

# METEOROLOGÍA AERONÁUTICA: UN MARCO DE ESTUDIO ESENCIAL PARA COMPRENDER EL IMPACTO DEL TIEMPO EN LA AVIACIÓN

Alejandro Méndez-Frades <sup>(1)</sup> y Ángel Alcázar Izquierdo <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>amendezf@aemet.es, <sup>(2)</sup>aalcazari@aemet.es  
Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

## Introducción

La *meteorología aeronáutica* es una disciplina joven, que dio sus primeros pasos a comienzos del siglo XX, con el nacimiento de la aviación.

Desde un punto de vista conceptual, como ya nos anticipa su denominación, surge de la yuxtaposición de dos saberes *fundamentales*:

- *Meteorología*: constituye la parte científica- académica. Es el marco de estudio del tiempo, siendo una ciencia de carácter observacional. En este sentido, cabría destacar que, pensando en el concepto de impacto, sería incorrecto hablar de «*meteorología adversa*», ya que en tal caso, parecería que estuviéramos prejuzgando el grado de bondad o maldad de esta ciencia. Lo correcto sería hablar de «*tiempo adverso*».

- *Aeronáutica*: constituye la parte técnica- ingenieril, centrándose en el estudio de la navegación en cuanto al análisis, diseño y fabricación de aeronaves. No hay que confundirla con la *aviación*, siendo ésta una faceta de la aeronáutica que se centra en el desplazamiento controlado de las aeronaves. La dotación tecnológica de la aviación está en consonancia con el estado del arte de la aeronáutica.

Así, la *meteorología* y la *aeronáutica* constituyen un binomio esencial, cuyo nexo de unión es la atmósfera, siendo el principal objetivo la proyección del conocimiento derivado de la meteorología en la aeronáutica.

## Variable de impacto e impacto

Para entender qué es *impacto* y qué relación existe con el concepto de *variable de impacto*, como punto de partida, sería interesante formular la siguiente pregunta: *¿cómo podría modelizarse la relación existente entre la fenomenología atmosférica y la aviación, teniendo en cuenta que el medio material sobre el que se sustenta la aviación es la atmósfera?*

Una forma de representar esta relación es a través del planteamiento de la siguiente ecuación (figura 1). No se trata de una expresión estrictamente «*algebraica*», sino una forma «*simbólica*» que ilustra, en un sentido pedagógico, la relación que existe entre una *variable de impacto* (vinculado con la fenomenología atmosférica) y el *impacto* (ubicado en el mundo de la aviación).

$$y = f(x_1, x_2, x_3 \dots)$$

**IMPACTO**  
Alteración del entorno socio-económico-medio ambiente por acción de una/s variable/s de impacto

**VARIABLES DE IMPACTO AERONÁUTICO**  
Fenómenos meteorológicos que potencialmente son adversos en la aviación: Cizalladura, Turbulencia, Englobamiento, Nieblas, Cenizas Volcánicas, Tormentas...

Fig. 1.- Relación conceptual entre variable de impacto aeronáutico e impacto.

En primer lugar, una **variable de impacto aeronáutico** es un fenómeno meteorológico que potencialmente puede ser adverso a la aviación. Por ejemplo: cizalladura, engelamiento, nieblas, etc.

En segundo lugar, un **impacto** es la alteración del entorno económico, social o de la seguridad operacional (en inglés, *safety*) por acción de una (o varias) variable (o variables) de impacto. Por ejemplo: retrasos, frustradas, aumento del gasto de combustible de una aeronave, etc.

De esta forma, siguiendo con la analogía matemática propuesta, la *actuación* de cualquier variable dependiente (figura 1: miembro de la derecha, variable de impacto) genera un *resultado observable* (figura 1: miembro de la izquierda, impacto). Esta expresión tendría sentido en el dominio atmosférico (fluido incompresible, sin fronteras y con cierta rapidez de respuesta frente a forzamientos externos).

En la tabla I se representan las variables de impacto aeronáutico con sus correspondientes impactos y los fenómenos meteorológicos que son precursores de éstos. A saber: cizalladura, turbulencia, engelamiento, visibilidad, cenizas volcánicas y tormentas [1].

Fenómeno meteorológico	Variable de impacto	Impacto
Microrráfagas, proximidad a regiones frontogénicas, jet streak, orografía, presencia de obstáculos...	<b>Cizalladura</b>	Reorganización del tráfico aéreo, disminución de la capacidad de un aeródromo, desvíos...
Onda de montaña, convección profunda...	<b>Turbulencia</b>	Supone un peligro potencial. Puede causar lesiones físicas.
Cercanía a cumbres o regiones frontogénicas, cadenas montañosas...	<b>Engelamiento</b>	Reducción de las prestaciones del motor, reducción del perfil aerodinámico, fallos en los sistemas de comunicación...
Bumas, nieblas, calma...	<b>Visibilidad</b>	Visibilidad reducida (aplicación de procedimientos LVP), cierre de un aeródromo, aumento del consumo de combustible por desvíos...
Erupciones volcánicas, desgasificación litosférica: inyección de material particulado a la atmósfera causado por la actividad orogénica	<b>Cenizas volcánicas</b>	Visibilidad reducida, afectación a los motores de la aeronave, aumento del consumo de combustible por desvíos...
Complejo convectivo de mesoescala: escenario de convección profunda formado a partir de la existencia de humedad, inestabilidad y mecanismo de disparo	<b>Tormenta</b>	Visibilidad reducida, pérdida de control de la aeronave, daños estructurales por granizo, estrés para la tripulación...

Tabla I: Relación entre fenómeno meteorológico, variable de impacto aeronáutico e impacto.

La lectura de la tabla I podría entenderse a través del siguiente ejemplo. Veámoslo con la cizalladura:

- *¿De qué manera la atmósfera puede crear un entorno favorable a la formación de cizalladura?* A través de microrráfagas, proximidad a regiones frontogénicas –en las que existe un intenso gradiente horizontal de temperatura-, cercanía al jet stream, convección profunda, presencia de obstáculos o la orografía.

- *¿Cómo se ven afectadas las actividades socio-económicas?* La cizalladura podría provocar una reorganización del tráfico aéreo, estrés en los profesionales (controladores, tripulación...), desvíos, pérdidas económicas, aumento del gasto de combustible, la seguridad operacional podría verse muy afectada...

- *¿Qué herramientas existen a nuestro alcance para diagnosticar/pronosticar un entorno favorable a la cizalladura?* En primer lugar, la diagnosis de la cizalladura horizontal se realiza a través de dispositivos instrumentales como el LLWAS (*Low Level Windshear Alert System*), mientras que la de la cizalladura vertical se efectúa a partir de

datos LIDAR o ÁMDAR, estos últimos, proporcionados por las aeronaves. En segundo lugar, la prognosis de la cizalladura puede llevarse a cabo a partir del postproceso de las salidas de modelos numéricos, además de contar con el valor añadido del predictor (modelos conceptuales).

## Datos

A continuación, se van a presentar algunos datos que demuestran el alcance que pueden tener las condiciones meteorológicas sobre la aviación.

Desde el punto de vista de las aeronaves, cabe destacar los siguientes impactos:

- **Retrasos:** por retraso no sólo se hace referencia a que una aeronave llegue a destino «*en tiempo y forma*», sino que también alude a los desvíos. Cuando se produce un desvío, aparte de las molestias causadas a la tripulación y usuarios, aparecen problemas para la propia aerolínea, relacionados con la logística, ya que ello implica un cambio de base o *re-planificación*.

La gestión del posicionamiento de las aeronaves y de la culminación de su ruta en el destino está muy influenciada por el tiempo atmosférico, como puede apreciarse en la figura 2, en la que puede observarse que, de entre todos los retrasos registrados entre los años 2008-2013, el 69% fueron debidos a las condiciones meteorológicas [2].

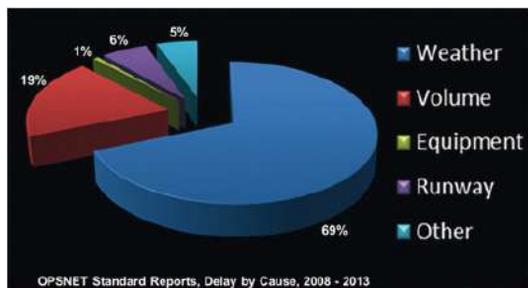


Fig. 2.- Causas de los retrasos en el periodo 2008-2013. Fuente: OPSNET Standard Reports, Delay by Cause.

- **Frustradas:** las frustradas son abortos de despegues o aterrizajes de una aeronave. Suelen estar causadas por la cizalladura. En la tabla II se muestran, para diferentes aeródromos, el número de frustradas (en tanto por ciento) causadas por la cizalladura, a lo largo del año 2013. Destaca cómo los aeropuertos de Bilbao y Tenerife Sur son los más vulnerables a sufrir esta incidencia [3].

AÑO 2013	% MyA por Cizalladura
MADRID	14%
SANTANDER	25%
SAN SEBASTIAN	31,8%
GRAN CANARIA	35%
BILBAO	38,1%
TENERIFE SUR	71,6%

Tabla II.- % de frustradas causadas exclusivamente por cizalladura en el año 2013. Datos obtenidos por Gestión de Operaciones aeroportuarias (GOA AENA). Fuente: ponencia de Nacho Pérez (Vocalía Técnica de APROCTA).

Por otra parte, desde el punto de vista del gestor aeroportuario, es interesante señalar que la variable de impacto de mayor importancia es la **visibilidad** (figura 3) [4].

Hay que tener en cuenta que el gestor aeroportuario trabaja en tierra siendo su principal cometido es guiar y restringir el camino de las aeronaves por el suelo. Así, puede afirmarse que «el avión, funcionando como autobús, también es un problema».

13ª JORNADA SOBRE EL PLAN OPERACIONAL DE INVIERNO  
3. Reparto de Incidencias relacionadas con METEOROLOGÍA ADVERSA

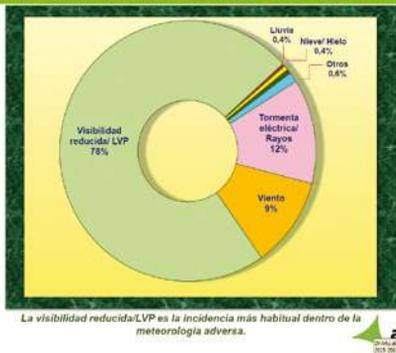


Fig. 3.- Variables de impacto aeronáutico para el gestor aeroportuario. Fuente: Jornadas invernales AENA 2017. CGRH24.

### Conclusiones

Para acabar, se presentan tres importantes conclusiones:

- Si aumenta el tráfico aéreo en un determinado aeródromo, se producirá una congestión del espacio aéreo y por consiguiente una mayor exposición a las condiciones meteorológicas.

Es decir, hay un aumento de la **sensibilidad al tiempo**.

- Siguiendo con la idea anterior, si aumenta el tráfico aéreo, los aeródromos estarán al límite de su capacidad y por consiguiente, sería preciso una renovación de la infraestructura aeroportuaria. Ahora bien, esta mejora está limitada debido a la posible afectación al paisaje, al aumento de la contaminación acústica por la proximidad a las ciudades, etc. Por consiguiente, existe una limitación de las infraestructuras aeroportuarias debido al **impacto ambiental**.

- Con relación al concepto de impacto, subyacen tres ideas fundamentales:

- \* **Peligro:** ¿Quién advierte del peligro potencial? Variables de impacto.

- \* **Incertidumbre:** ¿Qué herramientas existen para asesorar al usuario aeronáutico en la toma de decisiones? Productos o herramientas específicas de los modelos numéricos.

- \* **Vulnerabilidad:** ¿Quién está más expuesto a sufrir un mayor impacto de la fenomenología atmosférica? Un avión ligero o un aeródromo al límite de su capacidad.

El usuario aeronáutico no es sólo un objeto pasivo frente a los elementos de la tempe-rie, sino que puede reaccionar a través de su capacidad para tomar decisiones, motivadas por el valor añadido que supone una adecuada información meteorológica, en cuanto a contenido y difusión.

### Referencias

- [1] *Meteorología Aeronáutica*. Blanca González López. ISBN: 9788493550677. Biblioteca Homo Legens. 375 páginas.
- [2] Documentación obtenida de la *Federal Aviation Administration* (FAA): <https://www.faa.gov/nextgen/programs/weather/faq/>
- [3] Ponencia: “*Impacto en la gestión del tráfico aéreo?*” Nacho Pérez (Vocalía Técnica de APROCTA). Jornadas COPAC- AEMET de Turbulencia y cizalladura orientada a usuarios aeronáuticos.
- [4] Ponencia del Centro de Gestión de Red (CGRH24). Jornadas Invernales AENA 2017. 13ª Jornada sobre el Plan Operacional de invierno de AENA.