

Apéndice B

Influencias globales, consistencia y confiabilidad de los factores de participación

El análisis multicriterio basado en importancias relativas y pesos obtenidos mediante comparaciones sucesivas entre parejas de criterios (*pairwise*), desarrollado para la toma de decisiones, es una técnica útil para asignar los factores de participación o importancia de los componentes de un indicador de una manera más rigurosa que la directa apreciación utilizando el “juicio” o “sentimiento” de los expertos (Hayman 1998). Una de las técnicas más desarrolladas es el proceso jerárquico analítico (*Analytical Hierarchy Process* - AHP) que permite medir la consistencia de los factores de peso asignados mediante comparaciones *pairwise* (Saaty 1980).

Utilizando la Tabla B.1 propuesta por Saaty y Vargas (1991) para la asignación de importancias o preferencias se puede asignar un puntaje de importancia relativa por parejas de indicadores o *pairwise*, teniendo como referencia qué tanto, en forma comparativa, cada indicador refleja el aspecto que se desea representar. La tabla B.2 indica el grado de relación que, según los expertos, cada indicador tiene con las variables o índices que se evalúan (que puede ser directa o indirecta fuerte, moderada o leve). También, incluye el puntaje inicial asignado (resultado de un proceso Delphi entre los expertos) de importancia relativa entre indicadores, que sirve de punto de partida para realizar el proceso jerárquico analítico AHP.

Tabla B.1 Escala de asignación de importancia comparativa entre parejas.

Juicio de Importancia	Puntaje
Extremadamente más importante	9
	8
Muy fuertemente más importante	7
	6
Fuertemente más importante	5
	4
Moderadamente más importante	3
	2
Igualmente importante	1

Tabla B.2: Nivel de relación e importancia preliminar de las agrupaciones

Identificación	Descripción	Relación	Importancia
IR_H	Riesgo Sísmico Físico (potencial de)		
X_{IR1}	Área destruida	Directa	1
X_{IR2}	Fallecidos	Directa	5
X_{IR3}	Heridos	Directa	5
X_{IR4}	Roturas red de acueducto	Directa	3
X_{IR5}	Roturas de la red de gas	Directa	3
X_{IR6}	Longitud de redes eléctricas caídas	Directa	3
X_{IR7}	Centrales telefónicas afectadas	Directa	5
X_{IR8}	Subestaciones eléctricas afectadas	Directa	5
H_S	Amenaza Sísmica Contexto		
X_{H1}	Aceleración espectral en períodos T cortos	Directa	1
X_{H2}	Área de suelos blandos	Indirecta-fuerte	5
X_{H3}	Área con potencial de licuación	Indirecta-fuerte	3
X_{H4}	Susceptibilidad de deslizamiento	Indirecta-leve	2
V_S	Vulnerabilidad del Contexto		
E_V	Exposición del Contexto		
X_{E1}	Población	Indirecta-fuerte	1
X_{E2}	Densidad poblacional	Indirecta-leve	3
X_{E3}	Área construida	Indirecta-fuerte	1
X_{E4}	Área industrial	Indirecta-leve	3
X_{E5}	Área institucional	Indirecta-leve	3
F_V	Fragilidad Social		
X_{F1}	Área barrios marginales	Indirecta-fuerte	1
X_{F2}	Tasa de mortalidad	Indirecta-leve	5
X_{F3}	Tasa de delincuencia	Indirecta-leve	5
X_{F4}	Índice de disparidad social	Indirecta-fuerte	1
R_V	Resiliencia (-) Falta de		
X_{R1}	Camas hospitalarias	Directa	1
X_{R2}	Recurso humano en salud	Directa	1
X_{R3}	Espacio público	Indirecta-leve	3
X_{R4}	Personal de rescate	Directa	1
X_{R5}	Nivel de desarrollo	Directa	1
X_{R6}	Operatividad en emergencias	Indirecta-fuerte	1

La asignación de los puntajes de importancia relativa se realiza con base en las dos tablas anteriores, comparando la importancia del primer indicador con respecto a los demás. Por ejemplo, el área destruida de edificaciones es moderadamente más importante (puntaje 5) que el número de centrales telefónicas afectadas, cuando se tiene como referente el riesgo sísmico físico. Con base en estos puntajes iniciales se formula la matriz para el análisis de consistencia. Esta matriz se ajusta y evalúa hasta que se considere que la consistencia es adecuada.

De acuerdo con la técnica AHP la relación de consistencia CR (Ecuación B.1) es el cociente entre el índice de consistencia CI de una matriz de comparaciones *pairwise* dada y el valor del mismo índice para una matriz de comparaciones *pairwise* generada aleatoriamente:

$$CR = \frac{CI}{CI_{random}} \leq 0.1 \quad [B.1]$$

donde el índice de consistencia CI está definido como

$$CI = \frac{l_{\max} - n}{n - 1} \quad [B.2]$$

el término $l_{\max}$ en la ecuación B.2 es el mayor valor propio (*eigenvalue*) positivo de la matriz de comparaciones *pairwise*.

Hayman indica que la confiabilidad es suficiente si CR es menor o igual a 0.10. En caso contrario se debe revisar los elementos de la matriz de comparaciones *pairwise* con el ánimo de mejorar su consistencia. Una vez obtenida una consistencia aceptable se procede a normalizar la matriz y se determinan los valores ajustados de los factores de participación. Los valores finales de los factores de participación se obtuvieron de apreciaciones de expertos relacionados con la prevención de desastres y planificación. A continuación se presentan las matrices para cada uno de los factores e indicadores que constituyen los índices de riesgo sísmico físico y del contexto.

Dado que para iniciar el proceso con el método neuronal difuso se establecen unos pesos de inicio, se utilizó esta técnica para dicho efecto. En ese caso tanto la matriz de riesgo sísmico físico como la de falta de resiliencia incluyeron una variable adicional a considerar, razón por la cual se presentan dos matrices de valores finales en cada uno de esos casos.

Matriz de Riesgo Sísmico Físico

(Usada en el método de indicadores)

	XIR ₁	XIR ₂	XIR ₃	XIR ₄	XIR ₅	XIR ₆	XIR ₇	XIR ₈
XIR ₁	1	4	4	2	3	3	5	5
XIR ₂	0.25	1	1	0.50	1	1	3	3
XIR ₃	0.25	1	1	0.50	1	1	3	3
XIR ₄	0.50	2	2	1	2	2	4	4
XIR ₅	0.33	1	1	0.5	1	1	3	3
XIR ₆	0.33	1	1	0.5	1	1	3	3
XIR ₇	0.20	0.33	0.33	0.25	0.33	0.33	1	1
XIR ₈	0.20	0.33	0.33	0.25	0.33	0.33	1	1
S	3.07	10.67	10.67	5.50	9.67	9.67	23	23

Valor Propio Mayor 8.09531

CI	0.01362
----	---------

CR **0.00966**

NORMALIZADA

[illegible]

Matriz de Riesgo Sísmico Físico
(Usada en el método de redes neuronales difusas)

	XIR ₁	XIR ₂	XIR ₃	XIR ₄	XIR ₅	XIR ₆	XIR ₇	XIR ₈	XIR ₉
XIR ₁	1	3	3	2	3	6	6	6	3
XIR ₂	0.33	1	1	0.5	1	2	2	2	1
XIR ₃	0.33	1	1	0.5	1	2	2	2	1
XIR ₄	0.50	2	2	1	2	3	3	3	2
XIR ₅	0.33	1	1	0.50	1	2	2	2	1
XIR ₆	0.17	0.5	0.5	0.33	0.5	1	1	1	0.5
XIR ₇	0.17	0.5	0.5	0.33	0.5	1	1	1	0.5
XIR ₈	0.17	0.5	0.5	0.33	0.5	1	1	1	0.5
XIR ₉	0.33	1	1	0.50	1	2	2	2	1
S	3.33	10.5	10.5	6.00	10.5	20	20	20	10.5

Valor Propio Mayor **9.01467**

CI **0.00183**

CR **0.00122**

NORMALIZADA

	XIR ₁	XIR ₂	XIR ₃	XIR ₄	XIR ₅	XIR ₆	XIR ₇	XIR ₈	XIR ₉	Influencia Global	Peso Obtenido
XIR ₁	0.30	0.29	0.29	0.33	0.29	0.30	0.30	0.30	0.29	0.30	30
XIR ₂	0.10	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	10
XIR ₃	0.10	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	10
XIR ₄	0.15	0.19	0.19	0.17	0.19	0.15	0.15	0.15	0.19	0.15	15
XIR ₅	0.10	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	10
XIR ₆	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	5
XIR ₇	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	5
XIR ₈	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	5
XIR ₉	0.10	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	10
S	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100

Matriz de Amenaza Sísmica

	X _{H1}	X _{H2}	X _{H3}	X _{H4}
X _{H1}	1	4	2	2
X _{H2}	0.25	1	2	2
X _{H3}	0.5	0.5	1	1
X _{H4}	0.5	0.5	1	1
S	2.25	6	6	6

Valor Propio Mayor = 4.24923

CI = 0.083076667

CR = 0.092307407

NORMALIZADA

	X _{H1}	X _{H2}	X _{H3}	X _{H4}	Influencia Global	Peso Obtenido
X _{H1}	0.44	0.67	0.33	0.33	0.444	44
X _{H2}	0.11	0.17	0.33	0.33	0.236	24
X _{H3}	0.22	0.08	0.17	0.17	0.160	16
X _{H4}	0.22	0.08	0.17	0.17	0.160	16
S	1	1	1	1	1	100

Matriz de Exposición

	X_{E1}	X_{E2}	X_{E3}	X_{E4}	X_{E5}
X_{E1}	1	2	1	2	2
X_{E2}	0.5	1	0.5	2	2
X_{E3}	1	2	1	2	2
X_{E4}	0.50	0.5	0.50	1	1
X_{E5}	0.50	0.5	0.50	1	1
S	3.50	6	3.50	8	8

Valor Propio Mayor **5.07757** **CI** **0.01939**
CR **0.01731**

NORMALIZADA

	X_{E1}	X_{E2}	X_{E3}	X_{E4}	X_{E5}	Influencia Global	Peso Obtenido
X_{E1}	0.29	0.33	0.29	0.25	0.25	0.281	28
X_{E2}	0.14	0.17	0.14	0.25	0.25	0.190	19
X_{E3}	0.29	0.33	0.29	0.25	0.25	0.281	28
X_{E4}	0.14	0.08	0.14	0.13	0.13	0.124	12.5
X_{E5}	0.14	0.08	0.14	0.13	0.13	0.124	12.5
S	1	1	1	1	1	1	100

Matriz de Fragilidad Social

	X _{F1}	X _{F2}	X _{F3}	X _{F4}
X _{F1}	1	4	4	1
X _{F2}	0.25	1	1	0.25
X _{F3}	0.25	1	1	0.25
X _{F4}	1	4	4	1
S	2.5	10	10	2.5

Valor Propio Mayor 4 CI 0
 CR 0

NORMALIZADA

	X _{F1}	X _{F2}	X _{F3}	X _{F4}	Influencia Global	Peso Obtenido
X _{F1}	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	40
X _{F2}	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	10
X _{F3}	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	10
X _{F4}	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	40
S	1	1	1	1	1	100

Matriz de Falta de Resiliencia

(Usada en el método de indicadores)

	XR ₁	XR ₂	XR ₃	XR ₄	XR ₅	XR ₆
XR ₁	1	1	2	1	1.0	0.5
XR ₂	1	1	1	2	0.5	1.0
XR ₃	0.5	1	1	1	0.5	1.0
XR ₄	1	0.5	1	1	1.0	0.5
XR ₅	1	2	2	1	1	1
XR ₆	2	1	1	2	1	1
S	7	7	8	8	5	5

Valor Propio Mayor 6.27098

CI 0.0542

CR 0.0437

NORMALIZADA

	XR ₁	XR ₂	XR ₃	XR ₄	XR ₅	XR ₆	Influencia Global	Peso Obtenido
XR ₁	0.15	0.15	0.25	0.13	0.20	0.10	0.16	16
XR ₂	0.15	0.15	0.13	0.25	0.10	0.20	0.16	16
XR ₃	0.08	0.15	0.13	0.13	0.10	0.20	0.13	13
XR ₄	0.15	0.08	0.13	0.13	0.20	0.10	0.13	13
XR ₅	0.15	0.31	0.25	0.13	0.20	0.20	0.21	21
XR ₆	0.31	0.15	0.13	0.25	0.20	0.20	0.21	21
S	1	1	1	1	1	1	1	100

Matriz de Vulnerabilidad del Contexto

	Ev	Fv	Ev
Ev	1	0.50	1
Fv	2	1	1
Rv	1	1.00	1
S	4	2.50	3

Valor Propio Mayor

3.05362

CI

0.02681

CR

0.05156

NORMALIZADA

	Ev	Fv	Ev	Influencia Global	Peso Obtenido
Ev	0.25	0.20	0.33	0.26	26
Fv	0.50	0.40	0.33	0.41	41
Rv	0.25	0.40	0.33	0.33	33
S	1	1	1	1.00	100

