El seguro aéreo obligatorio

Por CÉSAR GÓMEZ LUCÍA

Actuario, profesor de Tráfico aéreo de la Escuela Superior Aerotécnica

Preliminares.

En las condiciones generales por las que se rige el contrato de transporte aéreo en Europa, adoptado también en España, figura la responsabilidad de los porteadores por el daño que sobrevenga durante el período de transporte en caso de muerte, heridas u otra cualquier lesión corporal experimentada por el viajero.

Esta responsabilidad está limitada por la misma legislación para cada viajero a la suma de 125.000 francos franceses, disponiéndose también que en el caso de que la indemnización se fije en forma de renta, el capital que la produce no puede pasar de este límite de 125.000 francos franceses; todo ello supuesto el caso de que por parte de la Compañía no haya habido negligencia en la realización del hecho que ha producido el daño.

Obligados de esta manera los porteadores, surge la necesidad en España del seguro aéreo obligatorio, sobre todo después de haberse establecido el seguro ferroviario obligatorio.

Planteamiento del problema

Se trata de determinar la cuota obligatoria de todo usuario de las Compañías de transporte aéreo — bien sea en viaje de línea regular, en viaje de alquiler a voluntad, en viaje de turismo o de bautismo de aire — para que ésta pueda con lo recaudado pagar las indemnizaciones a que queda obligada por la legislación en vigor en caso de accidente.

La ecuación en general de un seguro es:

$$\sum_{x=x_0}^{X} \sum_{t=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{N} L_{x,t,n} \quad P_{x,t,n} \quad V^{n+t} =$$

$$= \sum_{x=x_0}^{X} \sum_{t=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{N} \sum_{h=0}^{H} F_{x,n,t} \quad K_{x,n,t,h}, \quad V^{n+t}.$$

En la que t, x, n, son: los atributos característicos representativos de la época en que entró un grupo de elementos expuestos a las mismas vicisitudes o agrupados con relación a la exposición que ofrecen a ella, los de la variable característica propiamente dicha del grupo y del tiempo que se han afectado al seguro. L y F representan, respectivamente, los elementos que se someten al seguro y los que reciben la indemnización cuyo objeto es el seguro. P es la representación de la cantidad con que subvienen al seguro los elementos que entran en él. K es la de la cantidad con que se indemniza por el seguro a los que sufren los daños prevenidos. h es el atributo representativo de la intensidad de las indemnizaciones dentro de la misma causa del fenómeno. Finalmente, V es el factor de productividad o interés del dinero.

En el caso del seguro obligatorio aéreo, el factor de productividad no debe considerarse. La característica x se refiere a los viajeros que utilizan el avión en cada viaje, que son los sometidos al riesgo que cubre el seguro. La característica n, que indica la duración a que está sometido al seguro el asegurado, es en este caso el número de kilómetros del viaje. La época a que se refiere la característica t puede ser el tiempo que dura la sociedad ficticia de los asegurados, o sea hasta que sobreviene cada accidente liquidado por las aportaciones de los que han sido asegurados en toda la época t, o hasta infinito si se considera prolongada la vida de la Compañía. Y h, intensidad de la indemnización, varía de 0 hasta 125.000 francos franceses.

La incógnita P, prima obligatoria para el viajero, viene determinada por una relación entre funciones de variables aleatorias x, n, t, h, cuya estimación puede hacerse aplicando los principios del cálculo de probabilidades a los datos que la experiencia nos proporciona y que vamos a estudiar seguidamente.

Estudio del tráfico español de viajeros

Partimos de los datos estadísticos de la Compañía L. A. P. E., habiendo tomado para el estudio los correspondientes a la línea de Madrid a Barcelona desde 1 de junio de 1932 a 31 de mayo de 1934, que corresponde a un total de 1.206 viajes. No se ha elegido un período mayor de tiempo de observación porque fuera de él el tráfico presentaba las anormalidades propias del comienzo de este novísimo medio de transporte, unido a vicisitudes en la vida española que alteraban profundamente el especial modo de ser del tráfico (en el año 1929 y parte del 30 por celebrarse la Exposición de Barcelona y en 1931 por la disminución de turismo, consecuencia del cambio de régimen político). No se ha estudiado en la estadística la línea de Sevilla, también explotada por esta Compañía, por ser la media de su utilización y la dispersión del tráfico distintas a las de la línea de Barcelona y al fundir las observaciones se hubieran alterado profundamente los resultados con la consiguiente pérdida de rigorismo.

El procedimiento de «Estadística matemática» usado para la computación del tráfico aéreo ha sido el de Charlier, basado en las semi-invariantes de Thiele, que es el más práctico de todos los sistemas para el estudio de las series de frecuencia desarrolladas por Gram y Laplace.

CUADRO NÚMERO I

V	X	$F(x)$	$x\,F(x)$	$x^2\,F(x)$	$x^3\,F(x)$	$x^4\,F(x)$	$(x+1)^4\,F(x)$
2	− 4	26	− 104	416	− 1.664	6.656	2.106
3	− 3	52	− 156	468	1.404	4.212	832
4	− 2	160	− 320	640	1.280	2.560	160
5	− 1	224	− 224	224	− 224	224	0
6	0	226	0	0	0	0	226
	Σ	688	− 804	1.748	− 4.572	13.652	3.324
7	+ 1	248	248	248	248	248	3.968
8	+ 2	140	280	560	1.120	2.240	11.340
9	+ 3	62	186	558	1.674	5.022	15.872
10	+ 4	50	200	800	3.200	12.800	31.250
11	+ 5	13	65	325	1.625	8.125	16.848
+ 11	+ 6	5	30	180	1.080	6.480	12.005
	Σ	518	1.009	2.671	8.947	34.915	91.283
S_r	$S_0 = 1.206$		$S_1 = 205$	$S_2 = 4.419$	$S_3 = 4.375$	$S_4 = 48.567$	94.607
M_r	$M_0 = 1{,}000$		M_1 0,170	$M_2 = 3{,}664$	$M_3 = 3{,}628$	$M_4 = 40{,}271$	

$\lambda_1 = M_1 = 0{,}170$	$M_2 = 3{,}664$	$S_4 = 48.567$
$\lambda^2_1 = M^2_1 = 0{,}029$	$- M^2_1 = 0{,}029$	$4S_3 = 17.500$
$\lambda^3_1 = M^3_1 = 0{,}000$	$\lambda_2 = 3{,}035 = \theta^2$	$6S_2 = 26.514$
$\lambda^4_1 = M^4_1 = 0{,}000$	$\sqrt{\lambda_2} = 1{,}906 = \theta$	$4S_1 = 820$
	$6{,}928 = \theta^3$	$S_0 = 1.206$
	$13.213 = \theta^4$	$(x+1)^4\,F(x) = 94.607$

$M_2\,M_1 = 0{,}623$	$M_3\,M_1 = 0{,}610$	$M^2_2 = 13{,}432$	$M_2\,M^2_1 = 1{,}106$
$M_3 = 3{,}628$	$M_4 = 40{,}271$		$\lambda_4 = -\ 1{,}218$
$-3\,M_2\,M_1 = -1{,}869$	$-4\,M_3\,M_1 = -\ 2{,}468$		$4\,M_1\,\lambda_3 = 1{,}196$
$2\,M^3_1 = 0{,}000$	$-3\,M^2_2 = -40{,}296$		
			$6\,M^2_1\,\lambda_2 = 0{,}632$
$\lambda_3 = 1{,}759$			
	$12\,M_2\,M^2_1 = 1{,}275$		$3\,\lambda^2_2 = 39{,}639$
	$-6\,M^4_1 = 0{,}000$		
	$\lambda_4 = -\ 1{,}218$		$M^4_1 = 0{,}000$
			40,249
			$c = 0{,}022$

En la primera columna del cuadro de la computación (cuadro núm. I) figuran los viajeros transportados en cada viaje, desde dos hasta once, que es la máxima cabida de los aviones, figurando también en la variable el caso de más de once viajeros, o sea aquel en que hubo una demanda de billetes que no pudo satisfacerse. En la tercera columna, bajo el epígrafe $F(x)$, figura el número de viajes que se ha realizado con el número de viajeros expresado en la primera columna; es, por tanto, la frecuencia correspondiente a la variable.

Se supone preliminarmente que seis viajeros es la media por viaje y se obtienen así los desvíos de la variable sobre la media que figura en la segunda columna bajo el epígrafe X. La última columna, sin objeto para los cálculos, sirve de comprobación de las operaciones, ya que $(x+1)\,4\,F(x)$ es igual a $S_4 + 4\,S_3 + 6\,S_2 + 4\,S_1 + S_0$.

Las sumas de cada columna nos dan los distintos valores de S_r para $r = 1, 2, 3, 4$. Estos valores divididos por S_0, que es el número de viajes observados, nos dan los de M_r para $r = 1, 2, 3, 4$. De ellos deducimos los de las semi-invariantes λ_r para $r = 1, 2, 3, 4$. La primera semi-invariante nos da la corrección de la media elegida preliminarmente; la segunda es el valor del desvío medio cuadrático; las dos restantes nos servirán para determinar la función que expresa la ley de la probabilidad. Formamos además una columna de comprobación desarrollando el valor de M_4 que nos dice que el error cometido en los cálculos que llevamos hechos al despreciar la última cifra decimal vale 0,022, ya que

$$M_4 = \lambda_4 + 4\,M_1\,\lambda_3 + 6\,M_1^2\,\lambda_2 + 3\,\lambda_2^2 + M_1^4 = 40{,}271.$$

La función que expresa la probabilidad es:

$$F(z) = N\,[\,C_0\,f_0\,(z) + C_1\,f_1\,(z) + C_2\,f_2\,(z) + \cdots]$$

en la que $f_n\,(z)$ es la derivada de orden n de $f_0\,(z)$ que es la función normal de la probabilidad. Las derivadas sucesivas se pueden expresar en productos de la función generatriz y los polinomios de Hermite, que son sucesivamente 1, z, $z^2 - 1$..., y de ellos deducir los coeficientes C_n. El método de Charlier permite encontrar estos coeficientes (sin necesidad de recurrir a los mínimos cuadrados) en función de las semi-invariantes.

Para calcular $F(z)$ vamos a tomar los cinco primeros términos de la función, teniendo presente que $C_0 = 1$. Para anular C_2 tomamos como origen el valor de la media, y para anular C_3 tomamos como unidad de desvío el medio cuadrático. Calculamos los parámetros C_3 y C_4 en función de las semi-invariantes y formamos el cuadro número II.

La columna (1) da los valores de la variable contados desde el origen preliminar. La (2) nos da los desvíos sobre la verdadera media. La (3) nos los da expresados en unidades «desvío medio cuadrático». Todo ello para anular, como hemos dicho, C_1 y C_2.

Las columnas (4), (5), (6) nos dan la función generatriz y su tercera y cuarta derivadas, que obtenemos entrando con el valor de la variable en las tablas de Charlier que tienen calculadas hasta la séptima derivada.

Las columnas (7) y (8) son los productos de las (5) y (6) por los parámetros C_3 y C_4 respectivamente, y la suma de las (4), (7) y (8) nos da la (9). Basta distribuir a prorrata S_0, según los valores de (9), para obtener las frecuencias absolutas que corresponden a los distintos valores de la variable de la observación. Estos figuran en la columna de epígrafe «Teórico» y pueden compararse con los «Observados», apreciándose así lo satisfactorio del resultado.

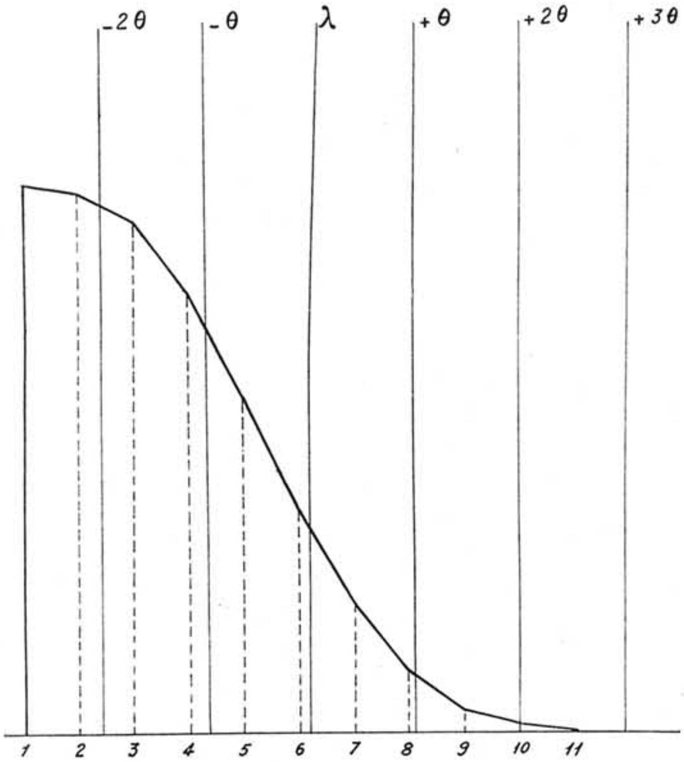
Si obtenemos los valores de $F(x)$ en tantos por mil tendremos la siguiente tabla actuarial de probabilidades de llevar viajeros en cada viaje, dentro de la modalidad del tráfico español y para aviones de once plazas.

Probabilidad de llevar más de 11 viajeros:	0,000
» » » de 10 »	0,013
» » » de 9 »	0,044
» » » de 8 »	0,113
» » » de 7 »	0,237
» » » de 6 »	0,409
» » » de 5 »	0,618
» » » de 4 »	0,804
» » » de 3 »	0,928
» » » de 2 »	0,983
» » » de 1 »	1,000

Si tomamos el caso de 1.206 viajes, que es el observado en la estadística, tendremos que la probabilidad de llevar más de ocho viajeros, o sea, nueve, diez, once o más de once (es decir, llevar once y quedarse viajeros sin billete), da una frecuencia de 136, que comparada con la efectiva nos da:

	Teórica	Observada
Frecuencia de más de 8......	136	130
» » de 6......	492	518
» » de 4......	965	968

La tabla de probabilidades puede expresarse gráficamente así:



Los accidentes de Aviación.

Los accidentes que indemniza el seguro aéreo obligatorio no pueden producirse, salvo rarísimas excepciones, sin que ocurra algún daño a la aeronave, bien en vuelo, bien al salir o al posarse en tierra. Es, pues, indudable que al estudio del accidente al personal debe preceder un estudio del daño del material, con el que estará ligado por una ley marcada por el modo especial de ser de estos accidentes.

El daño del material es función únicamente del tráfico realizado, ya que los demás factores que en él pueden influir deben ser constantes, por lo menos en cada período de estudio. En el daño o rotura del material influye, en primer lugar, la habilidad de su manejo, pero es indudable que hay que suponer que la de los profesionales encargados de ella es constante y excelente. Los Gobiernos y las Compañías se cuidan de la selección y entrenamiento de sus pilotos, sometidos a periódicos reconocimientos fisiológicos y psicológicos.

Influye después la calidad del material, que es función de su época. Las Compañías tienen siempre aeronaves modernas, y apenas se obtiene un perfeccionamiento en la Aviación o un mejoramiento en la seguridad en vuelo, es aplicado a la Aeronáutica comercial, bien sea por iniciativa de las Compañías o por mandato del Gobierno, que retiene en caso contrario los certificados de navegabilidad. Por tanto, este factor es constante en el daño del material en la Aviación comercial.

Influye también la aplicación técnica del tráfico; pero es indudable que si las Compañías aéreas no estuviesen regidas por los principios que en cada época marca la evolución de la Aeronáutica, los Gobiernos retirarían su apoyo a las Compañías y el tráfico cesaría.

No puede, por tanto, admitirse que en los accidentes del tráfico regular influya el material, el personal y la técnica, más que en la parte constante que en cada época marque el progreso de la Aeronáutica.

El daño es sólo función del tráfico; porque aunque puede decirse que en cada vuelo hay momentos (despegue y aterrizaje) de más peligro, la índole del tráfico comercial aéreo hace que la relación de los kilómetros volados a los vuelos realizados sea casi constante. Tomar como unidad, para medir el daño, los vuelos o tomar los kilómetros volados, viene a ser finalmente lo mismo.

CUADRO NÚMERO II

(0) Viajeros	(1) X	(2) $X - \lambda_1$	(3) $z = (x - \lambda_1) : \theta$	(4) $f_o(z)$	(5) $f_3(z)$	(6) $f_4(z)$	(7) $-(5)\ C_3 : 3!$	(8) $(6)\ C_4 : 4!$	(9) $(4) + (7) + (8)$	Teórico	Observado
2	− 4	− 4,17	− 2,183	− 0,037	+ 0,141	− 0,112	− 0,006	+ 0,001	0,032	21	26
3	− 3	3,17	1,659	0,100	− 0,045	− 0,595	+ 0,002	+ 0,002	0,104	64	52
4	− 2	2,17	1,136	0,214	− 0,412	− 0,632	+ 0,016	+ 0,003	6,233	149	160
5	− 1	1,17	0,613	0,331	− 0,531	+ 0,298	+ 0,021	− 0,001	0,351	224	224
6	0	− 0.17	− 0,089	0,398	− 0,051	+ 1,191	+ 0,002	− 0,005	0,395	252	226
7	+ 1	+ 0,83	+ 0,434	0,364	+ 0,434	+ 0,713	− 0,017	− 0,003	0,324	206	248
8	+ 2	1,83	0,968	0,252	+ 0,499	− 0,426	− 0,020	+ 0,002	0,234	150	140
9	+ 3	2,83	1,482	0,134	+ 0,162	− 0,712	− 0,006	+ 0,003	0,131	85	62
10	+ 4	3,83	2,005	0,054	− 0,108	− 0,270	+ 0,004	+ 0,001	0,059	38	50
11	+ 5	4,83	2,528	0,016	− 0,140	+ 0,088	+ 0,006	− 0,000	0,022	14	13
+ 11	+ 6	+ 5,83	+ 3,052	0,003	− 0,073	+ 0,128	+ 0,003	− 0,001	0,005	3	5
										1.206	1.206

$$C_3 = \lambda_3 : \theta^3 = 0{,}2539 \qquad - C_3 : 3\,! = -\,0{,}042 \qquad C_4 = \lambda_4 : \theta^4 = -\,0{,}0921 \qquad C_4 : 4\,! = 0{,}004$$

$$F(x) = 1.206\,[f_o(x) - 0{,}042\, f_3(x) - 0{,}004\, f_4(x)] \text{ siendo } f_o(x) = \frac{1}{1{,}906\sqrt{2\pi}}\, e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x - 0{,}17}{1{,}906}\right)^2}$$

Las roturas del material volante.

Para estudiar su ley presentamos los datos que hemos podido recoger de Europa (Compañías alemana y española) y en América. Es evidente que faltan muchos datos, pero su carencia la suplen la exactitud y fidelidad absoluta de los recogidos: su cuantía, superior al 60 por 100 de lo volado en todo el mundo; la armonía de la ley que descubren, y, sobre todo, su semejanza al tráfico español. En la columna (1) del cuadro número III figuran las Compañías observadas. Los datos «América» se refieren a la totalidad de la inmensa red de Compañías de los Estados Unidos, en los vuelos dentro y fuera de su territorio. La columna (4) se refiere a roturas totalizadas en valor-avión; es decir, que cuatro aviones rotos no son cuatro aviones dañados, sino un número tal de daños, que su suma supone el valor de cuatro aviones, y, por tanto, pueden ser 16 roturas, cada una con el daño de un 25 por 100 del valor del avión. El método de computación ha sido la reducción de las observaciones a la misma precisión, para lo cual se ha obtenido la probabilidad de un avión-daño y con esa probabilidad $p_0 = (4) \cdot (3)$ se ha obtenido la columna (5), o sea la observación ponderada, y de ella la (6) y, en consecuencia, el desvío medio d y el medio cuadrático θ. También se ha obtenido el desvío medio cuadrático correspondiente a una serie normal de probabilidad p_0, que sería $\theta^2 = n\,p\,q$, y, finalmente, el coeficiente de disturbio que nos indica que la serie es hipernormal o del tipo Lexis.

CUADRO NÚMERO III

(1) Compañías	(2) Años	(3) Millones de kms.	(4) Aviones rotos	(5) Reducción	(6) Desvíos
DLH	27	6.5	15,9	7,44	+ 8,46
América	1 — 28	7,2	17,0	8,14	8,86
América	2 — 28	9,9	25,0	12,29	12,71
DLH	2 — 28	9,7	21,5	11,74	9,76
A	1 — 29	14,7	33,0	16,19	16,81
A	2 — 29	25,6	42,0	28,70	13,30
DLH	2 — 29	10,8	18,0	12,10	+ 5,90
A	1 — 30	27,2	22,0	30,60	— 8,60
»	30	32,0	21,0	36,16	— 15,60
»	31	32,3	32,0	36,40	4,40
»	31	43,5	38,0	49,14	11,14
»	32	39,4	35,0	44,50	9,50
»	32	42,0	29,0	46,34	17,34
»	33		Desconocido		
»	33		Desconocido		
»	1 — 34	34,5	30,0	38,96	8,76
LAPE (1)	34	3,2	2.6	3,51	— 0,91
		338,5	382,0	382,01	+ 75,80 — 75,81

$$p_0 = \frac{(4)}{(3)} \times 10^{-6} = 0{,}0000113 \qquad (5) = p_0 \times (3) \qquad (6) = (4) - (5)$$

$$\text{desvío medio} = d = \frac{75{,}80 + 75{,}81}{338{,}5} = 0{,}447$$

$$\theta = d \times 1{,}2533 = 0{,}5688 \qquad \theta_B = \frac{15}{338{,}5} \times 10^6 \times p_0 \times (1 - p_0) = 0{,}40$$

$$\rho = \frac{1}{1{,}13} \sqrt{\theta^2 - \theta_B{}^2} = 0{,}35.$$

La serie es, por tanto, hipernormal.

(1) La observación de la Compañía Española referida al primer semestre de 1934, es la suma de su actuación desde su fundación, en mayo de 1929.

Salta a primera vista que la rotura de material en el tráfico actual es menor por kilómetro volado que en el tráfico hace unos años. Para poner en claro esta diferencia se ha dibujado el gráfico de siniestralidad, en el que se ha tomado en la horizontal los millones de kilómetros volados, según el cuadro antes expuesto, que arroja un total de 338,5 millones, que en escala son 16,9 unidades. En la vertical se han tomado los aviones rotos de la misma manera, y, por tanto, la última ordenada representa 382, que en escala son 19,1 unidades. Si la siniestralidad hubiese sido constante, o casi constante, el gráfico sería una línea recta. Como puede verse en él tiene dos directrices: la línea B hasta 1930 y la línea A desde 1930. La seguridad del tráfico ha mejorado, por tanto, a partir de una fecha que coincide con el empleo íntegro en el vuelo de los perfeccionamientos de la radio.

Nos encontramos con una serie histórica, debiendo corregir, por tanto, los valores de la serie obtenida en la estadística. Dada la índole del problema hay que desechar la idea de periodicidad cíclica y admitir en cambio la de evolución. La serie, por tanto, evoluciona, no fluctúa.

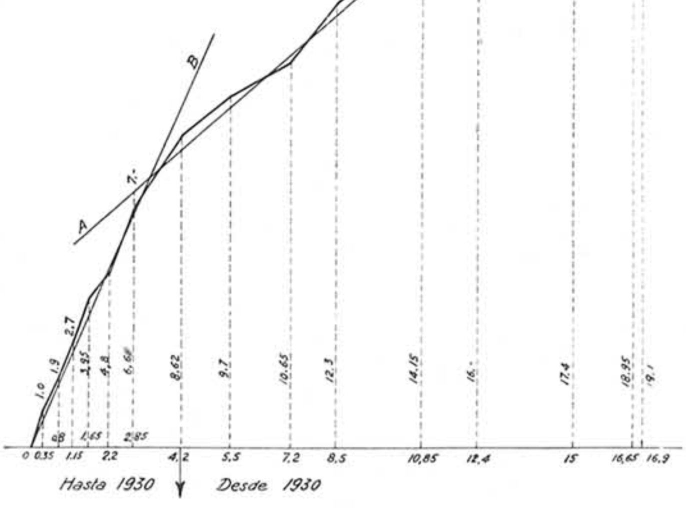
Para corregirlo seguimos el método de Charlier formando el cuadro número IV, del que por suma de la columna (5) se obtiene el coeficiente de evolución, y de él la columna (6) que, comparada con la columna (7), que es la de observación ponderada, nos da la columna (8) del desvío corregido.

La media sigue siendo igual para una serie que para otra. El desvío medio y el cuadrático disminuyen y la serie resulta subnormal, o sea tipo Poisson.

Gráfico de la serie histórica de siniestralidad (secular trend).

Horizontal: millones de kilómetros. Vertical: aviones rotos.

$S_b = 2{,}28$ aviones por millón de kilómetros.
$S_a = 0{,}87$ aviones por millón de kilómetros.



CUADRO NÚMERO IV

Determinación de la EVOLUCIÓN *en la serie histórica de la rotura de material.*

(1) Años	(2) K	(3) Desvíos	(4) $K - \frac{N}{2}$	(5) (3) × (4)	(6) Corrección	(7) Reducción	(8) Desvíos corregidos
27	1	+ 8,46	− 6	− 50,76	15,9 − 12 = 3,9	7,44	− 3,54
1 − 28	2	8,86	5	− 44,30	17,0 − 10 = 7,0	8,14	− 1,14
2 − 28	3	12,71	4	− 50,84	25,0 − 8 = 17,0	12,29	+ 4,71
2 − 28	3	9,76	4	− 39,04	21,5 − 8 = 13,5	11,74	+ 1,76
1 − 29	4	16,81	3	− 50,43	33,0 − 6 = 27,0	16,19	+ 10,81
2 − 29	5	13,30	2	− 26,60	42,0 − 4 = 38,0	28,70	+ 9,30
2 − 29	5	+ 5,90	2	− 11,80	18,0 − 4 = 14,0	12,10	+ 1,90
1 − 30	6	− 8,60	− 1	+ 8,60	22,0 + 2 = 24,0	30,60	− 6,60
30	7	15,16	0	0	21,0 + 2 = 23,0	36,16	− 13,16
31	8	4,40	+ 1	− 4,40	32,0 + 2 = 34,0	36,40	− 2,40
31	9	11,14	2	− 22,28	38,0 + 4 = 42,0	49,14	− 7,14
32	10	9,50	3	− 28,50	35,0 + 6 = 41,0	44,50	− 3,50
32	11	17.34	4	− 69,36	29,0 + 8 = 37,0	46,34	− 9,34
33	12	—	5	—	—	—	—
33	13	—	6	—	—	—	—
1 − 34	14	8,76	7	− 61,32	30,0 + 14 = 44,0	38,76	+ 5.24
1 − 34	14	0,91	+ 7	− 6,37	2,6 + 14 = 16,6	3.51	+ 13,09
		+ 75,80 − 75,81		Σ = − 466,00	382	382,01	+ 46,81 − 46,82

$$\text{evolución} = -466 : \frac{N\,(N^2-1)}{12} = -2$$

$$d = 0{,}447 \text{ desvío corregido} = d_c = \frac{46{,}81 + 46{,}82}{338{,}5} = 0{,}276$$

$\theta = 0{,}5688$ $\quad \rho = 0{,}35$

$\theta_c = 0{,}3450$ $\quad \rho_c =$ imaginario, serie subnormal.

Clasificación de los accidentes de Aviación

El daño sufrido por el material volante en los accidentes de Aviación tiene diversos grados que en todas las Compañías sigue aproximadamente una misma ley, que es consecuencia de la índole especial del accidente y de la constitución de los aviones. Para clasificarlo, llamaremos accidente de Aviación aquel en que la rotura expresada en tanto por ciento del valor de compra del avión, o sea, del avión *nuevo,* es superior al 3 por 100. Los accidentes los clasificaremos en los siguientes grados:

A). — Aquellos en que el avión desaparece (caída al mar de los aviones, incendio por choque en el suelo, rotura en el aire, etc., etc.).

B). — Los que implican la pérdida del avión del que sólo son utilizables algunas pequeñas partes. El promedio del salvamento en este grupo le asignaremos un valor del 10 por 100 del valor del avión.

C). — Los que obligan a una completa reconstrucción del avión, cuyo coste tiene un promedio del 70 por 100 del valor del avión, o sea, aquellos cuyo daño está comprendido entre el 60 y el 80 por 100 del avión.

D). — Los que requieren el cambio de varias partes importantes del avión, como alas y motores, o motores y tren de aterrizaje y hélices, o fuselaje y tren, etc., cuyo promedio de coste es de 50 por 100 del avión. Los daños de este grupo están comprendidos entre el 35 y el 60 por 100.

E). — Aquellos cuyo daño no llega al 35 por 100 y que tiene un promedio de coste de reparación del 18 por 100.

Un estudio sobre cuatrocientos accidentes de Aviación, formado por datos de tres Compañías europeas y los del *Air Commerce Bulletin,* nos da la siguiente serie:

Clase de avería	Número	%	Daños en valor avión
A)	20	5	20 × 1 = 20
B)	28	7	28 × 0,9 = 25,2
C)	100	25	100 × 0,7 = 70,0
D)	160	40	160 × 0,5 = 80,0
E)	92	23	92 × 0,18 = 16,6
	400	100	211,8

Este reparto le podríamos considerar como una ley y no como una serie aleatoria, ya que es un resumen de datos de Europa y América que coinciden en precisión. Por otra parte, los adelantos de Aviación influirán en la disminución del número de aviones-daño por kilómetros volados, pero el reparto dentro del daño en porcentaje variará poco, ya que la estructura de los aviones determina la cantidad de rotura, que se define también por la índole especial de Aviación. Es decir, que el mejoramiento de la calidad de los materiales y de la estructura terrestre disminuirá el número de aviones totalmente perdidos, pero los aterrizajes defectuosos serán siempre por los mismos defectos de pilotaje y producirán los mismos efectos, o sea, que la rotura de dos hélices en un trimotor arrastra seguramente en un aterrizaje defectuoso la rotura del ala. El aplastamiento o rotura del tren de aterrizaje producirá rotura del fuselaje, etc., etc.

La clasificación que hemos expuesto anteriormente la vamos a tomar, por tanto, como ley cierta, y consecuentemente a ella deducimos que por cada 1.000 aviones-daño los accidentes son 1.888, que se reparten así:

A) = 94. *B)* = 132. *C)* = 472. *D)* = 755. *E)* = 435.

Estudio de los accidentes al pasaje

Para continuar en nuestro estudio encontraremos ahora serias dificultades por la falta de estadísticas apropiadas de los daños sufridos por los pasajeros en los accidentes de Aviación. Estando esta cuestión ligada a la de propaganda, todas las Compañías procuran ocultar, falsear o disimular estos datos. Debemos, pues, movernos con especial cuidado en esta cuestión para no disminuir o anular la precisión con que hemos estudiado la función aleatoria de la dispersión del tráfico y la de la rotura del material en función del tráfico realizado.

En ello nos puede ayudar el estudio de la rotura de material, que tiene un carácter bien definido para todo el que esté familiarizado con la Aviación, lo mismo comercial que deportista y militar.

Llamaremos M al daño que en un accidente se produce en el personal que lo utiliza cuando aquél es total. Los accidentes de la clase *A)* suponen, por tanto, un daño igual a M por cada vez que el accidente se presenta.

En los accidentes de clase *B),* si bien los daños en el material se aproximan a la totalidad, no puede ni debe suponerse que todos los pasajeros hayan perecido. El avión es una máquina extraordinariamente frágil, que se desmenuza como un castillo de naipes cuando el aterrizaje es defectuoso, pero sin que haya habido en él grandes violencias, como en un choque de ferrocarril, que produciría un porcentaje elevado de daños a los pasajeros. Si el aterrizaje es violento, el avión desaparece, porque suele sobrevenir el incendio; pero si el aterrizaje es defectuoso, sin excesiva violencia, el avión puede quedar espectacularmente deshecho, dándose el caso, familiar para todos los prácticos del aire, de ver surgir indemnes, o sólo con heridas, a los que en él viajaban. Los restos del avión serán, quizás, inaprovechables y tendrán un valor del 4 ó 5 por 100; pero los daños al personal serán inferiores en mucho a este 95 por 100 que ha sufrido el material; es decir, que puede asegurarse que si había diez viajeros no se habrán matado nueve. Se deduce, por tanto, que los accidentes de clase *B)* producirían una media inferior a M, pero para el cálculo del seguro, y no teniendo el desvío medio cuadrático que nos permitiera tomar un valor de la serie aleatoria que tuviese una pequeña probabilidad de ser rebasado, supondremos que también en los accidentes de la clase *B)* los daños son para cada uno igual a M.

En los accidentes de clase *C)*, en que la rotura del material está comprendida entre el 60 y el 80 por 100 del avión, se puede asegurar que el que resulten pasajeros muertos es verdaderamente anormal, y para ver qué valores de M hay que asignar en estos accidentes de clase *C)* nos valemos de los datos publicados por el *Air Commerce Bulletin* y ciertas Compañías europeas que publican la relación entre el número de accidentes de Aviación o aterrizajes defectuosos y el número de accidentes en los que resulta algún pasajero muerto, o bien la relación entre los kilómetros volados y las veces que ocurre un accidente fatal.

Así obtendremos las siguientes series:

(1) 40 — 35 — 51 — 61 — 76 — 44 — 47 — 61 — 65 — 67 — 48 — 32 = 627.

(2) 6 — 5 — 7 — 8 — 15 — 6 — 3 — 5 — 9 — 11 — 6 — 4 = 84.

La número (1) expresa la totalidad de accidentes en diversos conjuntos observados y la número (2) los correspondientes de cada grupo en los casos en que resultaron pasajeros muertos.

El valor medio de esta aleatoria nos dice que de cada 100 accidentes de Aviación resultan 13,3 con pasajeros muertos. Para los efectos del riesgo del seguro tomaremos un desvío superior al doble del medio cuadrático para tener una probabilidad del 2 por 100 de rebasarlo, o sea que supondremos que el 20 por 100 de los accidentes producidos son fatales.

En los accidentes de clase *D)* y *E)* es evidente que solamente una rara excepción puede producir la muerte de algún pasajero.

Con estos datos podemos ya calcular el daño al pasaje por cada daño-avión producido en el tráfico.

Los accidentes *A)* y *B)*, que suponen un promedio del 12 por 100 del número total de accidentes los tomamos íntegramente en su valor M. Para completar el 20 por 100 que hemos decidido tomar como accidentes fatales necesitaremos tomar 8 del grupo *C)*, que supone un 30 por 100 de los de este grupo, que es el 25 por 100 del total de accidentes. El daño en cada uno del grupo *C)* no será lógicamente M, sino bastante menor, y tomamos el 20 por 100 de M por cada uno de los que suponemos fatales, y, por tanto, como resumen, por cada *avión-daño* tendremos el siguiente *personal-daño:*

$$\underset{A)}{0{,}094\,M} + \underset{B)}{0{,}132\,M} + \underset{C)}{0{,}472 \times 0{,}3 \times 0{,}2\,M} = 0{,}251\,M.$$

Para determinar totalmente el personal-daño hay que considerar la indemnización por heridos e inválidos que resulten en los accidentes, que no afectarían a los grupos *A)* y *B)* en que hemos supuesto que los daños eran totales, sino solamente a los grupos *C)* y *D)*, ya que en los del grupo *E)* existe la casi seguridad de no producirse ninguna lesión a los ocupantes.

En este aspecto faltan en absoluto datos estadísticos de las Compañías por la razón de propaganda y ocultación de que antes hemos hablado y solamente como información tenemos un resumen de la estadística americana, en la que resulta que el número de viajeros lesionados es aproximadamente la mitad del número de viajeros muertos, por lo que vamos a suponer que sea el 30 por 100 de los accidentes de la clase *C)* y el 10 por 100 de la clase *D)* el que ocasiona heridos y que la media de la indemnización por cada uno de estos casos sea el 20 por 100 del daño total y que lo sufre el 60 por 100 de los ocupantes, lo que nos asegura una probabilidad del 95 por 100 de no rebasar esta hipótesis.

El daño total por heridos sería:

$$\underset{C)}{0{,}472 \times 0{,}3 \times 0{,}2 \times 0{,}6\,M} + \underset{D)}{0{,}755 \times 0{,}1 \times 0{,}2 \times 0{,}6\,M} = 0{,}026\,M.$$

Resolución definitiva del problema

Con los cálculos hechos tenemos suficientes datos para hallar P o cuota obligatoria por kilómetro para el viajero que tome un avión. Sabemos con una probabilidad rayana en la certeza, es decir, con una probabilidad de 0,98, que por cada avión-daño en el tráfico aéreo comercial actual se produce un personal-daño inferior a 0,277.

Conocemos también la ley de la probabilidad de que una cantidad de tráfico dada produzca un avión-daño, y de ello deducimos que la hipótesis de que cada millón de kilómetros volados produzca 1,3 aviones-daño (que equivale a un desvío de vez y media el cuadrático) tiene una probabilidad 0,93 de que no se produzcan daños mayores que el supuesto.

Por tanto, con las garantías que requiere la pequeñez del tráfico aéreo español podemos decir:

Que cada kilómetro volado produce:

$$1{,}3 \times 0{,}277 : 10^6 = 36 \times 10^{-8} \text{ personal-daño.}$$

Las tablas deducidas anteriormente nos permiten encontrar otros valores que tengan probabilidades menores, y así, si se quisiese tener la probabilidad 0,5 de rebasar el riesgo, o sea el equitativo, deduciremos que cada kilómetro volado produciría:

$$0{,}8 \times 0{,}18 : 10^6 = 15 \times 10^{-8} \text{ personal-daño.}$$

De la ley del tráfico español por viaje deducimos que la hipótesis de llevar más de ocho viajeros tiene una probabilidad 0,113.

Podemos, por tanto, con las mismas garantías que hasta aquí suponer que llevamos ocho viajeros cuando ocurre el accidente, y como a cada uno debe pagar el seguro 60.000 pesetas, el personal-daño será:

$$8 \times 60.000 = 48 \times 10^4 \text{ pesetas.}$$

Es decir, que cada kilómetro volado ha de sufragar:

$$36 \times 10^{-8} \times 48 \times 10^4 \text{ pesetas} = 0{,}1728 \text{ pesetas.}$$

Como el seguro es obligatorio, pagan la cuota todos los que van en el avión, que son 6,2, que es la media de cada viaje, por lo que la cuota-kilómetro será en definitiva 0,1728 : 6,2 = 0,0278 pesetas, que equivale para el trayecto considerado de Madrid a Barcelona a 13,90.

Si el seguro no fuese obligatorio, la Compañía de seguros que asumiese el riesgo lo supondría repartido entre 4,4 viajeros, que tiene la misma probabilidad 0,113 de llevar menos y la cuota por kilómetro sería 0,1728 : 4,4 = = 0,0393 y por el trayecto considerado pediría 19,65 pesetas.

Si el seguro fuese obligatorio, pero con riesgo equitativo, la cuota kilométrica sería = 0,009, y por viaje, 4,5.

Por no hacer más largo este trabajo no hemos expuesto la ley del tráfico en la línea de Sevilla, pero como resumen diremos que la media es de 4,5 viajeros y que el llevar más de 7 tiene una probabilidad de 0,105. La prima por kilómetro sería para esta línea con su modalidad de ráfico y para el seguro obligatorio

$$36 \times 10^{-8} \times 42 \times 10^4 : 4{,}5 = 0{,}0336 \text{ pesetas.}$$

Y para el trayecto Madrid-Sevilla, 14,11 pesetas.

Se ve, pues, el aumento que supone en la cuota del seguro la mayor dispersión del tráfico en la línea de Sevilla. Esta consecuencia es familiar para todos los actuarios, ya que en la dispersión de los riesgos está el peligro para la estabilidad de las empresas aseguradoras y es uno de los factores que obligan a la consideración del pleno en los seguros.

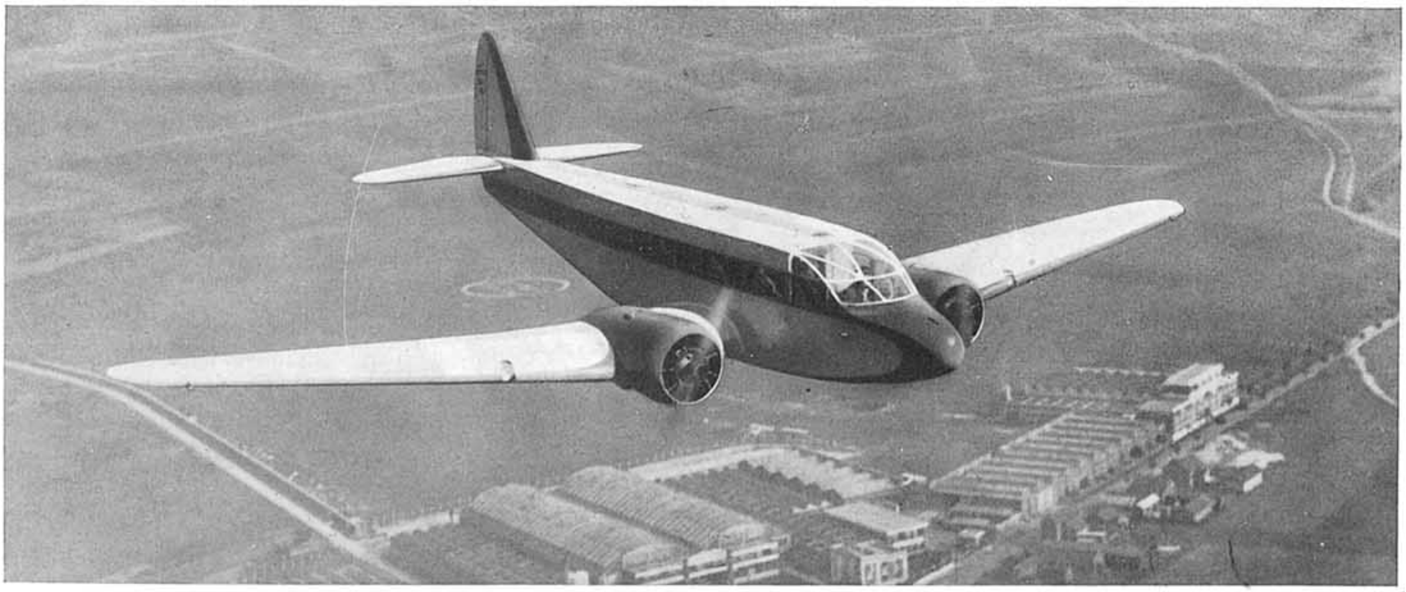
Como para un funcionamiento práctico del seguro obligatorio es muy conveniente la tarifa única que comprenda además todos los vuelos de alquiler y líneas nuevas, podemos suponer que la cuota obligatoria sea de 0,03 pesetas por kilómetro, y como el precio actual del billete es de 0,30 pesetas por kilómetro, podemos concluir diciendo *que el seguro obligatorio debe ser el 10 por 100 del precio del pasaje.*

Sólo nos resta comparar las cifras obtenidas, que suponen un pasajero muerto por cada 2.200.000 kilómetros-pasajero volados, con las que arrojan las estadísticas del *Air Commerce Bulletin*, sin deducir de ello consecuencias, ya que las modalidades de las cantidades de tráfico son muy diferentes en ambos países.

Pasajeros-kilómetros volados por pasajero muerto en millones de kilómetros y en diferentes años en los Estados Unidos de América.

14,4 — 4,6 — 4,8 — 8,5 — 42,0 — 3,5.

Por último haremos mención de que en el tráfico español se han producido más de 18 millones de pasajero-kilómetro sin tener que lamentar ningún accidente.



Una vista en vuelo del nuevo bimotor ligero de transporte *Potez 56*, con tren replegable y construído enteramente en madera. Sus performances, con dos motores *Potez 9 Ab* de 185 cv. y peso total de 2.475 kilogramos, son las siguientes: velocidad máxima, 270 kilómetros por hora; ídem de crucero, 235 kilómetros por hora; techo absoluto, 6.000 metros; radio de acción, 650 kilómetros. Con un solo motor: velocidad a 500 metros, 180 kilómetros por hora; techo absoluto, 1.500 metros.