

***Nuestro primer entrevistado es Doctor en Ingeniería Industrial en la especialidad de Mecánica por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Zaragoza a la que pertenece como catedrático desde 1996. Ha colaborado con varias Universidades de prestigio en Estados Unidos y en la actualidad es científico invitado en Massachusetts Institute of Technology : MIT. De 1993 a 95 fue Presidente de la Asociación Española de Materiales Compuestos.***

**AEMAC :** Desarrolló entre 1981 y 1984 su tesis titulada : “Análisis del Comportamiento Resistente de Laminados de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio y su Aplicación a los Medios de Transporte”. En aquella época, los Materiales Compuestos en España estaban poco desarrollados ¿cómo se introdujo en estos materiales que marcarían para siempre su carrera profesional?

**MIRAVETE :** A finales de los 70 cayó en mis manos una publicación francesa que describía aplicaciones en aeronáutica y automoción en fibra de vidrio, me parecieron de interés y me puse a trabajar primero en los materiales compuestos de fibra de vidrio y luego en los de carbono y aramida. Di a conocer mis trabajos internacionalmente y tuve suerte porque recibí una invitación para hacer una estancia postdoctoral en el Laboratorio Wright-Patterson, que era el centro de investigación de referencia de materiales compuestos en US. Ahí tuve la oportunidad de trabajar al lado de James M. Whitney, Nicholas J. Pagano y Stephen W. Tsai, a los que considero los padres de la mecánica de los materiales compuestos. Esa estancia marcó para siempre mi carrera profesional, han sido 15 años en España y 21 en US volcado en nuestros materiales.

**A:** La temática sigue de actualidad y su trayectoria ha estado vinculada a este fin durante años. Desde su conocimiento del sector, nos gustaría su valoración del momento actual y las perspectivas de futuro.

**M:** En el momento actual, el automóvil de ciudad con carrocería en fibra de carbono es la aplicación que está acaparando más interés en la comunidad internacional en el sector de vehículos ligeros y pesados. Desarrollándose procesos de fabricación como el HP-RTM y el C-RTM que permiten reducir tiempos de ciclo y aumentar prestaciones mecánicas y calidades de acabado, se han conseguido resinas de baja viscosidad que se adaptan bien a los nuevos procesos y se han resuelto los complejos problemas de diseño y puesta a punto de útiles para altas presiones de trabajo. En el capítulo de costes, sin embargo, se debate en los foros internacionales la viabilidad económica de la fibra de carbono actual en automoción, planteándose serias dudas sobre la rentabilidad de modelos recientes como el BMW i3, dudas que comparto. Mi opinión es que, en este sector, como indican los estudios del Departamento de Energía de US, sería deseable contar con una fibra de carbono económica aunque se redujeran las prestaciones mecánicas que se obtienen con el



Antonio Miravete, primer Presidente de AEMAC

carbono actual cuyo precursor el PAN estándar tiene un coste muy elevado. Se han hecho progresos - insuficientes - en la optimización de los procesos de carbonización pero ninguno en el precursor, aunque el PAN textil parecía prometedor al final no se han cumplido las expectativas. Animo a los excelentes investigadores en carbón que tenemos en España a que exploren otros materiales carbonáceos como

precursores alternativos al PAN estándar. Si se consiguieran 175 GPa de módulo elástico y 2 GPa de resistencia a tracción con un coste \$10/kg habría un punto de inflexión importante en la aplicación de los materiales compuestos estructurales en automoción y transporte terrestre.

**A:** En España existen empresas en los sectores de aeronáutica, eólico, naval e industrial referentes a nivel internacional en MC. Como colaborador del MIT quisiéramos nos trasladase la visión que fuera de España existe no solo de nuestra industria, sino también de nuestra actividad investigadora.

**M:** Se siguen los desarrollos de las empresas líderes españolas en sus respectivos sectores, al igual que ocurre con la investigación, cuya actividad se conoce entre la comunidad científica. Dicho esto, en la actualidad, a mi juicio, la principal visión que se tiene de nuestro país es a través de MTorres como empresa de referencia de primer orden en investigación y desarrollo de las tecnologías AFP y ATL. Considerando la excepcionalidad que supone que una empresa extranjera esté en el foco de un país tan endogámico como US, tiene mucho mérito que sea reconocida como líder mundial, y así queda demostrado en su participación en el nuevo proyecto del ala del 777x de Boeing. Se puede afirmar utilizando un símil deportivo que Manolo es el Rafa Nadal de los composites en US.

**A:** Como profesor en UNIZAR, podrá valorar a grandes rasgos las que considera son las diferencias más significativas entre la forma de hacer investigación, incluyendo las estructuras financiadoras en US y en España, y que podríamos

adoptar sin gran esfuerzo, mejorando así nuestras redes de investigación.

***“Si se consiguieran 175 GPa de módulo elástico y 2 GPa de resistencia a tracción con un coste de \$10/kg habría un punto de inflexión en la aplicación de composites.”***

**M:** Mientras que en España la financiación pública es obtenida a nivel autonómico, nacional y comunitario, en US lo es a nivel federal a través de instituciones como NSF, NIST, NASA, etc. Respecto a la forma de hacer investigación en US, es una cuestión compleja ya que hay un número muy elevado de universidades, sólo en el área metropolitana de Boston son 54 y por otro lado según los numerosos rankings publicados hay una gran oferta, donde la calidad y la forma de hacer investigación varían significativamente entre las distintas universidades.



**Universidad  
Zaragoza**

Hablando genéricamente, dos aspectos que llaman la atención son la gran movilidad de los investigadores y el elevado número de patentes que se generan. Creo que la movilidad es positiva y motivadora para el investigador, en especial, la estancia postdoctoral.

Asimismo, las ayudas para que se generen patentes son un aliciente para la motivación, y en definitiva para el avance en la investigación, porque al final el trabajo duro y la motivación son los dos motores del avance en el conocimiento.

**A:** Aún con el trabajo realizado en Construcción y todos los premios internacionales conseguidos por empresas españolas, estamos lejos de su aplicación en infraestructuras como ocurre en Canadá, US, etc. ¿Considera que existen lagunas de conocimiento que se han de subsanar para que se introduzcan en este sector y en otros que todavía no los usan de manera intensiva, o su viabilidad depende de otros factores?

**M:** A mi juicio no hay lagunas de conocimiento en el área de construcción, de hecho el paso superior vehicular de la autopista que da acceso al Aeropuerto de Asturias, se considera, según mis datos, el de mayor luz del mundo fabricado íntegramente en fibra de carbono y fue diseñado y fabricado bajo la dirección de Juan Mieres e Ignacio Calvo de Acciona Infraestructuras. Quizás la diferencia en la aplicación de estos materiales está en el reconocimiento y valoración económica de sus ventajas por las Administraciones o usuarios finales que deciden los proyectos.

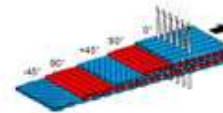
En US y Canadá cuando se presenta una oferta de una obra en fibra de carbono, se reconoce en el coste sus claras ventajas: la ligereza, el mantenimiento cero frente a la corrosión del armado del hormigón, mejor comportamiento a largo plazo, mayor capacidad de carga, mayor facilidad del transporte, mucho menor tiempo de puesta en obra, facilidad de reparación, etc.

En España mi experiencia personal es que cuando hay un requerimiento de reducción de peso y se oferta una solución en MC que pesa la mitad que la de materiales tradicionales, el usuario final espera que cueste igual o incluso menos que la de materiales tradicionales, sin contar que se requieren materiales de mayores prestaciones y por lo tanto de mayor coste para cumplir todos los requerimientos con la mitad de peso. Este desconocimiento de que más prestaciones y menor peso conllevan un mayor coste complica la introducción de nuestros materiales no sólo en construcción sino en general en todos los sectores industriales.

**A: La simulación de procesos y el cálculo por elementos finitos en MC son fundamentales en la optimización del diseño y el análisis estructural del producto a fabricar. En el curso que COMPOSITEAS organiza junto a AITIIP se imparte esta temática, nos gustaría profundizase en la perspectiva que se abordará y su opinión del software del mercado.**

**M :** Llevamos haciendo cursos 35 años, los últimos 20 centrados en formar a ingenieros norteamericanos, lo cual nos ha hecho pensar que sería de interés lanzar junto a AITIIP cursos en español como el que arranca a finales de este mes de Junio, donde hablamos de elementos finitos haciendo énfasis en sendas recomendaciones sobre la ejecución del método, tratamos casos de estudio de simulaciones de aplicaciones en varios sectores y presentamos estudios de correlaciones teórico-experimentales, obteniendo conclusiones sobre la precisión de esta metodología comparándola con los resultados experimentales.

El software del mercado ha avanzado mucho pero adolece de un punto fundamental que es la falta de algoritmos de optimización estructural. En breve contaremos con ordenadores cuánticos que serán decisivos para el avance en el dimensionado de estructuras ya que en composites tenemos un número muy elevado de variables de diseño. Estamos ya preparándonos trabajando en algoritmos robustos que nos permitan la optimización de grandes estructuras teniendo en cuenta modelos multiescala, espesor variable (ply drops), orientaciones de fibras y secuencias de apilado óptimas considerando asimismo requerimientos del proceso. ¿Nos hemos preguntado alguna vez cómo de pesada es una estructura que se ha diseñado por intuición con respecto a la óptima? Creo que en la mayoría de casos, nos llevaríamos una desagradable sorpresa, trabajando con materiales anisótropos, la intuición rara vez funciona.



***“El desconocimiento de que más prestaciones y menor peso conllevan a un mayor coste complica la introducción de nuestros materiales no sólo en construcción sino en todos los sectores industriales”***

**A: Como miembro de Asociaciones y Consejos Editoriales, su visión es global. Conoce el congreso MATCOMP y a muchos de nuestros científicos. ¿Cómo calificaría la formación de los jóvenes españoles encaminados a trabajar en MC y qué recomendación les daría a quienes finalizan su doctorado?**

**M:** Tenemos excelentes jóvenes investigadores en España y con un futuro enorme. Les recomendaría que completen su formación con estancias de investigación postdoctorales en universidades o centros de investigación de excelencia, y si es posible en el extranjero. Mi experiencia con doctores de la Universidad de Zaragoza es contundente: todos, el 100% de los que han salido fuera de España han tenido una experiencia muy positiva.

**A: ¿En qué actividades relacionadas con los materiales compuestos tiene previsto implicarse a corto y medio plazo?**

**M:** En US además de actividades de investigación doy conferencias, las próximas dentro de un mes en un seminario organizado por el Departamento de Aeronáutica y Astronáutica de la Universidad de

Stanford. Aunque aumentan las actividades virtuales, las presenciales como las reuniones programadas para Junio me hacen imposible aceptar la amable invitación de los organizadores del MATCOMP al que me hubiera encantado asistir. Vaya desde aquí mi enhorabuena para los organizadores, el programa es magnífico y estoy seguro de que va a ser un completo éxito.

En cuanto a temas de interés, podemos citar los nuevos criterios de rotura en colaboración con el Profesor Tsai, que son aún más precisos que los obtenidos mediante Tsai-Wu, health monitoring desarrollando innovadoras técnicas en MIT, modelos multi-escala en el área de simulación y 3D printing de fibra de carbono continua.



En España además de dar clases en UNIZAR, impulso la participación de mi equipo investigador en proyectos de I+D. Como coordinador científico de COMPOSITEAS nuestra prioridad es la participación en proyectos H2020 junto con AITIIP y la formación online, y la participación en sendas propuestas nacionales de investigación y congresos.

**A :** Con respecto a las últimas tecnologías que se están explorando para mejorar las propiedades de los composites laminados estructurales (i.e. adición de nanotubos, grafeno, thin plies, self-healing). ¿Cuáles ve más factible sean introducidas a nivel industrial?

**M:** La tecnología thin ply ya es comercial y utilizada en algunos palos de golf. Hemos trabajado de forma exhaustiva en su caracterización, sabemos que mejora su comportamiento mecánico respecto al prepreg convencional en algunos aspectos a expensas de un coste mayor, tanto del material como de la mano de obra, al aumentar el número de láminas de la pieza debido al espesor más reducido de cada lámina. Tendrá su nicho, pero no creo que sea una tecnología que desplace al laminado convencional.

***“En el Departamento de Aeronáutica y Astronáutica de MIT hemos desarrollado una patente de HEALTH MONITORING junto con el Profesor Brian Wardle y el Dr. Roberto Guzmán de Villoria, basada en nanotubos de carbono que tiene mucho potencial, presenta ventajas sustanciales frente a las tecnologías estándar”***

La implantación de bosques de nanotubos de carbono en la dirección del espesor de prepreps es una tecnología prometedora. Los existentes en el mercado están muy descompensados, la rigidez y resistencia en

la dirección del espesor son 20 veces inferior que en la dirección de las fibras. Este desequilibrio genera graves problemas de carácter interlaminar, como es sabido. Esta línea de investigación que fue iniciada por dos investigadores españoles en MIT, está muy avanzada con un producto muy próximo a la comercialización y sabemos que aumenta un 30% la tenacidad a la fractura interlaminar frente al prepreg convencional.

**A:** Usted que ha tenido la responsabilidad de ser el primer presidente de AEMAC en el año de su constitución. Cómo ve a la asociación en la actualidad y su futuro a punto de cumplir sus 25 años de historia.

**M:** Hace ahora exactamente 25 años en Junio de 1992 desde la Universidad de Zaragoza y Vetrotex España tomamos la decisión de promover la creación de la Asociación Española de Materiales Compuestos, unos meses más tarde, a comienzos de 1993 convocamos a varios colegas del CSIC y otras Universidades para constituir AEMAC, antes del Congreso Mundial que organizamos en Madrid ese mismo año. Comparar la participación española en aquel Congreso con la de los MATCOMP más recientes es una buena forma de evidenciar la excelente progresión de AEMAC. Cuando bajo de la web de la Asociación los proceedings de los últimos congresos siento una gran satisfacción y un profundo agradecimiento hacia Josep Costa y los compañeros que le antecedieron por la labor bien hecha. Nuestra Asociación se ha hecho mayor después de 25 años, pero no debemos conformarnos con la excelente progresión llevada a cabo, tenemos que seguir creciendo en cantidad y calidad, algo que estoy seguro conseguiremos si seguimos en esta línea.