



Las matemáticas y la operación de aviones civiles

JOSE FERNANDEZ-COPPEL LARRINAGA

Una noche tranquila y el moderno reactor comercial hace tiempo que navega a su nivel de crucero. Un pasajero solicita visitar la cabina de mando. El curioso viajero consigue su propósito y se sitúa ante un espectáculo que no había observado nunca, detrás del grueso parabrisas contempla una imagen inédita de la naturaleza y dentro del habitáculo otra totalmente tecnológica, dominada por el número. En el reducido espacio donde se encuentra nada parece estar quieto, una miríada de algoritmos varían sin descanso, círculos, triángulos y vectores oscilan, giran, cambian su intensidad como si estuvieran vivos formando juntos una futurista escena de símbolos matemáticos.

La mente de este singular visitante no es una mente cualquiera; está especialmente dotada para las matemáticas. Se trata de un astrofísico y su disciplina también incluye la curiosidad. Sabe, por la información del comandante, que la enorme aereo-

nave se desplaza a 900 km/h sustentándose en una tenue y gélida zona de la alta atmósfera.

Mientras observa, cae en la cuenta de lo inútil de sus sentidos para percibir tal velocidad o para distinguir el ambiente artificial que le rodea del de un hotel de 5 estrellas, preso de curiosidad, en busca de referencias, se zambulle en el océano de instrumentos. Para este científico, el panel de la cabina es una extraña herramienta de trabajo donde, apenas la vieja rosa de rumbos de los navegantes, le resulta familiar.

Inesperadamente en medio de tanto aparejo matemático, sobre un pulsador de control encuentra rotulado un nombre que le es muy familiar: MACH, y no acierta a comprender por qué se honra en una cabina a uno de sus héroes del conocimiento. Enseguida vienen a su memoria las investigaciones del gran Ernst Mach a finales del XIX. Recuerda sus tempranas descripciones del movimiento su-

persónico, la barrera del sonido y el tren de ondas de choque asociadas. Tras este descubrimiento, nuestro hombre toma conciencia de que viaja a bordo de un verdadero proyectil e imagina la maquina que lo contiene, desafiando con el morro los límites físicos de una atmósfera impredecible y otras fuerzas como la gravedad que ni el conocimiento de un astrofísico sabría explicar con certeza.

Fuerza de gravedad, inercia, movimientos giroscópicos, barrera del sonido o fronteras térmicas; que más da superar un concepto u otro. Nuestro peculiar pasajero sabe que la física se construye con lenguaje matemático, y este es el mismo idioma que ha permitido el desarrollo de la aviación.

Al contrario que el astrofísico, no es necesario que el piloto sea un consumado matemático, sin embargo, en su preparación profesional las matemáticas son básicas y sus aplicaciones continuas.

Los modernos medios de comunicación y, en especial el transporte aéreo, han encogido nuestra percepción del globo terrestre hasta convertirlo en la denominada aldea global donde las distancias no son un obstáculo.

El desplazamiento de masas por vía aérea constituye un servicio esencial en las sociedades desarrolladas, una actividad que hoy sufre problemas de saturación, de gran pugna comercial y también medioambientales. En esta encrucijada de la aviación comercial moderna altamente competitiva, altamente congestionada, se requiere de los pilotos la toma de decisiones con suma rapidez, en ocasiones bajo gran tensión. El piloto se desenvuelve en un escenario de últimas tecnologías en el que cada instrumento le muestra resueltos problemas matemáticos específicos, algunos muy complejos.

Las altas velocidades a las que se desarrollan las operaciones de vuelo requieren la presentación de datos fiables e instantáneos, no puede dudarse de los cálculos, de la información por sencilla que ésta sea.

Hoy día, en la cabina de un moderno reactor comercial, no sólo se manejan datos matemáticos que afectan a las actuaciones, centrado, estabilización, guiado, control de vuelo o navegación. Los últimos diseños intro-

ducen el factor económico como un parámetro de primer orden en la operación de vuelo, se establece el concepto de gestión de vuelo, de tal manera que la maquina va a ser gobernada; "gestionada" de acuerdo a unos índices de costo que introduce el piloto en los ordenadores de abordó.

Ante esta necesidad de presentar al piloto un gran cúmulo de información nueva, las cabinas analógicas hace tiempo que alcanzaron su saturación, por no disponer de espacio a la hora de introducir sistemas adicionales.

La aviación, pionera en la aplicación y desarrollo de nuevas tecnologías está absolutamente integrada en la era digital. Actualmente, los complejos sistemas del avión gestionados electrónicamente, alivian la carga de trabajo de los pilotos permitiéndoles manejar sus aeronaves con seguridad en áreas de intenso tráfico o en situaciones de emergencia. Se ha convertido, pues, la operación de las modernas aeronaves en una interrelación hombre-sistema. El piloto ordena, supervisa la misión de una gran cantidad de elementos cibernéticos que se autogobiernan, resolviendo instantáneamente problemas de la más alta matemática.

Las demandas tecnológicas que, históricamente, han traído aparejada la operación de aviones, han constituido el motor que ha permitido el rápido desarrollo de algunas ramas de la ciencia.

El diseño de aeroplanos que puedan ser operados con garantías de eficiencia y seguridad exige técnicas y cálculos analíticos complejíssimos. Para conseguir llegar al actual estado de desarrollo ha si-



La moderna meteorología aeronáutica permite que las operaciones de aeronaves sea cada vez más segura.



El piloto se desenvuelve en un escenario de últimas tecnologías en el que cada instrumento le muestra resueltos problemas matemáticos específicos

do imprescindible recorrer un largo y balbuceante camino de teorías, algunas satisfactorias, otras desastrosas.

Aunque la teoría de la sustentación siempre estuvo ahí, poco empleo práctico pudo extraerse de las primeras formulaciones matemáticas basadas en Newton. La aerodinámica tuvo que esperar doscientos años y a JUKOWSKI para encontrar ecuaciones que explicaran satisfactoriamente la sustentación a los pilotos.

La aerodinámica, cuyos pasos fundamentales se han dado en la primera mitad de este siglo, permite hoy que teoría y práctica caminen juntos. El desarrollo de la aviación moderna nada tiene que ver con su épico pasado, hoy el mensaje póstumo del primer aviador de la historia Otto Lillenthal (Es necesario que haya víctimas) no tendría sentido. La ciencia aeronáutica ha adquirido tal grado de desarrollo que los pilotos de ensayos no prueban máquinas sin que éstas antes hayan demostrado virtualmente sus actuaciones gracias a los más potentes ordenadores.

Las alas de los modernos reactores comerciales tienen que operar recibiendo aire a velocidades cercanas a la velocidad del sonido, superando esta última en algunas zonas del extradós. El ala supercrítica ha sido posible después de intensos estudios aerodinámicos y pruebas. Con ellas es posible para velocidades tan altas de proyecto tener unos perfiles más gruesos, un mayor alargamiento y un menor ángulo de flecha; en resumen, en los modernos reactores los pilotos obtienen coeficientes de

sustentación más elevados, mejores actuaciones para sus aviones, tanto en crucero como en despegue.

Los vuelos diarios de la aviación comercial sólo se llevan a cabo, si los pilotos disponen de los datos necesarios para un despegue seguro. El cálculo de los parámetros de despegue y las limitaciones operativas de las grandes aeronaves resuelve diversos problemas matemáticos cuyo cálculo se facilita con sofisticados ábacos y ordenadores. Ábacos y calculadores agrupan familias de curvas representativas de las actuaciones del avión con: la altitud, características y estado de la pista, carga, presión,

temperatura y viento.

Para que la operación de vuelo no derive en un desastre, es necesario recurrir a otra rama de la física muy relacionada con la aerodinámica: la meteorología. Forzosamente el transporte aéreo es sensible a los cambios y variaciones del medio físico donde se desenvuelve. A pesar de los grandes avances en las operaciones aéreas, éstas siguen condicionadas por los fenómenos meteorológicos. La asistencia que presta esta joven rama de la física a los pilotos es de un valor inestimable. Se sabe que, establecer un modelo matemático que permita hacer predicciones meteorológicas aceptables, es un reto muy difícil por su enorme complejidad. Si bien la proliferación de estaciones, globos sondas, cohetes y satélites, unidos a los modelos climáticos estadísticos, hacen que la operación de aeronaves se realice bajo predicciones cada vez más fiables.

Es vital que un piloto conozca en profundidad la ciencia que describe los cambios en su especial medio de trabajo y los fundamentos matemáticos físicos que la sustentan, cambios que se pueden producir en todos los marcos de referencia posibles. La variedad de movimientos en la atmósfera parece no tener fin, todas estas perturbaciones afectan al vuelo ya sean las que se producen a pequeña escala, a escala continental e incluso las que comprometen las emisiones de radio cuya escala es nuestro sistema solar.

La observación de los fenómenos meteorológicos es tan antigua como el hombre. La aviación ha constituido un puesto de observación indispensable

para poder descubrir las leyes que rigen nuestra atmósfera.

Otra vez la teoría y experiencia siguen caminos complementarios, fueron necesarios los vuelos a gran altura para conocer los movimientos generales de la atmósfera y corrientes en chorro de hasta 350km/ hora. El piloto experimentado no solo sabe interpretar mapas sinópticos y curvas adiabáticas, ha de complementar sus conocimientos teóricos con los signos que le presenta la propia atmósfera durante el vuelo. Para los aviadores, leer el cielo constituye un verdadero arte cuyo máximo exponente es el vuelo en velero o ala delta. Con estas silenciosas máquinas, cuyo único motor es la atmósfera, los deportistas emulan a las aves realizando vuelos de duración y distancia inimaginables.

Pilotos y meteorólogos deben mucho a la reflexión de ondas de radio en las gotas de agua. Basado su principio de funcionamiento en cálculos cronométricos, los radares modernos son incluso capaces de darnos pistas sobre uno de los fenómenos que más inquieta a la meteorología aeronáutica actual, la cizalladura. Los radares constituyen los ojos del transporte aéreo. Con ellos, los pilotos son capaces de negociar los temidos cúmulo nimbos que fabrica la atmósfera.

En las operaciones aéreas saber dónde se encuentra la nave en cada momento constituye el cálculo matemático por excelencia. La navegación a lo largo de la historia ha estado íntimamente ligada a las ciencias exactas y los antiguos navegantes se encontraban entre los mejores matemáticos. Los

cálculos astronómicos han sido el fundamento de la navegación marítima y aérea a larga distancia hasta los años 50. Algunos famosos reactores comerciales como el DC-8, todavía operativos, incluían un sextante entre sus equipos de navegación.

Las matemáticas son muy evidentes en todo lo que rodea al problema de situación de la nave en cada momento. Centros astronómicos y matemáticos como el de Greenwich se crearon al servicio de la navegación marítima en el siglo XVI. La cartografía indispensable para la navegación trataba de resolver un problema matemático muy antiguo: representar en una superficie plana una forma esférica como es la Tierra. Ya los cartógrafos de Amberes abordaron este problema; fue Mercator quien estableció su famosa proyección de meridianos y paralelos perpendiculares. El problema de la navegación aérea se fue complicando a medida que las aeronaves consiguieron aumentar su alcance y velocidad.

Tiempo atrás, cuando los vuelos transatlánticos no eran demasiado frecuentes, se tenía siempre a la vista la proyección ortodrómica, en la cual la línea de camino mínimo, es decir, el círculo máximo es una línea recta. Años después, cuando los cuatrimotores a pistón cruzaban el Atlántico, los problemas de la exactitud en la navegación eran importantes y fue muy empleada la proyección loxodrómica, en la que las líneas de rumbo son constantes.

Apoiados en la cartografía, ya no es posible hacer historia navegando a estima, realizando sencillos cálculos cinemáticos, como hicieron Lindberg o Barberan y Collar en sus prodigiosos vuelos. Los

Los vuelos diarios de la aviación comercial sólo se llevan a cabo, si los pilotos disponen de los datos necesarios para un despegue seguro.





Gracias a los simuladores el mensaje póstumo del primer aviador de la historia Otto Liliental (Es necesario que haya víctimas) hoy no tiene sentido.

modernos equipos son tan precisos que han robado a la navegación su antiguo carácter de aventura de arte, también las nuevas tecnologías han dejado huérfanas las cabinas de uno de sus más antiguos miembros: el navegante.

Parece que las matemáticas no están expuestas a estos románticos sentimientos y continúan en su labor de proporcionar a la navegación la máxima exactitud posible. En ese empeño, las ondas radioeléctricas han colaborado con las matemáticas hasta lo indecible, con ellas todas las formas de establecer posiciones fiables se han experimentado. Ondas en forma de abanico, hipérbolas, cruces de haces, triangulaciones, efecto doppler, diferencias de fase, cronometradores, hasta establecer una jerga de ayudas a la navegación que en muchos casos no han aguantado el vendaval tecnológico. Nombres tan sugerentes como el RADIO RANGE, LORAN, CONSOL, OMEGA forman la lista de los olvidados, a duras penas nos acompaña todavía el NDB, manteniéndose el VOR, DME e ILS como ayudas radioeléctricas primarias para la navegación desde hace 50 años. El moderno sistema de posicionamiento global GPS también utiliza las emisiones de radio, esta pieza increíble de innovación tecnológica realiza correctamente sus mediciones gracias a una sofisticada red de satélites y relojes atómicos que permiten sincronizarlas.

Sin duda la aplicación matemática más espectacular a la navegación es la relativa a los sistemas inerciales. Al conseguir determinar de una manera autónoma la situación de un móvil en el espacio, la astronáutica se hace posible y la aeronáutica da un gran paso adelante.

En la navegación inercial acelerómetros y giroscopios ayudan a resolver problemas en los que intervienen las leyes de Newton y también son necesarias herramientas matemáticas como el lazo de SCHULER, para compensar los efectos de esfericidad de la tierra en los complejos cálculos de los computadores.

La aplicación de la más alta matemática ha permitido cambiar nuestro concepto de giroscopio, el "giroscopio láser" es capaz de medir la velocidad rotación a que está sometido, en función de la diferencia de frecuencias de dos rayos láser que se mueven en direcciones opuestas dentro de una cavidad resonante de forma triangular. Constituye este giroscopio un moderno elemento de detección que ha permitido cambiar la arquitectura de las cabinas.

Desde el despacho de vuelos hasta el aterrizaje los múltiples problemas ligados a las operaciones aéreas tienen implicaciones matemáticas. El advenimiento de la era digital permite resolver, de una manera casi instantánea, complejos cálculos que afectan a la planificación, guiado, control y gestión de un vuelo. En la última década, las matemáticas y su expresión tecnológica digital han supuesto un avance sensible en el transporte aéreo, reduciendo cada vez más sus limitaciones. Este importante avance tecnológico ha transformado las tareas de las tripulaciones, hacia funciones de vigilancia y control del vuelo, lo que hoy se denomina gestión de las operaciones aéreas.

Aerodinámica, Aeronáutica, Meteorología, Ingeniería, Astronomía, Cibernética, Navegación, Electrónica, la lista de ciencias y técnicas aplicadas a la operación de vuelo sería interminable, y todas ellas son materia de especialistas; especialistas que usan las matemáticas como principal herramienta. Sin ese útil, sin tener conocimientos de matemáticas, los pilotos no podríamos comprender la atmósfera, los complejos sistemas que manejamos ni los principios que nos permiten realizar nuestro especial trabajo. De igual manera reduciríamos de un modo imperdonable nuestra capacidad de contribuir con nuestras experiencias al desarrollo de la aviación y todas las ciencias que la sustentan.

El siglo XX ha sido el siglo del átomo, también de la aeronáutica y de su consecuencia, la astronáutica. Un siglo excepcional cuya historia está aún por escribir, y sólo a través del maravilloso lenguaje de los matemáticos se narrará completo este periodo fascinante que ahora acaba. ■