

## **La influencia del ambiente docente e investigador en mi propia actividad en la Ingeniería Aeroespacial.**

### **Amable Liñán**

Me propongo en estas páginas hacer un resumen de mi biografía, incluyendo con ella unas reflexiones sobre los aspectos principales de mi formación que me ayudaron a desarrollar una carrera docente e investigadora en la Ingeniería Aeroespacial que, a la vista de los honores y distinciones que he recibido, ha recibido una consideración excepcional en España, a pesar de que a mi juicio no es equivalente a mis dotes personales.

Aunque las circunstancias que viví en mi infancia hacían muy poco probable mi carrera posterior, ésta fue facilitada por mi elección, muy afortunada, de la Escuela de Ingenieros Aeronáuticos para mi formación universitaria. En esta Escuela encontré un grupo de profesores que en la década de los 50, estaba desarrollando, en el Instituto Nacional de Técnica Aeronáutica (INTA), una actividad investigadora, lo que era entonces tan inusual en España, dedicada a ampliar nuestro conocimiento de los procesos de Combustión. Estos juegan un papel esencial en el diseño de los turborreactores que propulsan los aviones y de los motores cohete que propulsan los misiles y los lanzadores espaciales.

Tuve el privilegio de incorporarme al Grupo de Combustión del INTA en 1958, en mi cuarto año de carrera, primero como becario y después como Ingeniero Investigador, al terminar en 1960 mis estudios en la Escuela. También tuve la oportunidad de iniciar en 1961 mi actividad docente en la Escuela de Ingenieros Aeronáuticos, como profesor encargado de curso de Mecánica de Fluidos, con dedicación parcial.

Mi pertenencia al grupo español de Combustión me abrió las puertas para poder complementar, durante el curso escolar 1962-1963, mi formación para la docencia y la investigación en el Caltech, el Instituto Tecnológico de California. Esta estancia fue subvencionada gracias a una de las primeras ayudas de investigación

ofrecidas conjuntamente por la NASA y la ESRO (que era la recién creada Organización Europea de Investigación Espacial, convertida más tarde en la ESA, la Agencia Europea del Espacio).

En el Departamento de Ingeniería Aeronáutica del Caltech, asociado a sus Laboratorios Aeronáuticos Guggenheim, recibí la enseñanza graduada que me proporcionó el título de Aeronautical Engineer. No tengo duda del impacto beneficioso que para mi carrera docente y científica tuvo mi estancia en el Instituto Tecnológico de California. Éste es un centro de excelencia pequeño, que tenía entonces 1200 alumnos (ahora 2000) y seis premios Nobel en su profesorado. Su Departamento Aeronáutico era entonces posiblemente el más importante del mundo y el Caltech estaba y sigue estando en los primeros puestos de ranking mundial universitario. No es difícil imaginar el incentivo que representaba, y representó en mi caso, la estancia en un centro como el Caltech para intentar hacer más relevante la actividad docente e investigadora propia.

Esta estancia representó en cierto modo, el hito final de mi formación, que se había iniciado en 1934, cuando nací en Noceda, un pueblo muy pobre de la Sierra de la Cabrera leonesa, que mi familia dejó cuando yo tenía seis meses. Mi padre, había decidido trasladarse, con siete hijos, a otro pueblo de la Maragatería, que tenía dos centenares de vecinos y con tierras también pobres pero más fáciles de cultivar; así podría alimentar más fácilmente a su familia, y disponer de más tiempo para atender a su ocupación como tratante de ganado.

En mi niñez viví con los modos y técnicas de la edad media, en un ambiente rural que apenas alcanzaba para la subsistencia. Pero nunca fui consciente de las dificultades de la vida, pues se atenuaban o corregían con la solidaridad de los vecinos; a los que yo veía como una gran familia a la hora de resolver los problemas. La de mi niñez fue una época que, en palabras de Buñuel, “fue dolorosa en lo material pero exquisita en lo espiritual, todo lo contrario de la actual”. Debo a mis paisanos mi actitud optimista respecto a las personas, que siempre me ha impulsado a recabar,

tengo que decir que con mucho éxito, la ayuda de los demás para mis empeños docentes e investigadores.

Así pues, he tenido la suerte de vivir en una época de cambios vertiginosos, y también la fortuna de convertirme en espectador privilegiado de las causas científicas y tecnológicas de esos cambios. Yo vi llegar la luz eléctrica a mi pueblo y, poco después cuando yo tendría algo más de cinco años, pude oír por primera vez la radio; que había traído a nuestra casa el maestro del pueblo para que pudieran oírla los vecinos. Es difícil de analizar cómo me afectó el asombro que sentí ante lo misterioso con estos acontecimientos. Nuestro maestro tenía que atender en la única aula de la escuela a todos los niños del pueblo; aunque en la práctica la asistencia continua se limitaba a los menores de diez años, pues pronto los mayores tenían que dedicarse a las tareas del campo. Éste fue el motivo, entre otros muchos, de que mis hermanos mayores, vinieran a Madrid animados por mi padre, cuando todavía eran adolescentes, para aprender con su trabajo un oficio y, así, buscarse una vida mejor.

Nací en un pueblo muy pobre, pero en una familia excepcional. Mi padre era un hombre de cuerpo menudo, de gran tenacidad en sus empeños, que disfrutó de su oficio de tratante de ganado. Sin embargo no aprovechó su gran inteligencia y conocimiento de los animales para hacerse con una mayor hacienda, pues siempre estuvo dispuesto a reducir sus ganancias para ayudar en sus apuros a muchos de los vecinos de los pueblos de la Cabrera y de la Maragatería. Su inteligencia natural, su don de gentes, su noble generosidad y, también, su gran sentido del humor, le granjearon el aprecio y la amistad profunda de sus paisanos. Mi madre era una mujer muy trabajadora y ahorradora, pero siempre acompañó a mi padre en su desprendimiento generoso hacia los demás. Yo pronto pude apreciar y participar del cariño, del respeto y del aprecio que se tenían recíprocamente mis padres y las gentes de mi tierra.

Nuestro maestro, don Amando, no sólo me enseñó a leer y a echar las cuentas también supo transmitirme el gusto por la lectura, que satisfacía mi curiosidad y me ofrecía un horizonte más amplio. Yo que era de salud más bien debilucha, y el

penúltimo de mis hermanos, tuve en ellos ayuda y a don Amando como mentor. Él fue quien, cuando yo tenía diez años, animó a mis padres a alojarme en una pensión de Astorga, para seguir estudios de cultura general en el Colegio de La Salle; lo que hice con buen aprovechamiento, por lo que me animaron a iniciar los estudios de bachillerato durante mi tercer año de Astorga. Entonces no había Instituto en Astorga, por lo que tuve que hacer por libre, en el Instituto de Ponferrada, mis exámenes de ingreso y del primer año del bachillerato.

Quiero señalar cuán difícil era entonces para la mayoría de las familias españolas el acceso de sus hijos a una educación secundaria; dado que las escuelas públicas gratuitas eran casi inexistentes, igual que los difícilmente disponibles recursos que necesitaban para pagar la pensión y los costes de la enseñanza, aunque estos fueran pequeños. En mi caso, gracias a la ayuda de mis hermanos mayores, que atendieron a mis gastos de estudios y alojamiento, pude venir a Madrid para continuar con el bachillerato. El segundo y el quinto curso los hice en el colegio Maravillas de los hermanos de La Salle; pero, para acelerar mis estudios seguí, en una academia privada, juntos el tercer y cuarto curso y luego el sexto y el séptimo, examinándome como libre en un Instituto. También tuve que acudir a academias privadas para mis estudios de preparación para el ingreso en la Escuela de Ingenieros Aeronáuticos que terminé en 1955. Sólo entonces pude disfrutar de una enseñanza estatal prácticamente gratuita y de calidad. Esta situación contrastaba con la que encontré en Estados Unidos, donde la gran mayoría de los alumnos de la enseñanza secundaria lo hacían en las escuelas públicas gratuitas; estando limitada prácticamente la enseñanza privada al nivel universitario, donde coexisten las privadas y las públicas y la enseñanza dejaba de ser gratuita.

Yo muy pronto, ya desde niño y en un medio poco fértil para ello, sentí la curiosidad y fascinación por el horizonte cultural que ofrecen los libros; luego en mi adolescencia, gracias a algunos profesores excelentes, sentí en primer lugar el gran tirón de la cultura humanística y sólo más tarde, ya durante mis estudios universitarios, sentí la atracción de la cultura científica (Aunque ya antes de iniciar el bachillerato conocí la emoción de la explicación racional de las leyes matemáticas gracias a una

demostración del teorema de Pitágoras, por un profesor excelente que estimuló mi interés posterior por las Matemáticas). Por ello, creo que despertar el interés de los adolescentes por ambas culturas debe formar parte de los objetivos de formación de la enseñanza secundaria. La sociedad debe entender que esa formación no podrá alcanzarse sin atraer a buenos profesores a ella, ni tampoco sin el gran esfuerzo que los alumnos tienen que hacer para aprender antes de recoger los frutos. Como decía Semprún: “Hay plantas que para que luego florezcan al aire libre hay que hacerlas crecer antes en un invernadero”. Yo tuve la fortuna de aprender pronto, gracias a mi primer maestro, cuan gratificante (y por ello cuan liviano) es el esfuerzo dedicado a la adquisición de conocimientos.

Acabé mis estudios del bachillerato sin una clara vocación por la Ingeniería. Había tenido algunos profesores excelentes de literatura e historia, que pudieron haber inclinado mis estudios hacia las humanidades. Sin embargo, comprendí que mis facultades estaban más ligadas a la capacidad de discurrir y ordenar los conocimientos que con la capacidad para la invención y creación artística y literaria. Elegí la Ingeniería Aeronáutica quizás por la fascinación ante los aviones, que entonces estaban en constante evolución, y también por el reto que representaban los exámenes de ingreso, con las matemáticas como obstáculo principal.

En España las aportaciones a la Aeronáutica nacen con la contribución de Leonardo Torres Quevedo al desarrollo del dirigible de estructura semi-rígida ASTRA-Torres Quevedo; estos dirigibles fueron usados por Francia e Inglaterra durante la Primera Guerra Mundial, al igual que los excelentes motores de aviación de la Hispano-Suiza. Sin duda la aportación más singular española es la del Autogiro, que debemos al Ingeniero de Caminos Juan de la Cierva. Introdujo la articulación de batimiento de las alas giratorias junto con otros avances que fueron incorporados posteriormente a los helicópteros, eliminando así las inestabilidades que habían plagado su desarrollo anterior. El primer vuelo tuvo lugar en 1923, después de haber llevado a cabo ensayos en el túnel del Laboratorio de Cuatro Vientos, diseñado y construido por Emilio Herrera, del cuerpo de Ingenieros Militares, que fue el primer director de la Escuela Superior de Aerotécnica creada en 1928.

Después de nuestra Guerra Civil se creó el Ministerio del Aire y éste inició una política de desarrollo de prototipos. AISA se encargó del desarrollo y fabricación de aviones de escuela y de turismo; con Juan del Campo como director de Proyectos. Los aviones tácticos y de entrenamiento, entre ellos el Saeta, se encargaron a la Hispano Aviación. De los aviones de transporte se encargó CASA (Construcciones Aeronáuticas), que en 1946 montó una oficina de proyectos, con Ricardo Valle como subdirector que pasó a ser director en 1960. En CASA iniciaron el desarrollo de una serie de aviones de transporte militar y civil, que culminaron en el Aviocar, avión de despegue corto que se vendió en todo el mundo.

Cuando yo llegué a la Escuela de Ingenieros Aeronáuticos teníamos entre los profesores a Ricardo Valle y Juan del Campo, quienes por su papel en la dirección de importantes proyectos de avión, tenían entre los alumnos un prestigio excepcional; contribuyendo a inculcarnos una concepción multidisciplinar de la Ingeniería. Puede decirse que la Ingeniería Aeronáutica nació con esta concepción de la mano de los hermanos Wilbur y Orville Wright, cuando el 13 de diciembre de 1903 hicieron los tres primeros vuelos propulsados en una aeronave más pesada que el aire: Un avión biplano que ellos habían diseñado y construido solos. Aunque los vuelos, con una velocidad respecto al viento de 50 km por hora, no pasaron del minuto de duración, su gestación fue resultado de un programa experimental con ingredientes tan sólidos que estaba garantizado el desarrollo del avión como máquina voladora práctica.

Su programa de ensayos en vuelo se había iniciado cuatro años antes, si bien limitado al mes que cada verano se podían permitir dejar su taller de mantenimiento y fabricación de bicicletas. El objetivo inicial fue desarrollar el vuelo con planeadores utilizando un sistema de control que ellos habían concebido, basado en las fuerzas aerodinámicas y sus cambios con la orientación de los timones, horizontal y vertical, y el alabeo de las alas; este sistema sustituía el sistema anterior de control, poco fiable, basado en el desplazamiento del piloto que iba colgado del ala. Realizaron los vuelos de sus planeadores biplanos en las playas de Kitty Hawk (en Carolina del Norte), con grandes dunas y vientos fuertes y regulares. Empezaron haciendo el vuelo del

planeador como cometa, con uno u otro de los hermanos tumbados sobre el plano inferior, para aprender a volar sin mucho riesgo, y poder pasar después al vuelo libre.

Comprendieron que no podían avanzar en su proyecto sin información fiable de las fuerzas aerodinámicas de sustentación del ala, que compensa el peso del avión, y de la resistencia que determina el ángulo de descenso. Por ello montaron un túnel aerodinámico y la información obtenida les ayudó a diseñar el planeador de 1902, cuya resistencia aerodinámica resultó ser diez veces menor que la sustentación. Por ello se decidieron a intentar en 1903 el vuelo propulsado; diseñando y construyendo ellos mismos el motor, muy ligero, y las hélices que necesitaban. De los hermanos Wright aprendimos que el diseño y el desarrollo de un avión, debe integrar los aspectos estructurales, los aerodinámicos, la propulsión y el control.

Después de 1903 los hermanos Wright siguieron trabajando solos callada e intensamente, ya con dedicación exclusiva, para transformar su avión en una máquina voladora práctica. Su avión no llegó al conocimiento público hasta que hicieron sus vuelos de demostración en Francia, en 1908 y 1909. Entonces asombraron al mundo con un avión en el que podía volar con el piloto otro pasajero, con doble mando para su instrucción como piloto. Hicieron vuelos acrobáticos y vuelos ordinarios, que sobrepasaban sin problemas la hora de duración y los cien kilómetros de recorrido. El impacto mundial de estos vuelos de demostración fue extraordinario; quedaba claro el potencial militar de los aviones, que se demostró en la primera Guerra Mundial, y también de sus aplicaciones comerciales, que se desarrollarían a más largo plazo. Estos vuelos fueron el detonante para el impulso institucional al desarrollo de las Ciencias y de la Ingeniería Aeronáutica, cuya evolución posterior fue vertiginosa.

Los hermanos Wright no habían podido beneficiarse del conocimiento científico, inexistente antes, del movimiento del aire en torno a los cuerpos que llamamos aerodinámicos: los fuselajes esbeltos de los aviones y las alas con perfiles delgados. Este conocimiento, sólo se alcanzó después gracias fundamentalmente a las contribuciones de Ludwig Prandtl, entonces recién nombrado profesor en la

Universidad de Göttingen, y de su colaborador Teodoro von Kármán. Éste fue el impulsor principal del desarrollo de las Ciencias Aeronáuticas en Estados Unidos cuando, en 1928, fue nombrado director de los Laboratorios Aeronáuticos del Caltech. La Ingeniería Aeronáutica cambió drásticamente en la Segunda Guerra Mundial, especialmente en Alemania, Inglaterra y Estados Unidos, cuando se inició el desarrollo de los turborreactores (sin los cuales los aviones no hubiesen podido alcanzar velocidades transónicas o supersónicas) y de los motores cohete para los cohetes de sondeo y los misiles balísticos.

Cuando mi maestro Gregorio Millán empezó en 1941 sus estudios en la Academia Militar de Ingenieros Aeronáuticos, heredera de la Escuela Superior de Aerotécnica, creada en 1928 bajo la dirección de Emilio Herrera, con el carácter de excelencia que buscó para ella. Herrera atrajo para las enseñanzas básicas a los más prestigiosos profesores universitarios españoles, con Julio Rey Pastor y Esteban Terradas entre ellos, con el objetivo de potenciar la base científica de nuestra Ingeniería Aeronáutica. La Academia Militar mantuvo la mayoría del profesorado y, también, su preocupación por el papel de las ciencias básicas y aplicadas en el desarrollo de la Ingeniería Aeronáutica. Cuando Millán terminó sus estudios en 1946, lo hacía en un momento de cambio revolucionario en esta Ingeniería gracias a los recientes avances científicos. La Mecánica de Fluidos era una disciplina central de las Ciencias Aeronáuticas y fue elegida por Gregorio Millán como objeto de su actividad docente e investigadora.

Uno de los profesores de Millán, D. Esteban Terradas (creador y primer director en 1929 de la Telefónica), fue el primer Presidente del Patronato del INTA. Terradas se propuso impulsar el desarrollo en España de las Ciencias Aeronáuticas, apoyando desde el INTA las enseñanzas de la Ingeniería Aeronáutica en la Academia de Ingenieros Aeronáuticos. Para ello invitó a los científicos extranjeros más prestigiosos en estas ciencias a impartir en el INTA ciclos de conferencias. Entre ellos Teodoro von Kármán, que vino a España, por primera vez en 1948, para hablar de Aerodinámica Transónica y Supersónica y sobre Turbulencia, a las que había hecho recientemente contribuciones fundamentales. De entonces nació la colaboración fructífera de



Gregorio Millán con von Kármán; quien orientó la actividad docente e investigadora posterior de Millán y también las investigaciones del Grupo español de Combustión que se crearía después; propiciando así el nacimiento de las ciencias aeronáuticas en España.

Von Kármán, que se considera con justicia el padre de las Ciencias Aeronáuticas americanas, había iniciado poco antes de la última Guerra Mundial su preocupación por el desarrollo de los cohetes y por los aerorreactores, siendo el creador del Jet Propulsion Laboratory. Comprendiendo que el análisis de los procesos de combustión era esencial para el diseño de sus motores, y que este análisis debía hacerse incorporando los aspectos fluidodinámicos y los termoquímicos, se embarcó en el proyecto de establecer este marco multidisciplinar.

Teodoro von Kármán dió en la Sorbona, en el curso escolar 1951-1952, un ciclo de conferencias sobre Combustión; en cuya preparación y desarrollo contó con la colaboración de Gregorio Millán. La Oficina de Investigación Científica de las Fuerzas Aéreas de Estados Unidos inició en 1954, su apoyo a la investigación científica en Europa, subvencionando la actividad en Combustión de Gregorio Millán y un grupo de ingenieros y profesores de la Escuela de Ingenieros Aeronáuticos que formaron el Grupo Español de Combustión. Este grupo incluía a Carlos Sánchez Tarifa, José Manuel Sendagorta e Ignacio Da Riva; y al grupo se sumaron otros profesores y yo mismo, que empecé como becario en 1958.

Tuve a Gregorio Millán como profesor de Mecánica de Fluidos, aunque sólo en el primer trimestre del curso; sus clases bastaron, para despertar mi interés, que nunca he abandonado, por esta disciplina. Millán dejó la enseñanza a principios de 1957, por haber sido nombrado Director General de Enseñanzas Técnicas (al mismo tiempo que Torcuato Fernández Miranda, nombrado para las Enseñanzas Universitarias). Millán fue sustituido en la enseñanza por su colaborador del Grupo de Combustión José Manuel Sendagorta; quien me inició en la investigación y propuso a Millán mi incorporación como becario al Grupo de Combustión en 1958. Yo todavía alumno en la Escuela, fui guiado en la investigación en Combustión, gracias a las reuniones

(limitadas a las últimas horas de la tarde de un día a la semana) que nuestro grupo celebraba con Millán en su despacho del Ministerio de Educación. En ellas Millán definió el tema inicial de mi investigación, las llamas de difusión; orientándolo de manera que se convirtió en uno de los temas centrales de mi actividad investigadora.

Gregorio Millán empezó en el Ministerio de Educación ocupándose de sacar adelante su proyecto de la Ley para la Reforma de las Enseñanzas Técnicas, que resultó trascendental para éstas. Incluyó entre otros aspectos: El plan de estudios de 1957, por el que se suprimía el antiguo sistema de ingreso, cuya preparación se hacía en academias privadas, sustituido por un sistema más racional. Éste consistía en un primer Curso Selectivo, el primer curso de las Facultades de Ciencias, seguido de un segundo Curso de Iniciación, a cursar en las Escuelas de Ingeniería (así, afortunadamente, con una enseñanza pública de responsabilidad estatal). El proyecto de reforma de las enseñanzas técnicas introdujo otros aspectos que modificaron drásticamente estas enseñanzas: Introdujo el Doctorado en la enseñanza de la Ingeniería y laboratorios para la enseñanza e investigación, cada uno a cargo de un profesor con dedicación exclusiva. Duplicó el número de cátedras, para asegurar la renovación de las enseñanzas, e incluyó el sistema de oposiciones para cubrir las.

Cuando Gregorio Millán dejó en 1961 el puesto de Director General de Enseñanzas Técnicas se incorporó al desarrollo industrial español. Respondía así al reto de demostrar su capacidad como gestor en este desarrollo, al aceptar el puesto de Director General, y más adelante de Consejero Delegado, de la Sociedad Española de Construcciones Babcock-Wilcox; que estaba dedicada a la fabricación de calderas, locomotoras de vapor y equipos para las centrales térmicas y nucleares. Millán fue Presidente de la Comisión de Construcción y Maquinaria del Plan de Desarrollo. Es interesante señalar que el periodo de desarrollo industrial español que arranca en España con los planes de desarrollo, a finales de los años cincuenta (cuando yo inicié mi actividad investigadora), condicionó también de un modo radical la actividad de otros componentes de nuestro Grupo de Combustión: José Manuel Sendagorta y Carlos Sánchez Tarifa.

Sendagorta dejó el INTA y la enseñanza en 1958, cuando pasó a ser director general de SENER, una empresa dedicada a Proyectos de Ingeniería de la construcción naval y de las centrales térmicas y nucleares; y también a la Investigación Espacial, después de la entrada de España en la Organización Europea de Investigaciones Aeroespaciales. Contó para ello con la colaboración de Carlos Sánchez Tarifa que, sin dejar su importante labor experimental de Combustión en el INTA, asesoró también a SENER en sus proyectos pioneros de energía eólica y energía solar térmica y también en los aeronáuticos o espaciales posteriores.

SENER participó también en el diseño del motor del avión de caza europeo Eurofighter. El paso a la etapa de fabricación se materializó con la creación de ITP (Industria de Turbopropulsión) por SENER y Rolls-Royce (con el 45% del capital). ITP se ocupa del diseño y fabricación de las turbinas que mueven el fan de los motores turbofan de Rolls-Royce. Para ayudar a la validación de los códigos de simulación numérica de ITP, sus resultados se comparan con los de los ensayos experimentales obtenidos en nuestro Laboratorio de Mecánica de Fluidos con los álabes que quieren utilizar.

Otra de las personas más distinguidas de nuestro Grupo de Combustión, Ignacio Da Riva, dejó el INTA para trabajar exclusivamente en su Cátedra de Aerodinámica; sólo dejó su fructífera dedicación, incansable y ejemplar, a la enseñanza e investigación cuando la muerte le sobrevino en clase. Fue mi compañero en la investigación en Combustión, y puntal esencial de la Escuela Española de Mecánica de Fluidos.

Tuve la fortuna de haber podido iniciar mi formación como investigador en un área de tipo interdisciplinar como es el análisis de los procesos de combustión, que me ayudó mucho en mi tarea docente posterior en una Escuela de Ingeniería que también debe contribuir a incrementar los conocimientos básicos necesarios para la concepción, diseño, y mantenimiento de máquinas y de sistemas energéticamente eficientes. El análisis teórico de estos sistemas se simplifica cuando se aprovecha la gran disparidad en el tamaño de las escalas temporales y espaciales que los caracterizan. La

posibilidad de dividir el sistema fluido en subsistemas, que interaccionan entre sí, con respuesta más simple que el sistema original. Tuve la oportunidad de aprender de primera mano, en el Instituto Tecnológico de California, las técnicas asintóticas de escalas múltiples que se habían desarrollado para los problemas fluidodinámicos.

Mis contribuciones más importantes al análisis de los muy variados procesos de combustión han estado ligadas a su simplificación usando las técnicas asintóticas. La combustión es una reacción química, con liberación de calor y emisión de luz, entre los combustibles y el oxígeno del aire. Cuando la combustión tiene lugar en cámaras confinadas los gases pueden producir trabajo, que se aprovechó, primero, en las armas de fuego y, después, en las máquinas térmicas (que incluyen las de vapor, los motores alternativos, los turborreactores, los motores cohete y las turbinas de gas). Estas máquinas han cambiado radicalmente nuestro modo de vida.

Ahora quemamos anualmente casi doce mil millones de toneladas de combustibles fósiles, que incluyen el petróleo y el gas natural y tres mil quinientos millones de toneladas de carbón, para atender, con rendimientos más bien bajos, a casi el 85% de las necesidades energéticas mundiales. Al ritmo de consumo actual, que subió un 50% en las dos últimas décadas, acabaremos en menos de un siglo con los hidrocarburos líquidos y gaseosos existentes (que han tardado en formarse cientos de millones de años). Por otra parte, los productos de la combustión, esencialmente vapor de agua y dióxido de carbono, van acompañados por sustancias contaminantes que, aunque emitidas en proporciones mil veces más pequeñas, son dañinas para la salud de las plantas y animales.

Cuando yo inicié mi investigación en Combustión las emisiones de dióxido de carbono se consideraban inocuas; sin embargo, debido al crecimiento tan fuerte que ha tenido el consumo de los combustibles fósiles, las emisiones de dióxido de carbono, que superan ya los treinta mil millones de toneladas anuales, se han convertido en una amenaza para el clima (porque sólo dos tercios vuelven a la tierra, y el resto sigue aumentando el efecto de invernadero). De ahí que la tarea de aumentar el

rendimiento de los sistemas de conversión de energía de las centrales térmicas y del transporte (basados en la combustión) sea una tarea de extraordinaria importancia económica y ambiental.

Mi actividad investigadora fue hecha en el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial hasta 1976, al mismo tiempo que ejercía mis tareas docentes en la Escuela de Ingenieros Aeronáuticos. En el INTA nuestra investigación estaba parcialmente subvencionada por la AFOSR (la Oficina de Investigación Científica de las Fuerzas Aéreas de Estados Unidos). La AFOSR organizaba una o dos reuniones anuales de sus contratistas (entre ellos tres o cuatro europeos) y de los grupos dedicados a la propulsión de la NASA y otros centros estatales de investigación, para presentar en ellas los resultados de nuestras investigaciones. En estas reuniones, de una semana de duración, se presentaba el trabajo en curso de los grupos de investigación más activos de la Combustión; teníamos así ocasión de seguir bien el estado de los conocimientos y también de orientar nuestro trabajo para hacerlo más relevante.

Afortunadamente las fuentes de financiación externas, que debíamos encontrar para complementar los recursos de nuestros centros (el INTA o la Escuela), se habían extendido entonces a la ESRO, que se convirtió pronto en la ESA (la Agencia Europea del Espacio). También se crearon en España sucesivas Comisiones de Investigación, que ofrecían ayudas para la investigación a los grupos universitarios, o de los centros de investigación estatales, con proyectos que sólo se aceptarían con el informe positivo de la Agencia Nacional de Evaluación. Las relaciones entre los grupos europeos dedicados a la investigación en Mecánica de Fluidos y Combustión también crecieron fuertemente desde 1980 gracias al apoyo para la organización de congresos y, también, de proyectos coordinados europeos de investigación: por la ESA, la Comunidad Europea (y también de la NATO para la organización de congresos y escuelas de verano).

Hice mis tareas docentes en la Escuela de Ingeniería Aeronáutica, con dedicación compartida con mis tareas investigadoras en el INTA hasta 1976. En este período complementábamos la docencia con la organización en la Escuela de cursos

avanzados y seminarios, que contribuyesen a la formación de los alumnos más brillantes y atraerlos a la investigación. Para su formación investigadora era posible aprovechar las becas NASA-ESRO, las Fulbright, y las que podían ofrecer directamente a nuestros alumnos nuestros colegas de universidades extranjeras. Su formación investigadora y sus estudios de doctorado se beneficiarían del ambiente que encontrarían en las Universidades de excelencia que les ayudábamos a elegir,

Así muchos de nuestros estudiantes fueron a universidades prestigiosas como el Caltech. la de California, Michigan, Yale, Princeton y el MIT. Yo empecé a atender directamente a la formación como doctores de mis alumnos en los años 70, cuando ellos tuvieron la oportunidad de recibir becas de formación de personal investigador y cuando vine con dedicación exclusiva a la Escuela. Durante varios años recibimos, ayudas del Instituto de Estudios Nucleares para hacer investigación sobre los problemas fluidodinámicos asociados a la fusión nuclear por confinamiento inercial; ayudas que incluían también la formación de doctores en ese campo.

Yo tuve la oportunidad de ser pionero en el campo de la Combustión del uso de las técnicas de análisis que se apoyan en la existencia de escalas temporales y espaciales muy dispares para simplificar la descripción cualitativa y cuantitativa de los procesos de combustión. También tuve ocasión de diseminar su uso entre mis colegas extranjeros, gracias en parte a las reuniones de contratistas de la AFOSR, mi estancia como Profesor Visitante en la Universidad de Michigan, durante el curso 1973-1974, y en mis estancias múltiples, de un mes, como Profesor Asociado o Ingeniero Investigador en la Universidad de California en San Diego, y en las Universidades de Stanford, Princeton, París VI y Marsella; y también en la Universidad de Yale donde, desde 1996, tengo el nombramiento de Adjunct Professor.

En nuestra Escuela de Madrid mis colaboradores y yo hemos tratado de mostrar a nuestros alumnos la utilidad que para la Ingeniería tiene esta manera de describir cualitativa y cuantitativamente los movimientos tan variados de los líquidos y gases. Algunos de estos alumnos la están transmitiendo a sus propios alumnos en las Escuelas donde ejercen su enseñanza, como es el caso de Antonio Crespo en la Escuela

de Ingeniería Industrial de Madrid, César Dopazo en Zaragoza, Antonio Sánchez en la Universidad Carlos III y el ya fallecido Antonio Barrero en Sevilla. Todos estos han conseguido atraer alumnos muy brillantes para permitirles, junto con su propia labor, crear escuelas de Mecánica de Fluidos muy prestigiosas en sus Universidades respectivas.

Mi trabajo de investigación me dio la oportunidad de participar durante varios años en comisiones como el Comité de Combustión en Microgravedad de la NASA, en el que actué como invitado europeo junto al Profesor Jacques Dordain, ahora Director General de la Agencia Europea del Espacio. Este Comité se ocupaba de definir como podían utilizarse los cohetes de sondeo y los laboratorios espaciales de la NASA para ayudar, con sus condiciones de microgravedad, a la experimentación en Combustión. Otra tarea importante era definir los programas a desarrollar para evitar la generación accidental y la propagación de incendios en las naves espaciales, muy distintos de los que, dominados por la gravedad, se dan en tierra.

En resumen, yo tuve la oportunidad de obtener mi formación en la Ingeniería Aeronáutica en dos centros que, aun salvado las diferencias entre ellos, son ambos de excelencia: nuestra Escuela de Madrid y los Laboratorios Aeronáuticos del Instituto Tecnológico de California, creados el mismo año 1928. El segundo consiguió su excelencia por su nacimiento en una institución singular como el Caltech, bajo la dirección de un científico tan excepcional como Teodoro von Kármán. Nuestra Escuela de Aeronáuticos nació con vocación de excelencia para su enseñanza, buscando incorporar a sus enseñanzas los últimos conocimientos científicos con ayuda de los profesores más capacitados disponibles. Después de la creación en 1943 del INTA, el otro centro donde yo desarrollé mi actividad investigadora, nuestra Escuela pudo apoyarse en los excelentes laboratorios que fueron montados allí, para completar la formación de sus estudiantes.

El éxito de esta vocación de excelencia con que nació nuestra Escuela se tradujo en la calidad potencial de los estudiantes que atrajo a la misma y se refleja especialmente en la de la Industria Aeronáutica española: Esta industria debe

desarrollarse en un ámbito internacional, lo que ha hecho con aportaciones como, por ejemplo, las de ITP a la propulsión, las de GMV (Grupo de Mecánica de Vuelo) al proyecto Galileo de la Agencia Europea del Espacio y, también, de Airbus España, con su desarrollo seminal de las aplicaciones de los materiales compuestos a las estructuras aeronáuticas.

Yo, por mi parte, he tratado de contribuir con mi actividad docente e investigadora a desarrollar, y luego potenciar, la vocación para la investigación de muchos de mis estudiantes; convenciéndoles, como hicieron mis maestros, de que también ellos podrían contribuir al desarrollo de los conocimientos científicos. Esto lo han hecho ellos mismos, y lo han transmitido a sus alumnos, con tal eficacia que han adquirido un bien merecido prestigio internacional, que ha sido esencial para el que yo pueda tener y para los honores que he recibido.