr. Lluís Serra Majem, Doctor en Medicina) 2018.
ISBN: 978-84-09-0523-9, Depósito Legal: B-3763-2018

79. *Del neurocirujía mística de la antigüedad, a los retos que enfrenta en el siglo XXI. Los cambios de paradigma según la evolución de la neurocirugía en el tiempo.* (Discurso de ingreso del académico Correspondiente Excmo. Sr. Dr. Jesús Lafuente Baraza, Doctor en Doctor en Medicina y Cirugía y contestación por el académico de Número Excmo. Sr. Dr. Luis Carrière Lluch, Doctor en Odontología) 2018.
ISBN: 978-84-09-05288-2, Depósito Legal: B-24477-2018
80. *La Unitat de Tuberculosi Experimental. 20 anys d'història / The Experimental Tuberculosis Unit: 20 years of history* (Discurs d'ingrés de l'acadèmic Numerari Excm. Sr. Dr. Pere Joan Cardona Iglesias, Doctor en Medicina, i contestació per l'acadèmic Numerari Excm. Sr. Dr. Emili Gironella Masgrau, Doctor en Ciències Econòmiques) 2018.
ISBN: 978-84-09-056972, Depósito Legal: B25357-2018
81. *Noucentisme, avantguardisme i model de país: la centralitat de la cultura* (Discurs d'ingrés de l'acadèmica Numeraria Excma. Sra. Dra. Mariàngela Vilallonga Vives, Doctora en Filologia Clàssica, i contestació per l'acadèmica Numeraria Excma. Sra. Dra. M. Àngels Calvo Torras, Doctora en Veterinària) 2018.
ISBN: 978-84-09-0680-1, Depósito Legal: B-26513-2018
82. *Abrir las puertas de la Biblioteca de Alejandría* (Discurso de ingreso de la académica numeraria Excma. Sra. Dra. Sònia Fernández-Vidal, Doctora en Física, y contestación por el académico de Número Excmo. Sr. Dr. José Ramón Calvo Fernández, Doctor en Medicina y Cirugía) 2018.
ISBN: 978-84-09-06366-6, Depósito Legal: B-26855-2018
83. *Una mirada a Santiago Ramón y Cajal en su perfil humano y humanista* (Discurso de ingreso de la académico de número Excmo. Sr. Dr. Joaquín Callabed Carracedo, Doctor en Medicina y Cirugía, y contestación por el académico de Número Excmo. Sr. Dr. Pedro Clarós, Doctor en Medicina, Cirugía y Farmacia) 2019.
ISBN: 978-84-09-07209-5, Depósito Legal: B-29489-2018
84. *Paradigmas financieros en tela de juicio* (Discurso de ingreso del académico de número Excmo. Sr. Dr. Joan Massons i Rabassa, Doctor en Administración y Dirección de Empresas, y contestación por el académico de Número Excmo. Sr. Dr. José María Gay de Liébana Saludas, Doctor en Económicas y Derecho) 2019.
ISBN: 978-84-09-08163-9, Depósito Legal: DL: B-2390-2019

85. *La contabilidad y sus adaptaciones sectoriales. El caso especial del sector hotelero*

(Discurso de ingreso del Académico Correspondiente Excmo. Sr. Dr. Ramón M. Soldevila de Monteys, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales, y contestación por el académico de Número Excmo. Sr. Dr. Juan Francisco Corona Ramón, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales) 2019.

ISBN: 978-84-09-08554-5, Depósito Legal: B-4341-2019

86. *La lógica difusa en la decisión de inversión empresarial frente al riesgo: veinte años entre la investigación pura y la aplicada* (Discurso de ingreso del Académico Correspondiente Excmo. Sr. Dr. Richard Onses, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales, y contestación por el académico de Número Excmo. Sr. Dr. Joan-Francesc Pont Clemente, Doctor en Derecho) 2019.

ISBN: 978-84-09-08897-3, Depósito Legal: B-5552-2019

87. *De la Tierra a la Luna* (Discurso de ingreso de los Académicos de Honor Excmo. Sr. Joan Roca i Fontané, Excmo. Sr. Josep Roca i Fontané y Excmo. Sr. Jordi Roca i Fontané), y contestación por los académicos de Número Excmo. Sr. Dr. José Ramón Calvo Fernández, Excmo. Sr. Dr. Juan Francisco Corona Ramón, Excmo. Sr. Dr. Santiago Castellà Surribas) 2019.

ISBN: 978-84-09-09831-6, Depósito Legal: B-8886-2019

88. *De la belleza de los materiales a las artes y las tecnologías avanzadas para la sociedad innovadora del siglo XXI* (Discurso de ingreso del Académico de Número Excmo. Sr. Dr. Josep Maria Guilemany Casadamon, Doctor en Ciencias Químicas, y contestación por el académico de Número Excmo. Sr. Dr. Javier Gil Mur, Doctor en Ingeniería Química y Materiales) 2019.

ISBN: 978-84-09-09832-3, Depósito Legal: B-8887-2019

RAD Tribuna Plural. La revista científica. 1ª Etapa**REVISTA 1 - Número 1/2014**

Globalización y repliegue identitario, *Ángel Aguirre Baztán* El pensamiento cristià, *Josep Gil Ribas*. El teorema de Gödel: recursivitat i indecidibilitat, *Josep Pla i Carrera*. De Königsberg a Göttingen: Hilbert i l'axiomatització de les matemàtiques, *Joan Roselló Moya*. Computerized monitoring and control system for ecopyrogenesis technological complex, *Yuriy P. Kondratenko, Oleksiy V.Kozlov*. Quelques réflexions sur les problèmes de l'Europe de l'avenir, *Michael Metzeltin*. Europa: la realidad de sus raíces, *Xabier Añoveros Trias de Bes*. Discurs Centenari 1914-2014, *Alfredo Rocafort Nicolau*. Economía-Sociedad-Derecho, *José Juan Pintó Ruiz*. Entrevista, *Jaime Gil Aluja*.

Edición impresa ISSN: 2339-997X, Edición electrónica: ISSN: 2385-345X
Depósito Legal: B 12510-2014, Págs. 404.

REVISTA 2 - Número 2/2014 *Monográfico Núm. 1*

I Acto Internacional: Global Decision Making.

2014: à la recherche d'un Humanisme renouvelé de El Greco à Nikos Kazantzakis, *Stavroula-Ina Piperaki*. The descent of the audit profession, *Stephen Zeff*. Making global lawyers: Legal Practice, Legal Education and the Paradox of Professional Distinctiveness, *David B. Wilkins*. La tecnología, detonante de un nuevo panorama universitario, *Lluís Vicent Safont*. La salida de la crisis: sinergias y aspectos positivos. Moderador: *Alfredo Rocafort Nicolau*. Ponentes: Burbujas, cracs y el comportamiento irracional de los inversores, *Oriol Amat Salas*. La economía española ante el hundimiento del sector generador de empleo, *Manuel Flores Caballero*. Tomando el pulso a la economía española: 2014, año de encrucijada, *José Maria Gay de Liébana Saludas*. Crisis económicas e indicadores: diagnosticar, prevenir y curar, *Montserrat Guillén i Estany*. Salidas a la crisis, *Jordi Martí Pidelaserra*. Superación de la crisis económica y mercado de trabajo: elementos dinamizadores, *José Luis Salido Banús*.

Indicadores de financiación para la gestión del transporte urbano: El fondo de comercio, El cuadro de mando integral: Una aplicación práctica para los servicios de atención domiciliaria, Competencias de los titulados en ADE: la opinión de los empleadores respecto a la contabilidad financiera y la contabilidad de costes. Teoría de conjuntos

clásica versus teoría de subconjuntos borrosos. Un ejemplo elemental comparativo. Un modelo unificado entre la media ponderada ordenada y la media ponderada. Predicting Credit Ratings Using a Robust Multi-criteria Approach.

Edición impresa ISSN: 2339-997X, Edición electrónica: ISSN: 2385-345X
Depósito Legal: B 12510-2014, Págs. 588.

REVISTA 3 - Número 3/2014

Taula rodona: Microorganismes i patrimoni. Preàmbulo, *Joaquim Gironella Coll*. L'arxiu Nacional de Catalunya i la conservació i restauració del patrimoni documental, *Josep Maria Sans Travé, Gemma Góikoechea i Foz*. El Centre de Restauració Béns Mobles de Catalunya (CRBMC) i les especialitats en conservació i restauració, *Àngels Solé i Gili*. La conservació del patrimoni històric davant l'agressió per causes biològiques, *Pere Rovira i Pons*. Problemática general de los microorganismos en el patrimonio y posibles efectos sobre la salud, *Maria dels Àngels Calvo Torras*. Beyond fiscal harmonisation, a common budgetary and taxation area in order to construct a European republic, *Joan-Francesc Pont Clemente*. El microcrédito. La financiación modesta, *Xabier Añoveros Trias de Bes*. Extracto de Stevia Rebaudiana. *Pere Costa Batllori*. Síndrome traumático del segmento posterior ocular, *Carlos Dante Heredia García*. Calculadora clínica del tiempo de doblaje del PSA de próstata, *Joaquim Gironella Coll, Montserrat Guillén i Estany*. Miguel Servet (1511-1553). Una indignació coherent, *Màrius Petit i Guinovart*. Liquidez y cotización respecto el Valor Actual Neto de los REITs Españoles (Las SOCIMI), *Juan María Soriano Llobera, Jaume Roig Hernando*. I Acte Internacional: Global decision making. Resum. Entrevista, *Professor Joaquim Barraquer Moner*.

Edición impresa ISSN: 2339-997X, Edición electrónica: ISSN: 2385-345X
Depósito Legal: B 12510-2014, Págs. 376

REVISTA 4 - Número 4/2014

Sessió Acadèmica: La simetria en la ciència i en l'univers. Introducció, evocació del Dr. Jaume Vallcorba Plana, *David Jou Mirabent i Pilar Bayer i Isant*. La matemàtica de les simetries, *Pilar Bayer i Isant*, l'Univers i les simetries trencades de la física, *David Jou Mirabent*. Sessió Acadè-

mica: La financiación de las grandes empresas: el crédito sindicado y el crédito documentario. Los créditos sindicados, *Francisco Tusquets Trias de Bes*. El crédito documentario. Una operación financiera que sustituye a la confianza en la compraventa internacional, *Xabier Añoveros Trias de Bes*. Sessió Acadèmica: Vida i obra d'Arnau de Vilanova. Introducció, *Josep Gil i Ribas*. Arnau de Vilanova i la medicina medieval, *Sebastià Giralt*. El *Gladius Iugulans Thomatistas* d'Arnau de Vilanova: context i tesis escatològiques, *Jaume Mensa i Valls*. La calidad como estrategia para posicionamiento empresarial, *F. González Santoyo*, *B. Flores Romero* y *A.M. Gil Lafuente*. Etnografía de la cultura de una empresa, *Ángel Aguirre Baztán*. L'inconscient, femení i la ciència, *Miquel Bassols Puig*. Organización de la producción: una perspectiva histórica, *Joaquim Bautista Valhondo* y *Francisco Javier Llovera Sáez*. La quinoa (*Chenopodium quinoa*) i la importancia del seu valor nutricional, *Pere Costa Batllori*.

El Séptimo Arte, *Enrique Lecumberri Martí*. "Consolatio" pel Dr. Josep Casajuana i Gibert, *Rosmarie Cammany Dorr*, *Jaume Gil Aluja* i *Josep Joan Pintó Ruiz*. The development of double entry: An example of the International transfer of accounting technology, *Christopher Nobes*. Entrevista, *Dr. Josep Gil Ribas*.

Edición impresa ISSN: 2339-997X, Edición electrónica: ISSN: 2385-345X

Depósito Legal: B 12510-2014, Págs. 460

REVISTA 5 - Número 1/2015

Sessió Acadèmica: Salut, economia i societat. Presentació, *M. dels Àngels Calvo Torras*. Descripción y valoración crítica de los diferentes sistemas sanitarios en Europa, *Joaquim Gironella Coll*. Efectos económicos en el sistema público de salud del diagnóstico precoz de las enfermedades, *Ana María Gil Lafuente*. Estar sano y encontrarse bien: El reto, *Rosmarie Cammany Dorr*. What is the greatest obstacle to development? *Alba Rocafort Marco*. Aceleradores globales de la RSE: Una visión desde España, *Aldo Olcese Santoja*. Zoonosis transmitidas por mascotas. Importancia sanitaria y prevención, *M. dels Àngels Calvo Torras* y *Esteban Leonardo Arosemena Angulo*. Seguretat alimentària dels aliments d'origen animal. Legislació de la Unió Europea sobre la fabricació de pinsos, *Pere Costa Batllori*. Panacea encadenada: La farmacología alemana bajo el III Reich y el resurgir de la Bioética, *Francisco López Muñoz*. Laici-

dad, religiones y paz en el espacio público. Hacia una conciencia global, *Francesc Torralba Roselló*. Inauguración del Ciclo Academia y Sociedad en el Reial Cercle Artístic de Barcelona. Entrevista, *Dr. José Juan Pintó Ruiz*.

Edición impresa ISSN: 2339-997X, Edición electrónica: ISSN: 2385-345X
Depósito Legal: B 12510-2014, Págs. 356

REVISTA 6 - Número 2/2015

Sessió Acadèmica: Subrogación forzosa del acreedor. Presentación, *José Juan Pintó*. La subrogación Forzosa del acreedor: Concepto, Naturaleza, Finalidad y Efectos, *Alfonso Hernández Moreno*. La utilización de la subrogación forzosa en la práctica: Aspectos relevantes y controvertidos, *Francisco Echevarría Summers*. Methods of Modeling, Identification and Prediction of Random Sequences Base on the Nonlinear Canonical Decomposition, *Igor P. Atamanyuk, Yuriy P. Kondratenko*. Rien n'est pardoné!. *Stravroula-Ina Piperaki*. Seguretat alimentària dels aliments d'origen animal. Legislació de la Unió Europea sobre la fabricació de pinsos II. Pinsos ecològics, *Pere Costa Batllori*. The relationship between gut microbiota and obesity, *Carlos González Núñez, M. de los Ángeles Torras*. Avideses i fulgor dels ulls de Picasso, *David Jou Mirabent*. Problemática de la subcontratación en el sector de la edificación, *Francisco Javier Llovera Sáez, Francisco Benjamín Cobo Quesada y Miguel Llovera Ciriza*. Jornada Cambio Social y Reforma Constitucional, *Alfredo Rocafort Nicolau, Teresa Freixes Sanjuán, Marco Olivetti, Eva Maria Poptcheva, Josep Maria Castellà y José Juan Pintó Ruiz*. Inauguración del ciclo "Academia y Sociedad" en el Reial Cercle Artístic de Barcelona: Nuevas amenazas. El Yihadismo, *Jesús Alberto García Riesco*. Presentación libro "Eva en el Jardín de la Ciencia", *Trinidad Casas, Santiago Dexeus y Lola Ojeda*. "Consolatio" pel Dr. Jaume Vallcorba Plana, *Xabier Añoveros Trias de Bes, Ignasi Moreta, Armand Puig i Tàrrach*.

Entrevista, *Dr. David Jou Mirabent*.

Edición impresa ISSN: 2339-997X, Edición electrónica: ISSN: 2385-345X
Depósito Legal: B 12510-2014, Págs. 400

REVISTA 7 - *Número 3/2015* Monográfico Núm.2

II Acto Internacional: Congreso Internacional de investigación “Innovación y Desarrollo Regional”. Conferencia Inaugural: Lecciones de la crisis financiera para la política económica: austeridad, crecimiento y retos de futuro, *Aznar Alarcón, P., Gay de Liébana Saludas, J.M., y Rocafort Nicolau, A.*

Eje Temático 1. Gestión estratégica de las organizaciones: Diseño, operación y gestión de un modelo de negocio innovador, *Medina Elizondo, M. y Molina Morejón, M.* Matriz insumo producto como elemento de estrategia empresarial, *Towns Muñoz, J.A., y Tuda Rivas, R.* Valoración sobre la responsabilidad social de las empresas en la comarca lagunera, *De la Téjera Thomas, Y.E., Gutiérrez Castillo, O.W., Medina Elizondo, E., Martínez Cabrera, H., y Rodríguez Trejo, R.J.* Factores de competitividad relacionados con la internacionalización. Estudio en el estado de Coahuila, *González Flores. O., Armenteros Acosta, M del C., Canibe Cruz, F., Del Rio Ramírez, B.* La contextualización de los modelos gerenciales y la vinculación estratégica empresa-entorno, *Medina Elizondo, M., Gutiérrez Castillo, O., Jaramillo Rosales, M., Parres Frausto, A., García Rodríguez, G.A.* Gestión estratégica de las organizaciones. Los Estados Unidos de Europa, *Barquero Cabrero, J.D.* El análisis de la empresa a partir del Valor Añadido, *Martí Pidelaserra, J.* Factors influencing the decision to set up a REIT, *Roig Hernando, J., Soriano Llobera, J.M., García Cueto, J.I.*

Eje Temático 2: Gestión de la Innovación y desarrollo regional: Propuesta metodológica para la evaluación de ambientes de innovación empresariales. Aplicaciones en el estado de Hidalgo, México, *Gutiérrez Castillo, O.W., Guerrero Ramos, L.A., López Chavarría, S., y Parres Frausto, A.* Estrategias para el desarrollo de la competitividad del cultivo del melón en la comarca lagunera. *Espinoza Arellano, J de J., Ramírez Menchaca, A., Guerrero Ramos, L.A. y López Chavarría, S.* Redes de Innovación Cooperativa en la región lagunera. *Valdés Garza, M., Campos López, E., y Hernández Corichi, A.* Ley general de contabilidad gubernamental. Solución informática para municipios menores de veinticinco mil habitantes, *Leija Rodríguez, L.* La innovación en la empresa como estrategia para el desarrollo regional, *González Santoyo, F., Flores Romero, B., y Gil Lafuente, A.M.* Aplicación de la Gestión del conocimiento a la cadena de suministro de la construcción. La calidad un reto necesario, *Llovera Sáez, F.J., y Llovera Ciriza, M.*

Eje Temático 3. Gestión del capital humano y cultura organizacional: Influencia del capital humano y la cultura emprendedora en la innovación como factor de competitividad de las pyme

industriales, *Canibe Cruz, F., Ayala Ortiz, I., García Licea, G., Jaramillo Rosales, M., y Martínez Cabrera, H.* Retos de la formación de empresarios competitivos de la región lagunera, México. Competencias estratégicas gerenciales y su relación con el desempeño económico en el sector automotriz de Saltillo. *Hernández Barreras, D., Villanueva Armenteros, Y., Armenteros Acosta, M. del C., Montalvo Morales, J.A. Facio Licera, P.M., Gutiérrez Castillo, O.W., Aguilar Sánchez, S.J., Parres Frausto, A., del Valle Cuevas, V.* Competencias estratégicas gerenciales y su relación con el desempeño económico en el sector automotriz de Saltillo, *Hernández Barreras, D., Villanueva Armenteros, Y., Armenteros Acosta, M. del C., Montalvo Morales, J.A.* Identificación y diseño de competencias laborales en las áreas técnicas de la industria textil en México. *Vaquera Hernández, J., Molina Morejón, V.M., Espinoza Arellano, J. de J.* Self-Perception of Ethical Behaviour. The case of listed Spanish companies, *García López, M.J., Amat Salas, O., y Rocafort Nicolau, A.* Descripción y valoración Económico-Sanitaria de los diferentes sistemas sanitarios en el espacio europeo, y de las unidades de hospitalización domiciliaria en las comunidades autónomas de España, *Gironella Coll, J.* El derecho público en el Quijote. Derecho de gentes y derecho político, *Añoveros Trias de Bes, X.*

Edición impresa ISSN: 2339-997X, Edición electrónica: ISSN: 2385-345X
 Depósito Legal: B 12510-2014, Págs. 558

REVISTA 8 - Número 4/2015

Sessió Acadèmica: l'Aigua, una visió interdisciplinària. Presentació, *M. dels Àngels Calvo Torres.* El agua: Características diferenciales y su relación con los ecosistemas, *M. dels Àngels Calvo Torres.* L'Aigua en l'origen i en el manteniment de la vida, *Pere Costa Batllori.* Planeta océano, pasado, presente y futuro desde una visión particular. Proyecto AQVAM. Aportación sobre el debate del agua. Fausto García Hegardt. Sesión Académica: Ingeniería y música. Presentación, *Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra.* Las comunicaciones móviles. Presente y futuro, *Ramon Agustí.* Sessió Acadèmica: Debat sobre la religió civil. Presentació, *Francesc Torralba Roselló.* La religió verdadera, *Josep Gil Ribas.* La religión civil, Ángel Aguirre *Baztán,* La religión en la que todos los hombres están de acuerdo, *Joan-Francesc Pont Clemente.* Aportació al debat sobre la religió, *Josep Gil Ribas.* El camino hacia la libertad: el legado napoleón-

nico en la independencia de México, *Enrique Sada Sandoval*. Los ungüentos de brujas y filtros de amor en las novelas cervantinas y el papel de Dioscórides de Andrés Laguna, *Francisco López Muñoz y Francisco Pérez Fernández*. La lingüística como economía de la lengua. *Michael Metzeltin*. Situación de la radioterapia entre las ciencias, *Santiago Ripol Girona*. Conferencia “Las Fuerzas Armadas y el Ejército de Tierra en la España de hoy”, *Teniente General Ricardo-Álvarez-Espejo García*. Entrevista, *Dr. Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra*.

Edición impresa ISSN: 2339-997X, Edición electrónica: ISSN: 2385-345X
Depósito Legal: B 12510-2014, Págs. 410

REVISTA 9 - Número 1/2016

Sessió Acadèmica: Unitats canines d'odorologia. Usos actuals i noves perspectives, *M. dels Àngels Calvo i Lluís Pons Anglada*. La odisea de la voz. La voz y la ópera. Aspectos médico-artísticos. *Pedro Clarós, Marcel Gorgori*. Sessió Acadèmica: La bioeconomía, nou paradigma de la ciència. Presentación, *M. dels Àngels Calvo*, liEconomía ecològica: per una economía que faci les paus amb el planeta, *Jordi Roca*. Capital natural versus desarrollo sostenible, *Miquel Ventura*, Sesión Académicas Multidisciplinaria: Accidente nuclear de Chernóbil. El accidente de la central nuclear de Chernóbil. Controversias sobre los efectos sobre la salud 30 años después, *Albert Biete*. Los efectos sobre el medio animal, vegetal y microbiano, *M. dels Àngels Calvo*, El cost econòmic de l'accident de Txernóbil: una aproximació, *Oriol Amat*. La visión del ingeniero en el accidente y actuaciones reparativas posteriores, *Joan Olivé*. Chernóbil y Fukushima: La construcción diferencial mediática de una misma realidad, *Rosmarie Cammany*. El virreinato de la Nueva España y la Bancarrota del Imperio Español, *Enrique Sada Sandoval*. Mistakes and dysfunctions of “IRR” an alternative instrument “FYR”, *Alfonso M. Rodríguez*. El derecho y la justicia en la obra de Cervantes, *Xabier Añoveros Trias de Bes*. Arquitectura motivacional para hacer empresa familiar multigeneracional, *Miguel Angel Gallo*. La vida de Juan II de Aragón (1398-1479) tras la operación de sus cataratas, *Josep M. Simon*. PV Solar Investors Versus the kingdom of Spain: First state victory, at least 27 more rounds to go, *Juan M. Soriano y José Ignacio Cueto*. Entrevista, *Dra. M. dels Àngels Calvo Torras*.

Edición impresa ISSN: 2339-997X, Edición electrónica ISSN 2385-345X
Depósito legal: B 12510-2014 Págs.418

REVISTA 10 - Número 2/2016 *Homenajes Núm. 1*

Presentación a cargo del Académico Numerario Excmo. Sr. Dr. Joan-Francesc Pont Clemente, Discurso de ingreso de la Académica de Honor Excmo. Sra. Dra. Rosalía Arteaga Serrano. Trabajo aportado por la nueva Académica de Honor: *Jerónimo y los otros Jerónimos*. Presentación a cargo del Académico Numerario Excmo. Sr. Dr. Pedro Clarós Blanch. Discurso de ingreso de la Académica de Honor Excmo. Sra. Dra. Leslie C. Griffith. Trabajos aportados por la nueva Académica de Honor: *Reorganization of sleep by temperatura in Drosophila requires light, the homeostat, and the circadian clock, A single pair of neurons links sleep to memory consolidation in Drosophila melanogaster, Short Neuropeptide F Is a Sleep-Promoting Inhibitory Modulator*. Presentación a cargo del Académico Numerario Excmo. Sr. Dr. Josep-Ignasi Saranyana Closa. Discurso de ingreso del Académico de Honor Excmo. Sr. Dr. Ernesto Kahan. Trabajo aportado por el nuevo Académico de Honor: *Genocidio*. Presentación a cargo del Académico Numerario Excmo. Sr. Dr. Juan Francisco Corona Ramon. Presentación del Académico de Honor Excmo. Sr. Dr. Eric Maskin. Trabajos aportados por el nuevo Académico de Honor: *Nash equilibrium and welfare optimality, The Folk theorem in repeated games with discounting or with incomplete information. Credit and efficiency in centralized and decentralized economies*.

Edición impresa ISSN: 2339-997X, Edición electrónica ISSN 2385-345X
 Depósito legal: B 12510-2014 Págs.384

REVISTA 11 - Número 3/2016

Sesión Académica: Medicamentos, genes y efectos terapéuticos. *M. dels Àngels Calvo, Joan Sabater Tobella*. Sessió Acadèmica: Ramon Llu-ll (Palma, 1232-Tunis, 1316). Presentació, *Josep Gil Ribas*. Ramon Llu-ll. Vida i obra, *Jordi Gayà Estelrich*. L'art com a mètode, *Alexander Fidora*. El pensament de Ramon Llu-ll, *Joan Andreu Alcina*. Articles – Artículos: Los animales mitológicos como engendro de venenos y antídotos en la España Áurea: a propósito del basilisco y el unicornio en las obras literarias de Lope de Vega, *Cristina Andrade-Rosa, Francisco López-Muñoz*. El poder en la empresa: Potestas y Auctoritas, *Miguel Ángel Gallo Laguna de Rins*. El efecto del Brexit en la validez de las cláusulas arbitrales existentes con Londres como sede del arbitraje y en la decisión de las partes de pactar a futuro cláusulas arbitrales con

Londres como sede del arbitraje, *Juan Soriano Llobera, José Ignacio García Cueto*. Desviaciones bajo el modelo de presupuesto flexible: un modelo alternativo, *Alejandro Pursals Puig*. Reflexiones en torno a la economía del conocimiento, *Leandro J. Urbano, Pedro Aznar Alarcón*. Lliurament del títol de Fill Il·lustre de Reus al Dr. Josep Gil i Ribas (21.09.2016), *Josep-Ignasi Saranyana Closa*.
 Edición impresa ISSN: 2339-997X, Edición electrónica ISSN 2385-345X
 Depósito legal: B 12510-2014 Págs.316

REVISTA 12 - Número 4/2016 *Homenajes Núm.2*

Discurso de ingreso del Académico de Honor *Excmo. Sr. Dr. Aaron Ciechanover*, presentación a cargo del Académico Numerario *Excmo. Sr. Dr. Rafael Blesa González*. Discurso de ingreso del Académico de Honor *Excmo. Sr. Dr. Josep Maria Gil-Vernet Vila*, presentación a cargo del Académico de Número *Excmo. Sr. Dr. Pedro Clarós Blanch*. Discurso de ingreso del Académico de Honor del *Excmo. Sr. Dr. Björn O. Nilsson*, presentación a cargo de la Académica de Número *Excmo. Sra. Dra. Maria dels Àngels Calvo Torres*. Discurso del Académico de Honor *Excmo. Sr. Dr. Ismail Serageldin*, presentación a cargo de la Académica de Honor, *Excmo. Sra. Dra. Rosalía*.
 Edición impresa ISSN: 2339-997X. Edición electrónica ISSN 2385-345X
 Depósito Legal: B 12510-2014 Pags 272

REVISTA 13 - Número 5/2016

Debate: El impacto del BREXIT en la economía española y en el resto de países de la UE. *Oriol Amat Salas, Santiago José Castellà Surribas, Juan Francisco Corona Ramón y Joan-Francesc Pont Clemente*. Debate: Titanic, Cómo tomar imágenes a 3800 metros de profundidad. El corto viaje del Titanic- Seguridad marítima, antes y después del Titánic, *Jaime Rodrigo de Larrucea*. El naufragio del Titanic y sus enseñanzas, *Frederic Malagelada Benapres*. ¿Arqueología subacuática a 4000 metros de fondo?, *Pere Izquierdo i Tugas*. Los límites de la imagen submarina, *Josep Maria Castellví*. Conférence sur la mission Aout 2016 Sur l'Eclairage du Titanic, *Christian Petron*. Moderador del Debate, *Andrés Clarós Blanch*. Al grito de nación: Mompo y Cartagena, precursoras en la independencia de Colombia, *Enrique Sada Sandoval*. Satisfacción de los alumnos con el plan de estudios de las licenciaturas en educación

primaria y preescolar, *Rocío del Carmen López Muñiz*. Degradación ambiental del agua subterránea en el entorno de la gestión gubernamental de los recursos Hídricos, México, *José Soto Balderas*. La Formazione Generazionale nelle Aziende Familiari, *Salvatore Tomaselli*. La fagoterapia y sus principales aplicaciones en veterinaria, *Diego Morgades Gras, Francesc Josep Ribera Tarifá, Sandra Valera Martí y M. dels Àngels Calvo Torras*. Aproximació al món d'Àusias March, *Salvador de Brocà Tella*. Diseño estratégico para el reemplazo de equipo en la empresa, González Santoyo, F, F. Flores Romero y Gil Lafuente, Ana Maria. The end of accounting. Discurso de ingreso como Académico Correspondiente del Excmo. Sr. Dr. Baruch Lev y discurso de contestación del Excmo. Sr. Dr. Oriol Amat Salas. Entrevista, Dra. Miguel Ángel Gallo Laguna de Rins.

Edición impresa ISSN: 2339-997X. Edición electrónica ISSN 2385-345X
 Depósito Legal: B 12510-2014 Pags 316

REVISTA 14 - Número 1/2017

Debate: La amenaza interna de la Unión Europea - La amenaza interna de la Unión Europea Refundar Europa, *Santiago José Castellà*. Rumbo económico en 2017, ¿marcado por la brújula política?, *José María Gay de Liébana*. Debate: Juan Clarós cambió la historia de Cataluña en la guerra de la Independencia 1808-1814, *Pedro Clarós, Leticia Darna, Domingo Neuenschwander, Óscar Uceda*. Presentación del libro: Sistemas federales. Una comparación internacional - Presentación, *Teresa Freixes*. Introducción, *Mario Kölling*. El federalismo en Alemania hoy, *Roland Sturm*. La ingeniería política del federalismo en Brasil, *Celina de Souza*. La construcción federal desde la ciudad, *Santiago José Castellà*. Debate: Empresa familiar. Más allá de la tercera generación- Empresa familiar. Más allá de la tercera generación. El resto de la sucesión, *Juan Francisco Corona*. Empresa familiar, *José Manuel Calavia*. Debate: La situación hipotecaria en España tras las sentencias del tribunal de justicia de la Unión Europea y del Tribunal Supremo – Presentación, *Alfonso Hernández-Moreno*. Origen de la crisis hipotecaria y activismo judicial, *Fernando P. Méndez*. La evolución legislativa y jurisprudencial en la calificación registral en materia de hipotecas, *Rafael Arnáiz*. El consentimiento informado y el control de transparencia, *Manuel Ángel Martínez*. Cláusulas suelo, intereses moratorios y vencimiento anticipado, *Antonio Recio*. El problema psíquico y psicológico en Don

Quijote, *Xabier Añoveros*. El análisis y la gestión del riesgo a partir de la Evaluación Formal de la Seguridad (EFS/FSA): un nuevo modelo de seguridad portuaria, *Jaime Rodrigo*. Entrevista, *José Ramón Calvo*. Edición impresa ISSN: 2339-997X, Edición electrónica ISSN 2385-345X. Depósito Legal: B 12510 – 2014. Págs. 468

REVISTA 15 - Número 2/2017

Debate: Lutero 500 años después 1517-2017). Presentación, *Josep-Ignasi Saranyana*. Martín Luter en el seu context històric, *Salvador de Brocà*. Martín Luter y los inicios de la Reforma protestante, *Josep Castanyé*. Die theologische Entwicklung Martin Luthers und die *Confessio Augustana*. *Holger Luebs*. Lutero como creador de la lengua literaria alemana moderna, *Macià Riutort*. Debate: Mejora de la viabilidad de las empresas familiares. Empresa familiar: Incrementar su supervivencia, *Miguel Ángel Gallo*. De la Gobernanza y su ausencia: Gestión pública y Alta dirección en la forja del Estado Mexicano (1821-1840), *Enrique Sada Sandoval*. Los huevos tóxicos o la eficacia de una RASFF, *Pere Costa*. Control de Micotoxinas en la alimentación y salud pública, *Byron Enrique Borja Caceido y M. Àngels Calvo*. La aplicación parcial del principio de subsidiaridad es contraria al Tratado de la UE, se enfrenta al principio de solidaridad y fomenta los nacionalismos de Estado, *Félix de la Fuente Pascual*. Costa Brava 2020 Reserva de la Biosfera. Retos y oportunidades de innovar integrando el uso sostenible del territorio y el mar, *Miquel Ventura*. 1r Encuentro Científico. Convergencia de caminos: Ciencia y empresa RAED- IESE-ULPGC. III Acto Internacional. Congreso Europeo de Investigaciones Interdisciplinaria: La evolución de la ciencia en el siglo XXI. Entrevista, *Pedro Clarós*. Edición impresa ISSN: 2339-997X, Edición electrónica ISSN 2385-345X. Depósito Legal: B 12510 – 2014. Págs. 242.

REVISTA 16 - Número 3/2017 Monográfico Núm.3

III Acto Internacional. Congreso Europeo de Investigaciones Interdisciplinarias “La evolución de la Ciencia en el Siglo XXI”. Conferencia Inaugural: Limits to taxation, *Dr. Juan Francisco Corona*. Bloque Ciencias Humanas y Sociales: La crisi della democrazia rappresentativa, *Dra. Paola Bilancia*. El reto de mejorar la información financiera de las empresas, *Dr. Frederic Borràs*. Financial reporting and auditing

in a global environment, *Dr. José María Bové*. La emergencia de las ciudades en la nueva sociedad internacional: ¿Hacia la ciudad estado?, *Dr. Santiago José Castellà*. Déficit, deuda e ilusión financiera, *Dr. Juan Francisco Corona*. Europa en la encrucijada, *Dra. Teresa Freixes*. Empresa familiar: Incrementar su supervivencia, *Dr. Miguel Ángel Gallo*. Algunas consideraciones críticas acerca delretrato de créditos litigiosos y el derecho a la vivienda, *Dr. Alfonso Hernández-Moreno*. El cambio climático y su comunicación: factores determinantes para su comprensión, *Dra. Cecilia Kindelán*. Comentarios sobre la empresa partiendo de los conceptos de rentabilidad y productividad, *Dr. Jordi Martí*. Academic contributions in Asian tourism research: A bibliometric analysis, *Dr. Onofre Martorell, Dr. Marco Antonio Robledo, Dr. Luis Alberto Otero Dra. Milagros Vivel*. El Fondo de Comercio Interno registrado como una innovación en la Contabilidad, *Dr. Agustín Moreno*. Laicidad y tolerancia: vigencia de Voltaire en la Europa de hoy, *Dr. Joan-Francesc Pont*. La toma de decisiones empresariales inciertas mediante el uso de técnicas cualitativas, *Dr. Alejandro Pursals*. Presente y futuro de la Unión Europea: El papel de la educación y la universidad, *Dr. José Regidor*. El derecho y la legislación proactiva: nuevas perspectivas en la ciencia jurídica, *Dr. Jaime Rodrigo*. Assess the relative advantages and disadvantages of absorption costing and activity based costing as alternative costing methods used to assess product costs, *Alba Rocafort*. Instrumentos para la creación de empleo: Las cooperativas de trabajo, *Dr. José Luis Salido*. Acotaciones a la cultura de la edad moderna occidental, *Dr. Enrique Tierno*. Bloque Ciencias de la Salud: ¿Cómo debemos enfocar el tratamiento mediante implantes dentales?, *Dr. Carlos Aparicio*. Estilos de vida y cáncer. Situación Actual, *Dr. Albert Biete*. Alzheimer, síndrome de Down e inflamación, *Dr. Rafael Blesa, Dra. Paula Moral Rubio*. Foodborne viruses, *Dr. Albert Bosch, Dra. Susana Guix i Dra. Rosa M. Pintó*. Resistencias a los antimicrobianos y alimentación animal, *Dra. M. Àngels Calvo, Dr. Esteban Leandro Arosemena*. Tabaco o Salud: Los niños no eligen, *Dr. José Ramón Calvo*. La enfermedad calculosa urinaria: situación actual de los nuevos paradigmas terapéuticos, *Dr. Joaquim Gironella*. La organización hospitalaria, factor de eficiencia, *Dr. Francisco Javier Llovera, Dr. Lluís Asmarats, Javier Soriano*. Esperanza de vida, longevidad y función cerebral, *Dr. José Regidor*. Nueva metodología para el tratamiento del TDAH mediante el ejercicio físico, *Dra. Zaira Santana, Dr. José Ramón Calvo*. Conferencia de clausura: La Bioingeniería en el tratamiento de la sordera profunda, *Dr. Pedro*

Clarós. Conferencia especial: Agustín de Betancourt. Un ingeniero genial de los siglos XVIII y XIX entre España y Rusia, *Dr. Xabier Añoveros Trias de Bes*. Entrevista: *Dr. Xabier Añoveros Trias de Bes*. Edición impresa ISSN: 2339-997X, Edición electrónica ISSN 2385-345X. Depósito Legal: B 12510 – 2014. Págs. 560.

REVISTA 17 - Número 4/2017

Debate: Centenario de un Premio Nobel: Camilo José Cela, *Dr. Xabier Añoveros Trias de Bes*, *Julio Pérez Cela* y *Adolfo Sotelo Vázquez*. Debate: Nociones del infinito, Presentación: *Dr. Daniel Turbón Borrega*. Ponencias: Les nocions d'infinit en matemàtiques, *Dra. Pilar Bayer Isant*. El infinito en cosmología, *Dr. David Jou Mirabent*. ¿Podemos entender lo infinito, si somos finitos, *Antoni Prevosti Monclús?* La teología ante el infinito, *Dr. Josep-Ignasi Saranyana Closa*. Une nouvelle vision pour l'Europe: engagement citoyen et volonté humaniste, *Dra. Ina Piperaki*. Artículos: Homenaje a la universidad de Salamanca en sus 800 años de existencia (1218-2018), *Dr. Ángel Aguirre Baztán*. Aproximación al concepto de minoría para su protección jurídica internacional: criterios de clasificación, *Dr. Santiago José Castellà*. Ortotoxicidad medicamentosa, *Dr. Pedro Clarós*, *Dra. M. Àngels Calvo* y *Dra. Ana María Carmona*. Regeneración de las células ciliadas del oído interno mediante la terapia génica con CGF 166, *Dr. Pedro Clarós*, *Dra. Maria Àngels Calvo* y *Dra. Ana María Carmona*. Influencia de las hormonas sexuales en la voz de las cantantes de ópera, *Dr. Pedro Clarós* y *Dr. Francisco López-Muñoz*. Nanotecnología frente al cáncer, *Inés Guix Sauquet* y *Dr. Ferran Guedea Edo*. El derecho y la legislación proactiva: nuevas perspectivas en la ciencia jurídica, *Dr. Jaime Rodrigo*. Ingresos de Académicos: Delicte fiscal i procés penal: crònica d'un mal encaix, *Dr. Joan Iglesias Capellas*. La conquista del fondo de ojo, *Dr. Borja Corcóstegui*. Laïcitat i laïcisme en l'occident europeu, *Cardenal Lluís Martínez Sistach*. Lo disruptivo y el futuro: tecnología y sociedad en el siglo XXI, *Dr. Luis Pons Puiggrós*. La influencia del derecho español en México, *Dr. Jesús Gerardo Sotomayor*. Barcelona, galería urbana, *Dr. Juan Trias de Bes*. Entrevista: *Dr. Ramón Cugat*.

Edición impresa ISSN: 2339-997X, Edición electrónica ISSN: 2385-345X, Depósito Legal: B 12510 - 2014. Págs. 316





JAVIER GIL MUR, Doctor en Ingeniería Química y Metalurgia por la Universidad de Barcelona. (1989) Catedrático de Universidad. (1999). Dept. Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Universidad Politécnica de Cataluña. Director del Centro de investigación de Biomateriales, Biomecánica e Ingeniería de Tejidos de la Universitat Politècnica de Catalunya. Grupo consolidado de la Generalitat de Catalunya valorado con un 6.97/7. Vicerrector de Investigación e Innovación de la Universitat Politècnica de Catalunya (2006-2010). Vicerrector de Política Científica de la Universitat Politècnica de Catalunya (2010-2013). Comisionado de la Generalitat de Catalunya para la creación de un Campus de Ingeniería e Innovación en Barcelona con más de 4000 estudiantes, 600 personal docente e investigador y 100 personas de administración y servicios. (Julio 2013). Director de la Escuela de Ingeniería de Barcelona y delegado del Rector para el desarrollo del nuevo Campus Diagonal Besòs de Barcelona. Miembro de la red CINDA y coordinador en Parques Científicos y Tecnológicos en España y Latinoamérica. Director de investigación en más de 35 Proyectos de investigación europeos y 49 nacionales, especialmente en Ingeniería de Materiales (Biomateriales, Biomecánica e Ingeniería de Tejidos). Miembro de la Cátedra UNESCO en Biomateriales. Experto de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología del Gobierno de España en el área de Materiales (Biomateriales).

Autor de 5 libros, más de 275 publicaciones internacionales en revistas indexadas, participación en más de 195 comunicaciones orales en Congresos Internacionales.

Autor de 16 patentes de invención. Director de más de 50 Tesis Doctorales. Director de la Cátedra UPC-Klockner de Implantes dentales. Premio de la European Society for Biomaterials, Premio de la Real Sociedad Española de Química, Premio a la Transferencia Tecnológica, Premio a la mejor publicación científica del Journal of Materials Science: Materials in Medicine. Premio Simon-Virgili, Premio de Biomecánica Antonio Viladot. Principal Editor de la revista Journal of Applied Biomechanics and Biomaterials y del Journal of Materials Science: Materials in Medicine. Presidente de la Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales. Presidente del Scientific Advisory Committee of the University of Minnesota. School of Dentistry. Cofundador de la empresa Mimetis Biomaterials. Rector de la Universitat Internacional de Catalunya. (2015-)

Vida Eterna

Llegará una tarde
En que tu luz estará apagada
Tu cuerpo estará al otro lado
Pero tu alma...
Yo miraré hacia arriba para encontrarla
Ya la veo en aquella estrella
En el cielo antes del alba

Después del alba
Entró tu pureza
Como gota de rocío blanca
Todo lo bello ilumina
Y es cuando Dios nos llama

Después del alba
Tu alma blanca
Pura armonia
Transparencia cromática
Amalgama sublime de eternidad
Que en mi alma grabas...

Hasta volver a encontrarte



Carmen Toste Ossorio

1914 - 2019

Colección Real Academia Europea de Doctores



Generalitat
de Catalunya

