

EXPERIENCIA DE RIESGOS INTERNOS/EXTERNOS EN APS NIVEL 1 (FS7 G.S.-1.10)



BEGOÑA PEREIRA PAGÁN

Responsable de Análisis de Datos de APS.
Departamento de Seguridad.
EMPRESARIOS AGRUPADOS INTERNACIONAL S.A.



HÉCTOR HERNÁNDEZ ESCOLANO

Jefe de Análisis de Seguridad.
Responsable de los APS.
ASOCIACIÓN NUCLEAR ASCÓ-VANDELLÓS II



JOSÉ MIGUEL GARCÍA GUTIÉRREZ

Técnico de Análisis de Datos de APS.
Departamento de Análisis de Seguridad.
ASOCIACIÓN NUCLEAR ASCÓ-VANDELLÓS II

INTRODUCCIÓN

La Guía de Seguridad 1.10 [1] del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), en lo que se denomina Factor de Seguridad 7, identifica una serie de riesgos internos y externos que pueden afectar a la seguridad de centrales nucleares. La Guía pide que las plantas, para la revisión periódica de seguridad, analicen las vulnerabilidades y fortalezas que tienen frente a ellos.

Independientemente de los estudios que se realizan en las centrales para dar respuesta a esta Guía, desde el APS de Nivel 1 se investiga, a partir de la experiencia real de la plan-

ta, si alguno de los sucesos que se encuentran contemplados en el modelo (iniciadores, especiales, fallos o indisponibilidades) ha estado ocasionado por uno de estos riesgos [2]. Se trata de cuantificar su contribución a la ecuación de daño al núcleo. El objetivo es, precisamente, ver la importancia de estos sucesos, identificar la posibilidad de tomar acciones de mejora y, en el caso de que ya hayan sido tomadas, validar las mismas.

Los riesgos del factor de seguridad 7 (FS7) engloban tanto sucesos externos como internos y son los recogidos en la Tabla 1.

Tipo de Riesgo	Riesgo
Interno	Incendios internos
	Inundaciones internas
	Efecto látigo por rotura de tuberías
	Proyectiles y caída de cargas pesadas
	Liberaciones y escapes de vapor
	Liberaciones de gases calientes y fríos
	Aspersión
	Explosiones
	Interferencia electromagnética o de radiofrecuencia
	Líquidos y gases tóxicos o corrosivos
	Vibraciones
	Hundimientos
	Alta humedad
	Colapso estructural
	Pérdida de agua de refrigeración, electricidad, aire, etc.
	Transitorios de alta tensión
	Pérdida o disminución de la capacidad de aire acondicionado que pueda conducir a altas temperaturas.

Tipo de Riesgo	Riesgo
Externo	Inundaciones externas (incluyendo tsunamis)
	Vientos elevados (incluyendo tornados)
	Incendio externo
	Condiciones meteorológicas (temperaturas extremas, alta humedad, sequías, nieve, acumulación de hielo)
	Tormentas solares
	Líquidos y gases tóxicos, corrosivos o contaminantes en el aire (ceniza de volcanes, contaminantes industriales, etc.)
	Fenómenos hidrológicos o hidrogeológicos (incluyendo incrementos de nivel freático)
	Terremotos
	Volcanes
	Caída de aviones
	Proyectiles y explosiones
	Agentes biológicos
	Rayos
	Interferencias electromagnéticas o de radiofrecuencia
	Vibraciones
	Transportes peligroso y tráfico
	Pérdidas de suministros externos (agua, electricidad, gas)

Tabla 1. Riesgos Factor de Seguridad 7 G.S.-1.10 [1]

El análisis se centra en la experiencia operativa que se ha ido analizando durante el desarrollo del APS, bien sea para la identificación y cuantificación de las frecuencias de sucesos iniciadores o de los datos de fiabilidad (probabilidades y tasas de fallo independientes o de causa común de componentes) e indisponibilidades por pruebas periódicas o mantenimientos preventivos y correctivos, así como probabilidades asociadas a los sucesos especiales (por ejemplo, la pérdida de alimentación de 220 kV durante la secuencia). Es decir, con la vista puesta en los riesgos del FS7, se revisa toda la información disponible en planta, empleada en el análisis de datos del APS. Por ejemplo:

- Informes de sucesos notificables e informes especiales
- Órdenes de trabajo / descargos / permisos de trabajo
- Informes mensuales de explotación

Obteniéndose finalmente una relación de sucesos históricos, contemplados en el APS, que se produjeron en origen por una de las causas mencionadas, y que se consideran repetibles.

Dado que en el APS se tienen dos tipos de datos, uno relacionado con la ocurrencia de sucesos (frecuencias y fallos) y otro con tiempos de indisponibilidad, el resultado del análisis se separa igualmente en dos grupos. A modo de ejemplo, lo anterior se puede ver en las Tablas 2 y 3.



Suceso APS	Tipo de Dato	Nº Sucesos	GRUPO Bayes o Estimación Directa	Nº Sucesos TOTAL Grupo	% Sucesos riesgo / Sucesos totales
Pérdida Total de Energía Eléctrica Exterior	S. Iniciador	1	--	1	100,00 %
Pérdida de Alimentación Eléctrica Principal	S. Iniciador	8	--	10	80,00 %
Pérdida de Alimentación Eléctrica secundaria	S. Especial	20	--	50	40,00 %
Pérdida de Vacío en el Condensador	S. Iniciador	3	--	7	42,86 %
Fallo instrumento	SB Fallo	3	Grupo IP	16	18,75 %
Fallo en operación de la bomba XX	SB Fallo	1	Grupo PR	3	33,33 %

La columna "Nº Sucesos" corresponde a los sucesos identificados, cuya causa se debe a uno de los riesgos analizados. La columna "Nº Sucesos TOTAL Grupo" presenta el número de sucesos totales considerados en el APS dentro del correspondiente grupo (iniciadores, fallos o sucesos especiales) estén o no causados por los riesgos analizados. Finalmente, la columna "% Sucesos / Fallos Afectados" representa el porcentaje de los sucesos que se han debido a un riesgo de los analizados.

Tabla 2. Sucesos iniciadores, especiales y fallos. Ejemplo.

Suceso APS	Tipo de Dato	T _{indisp.} (h)	T _{indisp.} TOTAL SB (h)	% Indisp. Afectada
Indisp. Alimentación Eléctrica Secundaria	S. Especial (indisp. Línea)	24	120	20,00 %
Indisp. Trafo	Indisponibilidad	10	170	5,88 %
Indisp. Unidad Refrigeración	Indisponibilidad	1,32	264,83	0,50 %
Indisp. Bomba YY	Indisponibilidad	1	90	1,11 %
Indisp. Canal IP	Indisponibilidad	35	150	23,33 %

La columna "T_{indisp.}" corresponde al tiempo de indisponibilidad de los sucesos identificados en el presente artículo, cuya causa se debe a uno de los riesgos analizados. La columna "T_{indisp.} TOTAL SB" presenta el tiempo total de indisponibilidad de ese suceso. Finalmente, la columna "% Indisp Afectada" representa el porcentaje del tiempo de indisponibilidad que se ha debido a un riesgo de los analizados.

Tabla 3. Indisponibilidades y sucesos especiales. Ejemplo.

Esto significa que, en el caso de una pérdida total de energía eléctrica exterior, en el APS del ejemplo se ha contemplado 1 suceso y este se ha debido a uno de los riesgos del FS7, lo que implica que la frecuencia del suceso iniciador se ve afectada en un 100 % de los casos. De manera análoga, 8 de los 10 sucesos de pérdida de 380 o 400 kV considerados en el APS (80 %), 20 de los 50 de pérdida de 220 kV (40 %) y 3 de los 7 de pérdida de vacío en el condensador (42,87 %) se han debido a los riesgos del FS7. También se ve que 3 fallos de los 16 que se incluyen en el grupo de pérdida de función de un instrumento (18,75 %) y que 1 de los

3 fallos en operación del grupo de bombas "XX" (33,33 %) se han visto igualmente afectados.

Siguiendo un procedimiento similar para los tiempos de indisponibilidad, se determina qué tiempos han sido motivados por uno de estos riesgos, viendo su afectación al APS.

En este punto, ya se conoce qué parte de la experiencia contemplada en el APS fue originada por los riesgos identificados en el FS7 y cómo afectó a determinados sucesos iniciadores o sucesos básicos (de fallo, indisponibilidad o

especial). Pero interesa saber qué importancia tienen estos en el APS, es decir, si suponen una vulnerabilidad significativa en el modelo. Para ello, se utiliza lo que se denomina medida de importancia de Fussel-Vesely (FV), esta medida, también llamada Fracción de contribución al riesgo (FCR)¹, nos da la contribución de un suceso básico x a la frecuencia de daño al núcleo (FDN). Un valor de FV cero implica que el suceso no aparece en la ecuación de daño al núcleo y, por tanto, no es significativo.

¹Es el cociente en incremento del riesgo nominal derivado del fallo del elemento x en relación al riesgo nominal. Sus valores están entre [0,1].

$$FV_x = F(CMF_x) / F(FDN)$$

Donde:

FV_x: Medida de Fussel-Vesely para el suceso básico x.

F(CMF_x): Suma de los conjuntos mínimos de fallo que en la ecuación de daño al núcleo contienen el suceso básico x.

F(FDN): Frecuencia total de daño al núcleo.

El siguiente paso, por tanto, es ver qué puesto ocupan los sucesos afectados en la ecuación de daño al núcleo con la condición de que la medida de Fussel-Vesely sea superior a cero. Con el valor asignado a los mismos ya se puede conocer la afectación de los riesgos sobre la Frecuencia de Daño al Núcleo (FDN).

Volviendo al ejemplo anterior, en el caso de una pérdida total de energía eléctrica exterior, con una afectación del 100 % sobre el suceso iniciador, si este tenía un valor en la FDN de 2,5E-02 /a, lógicamente este será el valor de la FDN afectado (Tabla 4).

Si, además, se conoce que la medida de FV (contribución del suceso a la FDN) de la pérdida total de energía eléctrica exterior es de 2,00E-02, la contribución a la FDN final será el producto de 100 % por 2,00E-02, lo que significa que los riesgos del FS7 que afectan al APS de Nivel 1 (en lo que respecta a la pérdida de energía eléctrica exterior) representan un 2 % (Tabla 5).

Suceso APS	Tipo de Dato	% Fallos / T _{indisp} afectado	Orden FDN (FV>0)	Valor FDN	Valor FDN afectado
Pérdida Total de Energía Eléctrica Exterior	S. Iniciador	100,00 %	40	2,50E-02	2,50E-02
P. Alim. Eléctrica Principal	S. Iniciador	80,00 %	12	2,75E-02	2,20E-02
P. Alim. Eléctrica Secundaria	S. Especial	40,00 %	44	3,00E-03	1,20E-03
Pérdida de Vacío en Condensador	S. Iniciador	42,86 %	9	1,50E-02	6,43E-03
Fallo instrumento	SB Fallo	18,75 %	No aparece		
Fallo en operación bomba XX	SB Fallo	33,33 %	300	3,00E-04	1,00E-04
Indisp. Alimentación Eléctrica Secundaria	S. Especial (indisp. Línea)	20,00 %	120	6,00E-04	1,20E-04
Indisp. Trafo	Indisponibilidad	5,88 %	200	5,00E-04	1,68E-04
Indisp. Unidad Refrigeración	Indisponibilidad	0,50 %	No aparece		
Indisp. Bomba YY	Indisponibilidad	1,11 %	No aparece		
Indisp. Canal IP	Indisponibilidad	23,33 %	No aparece		

En la tabla anterior, la columna "Orden FDN (FV>0)" corresponde al orden que ocupa en la ecuación de la frecuencia de daño al núcleo (FDN) el suceso iniciador / básico / especial. La columna "Valor FDN" es el valor que tiene en la citada ecuación. "Valor FDN afectado" representa qué parte del valor asignado en la FDN correspondería a los riesgos analizados y se calcula multiplicando el "Valor FDN" por "% Fallos / T_{indisp} afectado".

Tabla 4. Valor FDN afectado. Ejemplo.

Suceso APS	Tipo de Dato	% Fallos / T _{indisp} afectado	Orden FDN (FV>0)	F-V	Contribución % FDN
Pérdida Total de Energía Eléctrica Exterior	S. Iniciador	100,00 %	40	2,00E-02	2,00 %
P. Alim. Eléctrica Principal	S. Iniciador	80,00 %	12	6,00E-02	4,80 %
P. Alim. Eléctrica Secundaria	S. Especial	40,00 %	44	2,00E-02	0,80 %
Pérdida de Vacío en Condensador	S. Iniciador	42,86 %	9	5,00E-02	2,14 %
Fallo instrumento	SB Fallo	18,75 %	No aparece		
Fallo en operación bomba XX	SB Fallo	33,33 %	300	5,00E-04	0,02 %
Indisp. Alimentación Eléctrica Secundaria	S. Especial (indisp. Línea)	20,00 %	120	2,00E-03	0,04 %
Indisp. Trafo	Indisponibilidad	5,88 %	200	1,50E-03	0,01 %
Indisp. Unidad Refrigeración	Indisponibilidad	0,50 %	No aparece		
Indisp. Bomba YY	Indisponibilidad	1,11 %	No aparece		
Indisp. Canal IP	Indisponibilidad	23,33 %	No aparece		

En la tabla anterior, la columna "Orden FDN (FV>0)" corresponde al orden que ocupa en la ecuación de la frecuencia de daño al núcleo (FDN) el suceso iniciador / básico / especial. La columna "Valor FDN" es el valor que tiene en la citada ecuación. "Valor FDN afectado" representa qué parte del valor asignado en la FDN correspondería a los riesgos analizados y se calcula multiplicando el "Valor FDN" por "% Fallos / T_{indisp} afectado". Finalmente, para calcular la contribución a la frecuencia de daño al núcleo (FDN) de los sucesos que aparecen en la ecuación, se multiplica el valor de la medida FV que tiene el suceso por el porcentaje "% Fallos / T_{indisp} afectado".

Tabla 5. Contribución a la FDN. Ejemplo.



Repitiendo el proceso para los demás sucesos, ya se puede determinar cuáles de ellos son más significativos, afectando en mayor medida al APS (Tablas 4 y 5).

La suma de los porcentajes de todos estos riesgos de la Frecuencia de Daño al Núcleo del APS de Nivel 1 de Sucesos Internos representa un 9,81 %. Prácticamente un 10 % de la FDN se debe a la ocurrencia de sucesos identificados en el FS7 de la G.S.-1.10 [1].

En el ejemplo, se ve que los casos significativos corresponden a 3 sucesos iniciadores (pérdida total de energía eléctrica exterior, pérdida de 380 o 400 kV y pérdida de vacío en el condensador) y 1 suceso especial que representa la pérdida de 220 kV durante la secuencia de accidente.

Una vez focalizado qué sucesos son más importantes para el modelo de APS de Nivel 1, se procede a estudiar el riesgo que ha ocasionado cada uno de ellos. La intención, como se ha explicado al principio, es estudiar la posibilidad de tomar medidas para evitar que la planta se vea afectada por ellos y, de esta forma, mejorar su fortaleza.

A continuación, se repite el proceso anterior, estimándose la frecuencia de daño al núcleo de los sucesos seleccionados, desglosando ya el análisis por los riesgos que los provocaron.

Suponiendo que la FDN del APS del ejemplo tiene una frecuencia de $8,00E-06$ /año, se calcula qué parte de la frecuencia de daño al núcleo de nuestro APS se debe a estos riesgos (Tabla 6).

Agrupando por riesgos, se obtiene lo reflejado en la Tabla 7. Cuya suma es $7,79E-07$ /a. Aunque el NUREG-1407 [3] no da específicamente un valor de cribado para todos estos tipos de riesgo, como por ejemplo para rayos, sí lo proporciona para fuertes vientos y otros sucesos externos, de forma que se puedan cribar como no significativos para el riesgo. Este nivel de cribado corresponde a un valor estándar de $1,00E-06$ /a. Como se observa en la Tabla 7, ninguno de los riesgos analizados supera este umbral.

Tras el análisis de experiencia operativa, se podrá concluir si la contribución de los riesgos identificados en la G.S.-1.10 [1] es significativa o no. En el ejemplo de este artículo, la valora-

Suceso APS	Tipo de Riesgo	Nº Sucesos	Nº Sucesos TOTAL Grupo	% Sucesos afectados	F-V	Contr. % FDN	FDN $8,00E-06$ /a
PPE	Rayos (tormentas)	1	1	100,00 %	2,00E-02	2,00 %	1,60E-07 /a
P. Alim. Eléctrica Ppal.	Fuertes Vientos	3	10	30,00 %	6,00E-02	1,80 %	1,44E-07 /a
	Pérdida de suministro externo (eléctrico) (por causas distintas a vientos, rayos...)	1		10,00 %		0,60 %	4,80E-08 /a
	Rayos (tormentas)	3		30,00 %		1,80 %	1,44E-07 /a
	Incendio externo	1		10,00 %		0,60 %	4,80E-08 /a
P. Alim. Eléct. secundaria	Condiciones meteorológicas adversas (niebla, hielo)	2	50	4,00 %	2,00E-02	0,08 %	6,40E-09 /a
	Incendio externo	1		2,00 %		0,04 %	3,20E-09 /a
	Rayos (tormentas)	17		34,00 %		0,68 %	5,44E-08 /a
Pérd. Vacío Condens.	Agentes biológicos	3	7	42,86 %	5,00E-02	2,14 %	1,71E-07 /a
TOTAL							7,79E-07 /a

La columna "Nº Sucesos" corresponde a los sucesos identificados cuya causa se debe a uno de los riesgos analizados. La columna "Nº Sucesos TOTAL Grupo" presenta el número de sucesos totales considerados en el correspondiente grupo dentro del APS. La columna "% Sucesos afectados" representa el porcentaje de los sucesos que se han debido a un riesgo de los analizados. Para calcular la contribución a la frecuencia de daño al núcleo (FDN) de los sucesos que aparecen en dicha ecuación, se multiplica el valor de la medida FV que tiene el suceso por el porcentaje "% Sucesos afectados" y multiplicando este porcentaje por la FDN del APS, se obtiene la siguiente columna que da las frecuencias de cada supuesto.

Tabla 6. Contribución a la FDN de sucesos significativos. Ejemplo.



Tipo de Riesgo	Contribución % FDN	FDN 8,00E-06 /a
Rayos (tormentas)	4,48 %	3,58E-07 /a
Fuertes vientos	1,80 %	1,44E-07 /a
Incendio externo	0,64 %	5,12E-08 /a
Pérdida de suministro externo (eléctrico) (por causas distintas a vientos, rayos...)	0,60 %	4,80E-08 /a
Condiciones meteorológicas adversas (niebla, hielo)	0,08 %	6,40E-09 /a
Agentes biológicos	2,14 %	1,71E-07 /a

Tabla 7. Contribución a la FDN por riesgos basados en la experiencia histórica. Ejemplo.

Tipo de Riesgo	Riesgo	% FDN	Tipo de Riesgo	Riesgo	% FDN
Interno	Incendios internos	0,00 %	Externo	Inundaciones externas (incluyendo tsunamis)	0,00 %
	Inundaciones internas	0,00 %		Vientos elevados (incluyendo tornados)	1,80 %
	Efecto látigo por rotura de tuberías	0,00 %		Incendio externo	0,64 %
	Proyectiles y caída de cargas pesadas	0,00 %		Condiciones meteorológicas (temperaturas extremas, alta humedad, sequías, nieve, acumulación de hielo)	0,08 %
	Liberaciones y escapes de vapor	0,00 %		Tormentas solares	0,00 %
	Liberaciones de gases calientes y fríos	0,00 %		Líquidos y gases tóxicos, corrosivos o contaminantes en el aire (ceniza de volcanes, contaminantes industriales, etc.)	0,00 %
	Aspersión	0,00 %		Fenómenos hidrológicos o hidrogeológicos (incluyendo incrementos de nivel freático)	0,00 %
	Explosiones	0,00 %		Terremotos	0,00 %
	Interferencia electromagnética o de radiofrecuencia	0,00 %		Volcanes	0,00 %
	Líquidos y gases tóxicos o corrosivos	0,00 %		Caída de aviones	0,00 %
	Vibraciones	0,00 %		Proyectiles y explosiones	0,00 %
	Hundimientos	0,00 %		Agentes biológicos	2,14 %
	Alta humedad	0,00 %		Rayos	4,48 %
	Colapso estructural	0,00 %		Interferencias electromagnéticas o de radiofrecuencia	0,00 %
	Pérdida de agua de refrigeración, electricidad, aire, etc.	0,00 %		Vibraciones	0,00 %
	Transitorios de alta tensión	0,00 %		Transportes peligroso y tráfico	0,00 %
	Pérdida o disminución de la capacidad de aire acondicionado que pueda conducir a altas temperaturas.	0,00 %		Pérdidas de suministros externos (agua, electricidad, gas)	0,75 %

Tabla 8. Contribución a la FDN por riesgos FS7. Ejemplo.

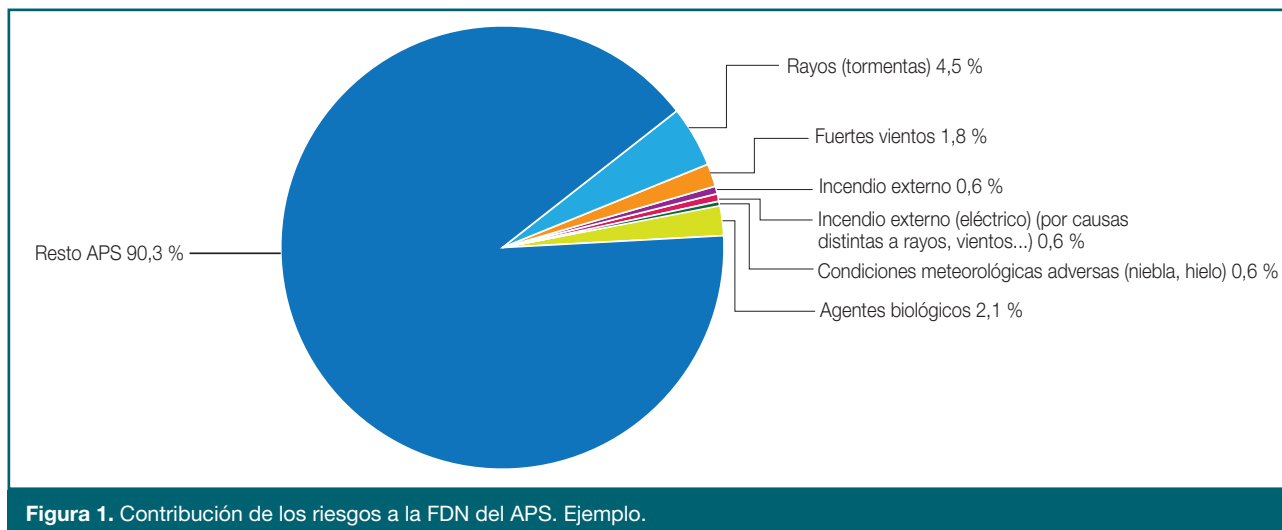


Figura 1. Contribución de los riesgos a la FDN del APS. Ejemplo.

ción riesgo a riesgo sería la que se muestra en la Tabla 8 y su representación gráfica se muestra en la Figura 1.

Un 10 % de la Ecuación de Daño al Núcleo ha sido ocasionado por riesgos externos identificados en el Factor de Seguridad 7 de la G.S.-1.10. Es lo suficientemente significativo como para buscar posibles acciones preventivas o de mejora, como pueden ser las siguientes:

- Monitorización de los ríos, embalses, mar con sistema de alertas o avisos que ayude en la previsión de los sucesos.
- Protección contra tormentas (pararrayos).
- Protección contra sobretensiones.
- Prácticas operativas:
 - Bajada de carga
 - Desconexión de la red
 - Elaboración de procedimientos
 - Entrenamiento
- Coordinación con organismos oficiales:
 - Vigilancia de cuencas hidrográficas
 - Asociación Española de Protección Civil para el Clima Espacial (AEPCCCE)
 - Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones

En resumen, este ejercicio permite conocer mejor la experiencia de la planta, focalizar los riesgos del Factor de Seguridad 7 de la Guía de Seguridad 1.10 [1] del CSN que la afectan, ver las posibles acciones de mejora, y validar las fortalezas de que dispone.

REFERENCIAS

- [1] G.S.-1.10. Revisiones periódicas de la seguridad de las centrales nucleares. Rev. 2.
- [2] IF18003. Análisis de Experiencia Operativa respecto a Riesgos de Sucesos Internos / Externos de C.N. Vandellós II.
- [3] NUREG-1407. Procedural and Submittal Guidance for the Individual Plant Examination of External Events (IPEEE) for Severe Accident Vulnerabilities. June 1991. ■