

CONTESTACIÓN

EXCMO. SR. D. AMABLE LIÑÁN MARTÍNEZ

Excmo. Sr. Presidente,
Excmos. Sres. Académicos
Señoras y Señores:

Es para mí muy grata la tarea que me ha correspondido de, en nombre de la Real Academia de Ingeniería, dar la bienvenida a esta Institución a Javier Jiménez Sendín, y contestar al Discurso de Ingreso que acabáis de oír. Me propongo hacer un breve resumen de su labor investigadora y de los méritos que le hacen acreedor a la Medalla que recibirá en unos momentos.

Javier Jiménez Sendín nació en Madrid en 1945, en una familia que propició su futura inclinación hacia su actividad posterior a la Ingeniería y la Investigación. Su padre, José Antonio Jiménez Salas, fue el Ingeniero de Caminos que, como Catedrático de Mecánica de Suelos en su Escuela, más impulsó en España los estudios, la investigación y las aplicaciones de esta disciplina; creando una Escuela Española de Mecánica de Suelos que alcanzó pronto un gran prestigio internacional. Fue miembro de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y sólo por razones de edad no pudo ser miembro de esta Academia.

Su hijo ha demostrado poseer una inteligencia excepcional, una gran capacidad de trabajo y una gran ambición que le impulsa a la búsqueda de los conocimientos y al desarrollo de las herramientas que permitan abordar los problemas más complejos de las Ciencias y de la Ingeniería. Cuando comenzó sus estudios de Ingeniería Aeronáutica con el plan 57, después de cursar el Selectivo en el CEU de Madrid, yo que estuve presente, como profesor de mecánica de fluidos, en sus exámenes del Curso de Iniciación, tuve ya que admirar la rapidez vertiginosa con que resolvía los problemas que se planteaban. Más tarde pude conocer de cerca su gran capacidad intelectual, cuando, recién nombrado Catedrático, le tuve como alumno del curso más avanzado de mecánica de fluidos, junto con otros alumnos muy brillantes, entre ellos nuestro compañero César Dopazo.

Fue en una época, los años 60, de gran optimismo en la escena mundial y de cambios vertiginosos en nuestra sociedad española. Nuestros estudiantes, y Javier Jiménez entre ellos, daban también muestras claras de una

actitud optimista y ambiciosa ante la vida, compaginando una rebeldía inequívoca frente a los asuntos del orden político que no aprobaban con un gran empeño en sus estudios, basado en su vocación por los conocimientos científicos y técnicos; lo que facilitó su preparación para contribuir con sus conocimientos y con su trabajo a la construcción de un mundo y una España más satisfactorios.

Estos estudiantes mostraban una actitud nada pasiva en las clases; cuestionando todo lo que no les parecía claro y relevante. Yo que, siguiendo el ejemplo de mis maestros, Gregorio Millán y Manuel Sendagorta, intentaba transmitirles mi entusiasmo por la mecánica de fluidos y por la gran variedad e importancia de sus aplicaciones a las Ciencias y a la Ingeniería, me beneficié mucho de su actitud crítica como estudiantes; pues contribuyeron a mejorar mi capacidad como profesor e investigador gracias al diálogo interactivo con ellos.

La desbordante energía y capacidad intelectual de estos estudiantes les impedía centrar sus esfuerzos en la mecánica de fluidos, como era mi propósito cuando les incitaba a seguir los seminarios que organizábamos para presentar los avances recientes de la disciplina. En particular, Javier Jiménez y César Dopazo montaron en la Escuela un grupo TEU de teatro, donde Javier hacía de director y guionista junto con César Dopazo, que también hacía de actor y se encargaba del montaje musical. El proyecto fin de carrera de Javier Jiménez estuvo dedicado a los estudios de factibilidad y al diseño preliminar de una sonda espacial para la exploración de Júpiter.

Afortunadamente para mi ambición de que estos estudiantes, como españoles, contribuyesen activamente a las Ciencias Aeronáuticas, tuve la satisfacción de que, al recibir su título de Ingeniero Aeronáutico en 1969, solicitaran becas para seguir estudios de doctorado fuera de España. Así pues, Javier Jiménez pudo incorporarse al Instituto Tecnológico de California (Caltech), un centro de excelencia a la medida de sus capacidades, para seguir, con una beca conjunta de la NASA y de la ESRO, estudios graduados; primero en los Laboratorios Aeronáuticos Guggenheim (Galcit), donde obtuvo el Master en Ciencias en 1970, y después en el recién creado Departamento de Matemática Aplicada ligado al Galcit, donde obtuvo el Doctorado en 1973.

Su tesis doctoral estuvo dedicada al análisis de los efectos no lineales y de la disipación viscosa en la propagación de ondas, y a la determinación de la amplitud y estructura de las ondas acústicas en tubos, cuando se excitaban con la frecuencia de resonancia. (Su director de tesis, Gerald Whitham, está considerado con mucha razón como uno de los investigadores más influyentes en los fenómenos no lineales de propagación de ondas, acústicas y de todo tipo. Sus aportaciones se iniciaron con la descripción del campo aerodinámico lejano de un avión en régimen supersónico, para predecir la intensidad del estampido sónico, asociado a las ondas de choque que induce el avión).

Sin embargo los temas de investigación de Javier Jiménez derivaron pronto a otros campos. Desde 1968 se estaba desarrollando en el Caltech un proyecto de análisis experimental de los procesos de mezcla turbulenta entre corrientes paralelas, con el objetivo de descubrir cómo solventar las dificultades que impedían que un avión pudiese tomar en vuelo hipersónico (con números de Mach superiores a 6) el aire ambiente necesario para la oxidación de los combustibles; incluso cuando se utiliza uno como el hidrógeno, tan reactivo con el aire a temperaturas altas.

En este proyecto dirigido por Anatol Roshko, colaboró el ingeniero español Manuel Rebollo que acababa de llegar al Caltech para hacer el doctorado. Allí se encargó de la puesta a punto del sistema de visualización por umbrioscopía (dada la diferencia de densidad de los gases, nitrógeno y helio, de las dos corrientes) y también del análisis de las fuertes fluctuaciones temporales y espaciales de concentración que se detectaron en la capa de mezcla. Manuel Rebollo diseñó una sonda aspirante que permitía detectar estas fluctuaciones, con una gran resolución espacial y temporal. También el sistema de umbrioscopía permitía la visualización del flujo, sin sembrado de partículas, y su observación con películas de alta velocidad (80.00 fotos por segundo).

Los resultados de las observaciones fueron asombrosos, y con implicaciones claras para nuestra comprensión de los fenómenos de mezcla turbulenta (ubicuos en los procesos de combustión y en la ingeniería química), y también para entender los mecanismos básicos de la turbulencia. Encontraron que la capa de mezcla turbulenta estaba dominada por una sucesión de torbellinos del mismo signo, con un tamaño linealmente creciente

con la distancia al origen de la capa de mezcla. Pronto comprobaron que este crecimiento se debía al apareamiento de los torbellinos con sus vecinos, estableciéndose una cascada inversa de formación de escalas grandes a partir de las pequeñas.

Yo que acostumbraba a pasar por California en mis viajes al Oeste de Estados Unidos, para así poder conocer los progresos de mis antiguos alumnos Rebollo y Jiménez Sendín, soy testigo del entusiasmo que mostraban al contarme estos hallazgos que, por otra parte, tenían una implicación obvia para el análisis de los procesos de combustión. Es lógico que esta demostración nítida de la existencia de estructuras coherentes en la turbulencia redefiniere la actividad posterior de Javier Jiménez. Por ello, empezó aceptando una beca post-doctoral, que prolongaba su estancia en el Caltech para trabajar en el análisis de las estructuras coherentes de las capas de mezcla turbulenta.

Por otra parte, también en torno los 70, se iniciaron otras revoluciones en la investigación científica, que por supuesto también afectaron de lleno a la mecánica de fluidos. Por un lado, el desarrollo de técnicas de visualización y medida, asistidas con láseres, y por otra parte el crecimiento explosivo de la capacidad de los ordenadores (que han sido esenciales para el tratamiento de imágenes y señales y para la simulación numérica). Javier Jiménez ha jugado un papel muy activo en estos desarrollos.

Cuando Rebollo y Jiménez Sendín regresaron a España montaron en nuestra Escuela de Ingenieros Aeronáuticos, con Rodrigo Martínez Val que iniciaba sus estudios de doctorado, un canal hidrodinámico para el análisis de la capa de mezcla entre dos corrientes de agua con distintas velocidades y temperaturas, y diseñaron una sonda de placa caliente para medir las fluctuaciones de velocidad y temperatura, con buena resolución espacial y temporal.

Debido a la menor viscosidad cinemática del agua, en el canal hidrodinámico se podían alcanzar números de Reynolds altos con velocidades moderadas, reduciéndose así las frecuencias de paso de los torbellinos; lo que facilitaba la visualización y sobre todo la toma de datos. Aún así, las señales analógicas proporcionadas por los sensores debían digitalizarse, proporcionando hasta 50.000 datos por segundo, para su almacenamiento en el

ordenador. Por ello les fue imprescindible desarrollar los sistemas de tratamiento y análisis de los datos, con los ordenadores entonces disponibles, lo que incluía el diseño de la interfaz sensor-ordenador.

La reincorporación de Rebollo y Jiménez Sendín a España coincidió con el establecimiento por IBM de un Centro Científico ubicado en la Universidad Autónoma de Madrid. Rebollo se incorporó a este Centro para dirigir una división dedicada al tratamiento de señales y de imágenes con ordenador; y a esta división se incorporó también Javier. El objetivo era desarrollar las técnicas apropiadas, y ayudar a grupos muy diversos de las Universidades y centros de investigación, a usarlas en sus programas. Durante el período, 1975 a 1989, de estancia de Javier en el Centro IBM-UAM contribuyó al desarrollo de las técnicas de tratamiento de imágenes en campos muy diversos. Una imagen reconstruida de un virus apareció en la portada de la revista Science.

Como era de esperar, Javier Jiménez se ocupó también, con la colaboración de estudiantes de doctorado como Marta Cogollos y Miguel Hernán, del uso de estas técnicas para el análisis de las estructuras coherentes de los flujos turbulentos; incluyendo el tratamiento de las películas que Manolo Rebollo había obtenido de estas estructuras en el Caltech. También se preocupó con otros estudiantes, entre ellos Carlos Agüi, del desarrollo de técnicas de seguimiento de partículas para la medición y análisis de flujos diversos, con el apoyo imprescindible del ordenador. Su vinculación con la Universidad se había iniciado en 1974 con dedicación parcial, primero como Profesor Encargado de Curso, y después desde 1984 como Profesor Titular; para, en 1989, pasar gracias al Programa Propio del Ministerio de Educación y Ciencia a Catedrático con dedicación completa.

Su actividad investigadora y su docencia han estado centradas en la descripción y el análisis, con ayuda de la simulación numérica, de los flujos turbulentos. Estos flujos corresponden a las soluciones de las ecuaciones de Navier-Stokes para los valores típicamente altos que encontramos en una gran mayoría de los flujos de interés en la Ingeniería, pero también en la Oceanografía, Meteorología y Astrofísica. Era bien conocido, por los investigadores de la mecánica de fluidos, que estas soluciones representaban movimientos no estacionarios, no periódicos ni casi-periódicos, con fuertes fluctuaciones tanto temporales como espaciales. (Éstas con escalas

muy dispares, desde la escala grande del flujo hasta la mucha más pequeña escala de Kolmogorov, donde juega un papel determinante la disipación viscosa; lo que dificulta grandemente tanto su análisis experimental como su simulación numérica).

Como señalé antes, se descubrieron a principios de los 70 las estructuras coherentes en los flujos turbulentos; lo que implicaba la existencia de un orden en estos flujos de carácter aparentemente tan caótico. Por otra parte, como nos ha dicho Javier Jiménez en su Discurso, en la misma época Lorenz descubrió mediante análisis numérico que la respuesta de un sistema dinámico, no lineal, con tres grados de libertad tenía un carácter caótico y presentaba atractores extraños en el espacio de las fases. El sistema de Lorenz correspondía a una truncación a tres modos del sistema de ecuaciones de Navier-Stokes, incluyendo los efectos de las fuerzas de flotabilidad, en una configuración modelo para los flujos convectivos de la meteorología. El descubrimiento de Lorenz desencadenó una gran multitud de investigaciones que encontraron respuestas de tipo caótico, con caos determinístico, en gran variedad de sistemas dinámicos no lineales.

Nuestra perplejidad ante estos fenómenos está bien reflejada en los versos de Borges:

*“El vago azar o las precisas leyes
que rigen este sueño, el universo”*

No puede extrañarnos que alguien como Javier Jiménez, que elige como proyecto fin de carrera una sonda para la exploración espacial de Júpiter; se lance a la búsqueda de los mecanismos que ponen orden en un fenómeno tan complejo como es la turbulencia, que encontramos en las variadísimas aplicaciones de la mecánica de fluidos.

Su preocupación inicial estuvo ligada a las estructuras coherentes que se encuentran en chorros y capas de mezcla, no afectadas por la presencia de paredes cercanas. Representan el mecanismo determinante de los procesos de mezcla turbulenta que encontramos en las cámaras de combustión de los motores cohete y, también, en las cámaras anulares de combustión de los motores de reacción de los aviones. En éstas se debe mezclar íntimamente el combustible con el aire, en tiempos de residencia

en la cámara inferiores a diez milisegundos, para generar una potencia del orden de 100 megavatios en un volumen del orden del metro cúbico.

El interés de Javier Jiménez, y de sus alumnos de doctorado, ha estado dedicado posteriormente al análisis de la turbulencia llamada de pared, por estar fuertemente afectada por ella, y al análisis de las inestabilidades que conducen a esta turbulencia. Estos flujos turbulentos son los que encontramos en las capas límites externas de los aviones y de los álabes de las turbinas de los reactores; de ahí el interés práctico, no sólo científico, de estos trabajos. Interés práctico reflejado en los contratos que ha mantenido con Marcel Dassault, en conexión con el proyecto Hermes de la Agencia Europea del Espacio, con Airbus, para mejorar la eficiencia aerodinámica de sus aviones, y con la empresa ITP de motores de propulsión, para ayudarles en el desarrollo de procedimientos de diseño de sus turbinas.

Para la simulación numérica de los flujos turbulentos y el análisis de los resultados es imprescindible disponer de los ordenadores más potentes existentes. Por ello, cuando Javier Jiménez dejó el Centro Científico de IBM para venir con dedicación completa a la Escuela inició sus contactos con el Centro de Investigación de la Turbulencia (CTR) de Nasa-Ames y la Universidad de Stanford. Allí ha pasado los veranos, desde 1989, trabajando en colaboración estrecha con los investigadores del Centro, con acceso por ello a los ordenadores más avanzados de la NASA. La voracidad de Javier Jiménez por el tiempo de cálculo de los ordenadores más potentes es inmensa, como puede atestiguar Mateo Valero, porque éstos pueden utilizarse para responder al reto de entender los mecanismos que gobiernan los tan complejos flujos turbulentos. Así ha podido contribuir al descubrimiento de estructuras coherentes, tanto en la turbulencia isotrópica (sólo uno de sus trabajos en este tema tiene más de 250 citas en el ISI) como en la turbulencia de pared, donde es ciertamente la autoridad científica indiscutible.

Sus aportaciones al descubrimiento de los mecanismos subyacentes a la turbulencia isotrópica incluyen el análisis de la dinámica y estabilidad de los torbellinos intensos que encontraron, de dimensión transversal del orden de la escala de Kolmogorov y longitud del orden de la escala grande de la turbulencia. Estos torbellinos, que en su núcleo viscoso tienen velocidades circulatorias del orden de las máximas turbulentas, pueden tener

efectos e implicaciones muy importantes en campos diversos; en particular en la propagación de llamas en flujos turbulentos reactivos.

Sus aportaciones a la estructura de la turbulencia de pared incluyen la descripción de las estrías, en forma de chorros alineados con la corriente básica, a la que refuerzan o frenan, interaccionando con torbellinos en forma de horquilla que arrancan de la vecindad de la pared. El conocimiento de estas estructuras, de su dinámica y de su dependencia respecto a la rugosidad y geometría de la pared, es imprescindible no sólo para el posible control de la capa límite sino también para el análisis de los procesos de transporte de calor y masa del fluido a la pared.

Por sus conocimientos y por sus contribuciones al análisis de la estabilidad de la calle de torbellinos de Kármán y del flujo en la capa límite y, muy especialmente, por sus aportaciones al descubrimiento de mecanismos básicos de la turbulencia, Javier Jiménez ha sido honrado con el nombramiento de Fellow de la American Physical Society. Por sus muy relevantes aportaciones a la mecánica de fluidos ha sido elegido miembro del comité editorial y editor de las principales revistas de esta disciplina. También ha sido organizador, o miembro del comité organizador, de muchas reuniones internacionales y conferenciante invitado de otras muchas. Una medida clara de su prestigio como investigador y conferenciante está en su nombramiento como Profesor de Mecánica de la Escuela Politécnica de París, desde 1999; donde sus conferencias sobre dinámica de los torbellinos y turbulencia están recogidas en una monografía sobre el tema que sin duda se convertirá en clásica.

Supongo que ustedes habrán disfrutado como yo con el Discurso de Ingreso de Javier Jiménez, dedicado a un tema de gran actualidad para nosotros "los retos de la complejidad"; visto desde la perspectiva excepcional de alguien que ha dedicado un gran esfuerzo a analizar la estructura del prototipo de la complejidad representado por los flujos turbulentos.

La turbulencia sigue siendo todavía, a pesar de los avances recientes, uno de los grandes retos de las Ciencias; aunque, por su importancia práctica y conceptual, haya atraído, como señaló Javier Jiménez, a muchos de los matemáticos, físicos e ingenieros más distinguidos. Hans Liepmann, que fue director del Galcit en el período de Javier en el Caltech, contaba en una

conferencia el chiste de aquel borracho que andaba dando vueltas a un farol. Cuando alguien quiso ayudarlo y le preguntó por lo que hacía, contestó diciendo que buscaba la llave que había perdido. Pero ¡hombre!, busque en otra parte que aquí no está. A lo que el borracho respondió: Sí, pero éste es el único sitio donde hay luz.

Javier Jiménez entendió pronto que debía dedicar sus esfuerzos, como ha hecho, a desarrollar las herramientas experimentales, de tratamiento de datos, y de análisis de reconocimiento de patrones y de simulación numérica que nos permitan disponer de luz para descubrir los mecanismos subyacentes a la turbulencia. ¡Enhorabuena por seguir dedicándote este empeño!.

Gracias por tu Discurso y bienvenido a esta Casa, que por tus muchos méritos se honra al acogerte.