

ACADEMIA DE CIENCIAS  
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

---

# DISCURSO

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN

POR

D. EMILIO HERRERA Y LINARES

Y

# CONTESTACIÓN

DEL EXCMO. SEÑOR

D. JOSÉ MARVÁ Y MAYER

EL DÍA 19 DE ABRIL DE 1933



MADRID  
GRÁFICAS RUIZ PERRY  
ABASCAL, 36  
1933

DISCURSO

DE

D. EMILIO HERRERA Y LINARES

SEÑORES ACADÉMICOS :

Se presenta para mí el momento, a la vez tan deseado y tan temido, de comparecer ante vosotros para recibir la más preciada, más elevada y más halagadora distinción que pueda soñar como plena satisfacción a sus más ambiciosas aspiraciones un hombre que, como yo, ha sentido siempre, y preponderando sobre todos los demás intereses de la vida, la obsesión de aprender dentro del terreno de lo ya conocido, y más aún, de investigar en la región misteriosa de lo ignoto, la maravillosa arquitectura que forman las propiedades de la Cantidad y de la Extensión absolutas; la suprema armonía de las reglas que rigen el Universo en la majestad de su conjunto inconcebido y quizá inconcebible por la inteligencia humana, reflejada en la grandeza infinita de lo infinitamente pequeño; las leyes, aspecto accesible a nuestra débil razón, de la Ley a que obedece esa manifestación material de la energía inmaterial que se llama la Vida; todos los conocimientos, en fin, en cuya adquisición, vosotros, señores Académicos de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, dotados de poderosos medios

que os envidio y de que carezco, habéis tenido la dicha de progresar por el estudio y la investigación propia hasta conquistar el puesto que tan justamente ocupáis en la más alta representación de la Ciencia española.

Yo he seguido constantemente con atención—pudiera decir con devoción—vuestros trabajos científicos, admirando la labor que realizáis en esta Academia, como admiraría la de los privilegiados habitantes de un planeta superior, sin que nunca se me ocurriera, por absurda, la posibilidad de que alguna vez pudiera llegar a acompañarles.

Comprended mi impresión de sorpresa, de alegría, de confusión, al recibir la noticia del hecho nunca esperado de haber sido elegido por vosotros para compartir vuestros trabajos, y, al mismo tiempo, al considerar mi incapacidad para desempeñar dignamente la labor honrosa a que me habéis llamado, la preocupación, el temor invencible a que, primero en este acto, después en mi colaboración en la Academia, comprendáis que habeis sufrido error en la apreciación de mis méritos y que soy indigno de ostentar la Medalla de esta Corporación que me otorgáis.

Esta Medalla es la número 15, honrada por los nombres ilustres de tres cumbres de la ciencia: el Doctor González Valledor, el Ingeniero Echeagaray y el General Aranz. ¿Qué altura habría de alcanzar mi labor académica para no desmerecer con relación a sus anteriores poseedores? Ante esta pregunta me dejaría abatir por el desaliento de mi incapacidad, si no tuviera siempre por norma de mi vida el aceptar los hechos consumados sin lamentarlos, por

difíciles que sean, aumentando mis energías para remediarlos, en razón a su misma dificultad. Estos, al menos, son los propósitos que ahora me animan, a los que quizá no responderán mis fuerzas, pero siempre me quedará la seguridad de que, si mis escasas dotes intelectuales y deficiente preparación científica me hacen indigno de la Medalla número 15, poseo, en cambio, la decisión firme de que mi trabajo y mi entusiasmo por la Ciencia no han de ser menores que los que la dedicaron los tres predecesores en la posesión de la gloriosa insignia con que vais a honrarme.

Me habeis designado para ocupar la vacante que ha producido en esta Academia la muerte del sabio general Aranz, y yo, señores Académicos, podré reemplazarle en su puesto en el sillón que le correspondía, ostentar su Medalla, figurar en su lugar en la relación de los miembros de esta Corporación; lo que no podré nunca es sustituirle en su labor científica, llenar el vacío irreparable que su desaparición ha ocasionado en esta Academia, en la cultura española y en el mundo de la ciencia.

Hace treinta y siete años que cursaba yo, en la Academia de Ingenieros Militares, su célebre obra *Los mecanismos*, prodigio de claridad y de exactitud, que nunca ha podido borrarse de la memoria de quien la haya leído una sola vez. Figuran también entre sus primeras obras técnicas la *Guía del Oficial de Artillería* y *Los mecanismos hidráulicos*.

Su condición de Oficial de Artillería le condujo a especializarse en la ciencia de los explosivos, en la que llegó a ser una autoridad mundial. Durante su actuación como Di-

rector de la Fábrica de Pólvoras y Explosivos de Granada realizó importantísimos trabajos de investigación que han arrojado mucha luz en el misterioso proceso íntimo de la iniciación y propagación de la onda explosiva, algunos de los cuales han sido publicados en numerosos folletos sobre esta materia, de que era autor el General Aranaz, como el *Abaco de velocidades de la onda explosiva*, *Iniciación de las detonaciones*, *Los explosivos simétricos*, *Estudio de la post-guerra*, *Los explosivos militares*, *Clases de pólvoras y su aplicación en la guerra*, *La industria militar de las pólvoras y explosivos modernos*.

Sus profundos conocimientos en esta ciencia y su claro ingenio le han permitido resolver problemas técnicos de aplicación artillera, ideando el tipo de granada rompedora, que lleva su nombre, de eficaz aplicación a nuestra defensa nacional.

Entre los numerosos cargos importantes que el general Aranaz fué llamado a desempeñar por sus relevantes condiciones, no sólo como hombre de ciencia, sino como espíritu organizador, figuran el de Vocal del Consejo Supremo de Guerra y Marina, Subsecretario del Ministerio de la Guerra, Profesor de la Academia de Artillería, Director de la Fábrica de Pólvoras y Explosivos de Granada, Director de la Escuela de Tiro del Ejército, Presidente de la Sociedad Española de Física y Química, y, finalmente, estaba encargado de la redacción del *Diccionario Tecnológico*, obra de gran trascendencia para la cultura hispanoamericana, en que la falta del general Aranaz, que dedicaba a ella su va-

liosísimo trabajo, ha de ser muy difícilmente reemplazable.

La fama de su saber se ha extendido por todo el mundo civilizado, no sólo merced a su obra científica, sino por su participación en los Congresos Internacionales, especialmente en el de Química aplicada, celebrado en Roma en 1905, al que fué llamado desde Italia, y fué tal su interés en dominar la ciencia de su predilección que en varias ocasiones vistió la blusa del obrero para sorprender secretos de taller y practicar por sí mismo en los detalles técnicos de la ejecución.

Al reseñaros este brevísimo resumen de los méritos de mi antecesor en la Academia, que hago cumpliendo el homenaje debido a su imperecedera memoria y no porque sea necesario recordaros cualidades y merecimientos de quien hasta hace poco compartió vuestros trabajos y cuyo afecto nunca se borrará de nuestros corazones, me he de preguntar, poniendo en ello mi mayor sinceridad, cuáles han podido ser los motivos que os han inducido a elegirme como su sustituto, qué circunstancias habeis podido ver en mí para decidiros a incluirme en el más elevado rango de la ciencia española.

Desde luego, por mi labor científica no puede ser. Arrastrado por mi afición a todos los conocimientos no he podido profundizar en ninguno; y esta falta de profundidad está, además, agravada por una especial circunstancia en la forma, mejor dicho, en la dirección, con que las ciencias ejercen su atracción sobre mí; y es que, así como en la generalidad de los casos el que siente afición o inclinación por una

ciencia tiende a seguir el camino marcado por ella avanzando por el cauce que otros abrieron hasta llegar a su límite, y aun procurando prolongarlo haciéndole avanzar por el propio esfuerzo a través del terreno inexplorado; y en otros, por el contrario, la tendencia recibida se verifica en sentido inverso, o sea, remontándose hacia los orígenes de la ciencia predilecta para investigar los principios o los hechos fundamentales en que se basa y la génesis de su desarrollo, para mí la atracción se ejerce precisamente en un sentido transversal a la dirección en que la ciencia extiende su progreso.

Del mismo modo que un giróscopo sometido a un par, el viento atraído por una depresión atmosférica, o un campo magnético bajo el influjo de una corriente eléctrica, se desvían transversalmente a la dirección de la acción que los solicita, dando lugar a los efectos girostáticos, geostróficos y de inducción electromagnética respectivamente, parece como si mi preferencia ante la atracción que siento por la ciencia estuviera sometida igualmente a una acción giroscópica —que ha de ser, en resumen, el fundamento común de los tres fenómenos análogos que he citado—que la obliga a desviarse 90° de la dirección de la ciencia atractiva, quizá con arreglo a alguna incógnita ley de orden psíquico, análoga a las de Buys-Ballot y de Ampère.

Por esta razón, la Teoría de los Números, por ejemplo, ejercerá sobre las personas de preferencia científica directa una atracción que las induce a profundizar en el estudio e investigación analítica de las propiedades de los números

y de la clasificación a que dan lugar, de las series que puedan formar, de los intersticios que dejan entre ellos, de la clase y potencia del continuo que pueden constituir, de las propiedades de los infinitamente grandes y de los infinitamente pequeños, de todo aquello, en fin, que conduzca al conocimiento cada vez más minucioso de la cadena formada por los números, estudiando eslabón por eslabón todos aquellos dotados de cualidades singulares y los conjuntos de los de propiedades análogas. En las personas de preferencia inversa, la misma Teoría de los Números les impulsará a estudiar sintéticamente sus principios fundamentales, los axiomas de la cantidad y el postulado de Arquímedes, deduciendo de qué modo esta teoría tuvo nacimiento en el intelecto humano y cuáles fueron los orígenes de su desarrollo. En cambio, para las personas, como yo, de preferencia transversal, la atracción de la Teoría de los Números nos lleva a salirnos lateralmente de la cadena formada por ellos y a penetrar en el campo complejo para estudiar las propiedades de los números imaginarios.

Del mismo modo, la atracción de la Geometría induce a los directos a estudiar e investigar nuevos cuerpos geométricos dotados de propiedades especiales, a determinar las de las partes infinitamente alejadas en el plano y en el espacio, a fijar reglas que relacionen unas formas con otras, etcétera; mientras que a los inversos los lleva a los orígenes de la Geometría, a las propiedades esenciales de la extensión, a los axiomas que a ella se refieren, a la discusión de los postulados de Euclides, etc.; y a los transversales nos

saca de la extensión en que la Geometría clásica se considera comprendida, conduciéndonos a las geometrías no euclídeas, de cuatro o más dimensiones, de dimensiones fraccionarias, de dimensiones inconmensurables o de infinitas dimensiones.

La Mecánica, a su vez, atrae a los directos hacia la resolución de los problemas más difíciles que puedan presentarse en los diversos sistemas, estáticos o dinámicos, de fuerzas y de masas; en cambio, a los inversos los conduce a las disquisiciones filosóficas sobre los conceptos de espacio, tiempo, masa y movimiento, fundamentales en estas ciencias; y a los transversales nos hace salirnos fuera de la realidad tangible para inquirir las leyes que regirían los fenómenos mecánicos en espacio de más de tres dimensiones, o en tiempo de más de una, o en uno y otro de cualidades de extensión distintas de las euclídeas, o de extensión variable, etc.

Las ciencias físico-químicas también conducirían a sus aficionados directos, inversos y transversales, respectivamente, a la investigación de nuevas propiedades de los cuerpos, al estudio de la constitución fundamental de la materia—el *rock bottom* de la materia-energía que constituye los cuerpos—y su evolución en el ciclo materia - radiación divergente - radiación convergente - materia, y a la deducción de las leyes que regirían en un mundo físico en condiciones de temperatura, presión, dimensiones espaciales o temporales distintas de las que apreciamos en el que habitamos, o a las aplicaciones de algunas de éstas al mundo real, como

el estudio hiperespacial de la estereoquímica del nitrógeno pentavalente.

La afición astronómica conduciría a los directos a la busca de nuevos astros, a la comprobación o investigación de sus movimientos o condiciones físico-químicas; a los inversos les llevaría a los estudios cosmogónicos, a la averiguación de cuándo, cómo y por qué se originó la primera impulsión que dió vida energética al Universo en el cero de entropía y a los de la arquitectura, evolución, movimiento, expansión, equilibrio y fin del conjunto del Universo, a la investigación de cuándo, cómo y por qué sobrevendrá su muerte energética, su "*Warmetod*" en el infinito de entropía; en cambio, a los transversales, mucho más que investigar lo que puede existir en los abismos insondables del espacio, nos atrae lo que pueda encontrarse a sólo un metro del espacio, pero saliéndonos de él en el sentido normal a su extensión.

Las ciencias naturales y biológicas también ejercerían su atracción sobre directos, inversos y transversales, induciéndolos, respectivamente, a profundizar en el estudio analítico de los seres de la Naturaleza, a investigar en el origen de las especies y de la vida, y a deducir la forma en que la vida habría de desarrollarse en los universos distintos que pueden concebirse.

A primera vista, se nota que de las tres clases de aficionados a la Ciencia que hemos citado, los directos son los que realmente contribuyen a su desarrollo y progreso en mayor escala; los inversos, aumentan la solidez del funda-

mento de lo ya construído; mientras que los transversales, saliéndonos de la realidad, no podemos contribuir mas que a poblar de seres y de teorías el dominio de la fantasía. Sin embargo, esto que constituye el caso general—he de reconocerlo, lamentándolo, por considerarme incluído entre los últimos—puede tener sus excepciones en el caso en que, desviándose en un sentido transversal de una ciencia u orden de conocimientos, se entre en otra rama de la ciencia de no menor interés, no sólo como especulación teórica, sino por sus aplicaciones prácticas.

Como ejemplos de estos casos de excepción pueden citarse el ya señalado del campo de los números complejos, en el que se entra al desviarse transversalmente de la teoría de los números reales, y que posee innumerables aplicaciones de orden práctico; la geometría del espacio, expansión transversal de la geometría plana, y, sobre todo, ese maravilloso edificio de la Mecánica relativista con que el genio de Einstein ha sustituído al de la Mecánica clásica, elevando su altura, profundizando sus fundamentos y ensanchándolo transversalmente con la aplicación a la realidad física de teorías que, como la del continuo espacio-tiempo, las geometrías no euclídeas, el cálculo diferencial absoluto, etcétera, sólo podían ser antes consideradas como excrecencias transversales, carentes de toda aplicación real, de otras ciencias de la extensión y de la cantidad clásicamente consagradas.

Otra consecuencia del afán de conocer y de investigar que he tenido toda mi vida ha sido mi afición a viajar, y,

naturalmente, por efecto del sentido transversal en que esa atracción había de ejercerse sobre mí, toda mi preferencia ha sido siempre por los viajes en dirección normal a la superficie terrestre, bien elevándome a las nubes, bien descendiendo a las entrañas de la tierra o bajo el agua de los mares, hasta el punto de que en los comienzos de mi profesión aeronáutica presentaba para mí muchos más atractivos un sencillo viaje vertical, de la extensión en que entonces era posible efectuarlos, que una expedición a los países más remotos, siguiendo las vías de comunicación habituales en la superficie de la tierra y de los mares.

Mi carrera de Ingeniero militar proporcionaba mayores facilidades a mi tendencia a separarme de la superficie terrestre en el sentido ascendente que en el descendente, al mismo tiempo las grandes alturas del océano aéreo, por sus condiciones misteriosas en aquellos tiempos (hace más de treinta años) y por el punto de vista que presentan sobre la Tierra, ofrecían mayores atractivos a mis aficiones que la escasa extensión en que eran posibles entonces, y aun lo son hoy, los viajes descendentes en la tierra o en el mar; de aquí mi decisión por la profesión aeronáutica a que he dedicado mi vida, que al comenzar era poco más que una afición puramente especulativa, una nueva extrapolación — o más bien “hiperpolación”—transversal de los viajes terrestres, y que ahora ha entrado de lleno en el dominio de la práctica de la vida moderna. Y he aquí otro nuevo caso en que la desviación transversal de una rama de aplicación práctica de los

conocimientos humanos conduce a otra de igual o mayor grado de utilización.

Desde entonces, obligado por el deber grato que me ha impuesto mi profesión, al mismo tiempo que me dejaba arrastrar por mi afición, he dedicado a la Aeronáutica todas mis actividades, practicándola y extendiéndola en todos sus aspectos y en toda la extensión que mis medios y mis facultades me lo han permitido, guiado desde mis primeros pasos aéreos por mi maestro el general Vives, creador de la Aeronáutica española en todos sus aspectos.

Y es posible que, falta de otra mejor, sea ésta la razón de que me hayais conferido la honra de elegirme para este puesto que estoy muy lejos de merecer, la de considerar que una modalidad de la moderna actividad humana tan importante como es la Aeronáutica debía tener un miembro especializado en ella en esta Academia. En este caso, seguramente defraudaré también vuestras esperanzas, porque lo único que puedo ofreceros en materia aeronáutica es mi ya larga práctica proporcionada por los varios centenares de horas que he pasado en viajes aéreos de todas formas y condiciones, en cada una de las clases de vehículos aeronáuticos empleados hasta la fecha: globos libres, dirigibles y aviones; porque respecto a la Ciencia aeronáutica mis escasos conocimientos no pueden, en modo alguno, justificar mi ingreso en esta Academia, donde su ilustre Presidente es inventor del tipo de dirigibles que ha poseído durante mucho tiempo el *record* mundial de duración, y del sistema de postes de amarre universalmente empleado hoy día y que

ha venido a resolver el problema del aterrizaje de esta clase de aeronaves; y en que otros insignes miembros dominan igualmente esta materia, como mi venerado maestro el general Marvá, autor de magistrales trabajos y conferencias de divulgación referentes a la ciencia aeronáutica y a sus aplicaciones civiles y militares; el Sr. Torroja, especializado en los procedimientos fotogramétricos desde el aire y en su aplicación a la exploración de las regiones polares en dirigible, cuya organización le ha sido encomendada; y el Sr. Terradas, que en la universalidad de sus conocimientos y de su actividad se dedica con entusiasmo a la teoría y a la práctica de la navegación aérea.

Además, la ciencia aeronáutica ha alcanzado un grado tal de desarrollo y de amplitud que para dominarla es necesario un conocimiento profundo de casi todas las demás ciencias, que yo no puedo soñar en llegar a poseer, pero cuya recopilación voy a tratar de exponer, abusando de vuestra atención al referiros materias que son de todos perfectamente conocidas, pero en cuya exposición daré el necesario, aunque quizá no suficiente, cumplimiento al precepto reglamentario que dispone que en este discurso se ha de desarrollar un tema científico de libre elección, tema que, dada la índole de esta Corporación y la especialización a que me he dedicado, será:

## CIENCIA Y AERONAUTICA

*Per scientiam ad excelsa.*

*Per excelsa ad scientiam.*

En la primera impresión sintética que el mundo exterior produjo en la conciencia del hombre, al manifestarse a través de las brumas de su instinto animal los primeros destellos de su inteligencia, debió presentársele el espectáculo maravilloso del Universo como constituido por dos partes esencialmente distintas: una, firme, tangible, inmovible, de indudable realidad, formada por el suelo donde asentaba sus pies; la otra, ocupando el espacio que se extendía sobre su cabeza, inaccesible, etérea, plena de formas, luces y colores cambiantes e imprecisos.

Al volver la atención de su conciencia hacia el mundo interior de su espíritu, debió, asimismo, encontrar dos regiones opuestas: la de los conocimientos adquiridos que le aparecían también como una base firme e inmovible, de verdad y de certeza, y la región de lo inexplicado, de lo desconocido, de lo misterioso, hacia la cual le impulsaba su incipiente afán investigador.

Relacionando las impresiones emanadas del mundo exterior y del interior de su yo consciente, aquel hombre primitivo debió considerar al suelo firme, situado al alcance de to-

dos sus sentidos, como la representación de sus conocimientos indudables, mientras que la región inaccesible de las alturas correspondía a la de los enigmas y misterios que inquietaban su espíritu. De ahí la atracción que, desde los más remotos tiempos que ha registrado la Historia ha sentido el hombre hacia el espacio insondable que se extiende sobre su cabeza, intentando investigar sus misterios elevándose dentro de él, y, no siendo esto posible, explorándolo en alas de la fantasía que lo pobló de todo un mundo de seres superhumanos dotados de la facultad de volar libremente por él. Y tal era la obsesión que la Humanidad ha sentido por la exploración de las alturas, que no ha concebido nunca un sér superhumano sin dotarle de esta facultad que el hombre siempre ha anhelado poseer.

Medio millón de años ha transcurrido desde que el Universo fué, por primera vez, objeto de una apreciación consciente sobre la Tierra; el hombre ha modificado profundamente la síntesis de esta primitiva apreciación; el suelo ya no es la base conocida, firme y fundamental del mundo exterior, sólo constituye una ínfima parte de él, móvil e inconsistente, tan misteriosa como lo demás y sometida a todas las perturbaciones que la acción de los agentes exteriores e interiores ejercen sobre ella. En el mundo interior, el hombre encuentra ahora considerablemente reducido el fondo firme de sus conocimientos que antes consideraba como ciertos. A medida que su campo de exploración en el Universo va ensanchándose, se van derrumbando teorías y ciencias que aparecían incommovibles; parece como si en la

meta de la humana sabiduría, a la que el hombre se esfuerza por llegar esperando encontrar en ella la verdad suprema que le ponga en la posesión cierta de la absoluta omnisciencia, ha de hallar, por el contrario, la certeza de su absoluta ignorancia, y, tendiendo a acercarse al punto en que pueda decir: “todo lo sé”, en realidad se va acercando asintóticamente a aquel en que tendrá que confesar: “sólo sé que no sé nada”. La *docta ignorantia* socrática aparece como final de todos los esfuerzos del hombre hacia la sabiduría.

La Humanidad, realizando el mito de Icaro, trata de acercarse al sol de la verdad absoluta, de la suprema ciencia, ante cuyos rayos abrasadores las débiles alas de su inteligencia se muestran imposibilitadas para sostenerse, precipitándola en la negra realidad del convencimiento de su incapacidad. Siempre el mismo símil que coloca abajo la base firme de lo conocido y en las alturas la atracción fascinante de la verdad incógnita, perpetuándose a pesar de la diferente concepción que el hombre actual tiene formada acerca del macrocosmos dentro del cual habita y del microcosmos que habita dentro de él.

Sería difícil encontrar un orden de conocimientos humanos, una sola ciencia que el hombre no haya puesto a contribución para realizar su eterna tendencia a escalar las regiones del cielo, en su afán de investigar los misterios que encierran, y de adquirir, por el esfuerzo de su inteligencia, la facultad de desprenderse del suelo, que siempre ha envidiado, aun considerándose el rey de la Creación, a los animales, sus inferiores, que gozaban de ella.

Para poder sostenerse en el espacio sin caer por la acción de la gravedad y sin contacto con la superficie terrestre, ha necesitado el hombre buscar un punto de apoyo que no sea la reacción del suelo, y para ello ha debido estudiar las condiciones del medio de que se encontraría rodeada la aeronave, vehículo aéreo o sistema sustentador, al abandonar el contacto con la tierra o con el agua.

Este medio, en que habría de sostenerse y moverse la aeronave, está formado principalmente por un gas, el aire, dotado de peso, masa, energía cinética, térmica e interatómica y potencial eléctrico. El aire ocupa un espacio, a su vez asiento del campo magnético terrestre y atravesado por radiaciones procedentes de la misma Tierra, del Sol, de los demás astros visibles y de las profundidades del cosmos. Cada una de estas circunstancias del espacio que envuelve a la superficie terrestre puede servir, al menos teóricamente, como asiento en que apoyarse, a falta de la reacción del suelo firme, y aun suponiéndose el espacio vacío de toda materia o manifestación de energía, todavía puede buscarse el punto de apoyo en la masa de los cuerpos que puedan lanzarse desde la propia aeronave.

Podemos, pues, clasificar los procedimientos posibles para obtener un punto de apoyo fuera de la superficie terrestre, en: primero, los que lo obtienen del aire; segundo, los que utilizan el campo magnético terrestre; tercero, los que se apoyan en la radiación; y cuarto, los fundados en la proyección de masas.

El primer procedimiento, o sea, el de buscar el punto

de apoyo en el aire, puede, a su vez, dividirse en otros tres: *a)*, el que utiliza el peso del aire; *b)*, el que emplea su masa inerte como punto de apoyo; y *c)*, el que se funda en la carga eléctrica del aire.

En todos los procedimientos citados se trata de contrarrestar la acción de la gravedad sobre el hombre y los sistemas sustentadores de que se valga, o sea, su peso, que es una fuerza de dimensiones  $L M T^{-2}$ , por medio de otra fuerza obtenida del medio ambiente, pues aun en el cuarto procedimiento, las masas, una vez proyectadas desde la aeronave, ya pertenecen al medio ambiente, al cual la aeronave dota de una suficiente densidad másica sustentadora.

Esta fuerza, equilibradora del peso, estará formada siempre por el producto de dos factores: uno, que dependerá de las cualidades del ambiente; y el otro, proporcionado por las de la aeronave. En los distintos procedimientos sustentadores, uno y otro factor varían de dimensiones, pero siempre el producto de ellos forma las generales de toda fuerza  $L M T^{-2}$ .

Ya, con esta simple exposición, aparece la íntima colaboración que ofrecen la mayor parte de las ciencias físicas al problema de la navegación sin contacto con la tierra ni con el agua, la que intentamos poner aún más de relieve en el ligero análisis que haremos, a continuación, de cada uno de estos procedimientos.

Comenzaremos por el *1-a* de la anterior clasificación, o sea, el que busca el punto de apoyo en el peso del aire desalojado por la aeronave o su sistema sustentador. Este

es el procedimiento *aerostático*, fundamento de los globos de todas clases, y el primero que ha permitido al hombre elevarse sobre el suelo mediante un apoyo obtenido fuera de él.

La ciencia cuyos principios tienen principal aplicación en este sistema de sustentación aérea es la Estática de los flúidos, conocida desde Arquímedes, aunque su primera aplicación práctica a la navegación aérea fué realizada, en Lisboa, por Bartholomeu Lorenço de Gusmao, el fraile *voador*, quien, según relata textualmente Leitao Ferreira, "*fez a experiencia em 8 d'agosto d'este anno de 1709 no pateo de Casa da India diante da sua magestade e muita fidalguia e gente com un globo que subiu suavemente á altura da sala das embaixadas, do mesmo modo desceu, elevado de certo material que ardia e a que applico o fogo ó mesmo inventor*".

Esta primera experiencia aerostática, hecha setenta y cuatro años antes que las realizadas por los célebres hermanos Montgolfier, confirmó plenamente que el principio de Arquímedes era aplicable a toda clase de flúidos, tanto líquidos como gases, lo que ya se había asegurado por el monje alquimista inglés Roger Bacon, en su obra *Opus Majus*, escrita a mediados del siglo XIII.

El procedimiento aerostático produce como fuerza equilibradora del peso de la aeronave la resultante de las presiones del aire sobre el conjunto de ella. Esta resultante, que es vertical, no puede resolver el problema de la navegación aérea por sí sola, sino únicamente el de la sustenta-

ción. Su intensidad es, según es sabido, igual al peso del aire desalojado, o sea, al producto del volumen total de la aeronave por la densidad del aire. Vemos, pues, que los dos factores que constituyen la fuerza equilibradora son: uno, propio de la aeronave, que es su volumen de dimensiones  $L^3$ ; y otro, propio del medio ambiente, que es la densidad del aire, de dimensiones  $\frac{M_g}{L^3} = \frac{M L T^{-2}}{L^3} = M L^{-2} T^{-2}$ ; teniendo el producto de ambos las dimensiones  $M L T^{-2}$  de una fuerza.

De estos dos factores, el propio del medio ambiente tiene un valor límite, el correspondiente a la densidad del aire al nivel del mar que, a cero grados centígrados, es de 1.923 gramos por metro cúbico; en cambio, el volumen, que es el factor propio de la aeronave, puede ser fijado a voluntad del constructor, aunque, creciendo el peso de la envolvente con la cuarta potencia de sus dimensiones lineales, mientras la fuerza ascensional del globo sólo crece con la tercera, existe siempre un volumen máximo para el cual el peso de la envolvente llega a ser igual al de la fuerza ascensional total, haciéndose imposible el equilibrio aerostático para los globos de volumen mayor.

El procedimiento aerostático requiere, además de la Estática de los flúidos, el empleo de la Meteorología para el conocimiento de las leyes de distribución de la densidad del aire en las distintas capas atmosféricas, de la Termodinámica por la calefacción del gas en los movimientos verticales por efecto de las compresiones y expansiones adiabáticas, de la Química para los procedimientos de fabri-

cación del gas ligero, hidrógeno o helio, empleado para la sustentación, de la Resistencia de materiales para el cálculo y construcción de la envolvente y de sus elementos, de la Electroestática para tener en cuenta los fenómenos eléctricos desarrollados en el globo en sus movimientos verticales; todas éstas y otras muchas ciencias son necesarias, aunque sólo se trate del problema de obtener puramente la sustentación aerostática, o sea, para el equilibrio vertical del globo sin propulsión, pues tratándose de un aeróstato dirigible, solamente el problema de determinar la forma más conveniente de la envolvente y los esfuerzos que ha de soportar obliga al empleo de la Aerodinámica, del Cálculo de variaciones y del Cálculo de estructuras sometidas a esfuerzos dinámicos, además de todos los demás conocimientos relativos a los sistemas motopropulsores empleados.

El procedimiento *1-b* obtiene como apoyo para la aeronave la inercia de una masa de aire que continuamente va rechazando hacia abajo. Es el primero que el hombre ha visto realizado en la Naturaleza por las aves y todos los animales dotados de la facultad de volar, y el que más ha anhelado poseer. Su ciencia fundamental ha sido la Aerodinámica, cuyas bases estableció Newton, aunque erróneamente, en su famosa "ley del seno cuadrado", error que probablemente ha costado a la Humanidad un considerable retraso en la resolución del problema de la Aviación, porque, según esa ley, tenida como cierta hasta principios de este siglo, ninguno de los aviones hoy día existentes podría sostenerse en el aire. Naturalmente por esto, el solo hecho de

que una persona se dedicara al estudio del problema de la navegación aérea por medio del “más pesado que el aire” fué considerado, durante algunos siglos, como señal de incapacidad mental o de ignorancia, puesto que demostraba el desconocimiento de la ley newtoniana del “seno cuadrado”, principio fundamental de la incipiente ciencia aerodinámica. Los datos obtenidos experimentalmente en los primeros ensayos de vuelos planeados y en los laboratorios aerodinámicos demostraron la falsedad de esta ley aplicada a un gas en las condiciones del aire ambiente, aunque está correctamente planteada para los gases en que puedan desprejarse las interacciones moleculares, como ocurre en el estado radiante, y el problema de la Aviación quedó abierto a la investigación de los hombres de ciencia una vez desaparecida la barrera que dificultaba su paso.

En el procedimiento aerodinámico, lo mismo en las aeronaves en que los órganos impulsadores del aire hacia abajo están fijados a ella (aeroplanos), como en las que los tienen giratorios y libres (autogiros), o giratorios mandados (helicópteros), o de movimiento alternativo de alas batientes (ornitópteros), siempre la reacción de la masa inerte del aire rechazado origina la fuerza vertical equilibradora del peso del avión como consecuencia del teorema de Bernouilli al poseer mayor velocidad, y, por tanto, menor presión, el aire que actúa sobre la superficie superior del órgano sustentador (ala) que el situado por debajo de él.

La combinación de esta diferencia de velocidades, necesaria para que exista la fuerza sustentadora, con la velo-

cidad de traslación horizontal del ala, da como resultado la formación de un torbellino de eje situado en el ala transversalmente a su movimiento. La sustentación aerodinámica lleva, pues, consigo la aparición de este torbellino combinado con el movimiento horizontal de traslación.

Para que el ala mantenga su movimiento de traslación simultáneamente con su torbellino transversal necesita la acción de una cierta fuerza propulsora igual y contraria a la resistencia al avance que el aire opone a su movimiento, y dicha fuerza, haciendo progresar al ala en el sentido de su dirección, representa una potencia motriz de la que la aeronave deberá disponer para sostenerse en el aire. Vemos, pues, que así como la sustentación aerostática era proporcionada *gratis* por la aeronave con sólo que su volumen fuera suficientemente grande y su peso suficientemente pequeño, la sustentación aerodinámica únicamente puede obtenerse a costa de una cierta potencia de la que el avión puede disponer.

La resistencia al avance que el órgano sustentador aerodinámico debe vencer para su traslación se compone de tres partes: la originada por la viscosidad del aire en su frotamiento con el cuerpo, la debida a la formación de remolinos al abrirse paso el ala a través de la masa de aire y la exigida por el mantenimiento del torbellino transversal que produce la sustentación, que es la “resistencia inducida” análoga a la fuerza que sufre un conductor por el que pasa una corriente eléctrica cuando está situado en un campo magnético.

Suponiendo, en un caso ideal, que el aire carece de viscosidad y que el régimen del fenómeno aerodinámico sea perfectamente laminar, sin turbulencia alguna, las dos primeras partes de la resistencia al avance, puramente perjudiciales, desaparecerán, pero no así la tercera, que es indispensable para que exista el efecto útil de la sustentación.

Si se logra la ley elíptica en la distribución de los hilos de torbellino en el sentido de la envergadura del ala, se obtiene la máxima fuerza sustentadora con una potencia dada, que, si llamamos  $Z$  a dicha fuerza,  $P$  a la potencia,  $y$  a la envergadura del ala,  $D$  a la densidad del aire ambiente,  $g$  a la aceleración de la gravedad y  $v$  a la velocidad de traslación, queda determinada por la fórmula:

$$Z = y \sqrt{v P} \left| \frac{\pi \bar{D}}{2g} \right|$$

en la que hemos separado los dos factores, el primero de dimensiones:

$$L (L T^{-1} M L^2 T^{-3})^{\frac{1}{2}} = L^{\frac{5}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$$

correspondiente a la aeronave, puesto que en él intervienen la envergadura, la velocidad de traslación y la potencia del motor; y el segundo, de dimensiones:

$$(M L^{-3})^{\frac{1}{2}} = M^{\frac{1}{2}} L^{-\frac{3}{2}}$$

correspondiente al medio ambiente, en el que figuran la densidad del aire y la aceleración de la gravedad.

Podríamos suponer que la velocidad  $v$ , que tienen el ala y el medio ambiente entre sí, pertenece a uno y a otro factor, haciendo la siguiente distribución:

$$Z = y \sqrt{\frac{P}{v}} \left| \frac{\pi D}{2g} \right|$$

y entonces el factor correspondiente a la aeronave tendrá como dimensiones:  $L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$ , y el correspondiente al medio ambiente:  $L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$ , que son análogas a las de la sustentación electromagnética, según veremos después. En todos los casos, como es natural, el producto de ambos factores da las dimensiones de una fuerza  $LM T^{-2}$ .

En la práctica, hay que tener en cuenta las tres partes de la resistencia al avance, admitiéndose la ley cuadrática, según la cual tanto ésta como la sustentación crecen proporcionalmente al cuadrado de la velocidad. En esta hipótesis, que se ajusta suficientemente a la realidad, la fuerza sustentadora  $Z$  resulta, en función de la potencia  $P$ , de la superficie sustentadora  $s$ , del coeficiente de cualidad sustentadora del ala  $b$  y de la densidad másica del aire  $D/g$ , determinada por la siguiente fórmula:

$$Z = \sqrt[3]{b^2 s P^2} \sqrt[3]{\frac{D}{g}}$$

El primer radical representa el factor correspondiente a la aeronave, en que entran el coeficiente de cualidad sustentadora, que es un número dependiente de la forma del

ala, la superficie y la potencia; y el segundo es el correspondiente al medio ambiente, en que sólo entra la densidad másica del aire.

Las dimensiones del primero son:  $L^2 M^2 T^{-2}$  y las del segundo:  $L^{-1} M^3$ .

El constructor puede variar independientemente, al menos en teoría, las cantidades que intervienen en el factor propio de la aeronave—aunque las razones constructivas también imponen una limitación—, excepto para el valor del coeficiente de cualidad sustentadora  $b$ , que no depende del tamaño sino de la perfección del perfil adoptado desde el punto de vista sustentador, siendo el mejor valor encontrado hasta ahora el de 15, que no es probable pueda ser sobrepasado en mucho.

El procedimiento aerodinámico presenta otra diferencia esencial con el aerostático, consistente en que así como en éste el peso de la aeronave sustituye en la atmósfera al del aire que desaloja sin que esta sustentación origine ninguna modificación en el régimen de equilibrio de las capas atmosféricas y en su presión sobre el suelo, en cambio, la sustentación aerodinámica trasmite el peso de la aeronave a la masa de aire, y ésta, a su vez, al suelo, de modo que el avión, en realidad, se apoya en el suelo por intermedio del aire. Si nuestros sentidos para apreciar la presión del aire fueran suficientemente sensibles, podríamos notar el paso de un avión sobre nuestras cabezas, aunque volara a muchos miles de metros de altura, por la repartición de su peso so-

bre una extensión del terreno situado debajo, más o menos grande, según la altura; en cambio, el paso de un dirigible no produciría ningún efecto de esta naturaleza.

La potencia necesaria para el sostenimiento en el aire del avión habrá que obtenerla de un depósito o acumulador de energía que se lleve a bordo, o bien del medio ambiente.

Cualquiera de los acumuladores de energía conocidos, elásticos, aire comprimido, caloríficos, cinéticos, eléctricos o químicos (explosivos), podría servir, en principio, para obtener a bordo la necesaria para la propulsión del órgano sustentador, creando la fuerza propulsora por procedimientos análogos a los empleados para crear la sustentación y, principalmente, por la reacción de la masa de aire rechazado en sentido contrario; pero estos acumuladores, aunque presentan la ventaja de ser independientes de las condiciones del medio ambiente, tienen el inconveniente de ser demasiado pesados con relación a la energía almacenada, pues aun los explosivos, que son los de mayor capacidad con relación a su peso, serían insuficientes para resolver el problema de la Aeronáutica. Únicamente la energía interatómica podría dar la solución si se conociera el procedimiento práctico para extraerla y utilizarla.

La obtención de la energía del medio ambiente también presenta dificultades prácticas insuperables en la mayor parte de los casos: en unos, como con la energía térmica del aire, por ser la fuente disponible excesivamente débil; en otros, como con la carga eléctrica, aunque muy abundante por la gran diferencia de potencial que existe habitual-

mente aun entre capas de aire próximas, o gradiente eléctrico, no es fácil de extraer con gasto suficiente a causa de la escasa conductibilidad eléctrica del aire; la energía cinética de las agitaciones internas de la masa de aire puede dar la solución en casos especiales y permite el “vuelo a vela” en aviones sin motor, pero tampoco puede ser considerada como la solución del problema general.

Queda como único procedimiento la utilización de una fuente de energía mixta, conducida en parte a bordo de la aeronave y en parte extraída de la atmósfera. Esto se consigue por medio de la combustión de un combustible llevado en la aeronave (gasolina, benzol, aceites pesados) en un carburante (oxígeno) proporcionado por el medio ambiente. De esta manera se obtiene, a igualdad de peso del depósito de energía conducido por la aeronave, una cantidad más de siete veces superior a la que se lograría con el empleo de un explosivo, que a su vez es el más enérgico, con relación a su peso, de los acumuladores utilizables de energía que hemos citado.

Para estudiar detenidamente cada una de las soluciones citadas para conseguir la sustentación aerodinámica y la potencia necesaria para ella, desechando las no utilizables y deduciendo el empleo más eficaz de las que presente probabilidades de utilización, rara es la ciencia exacta, o físico-química, que no deba ser puesta a contribución.

Además de todas las aplicaciones elementales del Análisis matemático y del Cálculo infinitesimal de uso corriente, haremos especial mención del empleo de los gráficos lo-

garítmicos para la determinación de las características de vuelo (*performances*) de los aviones, de las Funciones logarítmicas y exponenciales para el cálculo de la sustentación a diferentes alturas por la variación de densidad y presión del aire; de las Funciones hiperbólicas para la determinación de velocidades de caída teniendo en cuenta la resistencia del aire; de las Funciones elípticas para los movimientos pendulares en el equilibrio dinámico de las aeronaves y para otros muchos problemas constructivos; de las Funciones de variable compleja y Representación conforme para la determinación analítica de la sustentación aerodinámica de un perfil de ala; del Análisis armónico para los problemas de las vibraciones y resonancia mecánica, fundamentales en la ingeniería aeronáutica. La Geometría analítica presenta multitud de curvas, unas especiales que han aparecido para los diferentes problemas de técnica aérea, y otras, ya conocidas, pero que obtienen una insospechada aplicación a la Aeronáutica: por ejemplo, la “cicloide” aparece como la forma que ha de tener el tubo manométrico para medir la velocidad del viento en el túnel aerodinámico con sensibilidad constante para cualquier velocidad; esta misma curva, “acortada” o “alargada”, para el viraje en viento; las curvas del “nadador” y del “persegimiento”, o del “perro”, de aplicación en el problema del vuelo con proa a punto fijo; el “caracol de Pascal”, que aparece en el estudio del autogiro; la “espiral logarítmica” para el problema de la puntería aérea de lanzamiento de proyectiles; la “serpentina” o “anguínea” de Newton; y la “versiera” o

“cúbica” de Agnesi, que miden, respectivamente, el número de pasajeros y de pasajeros-kilómetro del tráfico aéreo entre las poblaciones, según su distancia; la “envolvente del círculo” y la “cardioide” para el planeo en espiral; las “catenarias” ordinaria y de igual resistencia, de aplicación al cálculo de grandes cobertizos para dirigibles; la “astroide” para la maniobra en tierra de esta clase de aeronaves; las superficies tóricas para la resolución del problema de la pirámide en la fotogrametría aérea; etc.

El Cálculo de variaciones es indispensable para resolver muchos problemas de navegación aérea en que hay que determinar la trayectoria más conveniente dada la distribución de vientos; el Cálculo de probabilidades presenta numerosas aplicaciones para el estudio de los aviones multimotores y para la Aeronáutica comercial en la determinación de seguros de accidentes.

Todas las aplicaciones del Cálculo vectorial a la Mecánica racional y a la Mecánica de los flúidos son necesarios para el estudio de la Aerodinámica moderna, con sus teorías, fundamentales, de los torbellinos y de los manantiales y sumideros. Al mismo tiempo, la Aerodinámica también aprovecha la cooperación del Electromagnetismo por la similitud que existe entre la mayor parte de los problemas de una y otra ciencia.

El Cálculo de estructuras y la Resistencia de materiales tienen una aplicación especial a la Aviación por el carácter predominante que en ella se ha de dar a los fenómenos vibratorios, inherentes a la periodicidad de las fuerzas pro-

cedentes de las reacciones aerodinámicas y de las explosiones del motor, que obran constantemente sobre la aeronave, y por las condiciones extremas en que se verifica el trabajo de los materiales, sometidos al máximo esfuerzo compatible con su límite de elasticidad y dotados de cualidades especiales merced a su composición y tratamiento obtenido mediante el empleo de todos los recursos de la técnica metalúrgica y constructiva moderna.

Igualmente es necesaria la cooperación de la Termodinámica, de la Electricidad, de la Metalurgia y de la Química para el cálculo y la construcción de los motores, de la Meteorología, de la Geografía, de la Cosmografía, de la Física matemática en su parte de óptica, magnetismo, electricidad y radiocomunicación para la navegación aérea en las distintas capas atmosféricas, hasta la navegación en la estratósfera o “estratonáutica”, y prescindimos, para no hacer interminable esta relación, de la serie de conocimientos científicos de todos los órdenes necesarios para las demás modalidades de la Aeronáutica comercial, topográfica, forestal, etc. Basta decir que presenta con frecuencia problemas, sencillos en apariencia, que no han podido ser, no sólo resueltos, sino ni siquiera plantados en ecuaciones diferenciales, como por ejemplo, el siguiente caso, muy frecuente en la Aerostación libre—la modalidad más elemental de la Aeronáutica—, que es interesante de resolver porque suele originar accidentes sobre terrenos cruzados por líneas eléctricas: Un globo libre marcha horizontalmente llevando pendiente su cuerda freno, que no toca en el suelo, pero cuyo

extremo está próximo a él. Durante este movimiento, la cuerda choca con un hilo horizontal, una línea de conducción eléctrica, por ejemplo, y, según la velocidad y la longitud de la cuerda desde el punto que toca hasta el extremo, unas veces oscila y pasa sobre el obstáculo y otras veces se arrolla al hilo deteniendo bruscamente la marcha del globo, que llega a veces a abatirse contra el suelo.

El problema de determinar cuáles son la velocidad y la longitud de cuerda para las que se produce el arrollamiento, aun admitiendo la simplificación de despreciar la resistencia del aire, la rigidez de la cuerda y el resbalamiento de ésta sobre el obstáculo, ha resistido hasta ahora todos los intentos que los matemáticos han hecho para resolverlo.

Los dos procedimientos de obtención de una fuerza sustentadora, que llevamos referidos, son los que constituyen actualmente las dos ramas de la Aeronáutica, la Aerostación y la Aviación, que han permitido al hombre la realización de su eterna aspiración de surcar los aires. Los demás procedimientos que se han citado no han salido aún del campo de la teoría, pero, de todos modos, han debido ser objeto de estudio, contribuyendo a ellos las demás ciencias, para saber las dificultades que presentan y qué probabilidades hay de que alguna vez puedan ser vencidas, pues aunque hasta ahora pertenecen exclusivamente al dominio de la fantasía de los inventores, no puede negarse que tienen un fundamento cualitativo y que es aventurado asegurar que la imposibilidad cuantitativa que actualmente se opone a su

aplicación práctica ha de resistir eternamente al avance continuo del progreso en todos los órdenes de la técnica.

El procedimiento  $l - c$  está fundado en la acción recíproca entre las cargas electrostáticas del aire y de la aeronave. Sabemos que el aire posee un potencial eléctrico, variable con el estado meteorológico, generalmente positivo, lo que representa una cierta carga eléctrica o cantidad de electricidad por metro cúbico de este gas; si la aeronave posee una superficie sustentadora horizontal, cuya cara inferior esté electrizada con el mismo signo que el aire ambiente, y la cara superior con signo contrario, estando ambas separadas por una sustancia aisladora, se producirá una repulsión electrostática entre la capa inferior y la masa de aire situada por debajo, que será igual a la que ejercería sobre aquélla una carga eléctrica equivalente a la de un volumen  $c$  de base igual a la superficie sustentadora y de altura  $z$  de aire situada a una distancia  $l$ , y sobre la carga superior una repulsión que se calcularía análogamente. Al mismo tiempo, la cara superior ejercerá una atracción sobre la masa de aire situada por encima y una atracción sobre la situada por debajo, iguales y de signos contrarios a las anteriores.

Si llamamos  $V_s$  al potencial eléctrico de la superficie sustentadora,  $C_s$  a su capacidad de carga por metro cuadrado de superficie,  $e$  la separación entre ambas caras, que, para mayor simplificación supondremos está ocupada por aire cuya constante dieléctrica es igual a la unidad,  $s$  la extensión de la superficie,  $C_a$  la capacidad eléctrica del aire por unidad de volumen y  $V_a$  el potencial electrostático del

aire, las dimensiones de cada una de estas cantidades serán:

$$V_s \text{ y } V_a = L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1} \quad C_s = \frac{1}{4 \pi e} = L^{-1} \quad \text{y} \quad C_a = L^{-2}$$

La fuerza sustentadora obtenida como resultante de las acciones electrostáticas desarrolladas entre las masas de aire situadas por debajo y por encima de la superficie y las dos caras de ellas, es igual a:

$$Z = \frac{V_s s^2}{2 \pi e} \frac{V_a C_a z}{l^2} \frac{2 \frac{l}{e} + 1}{\left(\frac{l}{e} + 1\right)^2}$$

Este producto está compuesto de tres factores: el primero, correspondiente a la aeronave, de dimensiones  $L^{\frac{7}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$ ; el segundo, correspondiente al medio ambiente, de dimensiones  $L^{-\frac{5}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$ ; y el tercero, numérico, que varía entre cero y uno, según la relación entre el espesor del dieléctrico y la distancia a que actúa la carga eléctrica ficticia que se supone reemplazando el aire.

Las atracciones y repulsiones ejercidas por las caras de la superficie sustentadora sobre las moléculas del aire electrizado producirán en él una corriente descendente (viento eléctrico) cuya cantidad de movimiento por unidad de tiempo será equivalente a la fuerza sustentadora. Este cambio de moléculas en contacto con la superficie electrizada, unido a la ionización del aire por su estado eléctrico y por la acción de los rayos cósmicos, produciría una descarga continua

del condensador constituido por la superficie sustentadora que habrá que reponer mediante una corriente entre ambas caras de intensidad igual a la pérdida de carga por unidad de tiempo y de potencia proporcional al cuadrado del voltaje. Esta consideración conduce a la sustitución de la expresión anterior de la fuerza sustentadora por la siguiente:

$$Z = \frac{\sqrt{s^3} P}{2 \pi e} \frac{V_a C_a z \sqrt{R}}{l^2} \frac{2 \frac{l}{e} + 1}{\left(\frac{l}{e} + 1\right)^2}$$

en la que  $P$  es la potencia necesaria para la sustentación y  $R$  la resistencia del medio ambiente a la descarga por unidad de superficie y medida en unidades electrostáticas de dimensiones  $L T$ . De este modo, el factor correspondiente a la aeronave tiene las dimensiones  $L^3 M^{\frac{1}{2}} T^{-\frac{3}{2}}$ , y el del medio ambiente  $L^{-2} M^{\frac{1}{2}} T^{-\frac{1}{2}}$ .

Aparte del inconveniente de que el factor correspondiente al medio ambiente es muy variable y hasta cambia de signo en ocasiones, este procedimiento, de todos modos, no puede, en el estado actual de la técnica, ser puesto en práctica por el pequeñísimo valor absoluto que tiene este factor, lo que obligaría al empleo de superficies sustentadoras exageradamente extensas o de enormes potencias para obtener siempre una fuerza sustentadora que sería inferior al peso de la superficie o al del grupo electrógeno necesario.

Analizados los fundamentos de los procedimientos basados en la utilización del aire como medio sustentador, vere-

mos ahora aquellos que tratan de resolver el mismo problema valiéndose de otros agentes sustentadores.

El procedimiento 2 de los que hemos citado se basa en la acción que produce un campo magnético sobre una corriente. Si la aeronave está dotada de un conductor recto horizontal, normal a la dirección del campo magnético terrestre, y por el cual pasa una corriente originada por una diferencia de potencial existente entre sus extremos, este conductor sufrirá una fuerza normal a él y al campo magnético terrestre, cuyo valor será:

$$Z = H I y = H \sqrt{\frac{s y}{R}} P$$

siendo  $H$  la intensidad del campo magnético,  $I$  la de la corriente,  $y$  la longitud del conductor,  $s$  su sección,  $R$  la resistividad del mismo y  $P$  la potencia desarrollada por la corriente eléctrica. Esta potencia no podría ser obtenida por un grupo electrógeno situado a bordo de la aeronave, porque esto exigiría un conductor de vuelta que originaría otra fuerza igual y contraria, y el resultado sería la formación de un par que tendería a colocar el plano del circuito normalmente al campo magnético, pero sin ninguna resultante sustentadora, de modo que hay que seguir el procedimiento de que la potencia  $P$  cree la diferencia de potencial entre los extremos del conductor sin cerrar el circuito, lo que se consigue por el movimiento del mismo conductor, normalmente al campo magnético, o a su componente horizontal, puesto que se trata de obtener una fuerza vertical, con lo

cual la potencia será igual a  $vZ$ , siendo  $v$  la velocidad vertical del conductor.

La fuerza sustentadora obtenida será, pues, de valor:

$$Z = H \sqrt{\frac{sy}{R} P} \quad \text{o bien:} \quad Z = H^2 \frac{sy}{R} v.$$

según que venga expresada en función de la potencia o en función de la velocidad; el primero, que es el que principalmente nos dará idea de la posibilidad de este procedimiento, está compuesto de los factores:  $H$  correspondiente al medio ambiente, de dimensiones  $L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$ , y el radical, de dimensiones  $L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-\frac{1}{2}}$ , correspondiente a la aeronave.

El producto  $sy$  representa el volumen del conductor, que puede ser sustituido por su peso,  $G$ , dividido por la densidad del material  $D$ , por lo que las expresiones anteriores pueden transformarse en:

$$Z = H \sqrt{\frac{GP}{DR}} \quad , \quad Z = H^2 \frac{Gv}{DR} \quad ,$$

El aluminio es la sustancia en que el producto  $DR$  es el mínimo, que en unidades *C. G. S.* tiene un valor de  $76 \cdot 10^6$ , y dando a la componente horizontal del campo magnético terrestre  $H$  el valor 0,3, algo superior al que tiene en España, y expresando  $P$  en caballos,  $Z$  y  $G$  en kilos, y  $v$  en metros por segundo, resultan las expresiones:

$$Z = 0,01 \sqrt{G P} \quad , \quad Z = 1,17 \cdot 10^{-6} G v$$

es decir, que para que el conductor, al cortar las líneas de fuerza del campo magnético terrestre, cree una fuerza sustentadora capaz de sostener su propio peso, necesita una velocidad de 855 kilómetros por segundo, y para obtener un kilo de sustentación por caballo, el peso del conductor habría de ser 10.000 veces mayor que la sustentación obtenida. Es evidente que mucho habrá de avanzar la técnica para que la sustentación electromagnética pueda ser practicable.

El procedimiento 3 utilizaría como punto de apoyo la energía radiante que envuelve a la Tierra. De todas las radiaciones que atraviesan el espacio atmosférico, la más intensa es la que nos envía el Sol en forma de luz y calor, que equivale, en el límite de la atmósfera terrestre, a  $4,67 \cdot 10^{-5}$  ergios por centímetro cúbico. Esta energía radiante ejercerá, sobre una superficie reflejante que se oponga normalmente a su paso, una presión, según la ley de Maxwell y Bartoli, igual al producto de la densidad de energía por uno más el coeficiente de poder reflector de la superficie, lo que nos da:  $Z = W s (1 + \rho)$ , siendo  $W$  la energía por unidad de volumen,  $s$  la superficie sustentadora y  $\rho$  su poder reflector.

Suponiendo que la superficie sea un espejo perfecto y que la radiación llegue normalmente a ella, se obtendría, aproximadamente, una dina por metro cuadrado, o sea, un kilo por kilómetro cuadrado. No podemos tampoco, por ahora, espe-

rar grandes aplicaciones prácticas de la sustentación aeronáutica por medio de la energía radiante.

En este caso, el factor correspondiente al medio ambiente es su densidad de energía  $W$ , de dimensiones  $L^{-1} M T^{-2}$ , y el correspondiente a la aeronave es el producto de su superficie  $s$  por  $(1 + \rho)$ , cuyas dimensiones son  $L^2$ .

Y nos queda por analizar el último procedimiento, el número 4, en el que se prescinde en absoluto del medio ambiente, creándose la aeronave con sus propios medios.

En éste, la fuerza sustentadora está originada por la proyección, fuera de la aeronave, de una masa continua con una cierta velocidad, y su valor es igual a la cantidad de movimiento de la masa  $m$  proyectada por unidad de tiempo:

$$Z = m v$$

La proyección de esta masa, con esta velocidad, representa un trabajo por unidad de tiempo, o sea, una potencia:

$$P = \frac{1}{2} m v^2$$

lo que nos permite expresar la sustentación  $Z$  en función de la potencia y de la velocidad de proyección en la fórmula siguiente:

$$Z = 2 \frac{P}{v}$$

o en función de la masa proyectada por unidad de tiempo:

$$Z = \sqrt{2 m P}$$

Si el trabajo de proyección está obtenido de la energía química de la propia masa proyectada, y si llamamos  $j$  a la cantidad de energía almacenada por unidad de peso de esta masa y  $\rho$  la parte proporcional de ella que se aprovecha para la sustentación, se obtiene esta otra expresión:

$$Z = m g \sqrt{2 \rho \frac{j}{g}}$$

Cuando la sustentación por reacción se utiliza únicamente para sostener el peso de la aeronave,  $m g = \frac{dZ}{dt}$ , valor que, sustituido en la fórmula anterior e integrado, da:

$$t = \sqrt{2 \rho \frac{j}{g}} \log. nep. \frac{G_0}{G_1}$$

siendo  $G_0$  y  $G_1$  los pesos de la aeronave en el momento inicial y al cabo del tiempo,  $t$ .

$j$  tiene un valor de 1.352 kilómetros para la mezcla oxhídrica líquida, y si suponemos que el peso de la aeronave vacía sea la milésima parte del total, el tiempo que podría mantenerse en el espacio sería, aproximadamente, de  $\sqrt{\rho}$  horas, o sea, de media hora para  $\rho = \frac{1}{4}$ . Utilizando el hidrógeno atómico, cuyo  $j$  es 20.604 kilómetros, el tiempo resultaría unas cuatro veces mayor.

Estas cantidades, y las condiciones necesarias para alcanzarlas, aún están lejos de permitir un empleo práctico para la navegación aérea de esta clase de propulsores; pero

anuncian la posibilidad de que los progresos de la técnica lleguen algún día a dar la solución completa a la navegación aérea, y aun a la extraaérea, por medio de la propulsión de reacción. Así lo indican, también, los vuelos realizados por Opperl en avión impulsado por reacción, y la notable experiencia hecha recientemente por Tilling en el aeródromo de Tempelhof, en que un cohete ha alcanzado 800 metros de altura, hecho que se considera como “el primer paso hacia el infinito”, y que seguramente pronto será seguido por otros de mayor importancia.

Únicamente, mediante un profundo dominio de la Química para determinar la constitución de los explosivos más aptos para esta clase de propulsores; de las Teorías molecular y atómica para tratar de aprovechar, hasta el límite, todas las fuentes de energía por recónditas que estén; de la Termodinámica para estudiar el mejor rendimiento en el aprovechamiento útil de la energía disponible y la forma del tubo Laval, eyector de los gases producto de la explosión; de la Metalurgia, para fijar las condiciones y tratamientos de los metales que han de constituir el propulsor con las elevadísimas temperaturas desarrolladas en él; y de la multitud de las demás ciencias auxiliares, puede aspirarse a colaborar en el progreso de esta parte, la más prometedora y sugestiva, de la Aeronáutica.

Y si, merced al avance conseguido, se llegase, por una propulsión continuada hasta las regiones en que la resistencia del aire prácticamente desaparece, a alcanzar la velocidad de 11.178 metros por segundo de liberación de la ac-

ción de la gravedad, y aún más, la de 11.800 metros que, efectuándose la propulsión en el Ecuador con dirección Este y a media noche, bastan para lograr la liberación de la atracción solar; asombra pensar las perspectivas de fascinadora maravilla que se ofrecerán a la Aeronáutica, extrapolada hasta convertirse en Astronáutica, y los recursos que tendrían que proporcionarle las ciencias para resolver los múltiples problemas de la navegación extraterrestre, de orden físico, fisiológico y astronómico, entre ellos el famoso de los tres cuerpos, y, especialmente, el de su caso particular el problema llamado “del asteroide”, análogo al ofrecido por el movimiento de la “astronave”—según el término habitualmente adoptado—sometida a la doble acción del Sol y del astro origen o término del viaje. Este problema, aun reducido a su mayor simplificación, que es el del punto sometido a dos centros de atracción, y utilizándose las coordenadas elípticas, presenta una complicación extraordinaria. Todavía nos podríamos dejar arrastrar por la seducción del “más allá” del campo de la Aeronáutica, y suponer el caso en que el hombre llegue al aprovechamiento de la energía interatómica, o quizá a la de desintegración de la materia, en que *j* llega a valer cuatro billones y medio de kilómetros; entonces las velocidades alcanzadas serán próximas a la de la luz, la curvatura del continuo espacio-tiempo se haría sentir en todos los problemas físico-químicos y fisiológicos de la navegación extraterrestre y ya los recursos de la Matemática y de la Mecánica clásicas serían insuficientes y habría que recurrir al auxilio del Cálculo tensorial, de las

Geometrías no euclídeas, y de más de tres dimensiones, y de la Mecánica del espacio tiempo que rige en el conjunto del Cosmos...; y, perdonadme, señores Académicos, esta derivación transversal que me ha traído fuera del tema de la Aeronáutica, que a su vez lo es de la ciencia de la locomoción.

\* \* \*

No sería justo limitarse en este trabajo a citar el auxilio que la Aeronáutica recibe de las Ciencias sin hacer mención de la valiosa ayuda que a las Ciencias devuelve la Aeronáutica.

La aplicación de la navegación aérea al progreso de la Meteorología, explorando las condiciones físicas del aire a las diferentes alturas que el observador podía alcanzar a bordo de su aeronave, es tan antigua como la propia Aeronáutica; pero hasta fines del pasado siglo no se organizó metódicamente esta cooperación de la Aeronáutica a la ciencia meteorológica con la aparición de la Comisión Internacional de Aerostación Científica, en cuyos trabajos tomaban parte aeronautas de casi todas las naciones, entre ellas España.

En toda Europa se efectuaban, a horas fijas en la primera semana de cada mes, sondeos aéreos por medio de globos tripulados, provistos de un completo instrumental meteorológico, que se elevaban hasta cinco o seis mil metros; globos sondas dotados de meteorógrafos registradores

que recogían los datos aerológicos hasta alturas de 40 kilómetros, y de globos pilotos que, seguidos desde tierra con teodolitos, proporcionaban los datos anemométricos a diferentes alturas.

Los resultados de todas estas observaciones simultáneas eran reunidos en la oficina central, y del estudio de su conjunto ha nacido la moderna Meteorología dinámica.

La guerra destruyó en 1914 esta valiosa organización, que aún no ha sido reproducida, aunque en muchos países continúa asiladamente la cooperación estrecha entre la Aeronáutica y la Meteorología, utilizando para ello sondeos atmosféricos diarios efectuados en avión, además de los globos sondas y pilotos habituales en todos los observatorios meteorológicos, efectuados con tal profusión en algunas naciones que han permitido la publicación de los mapas aerológicos de las altas capas de la atmósfera en ciertas regiones, como las "*Upper Air Pilots Charts*", de los Estados Unidos.

Un defecto tenía la cooperación aeronáutica a la Meteorología, que era la dificultad de emplearla en las grandes perturbaciones atmosféricas, precisamente cuando más interesante era la exploración. Este defecto ha desaparecido con la Aviación sin motor por medio del vuelo a vela, que aprovecha para lanzarse al aire los momentos en que una depresión intensa, una tempestad, produce las más violentas corrientes ascendentes, que permiten a la débil navecilla aérea dejarse elevar por el viento, como una hoja seca, pero obedeciendo al mando de su piloto, que acompaña a

la nube tormentosa, sumergido en su seno, durante el recorrido de la depresión. Esto ha permitido la obtención de datos preciosísimos recogidos dentro de los nimbus, desde su base hasta su penacho de falsos cirrus, acerca de los componentes vertical y horizontal del viento, temperatura y demás condiciones físicas que pueden ser obtenidas a bordo de estos livianos aviones veleros que prefieren y buscan el *storm-flight*, el vuelo en la tormenta, tan temido por las grandes aeronaves.

La contribución de la Aeronáutica a las Ciencias físicas es también importantísima y decisiva en algunos casos; cada aeronave, volando por la propulsión de su motor en unas condiciones atmosféricas que no son las habituales de la experimentación en tierra, puede ser considerada como un laboratorio de investigación en que se revelan constantemente propiedades físicas del medio ambiente, respecto a sus cualidades aerodinámicas, termodinámicas, como comburente, etc.; y estas observaciones serán tanto más interesantes cuanto a mayor altura sean hechas. El profesor Piccard, con sus dos ascensiones a 16 kilómetros de altura, o sea, a cinco kilómetros dentro de la estratósfera, ha podido contribuir poderosamente al progreso de la Física determinando la composición, temperatura, humedad, potencial eléctrico, conductibilidad y movimiento del aire en aquellas regiones en que su presión se ha reducido a la décima parte de la que soportamos en nuestra vida corriente. Al mismo tiempo, la medida de la conductibilidad del aire en las diferentes alturas, hasta la alcanzada en esas dos ascen-

siones, indica su grado de ionización producido por las radiaciones que penetren la atmósfera hasta llegar a la capa considerada, las telúricas, de abajo a arriba, y las cósmicas, de arriba a abajo, además de la solar. La ley de repartición encontrada demuestra la procedencia cósmica de la radiación ultrapenetrante de Millikan, confirmando las experiencias efectuadas a diversas profundidades dentro del agua, y da idea de la intensidad de esta radiación fuera de la atmósfera.

La Astronomía ha recibido también valiosas aportaciones por parte de la Aeronáutica, sobre todo en las observaciones de los eclipses de sol verificadas a bordo de aeronaves en las capas elevadas de la atmósfera, y de ellas, creo que las más completas y fecundas en resultados fueron las verificadas en Burgos durante el eclipse total de Sol de 1905, a bordo de tres globos libres que se elevaron a alturas de cuatro o cinco mil metros. Se efectuaron observaciones espectroscópicas y espectrográficas de la corona solar y del *flash*, meteorológicas del aire, bajo la influencia de la sombra lunar, se pudo marcar la posición de ella en momentos determinados en el amplio horizonte que ofrecía el elevado observatorio de que disfrutábamos, se dibujó la figura de la corona solar a aquella altura, y se obtuvieron fotografías de ella, que correspondían exactamente a los dibujos y fotografías obtenidos en tierra, comprobándose que la atmósfera terrestre no influye para nada en el aspecto de la corona, y se estudió el fenómeno de las sombras volantes sobre una pantalla blanca colgada de la barquilla del globo

en que tomé parte de aquellas ascensiones. Las bandas de sombra aparecieron, a aquella altura en que la atmósfera interpuesta entre el Sol y el observador se reducía a la mitad, como franjas unas siete veces más estrechas que las observadas en tierra, pero conservando su orientación y sus movimientos, lo que demostró de un modo decisivo el origen atmosférico debido a interferencias en las capas de aire de distinto índice de refracción, que tiene este curioso fenómeno hasta entonces de naturaleza desconocida.

Al mismo tiempo, y aparte del interés científico de aquellas ascensiones, el cielo, que aparecía de un color azul oscuro, tachonado de estrellas, rodeando la deslumbradora corona solar que orlaba al disco negro de la luna, en el centro de la mancha suave de la luz zodiacal, y la inmensa extensión del horizonte visible, cubierto en parte por un mar de nubes, todo él iluminado por una macilenta luz violeta excepto los términos lejanos, situados fuera de la sombra lunar, en que brillaba la luz del día, todo ello ofrecía el espectáculo más maravilloso que puede imaginarse y que nunca se borrará de la memoria de los que participamos en aquella primera aportación de la Aeronáutica a la Ciencia astronómica.

Otras muchas contribuciones científicas de la Aeronáutica podrían citarse, por ejemplo, a las ciencias naturales, haciendo progresar la geografía por la exploración efectuada en las eficaces condiciones que ofrece la observación desde una aeronave, lo que ha permitido rectificar errores de cartografía y de orografía por el dirigible *Graf Zeppelin*

en sus extensos viajes por terrenos no bien conocidos aún, como la tundra siberiana, la Cordillera de Kubel, en el Extremo Oriente, las Islas de Nueva Zembla y Francisco José, en el Artico, y tantos otros; la observación aeronáutica ha permitido también determinar fácilmente la configuración geológica del suelo por la distribución de las diferentes capas, distinguiéndose claramente cuáles son accidentes orográficos debidos a la naturaleza y cuáles son los debidos a la mano del hombre, aunque procedan de épocas remotísimas, lo que es imposible o muy difícil de efectuar desde el mismo suelo; asimismo, la Aeronáutica proporciona el medio rápido de determinar, como cooperación a las ciencias biológicas, la distribución de las zonas de vegetación y su vigilancia para impedir la propagación de los incendios forestales, la presencia de gérmenes orgánicos a las diferentes alturas de la atmósfera y sobre las distintas regiones, los efectos fisiológicos de las condiciones físicas de las altas regiones del aire en el cuerpo humano y en los animales, o los producidos por las aceleraciones verticales prolongadas; y, finalmente, hasta a las Matemáticas devuelve la Aeronáutica la ayuda que para su progreso recibe de ellas, proporcionando medios para la resolución de algunos problemas cuyo planteamiento puede ser facilitado por una experimentación previa.

Como ejemplo de este caso citaré una ascensión en globo libre efectuada por tres ilustres miembros de la Sociedad Matemática Española, uno de ellos el Sr. Terradas, que también lo es de esta Academia, a los que me correspondió el

honor de acompañar como piloto; ascensión que tuvo por objeto estudiar prácticamente la oscilación de una cuerda de gran longitud para deducir consecuencias que facilitarán la resolución matemática del problema del péndulo continuo, cuyo planteamiento analítico en su caso general ofrece dificultades que parecen insuperables.

\* \* \*

Y termino, señores Académicos, creyendo haber demostrado que si mi preparación científica es a todas luces insuficiente para corresponder al honor que me habeis conferido, aun limitándola a la de un especialista en Aeronáutica, que supongo es lo que habeis visto en mí al designarme como colaborador vuestro, no es únicamente culpa de mi incapacidad: es también debido a que no hay conocimiento humano que no esté relacionado con la navegación aérea, y pretender que una persona sepa Aeronáutica es equivalente a exigirle que domine todas las ciencias.

Por esto, ya que no puedo ofrecerles ningún bagaje científico, ni siquiera en Aeronáutica, que pueda seros de utilidad, únicamente pongo a vuestra disposición el fruto que pueda haber recogido en treinta largos años de práctica aérea, y una voluntad, a un elevadísimo voltaje, para dedicar, en la cooperación a vuestros trabajos, la totalidad de los escasísimos *culombios* de carga científica almacenados en los aún más escasos *microfaradios* de mi capacidad intelectual, al estudio y a la experiencia de los fenómenos fís-

cos en los que la teoría y la práctica de la Navegación aérea se basan, según el lema de la Academia de Ciencias francesa: *Naturæ investigandæ et perficiendis artibus*, valiéndome de los medios que tan precisa y concisamente expone en el suyo la Academia de Ciencias española: OBSERVACION Y CALCULO.

HE DICHO.

DISCURSO DE CONTESTACIÓN

DEL EXCMO. SEÑOR

D. JOSÉ MARVÁ Y MAYER

SEÑORES ACADÉMICOS:

Cúmpleme el grato honor de ostentar vuestra representación para dar la bienvenida al nuevo compañero cuya recepción hoy celebramos. Viene llamado por nosotros para ocupar la vacante que en esta Academia ha dejado nuestro inolvidable colega el General Aranaz, el químico ilustre que con su ciencia, con su trabajo de investigación, con su ingenio poderoso, supo enriquecer el campo de los conocimientos humanos escudriñando en su mesa de trabajo y en el laboratorio los secretos de la energía que, almacenada en inestables edificios moleculares, se derrumba desbordándose en oleadas de luz, calor y movimiento, arrolladoras de todo cuanto se oponga a su paso; ya sembrando la muerte cuando van dirigidas por el odio del que ataca o por la necesidad del que se defiende en las luchas de que los hombres aún no han alcanzado la perfección que les redima, ya destruyendo obstáculos para abrir nuevos caminos por donde se establezcan lazos de amistad y de progreso.

Dura es la tarea que se presenta ante Herrera, como él mismo reconoce en la disertación que os acaba de exponer

para ocupar dignamente el puesto de su predecesor en esta casa; su voluntad, según nos ha manifestado, está dispuesta a ello y debemos esperar que su labor en esta Academia corresponderá a sus esfuerzos. En esta confianza le hemos elegido.

También es Herrera hombre de estudio y de laboratorio, aunque su trabajo de investigación no se ha orientado hacia la violencia de los desquiciamientos intermoleculares sino, principalmente, hacia el suave fluir de las corrientes en que esas moléculas se ven arrastradas, rodeando y acariciando los obstáculos que encuentran, sin destruirlos, en armónicos vórtices engendradores de fuerzas que el hombre utiliza para salvar montañas y océanos y escalar los cielos.

Nos ha hablado Herrera de su irresistible tendencia a salirse del camino trillado que le ofrecen las ciencias, para extraviarse en la exploración de los alrededores. Evidentemente, esto es un grave defecto, sobre todo en estos modernos tiempos en que impera el utilitarismo. Un buen conductor, lo mismo cuando guía su vehículo sobre ruedas por una carretera, que al orientar su actividad por el camino de la vida, debe llevar puesta siempre su atención al frente sin distraerse con lo que haya o pueda haber a los costados. Transversalmente a la carretera se presentarán vistas agradables, hasta panoramas maravillosos, pero la finalidad práctica y útil del viaje está allá delante, sobre la misma carretera, y allí conviene llegar cuanto antes. Toda desviación de la atención representa, por lo menos, una pérdida de tiempo y puede acarrear el fracaso de la excursión.

Los que, como Herrera, sienten la tentación transversal de los alrededores y se dejan arrastrar por ella no podrán nunca ser buenos “conductores”, sino solamente “exploradores”, y en este sentido pueden dar a veces resultados utilizables. Herrera, dejándose llevar por esta tentación concibió en 1915 una hipótesis tetradimensional de constitución del Universo que publicó en el *Memorial de Ingenieros del Ejército* y presentó a esta Academia. En ella se contenían y se deducían principios y consecuencias atrevidísimas que la ciencia de entonces no podía considerar seriamente, como la aplicación de la geometría de cuatro dimensiones a la mecánica y a la física, la curvatura general del espacio y la de los campos gravitatorios, de lo que se deducía la desviación del rayo luminoso al atravesarlos; la limitación del volumen total del Universo, la inexactitud de la ley de gravitación de Newton, la inexistencia de las fuerzas, que quedaban reducidas a un efecto de la inercia al obligar a los cuerpos a seguir líneas geodésicas dentro del espacio curvo, y otras ideas todas ellas heréticas, dignas de figurar en el índice de la ciencia clásica. No obstante esto, la Academia le otorgó un laudatorio informe, reconociendo la base científica de su trabajo.

Un año después, Einstein, basándose en consideraciones totalmente distintas de las de Herrera, llegaba a las mismas conclusiones en su teoría de la relatividad generalizada que, en 1919, lograron brillante comprobación experimental al apreciarse la desviación del rayo luminoso por

el campo gravitatorio solar, y hoy son universalmente admitidas.

\* \* \*

También, por efecto de la misma tendencia a desviarse del camino habitual seguido por cada orden de conocimientos, Herrera comenzó en 1917 a preconizar, no sólo la posibilidad, sino el rendimiento práctico del empleo de los grandes dirigibles para líneas de comunicaciones entre Europa y América, idea considerada como fantasía irrealizable hasta que el *Graf Zeppelin*, catorce años después, le ha dado confirmación plena con sus viajes regulares y a fecha fija entre Alemania y el Brasil.

Y dentro ya del campo de la Aeronáutica, especialidad a la que Herrera ha dedicado su vida desde sus primeros pasos en la Ingeniería militar, ha realizado obras, no desviándose del camino señalado, sino avanzando por él para contribuir a su progreso; y así ha proyectado y construído el primer y único laboratorio aerodinámico que existe en España, cuyo túnel, en el año 1921 en que quedó terminado, era el mayor del Mundo, con sus tres metros de diámetro, 700 caballos de potencia y 195 kilómetros por hora de velocidad de viento; es autor también de una obra sobre Aerotécnica, de texto en las Escuelas de Aviación militar y de Ingeniería aeronáutica de España y en algunas Repúblicas de América, como Méjico y Perú; patentó en 1920 el sistema telescópico de postes de anclajes para globos dirigibles

que ahora se emplea en los aeropuertos norteamericanos y, en el año que transcurre, una regla de cálculo para aviones, mediante la cual cualquier persona puede, con la mayor sencillez, resolver problemas relativos a la determinación de la velocidad, peso, potencia, superficie, alas, techo, etc., de un avión, que sin ella sólo estarían al alcance de los muy versados en ingeniería aeronáutica.

\* \* \*

En su discurso nos ha expuesto nuestro nuevo compañero, bajo el lema "Ciencia y Aeronáutica", una rápida visión de cómo por la ciencia puede llegarse a las alturas, y cómo desde las alturas puede auxiliarse a la ciencia, pasando revista a todos los procedimientos que puede imaginarse el hombre para encontrar una fuerza en qué apoyarse en el espacio. Unos, como el aerostático y el aerodinámico, ya en pleno período de aplicaciones prácticas que han permitido la realización de esas naves asombrosas que surcan el océano aéreo transportando centenares de toneladas de peso en una sola de ellas; que recorren de un vuelo la cuarta parte de la circunferencia terrestre; que como un mundo aparte permanecen navegando por el espacio durante semanas enteras sin contacto con nuestro planeta; que penetran en las profundidades del cielo a alturas mucho más allá de las fronteras del imperio de las nubes; que surcan la atmósfera como cuerpos meteóricos con velocidades que ya rivalizan con la de la onda sonora. Y estos hechos admirables no constitu-

yen el límite de las posibilidades; muy por el contrario, la técnica aeronáutica actual, sin necesidad de nuevos progresos, posee recursos suficientes para superarlas hasta términos que se pierden en el horizonte de la previsión, y a cuya realización solamente se oponen las dificultades de orden económico, las eternas trabas que atan al prosaico suelo las alas de las aspiraciones humanas en su afán de superación. Lord Byron ha dicho: "*Ready money is Aladin's lamps.*" ¡Qué maravillas crearía la ciencia aeronáutica actual si contara con el auxilio de la mágica luz de esta lámpara!

Los demás procedimientos analizados por Herrera en su discurso aún no han dado ningún fruto utilizable por la Humanidad. La técnica es, hoy día, absolutamente incapaz, aunque pudiera valerse de la áurea lámpara citada por el poeta inglés, de crear aeronaves que se sostengan apoyadas en el campo magnético terrestre, en la carga eléctrica del aire o en la energía radiante que atraviesa la atmósfera; existe, sí, en todos estos procedimientos un germen de rendimiento; pero está tan remota su fructificación para ser aprovechada, que no merecen más estudio que como meras curiosidades fisicomatemáticas.

\* \* \*

Sin embargo, entre estos procedimientos de navegación aérea, aun no utilizados, existe uno de excepcional importancia en el cual converge la atención de los técnicos aeronáuticos en la actualidad. Este es el de la propulsión por

reacción. Sus principios fundamentales son conocidos y experimentados desde muchos años antes de la Era Cristiana en la “eolípila” ideada por Herón de Alejandría y en los cohetes incendiarios, impulsados por sustancias explosivas utilizadas por los chinos. Este procedimiento también produjo el corto vuelo del caballo Clavileño, que en la imaginación de su tripulante Sancho alcanzó caracteres astronáuticos, y en él tienen puestas sus esperanzas los técnicos soñadores de hoy, cuya imaginación se desborda de los límites del planeta en que habitamos e intentan escalar las rutas del infinito por medio del cálculo y la experimentación —*per aspera ad astra*—, siguiendo las palabras que también Virgilio pone en boca de Apolo en el libro IX de su “Eneida”: *Sic itur ad astra*.

Pero existe otra aplicación del procedimiento basado en la propulsión por reacción, no tan sugestiva ni fascinadora como la “astronáutica”, pero más inmediata y, probablemente, más útil a la Humanidad, que es la “estratonáutica”, la navegación aérea en la región estratosférica de la atmósfera, libre de las perturbaciones de convección originadas por el calor terrestre y dentro de un medio ambiente diez o más veces menos denso que el aire que respiramos. En estas condiciones, el transporte aéreo desde un punto a otro de la Tierra exigiría, aproximadamente, el mismo trabajo total, la misma cantidad de energía empleada, que si se hiciera al nivel del mar, puesto que siendo análogo el rendimiento aerodinámico del avión a cualquier altura de vuelo, por depender solamente de su forma geométrica y no del medio ambiente, a

igualdad de peso corresponderá igual esfuerzo de propulsión, lo mismo al nivel del mar que en la estratosfera, y a igualdad de propulsión y de camino recorrido resultarán cantidades de trabajo iguales, pero con la inmensa ventaja de que las velocidades alcanzadas serán inversamente proporcionales a las raíces cuadradas de las densidades del medio ambiente en que se efectúe la navegación, por lo cual es de esperar obtener en el vuelo estratosférico una rapidez de transporte de tres a cuatro veces superior a la habitual en las líneas aéreas actuales, sin que el máximo radio de acción, que ya llega a los 10.000 kilómetros, disminuya sensiblemente. Así, viajes de Madrid a Buenos Aires en doce horas, o de París a Nueva York en seis, pueden ser una realidad en cuanto el problema de la propulsión en la estratonáutica esté resuelto, y, desde luego, el procedimiento más indicado parece ser el propulsor de reacción.

\* \* \*

Asombra pensar la transformación que en la vida de la Humanidad ha de operarse el día en que la Tierra quede cubierta de una red de líneas aéreas cuyas aeronaves transporten pasajeros, correos y carga a velocidades del orden de los 1.000 kilómetros por hora, lo que permitirá viajar indefinidamente siguiendo el paralelo de Berlín con detención del tiempo solar, realizando, con el auxilio de la Ciencia y de la Aeronáutica, el prodigio sobrenatural que dió la victoria a Josué ante los muros de Gabaón. A latitudes mayo-

res, los pasajeros de la estratonave retrocederían en la hora solar durante su navegación, invirtiéndose para ellos el movimiento de la bóveda celeste.

La Tierra, por las distancias que separan, unos de otros, a sus habitantes, se habría reducido a la cuarta parte con relación a la época actual; y a la centésima parte respecto a las comunicaciones de hace un siglo, las barreras naturales que interceptan las comunicaciones entre los pueblos desaparecidos en absoluto. ¿Cómo podrían entonces subsistir las barreras artificiales, las fronteras que los hombres han establecido, dificultando el desenvolvimiento y la armonía en la gran familia humana?

Se puede afirmar que la resolución del problema de la navegación estratosférica será la cumbre de la obra de la Aeronáutica, que proporcionará a la Humanidad la plenitud de los beneficios que esta rama de la ciencia puede ofrecerle. Quizá para esta época las dimensiones de la Tierra resultarán tan excesivamente reducidas con relación a las posibilidades y capacidad de los conocimientos del hombre, que deba pensar entonces en el "más allá" de la Aeronáutica, en la navegación extraterrestre; pero ésta, que entonces será una extrapolación inmediata y, por tanto, razonable, constituye ahora una extrapolación remota y, como tal, aventurada y más perteneciente al dominio de la fantasía que al de la ciencia.

Tales son los beneficios que la ciencia, por intermedio de la Aeronáutica, puede proporcionar a la Humanidad, fuente, a su vez, de la ciencia; pero este ciclo es reversible,

como nos expone Herrera en su discurso, y al mismo tiempo que del ser humano nace la corriente de energía psíquica en forma de conocimientos científicos, que, aplicados a la navegación aérea, redundan en medidas de progreso físico para provecho del propio hombre que los creó, también el hombre, valiéndose de los medios de actividad física que le permite la Aeronáutica, perfecciona la corriente de energía psíquica que viene a enriquecer el caudal de conocimientos científicos que atesora en su cerebro.

La Aeronáutica, pues, actúa como un acumulador reversible que recibe ciencia y produce navegación aérea, y al mismo tiempo, partiendo de la navegación aérea, produce ciencia. ¿Qué caudal de ciencia necesita la Aeronáutica para producir su rendimiento en navegación aérea? Ya nos lo ha indicado Herrera: la Aeronáutica exige el empleo de todas las ciencias, desde la más en contacto con la prosa de la aplicación material hasta la más elevada en la poesía de la idea pura; de cada una de ellas va libando el polen que ha de germinar después en esas maravillas mecánicas que surcan el cielo.

\* \* \*

¿A qué ciencias resultan aplicables las posibilidades que ofrece la navegación aérea para su desarrollo? También, según nos manifiesta Herrera, sería difícil encontrar un orden de los conocimientos humanos que no tenga nada que esperar de la cooperación proteica que pueda ofrecer la Ae-

ronáutica. La navegación aérea no puede ser tachada de absorbente; por el contrario, si unas veces exige para desarrollarse una cooperación intensísima de la ciencia, en otros casos, en cambio, puede decirse de ella que devuelve ciento por uno.

Herrera ofrece sus conocimientos y su práctica en Aeronáutica para aprovecharlos en la labor científica de esta Academia; y del mismo modo nuestro nuevo compañero podrá adquirir en sus trabajos en ella nueva base científica aplicable a la práctica de la navegación aérea, cerrando de este modo el ciclo reversible como tesis de su discurso y que conduce de la Ciencia a la Aeronáutica y de la Aeronáutica a la Ciencia.

\* \* \*

La navegación aérea es conocida, más que por otras aplicaciones, por las militares, como terrible arma de destrucción. Los pueblos ya no se pueden creer seguros por sus líneas de fortificación, por las defensas naturales de abruptas cordilleras o de mares limítrofes. Hoy están amenazados por los terribles bólidos que la industria humana puede lanzar desde las regiones donde se forja el rayo. Pero, si bien es cierto que la ciencia aeronáutica es utilizable en aplicaciones guerreras, de destrucción, justo es consignar que ha prestado y puede prestar eminentes servicios a la ciencia en general y a las fructuosas artes de la paz para bien del progreso humano.

La Aeronáutica ha sido, desde sus primeros pasos, excelente auxiliar de la meteorología, ya que mediante su concurso las observaciones atmosféricas, limitadas antes a las capas inferiores, han podido extenderse a las más elevadas e inaccesibles regiones. Así han podido realizarse importantes estudios de las corrientes aéreas, de temperaturas en función de la altura, de la existencia de una capa isotérmica, y obtener preciosos datos acerca del estado higrométrico, magnetismo, electricidad y composición del aire, forma de las nubes, auroras boreales y lo que podría llamarse la fisiología de las altitudes. Sin olvidar que la navegación aérea es un importante instrumento de transporte que ha de poner los diversos puntos del planeta en comunicación directa, sin sujetarse a los sinuosos trazados de carreteras y ferrocarriles, impuestos por montes y ríos; sin someterse a horarios e itinerarios; sin subordinar su ruta, como los barcos, por las costas, estrechos y canales; alcanzando, en fin, la independencia en tiempo y la libertad en movimiento sin trabas de aduanas y fronteras.

Vindiquemos, pues, a la ciencia aeronáutica de lo que pudiera ser espectro de la muerte y miremos tan sólo lo que puede ser, en cuanto a la más elevada expresión de la vida: el hada milagrosa que nos inunda con el raudal de todos los bienes. Porque así como el curso de la vida se encauza entre contrastes de luz y sombra, de salud y enfermedad, de primavera y de rigores invernales, así la ciencia, pródiga y fecunda, camina entre cortejos de llantos y alegrías, y entre-

ga el instrumento de acero sin ser responsable de que se esgrima como bisturí que cura o como puñal que mata.

La locomoción aérea proporcionará fecundo auxilio a la Geografía, a la Física del Globo, a la Astronomía y a la Fisiología; causará honda transformación en las costumbres, en las condiciones de la existencia. Y cuando la Humanidad llegue al más alto grado de sorprendente civilización y se remonte y se sublime hacia las alturas de donde viene la luz, aproximándose a Dios y contemplando más de cerca la Obra pasmosa de la Creación, podrá gozar de la armonía de los seres en la armonía del Mundo, y acaso abomine de los rencores que nos ensangrientan, y acaso encuentre la clave de la confraternidad universal en el inagotable y libérrimo disfrute del espacio, obtenido por resueltos avances hacia la definitiva y redentora conquista del aire.

¿Se alcanzará este bello ideal?

En materia de progresos de la ciencia, es prudente admitir en principio toda posibilidad, guardarse de toda negación, porque lo que parece imposible pudiera llegar a ser realizable. En todos los órdenes de las conquistas del entendimiento, la utopía de hoy suele ser la realidad de mañana.

HE DICHO.