

# LA TÉCNICA DE LA ESTRATEGIA DE LO DESEABLE. SUS CARACTERÍSTICAS Y FUNDAMENTO MATEMÁTICO

*María Cristina Escobar Iturbe y  
Elisa A. González del Valle Campoamor\**

## Resumen

*Se describe el método de los impactos cruzados y la técnica de simulación estocástica para el cálculo de las probabilidades, absolutas y condicionadas depuradas de los eventos caracterizadores del estudio de interés, así como las probabilidades de los escenarios deseados. En este artículo se enfatiza la importancia de este método de pronóstico y el apoyo que brinda a la toma de decisiones bajo incertidumbre. Una comparación es propuesta entre la “estrategia de lo real”, en el contexto clásico de las técnicas de pronóstico, y la “estrategia de lo deseado”, en el contexto de la creación de escenarios de anticipación y la selección de los escenarios deseados. También es mencionado el impacto de las técnicas de los sistemas blandos, en el proceso de la toma de decisiones. Finalmente, se propone y*

\* Profesoras del Área de Modelación de Sistemas para la Economía y Administración. Departamento de Economía. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

*fundamenta el método de los impactos cruzados como la técnica de apoyo de la "estrategia de lo deseado".*

## **Introducción**

Entre las diversas técnicas que pueden ser clasificadas bajo el término genérico del método de impactos cruzados, nos vamos a referir concretamente a las técnicas estructuradas por la construcción de matrices de impacto cruzado y del método Delphi<sup>1</sup>, utilizado en la fase del método correspondiente a la consulta de expertos, respecto a recolección de información referente a las ponderaciones de las probabilidades iniciales. El método de los impactos cruzados o Cross Impact (X - I) toma en consideración, a la vez, las opiniones expresadas vía cuestionario por los expertos y las interrelaciones entre los factores de las variables consideradas, suministrando una tabla de doble entrada y teniendo como contexto el enfoque sistémico.

## **CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO DE IMPACTOS CRUZADOS (MIC)**

1. Es un método de pronóstico y su utilización ideal está en el campo del largo plazo.
2. Está estructurado con base en información subjetiva. El análisis de los impactos cruzados utiliza la opinión de los expertos como datos de entrada o iniciales. Estos datos podrán ser suministrados mediante el método Delphi, utilizando un panel de consulta. La información proporcionada por cada uno de los expertos está apoyada en su conocimiento y experiencia en el campo sometido a estudio y en su actitud prospectiva frente al futuro.

<sup>1</sup> Método de consulta de expertos que permite realizar pronósticos, cuando se carece de información estadística de la variable de interés.

3. El objetivo del método es proporcionar información probabilística sobre futuros sucesos o eventos y escenarios futuros. En esta metodología, un escenario queda definido por la ocurrencia o no ocurrencia de una serie de sucesos. Un suceso es todo fenómeno considerado como importante para el objetivo del estudio y puede adoptar dos estados: ocurrir o no ocurrir dentro de un horizonte temporal previamente determinado. De esta forma, el número de escenarios que pueden suceder es  $2^n$ .

El método tiene como objetivo no sólo la probabilidad de los sucesos en estudio, sino también de los escenarios posibles.

4. Considera las interacciones entre los acontecimientos. Como se ha expuesto, el método de los impactos cruzados toma en consideración la realidad sistémica de la existencia de relaciones entre sucesos o eventos (impactos), de tal forma que la ocurrencia de cualquiera de ellos puede aumentar o disminuir la probabilidad de los demás. Así, las probabilidades iniciales obtenidas por la aplicación del método Delphi deben ser modificadas, en función de los supuestos de ocurrencia o no ocurrencia de cada suceso o evento.

Es decir, se extiende la apreciación de las probabilidades absolutas de los sucesos a las determinadas en estadística matemática, probabilidades condicionales de cada uno de ellos con respecto a la ocurrencia de los demás eventos.

## REQUERIMIENTOS DEL MÉTODO DE IMPACTOS CRUZADOS

Para su aplicación, este método requiere los siguientes datos iniciales:

1. Un horizonte temporal ( $t$ ) determinado por el grupo de analistas.
2. Una lista de  $n$  sucesos relevantes para el objetivo del estudio, obtenida por el grupo de analistas generalmente con el uso de técnicas de apoyo a la creatividad (Brain Storm).

3. Las probabilidades absolutas de ocurrencia de cada suceso  $i$ :  $P(i)$ , para el periodo de tiempo ( $t$ ) considerado. Estas probabilidades son estimadas por el grupo de expertos.
4. Las probabilidades condicionales de los eventos tomados por pares:  $P(i/j)$ , probabilidad del evento ( $i$ ) dado el evento ( $j$ ), igualmente suministradas por el grupo de expertos.

La información relacionada con las probabilidades requeridas es obtenida también aplicando el método Delphi al grupo de expertos.

En esta técnica de impactos cruzados, se requiere que las probabilidades de los eventos sean consistentes con los axiomas del cálculo de probabilidades, que se enuncian a continuación:

$$1. \forall i, 0 \leq P(i) \leq 1 \text{ con } i = 1, 2, \dots, n$$

$$2. \sum_{i=1}^n p(i) = 1$$

$$3. P(i/j) P(j) = P(j/i) P(i) = P(i,j)$$

Es decir, como las probabilidades proporcionadas por los expertos no cumplen con los axiomas de probabilidad, aquéllas deberán ser “depuradas” (estimadas). La estimación de las probabilidades absolutas y condicionales puede realizarse mediante *simulación estocástica*, o utilizando técnicas de programación cuadrática, que permiten obtener la minimización de la diferencia cuadrática de las probabilidades proporcionadas por los expertos. En este artículo se explica la primera alternativa de depuración de las probabilidades requeridas por el método de impactos cruzados.

Al expresar las probabilidades depuradas en función de las probabilidades de los escenarios posibles, se obtiene la relación de los escenarios jerarquizados por la probabilidad acumulada de cada uno de ellos. A continuación se presenta un esquema del método de los impactos cruzados.

Como se observa el método es una mezcla específica de subjetividad y objetividad. La **subjetividad** se presenta con la elaboración de la lista de los eventos a considerar, como definidores o caracterizadores de los futuros escenarios posibles; con la determinación previa del horizonte temporal y con la apreciación personal por parte de los expertos de las probabilidades absolutas y condicionales (para efectos prácticos, estas últimas se obtienen en forma de impactos, luego fácilmente convertibles en probabilidades).

La **objetividad** es aportada por el cálculo matemático efectuado mediante programación cuadrática o a través de un programa de simulación estocástica, con los cuales se obtienen las probabilidades estimadas  $P^*(i)$  y  $P^*(i/j)$ ;  $\forall i \neq j, i = 1, 2, \dots, n$ , y las probabilidades de los escenarios  $\pi(k)$ , donde  $k = 1, 2, \dots, 2^n$ .

Finalmente, como otra de las características del método de impactos cruzados, cabe destacar el carácter dinámico del mismo, con la reconstrucción previa de los sucesos o eventos identificados y su nueva evaluación probabilística.

## MÉTODO DE IMPACTOS CRUZADOS

¿En qué consiste esta técnica?

Las matrices de impacto cruzado se encuentran entre las técnicas de pronóstico o de prospectiva más usadas. Su lógica básica consiste en hacer una **exploración del futuro (prospectiva)** sobre la base de una serie de **eventos** ( $E_i$ ), que pueden o no ocurrir dentro de un horizonte temporal determinado. En tal sentido, el vocablo o término “**evento**” se refiere aquí a una hipótesis que puede o no ser cierta, según que tal evento ocurra o no en el marco temporal analizado.

En este contexto, **los escenarios futuros** que pueden presentarse dependerán estrictamente de **la ocurrencia o no-ocurrencia de los eventos** ( $E_i$ ) propuestos como la “base del pronóstico” por el grupo de expertos. Dicho en otras palabras: **la dinámica de los acontecimientos factibles de**

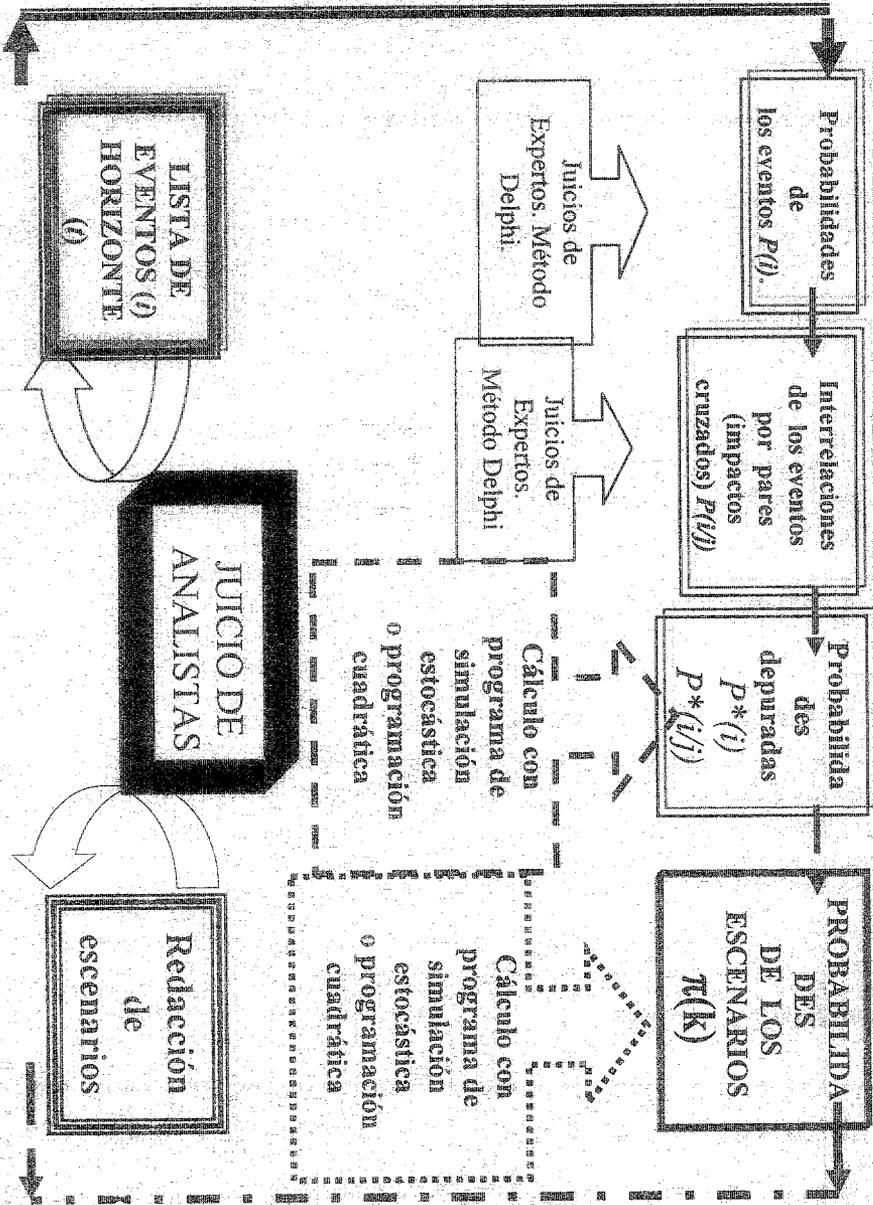


FIGURA 1. DIAGRAMA DEL MÉTODO DE IMPACTOS CRUZADOS (MIC)

presentarse conformará el abanico de los escenarios que describen el futuro posible.

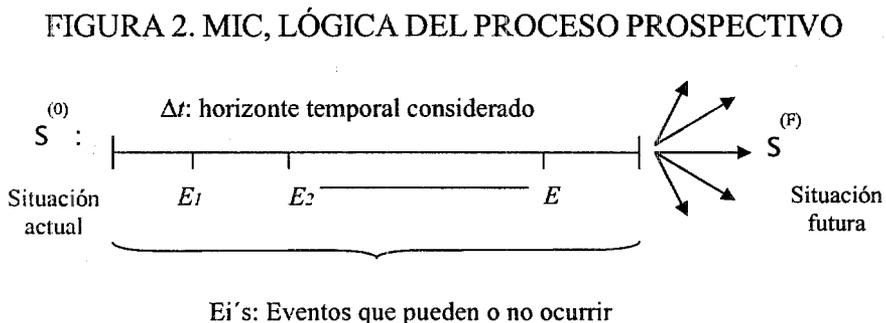
Ahora bien, no basta con identificar un conjunto de eventos ( $E_i$ ) cuyas combinatorias de ocurrencia especifiquen los escenarios futuros posibles, sino que también es necesario establecer las interrelaciones en cuanto a la ocurrencia entre unos y otros, esto es, el **impacto cruzado** en las ocurrencias de los mismos.

Este punto es esencial para poder entender la lógica de esta técnica de pronóstico: **la ocurrencia de un evento dado ( $E_i$ ) puede impactar positiva o negativamente la ocurrencia de otro evento dado ( $E_j$ ).**

Matemáticamente, se tienen **probabilidades condicionadas:**

$$P\left(\frac{E_i}{E_i}\right) \text{ o } P\left(\frac{-E_i}{E_i}\right); \text{ o también } P\left(\frac{E_i}{E_j}\right) \text{ o } P\left(\frac{E_i}{-E_j}\right)$$

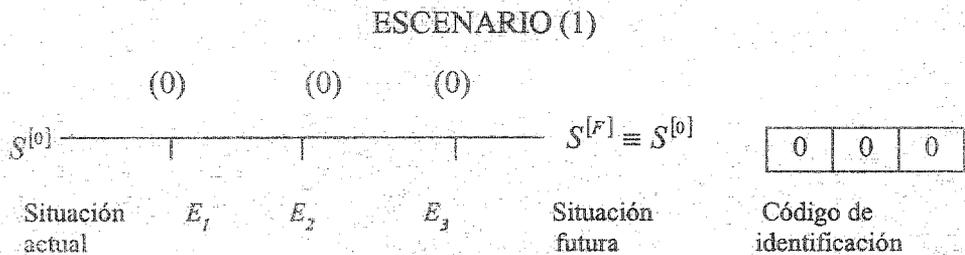
A continuación, y previo a un ejemplo, se explica cómo opera la técnica para la construcción de **escenarios exploratorios a futuro**, a partir de una situación actual identificada como  $S^{(0)}$ . El siguiente diagrama ilustra gráficamente la **lógica del proceso prospectivo:**



En un ejercicio prospectivo sobre un área de tecnologías y sobre la base, a juicio de un grupo de expertos, de la posibilidad de ocurrencia de tres grandes eventos ( $E_1$ ,  $E_2$  y  $E_3$ ), ¿cuántos escenarios futuros posibles podrían generarse?

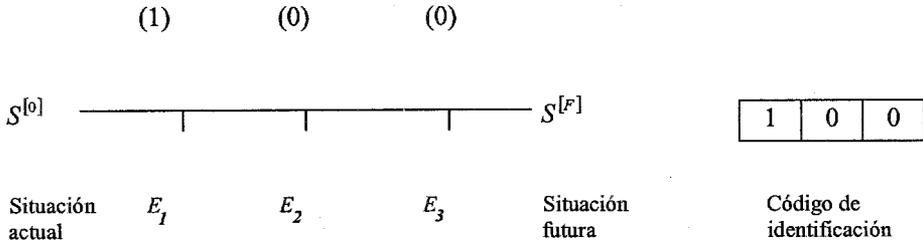
Para establecer el número de escenarios futuros posibles de presentarse, debemos considerar que todo evento  $E_i$  ( $i = 1, 2, 3$ , en este caso) puede o no ocurrir en el horizonte temporal establecido para el ejercicio de prospectiva. En consecuencia, como hay tres eventos caracterizadores de ese futuro posible, habrá  $2^3$  escenarios probables de presentarse, al menos lógicamente.

Para “representar” estos  $2^3 = 8$  escenarios probables, utilicemos diagramas como el de la figura 2, esto es:



Esto quiere decir que no ocurre ninguno de los “eventos caracterizadores”, por ello se colocan los ceros arriba de cada evento ( $E_i$ ). En tal caso, la situación futura, en principio, se mantiene invariante en relación con la situación actual. Los tres ceros colocados en casillas a la derecha simbolizan un código de identificación para ese escenario.

## ESCENARIO (2)



Esto significa que solamente el evento  $E_1$  ocurre, es decir, se pone de manifiesto para modificar la situación actual.

La representación de cada uno de los ocho escenarios de este caso se genera en forma análoga. De esta manera, al realizar un ejercicio de pronóstico con la técnica de matrices de impacto cruzado, **bajo la premisa de la ocurrencia o no de tres eventos caracterizadores del futuro explorado, se tendrá un abanico de ocho escenarios que pueden presentarse.**

Ahora bien, no basta con esta información para realizar el ejercicio. Para ello es necesario que **el grupo de expertos que participa en el estudio** suministre la siguiente información:

1. Las “probabilidades simples” de ocurrencia de cada uno de los eventos caracterizadores de ese futuro explorado. En este caso, tales probabilidades se anotarían de la forma:  $P^0(E_1)$ ,  $P^0(E_2)$ , y  $P^0(E_3)$ .
2. Las “probabilidades condicionadas” entre esos eventos, las cuales se anotarían así:

$$P^0\left(\frac{E_2}{E_1}\right), P^0\left(\frac{E_3}{E_1}\right), P^0\left(\frac{E_1}{E_2}\right), P^0\left(\frac{E_3}{E_2}\right), P^0\left(\frac{E_1}{E_3}\right) \text{ y } P^0\left(\frac{E_2}{E_3}\right)$$

No necesariamente todas ellas tienen que suministrarse, ya que puede haber **eventos totalmente independientes** (no afectados por ninguno de los otros eventos); además de que no todo evento tiene que impactar necesariamente a todos los demás.

### Observación (1)

La versión original (llámese ortodoxa) de esta técnica y, en general, la literatura disponible sólo consideran las probabilidades condicionales de un evento con respecto a otro, y no consideran los casos de dos eventos condicionantes. No obstante y con el objeto de contribuir a la agregación de valor "cognitivo", en este artículo se han contemplado tales casos para el desarrollo de la plataforma de *software* que apoya el uso de esta técnica. Un ejemplo de una probabilidad condicionante de dos eventos sería:

$$P^0 \left( \frac{E_1}{E_1 \& E_2} \right)$$

### Observación (2)

El símbolo  $P^0(\bullet)$  se escribe para diferenciar estas **variables a priori** de probabilidades simples y condicionadas, de los llamados **valores ajustados** (estimados)  $P^*(\bullet)$  de tales probabilidades. Más adelante se explicará cómo se obtienen los valores ajustados  $P^*(\bullet)$ , a partir de los valores *a priori*  $P^0(\bullet)$  y a través de corridas de **simulación** en el computador.

En este momento surge una pregunta elemental: ¿Cómo saber cuáles probabilidades condicionadas es necesario obtener? La pregunta queda contestada cuando el grupo de expertos elabora la llamada **matriz de impactos cruzados de los eventos caracterizadores** del futuro explorado. Esta matriz suele tener el formato siguiente:

FIGURA 3. MATRIZ DE IMPACTOS CRUZADOS  
(Tres eventos caracterizadores)

	$E_i$	$E_1$	$E_2$	$E_3$
$E_i$				
$E_1$			—	↑ (+)
$E_2$		↑ (+)		—
$E_3$		↑ (+)	↑ (-)	

Esta matriz de impactos cruzados corresponde a un ejemplo “hipotético” tomado sólo a título referencial. En ella se tiene que:

- De acuerdo con la lectura de la “primera fila”, el evento ( $E_1$ ) impacta positivamente la ocurrencia del evento ( $E_3$ ). Esto quiere decir que la **ocurrencia de ( $E_1$ )** contribuye a aumentar la probabilidad de ocurrencia del evento ( $E_3$ ), en caso de que, por supuesto, éste no haya ocurrido. Matemáticamente se puede expresar como:

$$P^o\left(\frac{E_3}{E_1}\right) > P^o(E_3)$$

- De acuerdo con la lectura de la “segunda fila”, el evento ( $E_2$ ) impacta positivamente la ocurrencia del evento ( $E_1$ ). Esto, análogamente, quiere decir que la ocurrencia de ( $E_2$ ) contribuye a aumentar la probabilidad de ocurrencia del evento ( $E_1$ ). Matemáticamente, esto se expresa de la forma:

$$P^0\left(\frac{E_1}{E_2}\right) > P^0(E_1)$$

3. De acuerdo con la lectura de la "tercera fila", el evento ( $E_3$ ) impacta positivamente la ocurrencia del evento ( $E_1$ ) y negativamente el evento ( $E_2$ ). Esto quiere decir que la ocurrencia del evento ( $E_3$ ) aumenta la probabilidad de ocurrencia del evento ( $E_1$ ), pero disminuye la probabilidad de ocurrencia del evento ( $E_2$ ). Matemáticamente lo podemos expresar como:

$$P^0\left(\frac{E_1}{E_3}\right) > P^0(E_1); P^0\left(\frac{E_2}{E_3}\right) < P^0(E_2)$$

4. Debe considerarse una probabilidad condicionada para el evento  $E_1$ , de la forma:

$$P^0\left(\frac{E_1}{E_2 \& E_3}\right)$$

Tal probabilidad condicionada debe cumplir con la condición siguiente:

$$P\left(\frac{E_1}{E_2 \& E_3}\right) > P\left(\frac{E_1}{E_2}\right) \cdot P\left(\frac{E_1}{E_2 \& E_3}\right) > P\left(\frac{E_1}{E_3}\right) \cdot P\left(\frac{E_1}{E_2 \& E_3}\right) > P^0(E_2)$$

Un punto muy importante es asignar las probabilidades condicionantes de un evento dado, cuando hay eventos que lo preceden y que "impactan" en sentido contrario. Esto se tratará en un ejemplo más adelante.

## UN EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LA TÉCNICA<sup>2</sup>

Consideremos un ejemplo de orden práctico para la aplicación de la técnica: tratemos de visualizar a futuro el sistema de educación superior en México. En primer lugar, elaboramos una caracterización del sistema de educación superior en el país a futuro, dentro de un horizonte temporal de 10 años, y establecemos los siguientes eventos “**caracterizadores**” del futuro explorado:

- ( $E_1$ ): Predominio de la educación a distancia a través del uso de Internet.
- ( $E_2$ ): Crecimiento vertiginoso de los programas de educación continua.
- ( $E_3$ ): Desarrollo de estrechos vínculos entre las universidades y los sectores industriales.
- ( $E_4$ ): Cambios radicales en los esquemas de enseñanza-aprendizaje (desaparición progresiva de la enseñanza basada en clases magistrales).
- ( $E_5$ ): Incremento sustancial de la matrícula de educación superior (aumento sustantivo de la población estudiantil).

Un horizonte de planeación de 10 años.

Para establecer las **entradas** se elabora la **matriz de impactos cruzados** de los eventos considerados como “relevantes” para la caracterización del futuro explorado.

<sup>2</sup> Esto es sólo un ejemplo hipotético para entender la lógica subyacente en la técnica.

FIGURA 4. MATRIZ DE IMPACTOS CRUZADOS. EVENTOS CARACTERIZADORES DEL FUTURO DEL SISTEMA DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN MÉXICO

$E_i$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$
$E_1$					
$E_2$	↑ (+)		↑ (+)	—	—
$E_3$	↑ (+)	↑ (+)		↑ (+)	↑ (+)
$E_4$	—	—	—		—
$E_5$	—	—	—	—	

De acuerdo con “la opinión de un grupo de expertos”:

1. El predominio de la educación a distancia, a través del uso masificado de Internet, contribuye positivamente a:
  - a) Apuntalar los programas de educación continua.
  - b) Desarrollar mayores vínculos entre el sector industrial y las universidades.
  
2. El crecimiento vertiginoso de los programas de educación continua contribuye a:
  - a) El uso de Internet como plataforma expedita del proceso educativo.
  - b) La mayor vinculación entre universidades y el sector industrial.

3. El desarrollo de estrechos vínculos entre el sector industrial y las universidades, contribuirá a:
  - a) Impulsar los programas de educación a distancia, mediante el uso de Internet.
  - b) Impulsar los programas de educación continua (orientación no académica).
  - c) Modificar sustantivamente los esquemas de enseñanza-aprendizaje, para ofrecer respuestas más ágiles en la formación de los recursos humanos que absorbe la industria.

Un mayor vínculo con el sector industrial abrirá mayores oportunidades de trabajo e incrementará la demanda del capital humano que egresa de las universidades. Esto, a su vez, incidirá en una mayor demanda de formación en estas casas de estudio, incrementando la matrícula universitaria.

De acuerdo con esta matriz de impactos cruzados, las **entradas** requeridas para la realización del **ejercicio de prospectiva** son:

1. Las probabilidades simples de ocurrencia de cada uno de los eventos (caracterizadores) del futuro, esto es:

$$P^0(E_1), P^0(E_2), P^0(E_3), P^0(E_4), \text{ y } P^0(E_5)$$

2. Las probabilidades condicionadas entre tales eventos, ellas son:

$$P^0\left(\frac{E_2}{E_1}\right) P^0\left(\frac{E_3}{E_1}\right) P^0\left(\frac{E_1}{E_2}\right) P^0\left(\frac{E_3}{E_2}\right) P^0\left(\frac{E_1}{E_3}\right) P^0\left(\frac{E_2}{E_3}\right) P^0\left(\frac{E_4}{E_3}\right) P^0\left(\frac{E_5}{E_3}\right)$$

Los resultados que a continuación aparecen son producto de un ejercicio hipotético, realizado con la participación de diez personas altamente calificadas en esa materia.

Para las probabilidades simples (iniciales) se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 1.  $P^0(E_{i_s})$ : PROBABILIDADES SIMPLES

$P^0(E_{i_s})$	$P^0(E_{1j})$	$P^0(E_{2j})$	$P^0(E_{3j})$	$P^0(E_{4j})$	$P^0(E_{5j})$
$E_1$	0.80	0.60	0.99	0.60	0.40
$E_2$	0.90	0.80	0.80	0.50	0.45
$E_3$	0.95	0.50	0.90	0.65	0.70
$E_4$	0.70	0.70	0.99	0.55	0.50
$E_5$	0.99	0.80	0.80	0.90	0.40
$E_6$	0.99	0.75	0.99	0.50	0.80
$E_7$	0.85	0.75	0.99	0.80	0.75
$E_8$	0.99	0.99	0.99	0.75	0.30
$E_9$	0.85	0.99	0.85	0.55	0.40
$E_{10}$	0.99	0.60	0.95	0.40	0.60
$P^0(E_{1j})$	0.90	0.75	0.93	0.62	0.50

De acuerdo con estos resultados de las probabilidades simples (iniciales) asignadas por el grupo de expertos:

1. Los eventos ( $E_1$ ): predominio de la educación a distancia con el uso de Internet; y ( $E_3$ ): desarrollo de estrechos vínculos universidad y sector industrial, serían eventos **cuasi ciertos**, ya que sus probabilidades superan el 90%.
2. El evento ( $E_2$ ): crecimiento vertiginoso de la educación continua, se considera como un evento de **muy alta probabilidad**, ya que se le asignó 75%.
3. El evento ( $E_4$ ): cambios radicales en los esquemas de enseñanza-aprendizaje, recibió una probabilidad del orden del 60%, lo que indica una probabilidad dominante de que pueda ocurrir; sin embargo, es una cifra muy cercana al umbral de la incertidumbre total. Así ocurre con

el evento ( $E_s$ ), que obtuvo una probabilidad simple del 50%, o sea, incertidumbre total de que ello pueda o no pueda ocurrir.

Para las probabilidades condicionadas (iniciales) se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 2.  $P^0\left(\frac{E_i}{E_j}\right)$  's : PROBABILIDADES CONDICIONADAS

$P^0(E_i/E_j)$	$P^0(E_2/E_1)$	$P^0(E_3/E_1)$	$P^0(E_1/E_2)$	$P^0(E_3/E_2)$	$P^0(E_1/E_3)$	$P^0(E_2/E_3)$	$P^0(E_4/E_3)$	$P^0(E_5/E_3)$
EXPERTO								
E <sub>1</sub>	0.70	0.99	0.85	0.99	0.90	0.75	0.70	0.60
E <sub>2</sub>	0.90	0.90	0.95	0.85	0.95	0.85	0.65	0.60
E <sub>3</sub>	0.65	0.95	0.98	0.95	0.90	0.70	0.75	0.85
E <sub>4</sub>	0.80	0.99	0.75	0.99	0.75	0.80	0.65	0.70
E <sub>5</sub>	0.85	0.85	0.99	0.85	0.99	0.85	0.95	0.60
E <sub>6</sub>	0.80	0.99	0.99	0.99	0.99	0.85	0.70	0.85
E <sub>7</sub>	0.85	0.99	0.90	0.99	0.90	0.80	0.85	0.80
E <sub>8</sub>	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.80	0.60
E <sub>9</sub>	0.99	0.95	0.90	0.90	0.90	0.99	0.75	0.60
E <sub>10</sub>	0.70	0.99	0.99	0.99	0.99	0.70	0.60	0.70
$P^0(E_i/E_j)$	0.82	0.96	0.93	0.95	0.93	0.83	0.74	0.69

La captura de estas **probabilidades iniciales** o *a priori*, se puede realizar a través de una consulta remota vía Internet (por ejemplo), o bien mediante la aplicación del Método Delphi como mecanismo de captación de los **juicios de valores** del grupo de expertos en relación con el problema de prospectiva planteado o mediante una discusión en grupo. Todas las alternativas antes señaladas son válidas; todo dependerá del grupo que diseña y ejecuta el estudio de prospectiva.

Una vez realizado este paso, se procederá a la realización de un **ejercicio de simulación estocástica**, el cual consiste en **simular la ocurrencia o no-ocurrencia de los eventos**, a través de la generación en el computador de **números aleatorios** (pseudoaleatorios para ser más rigurosos en el lenguaje).

Con los resultados obtenidos se hará un **ajuste** a los valores asignados *a priori*, para obtener los llamados **valores ajustados** tanto de las probabilidades simples como de las probabilidades condicionadas; las cuales se denotan de la forma:

$$P^*(E_1), P^*(E_2), P^*(E_3), P^*(E_4), P^*(E_5), P^*\left(\frac{E_2}{E_1}\right), P^*\left(\frac{E_3}{E_1}\right), \\ P^*\left(\frac{E_1}{E_2}\right), P^*\left(\frac{E_3}{E_2}\right), P^*\left(\frac{E_1}{E_3}\right), P^*\left(\frac{E_2}{E_3}\right), P^*\left(\frac{E_4}{E_3}\right), P^*\left(\frac{E_5}{E_3}\right)$$

Una vez realizados los **ajustes de los valores asignados a priori**, se procede a la realización del ejercicio de simulación correspondiente, para determinar la **probabilidad de ocurrencia** de cada uno de los **escenarios factibles** (32 escenarios en el caso de cinco eventos caracterizadores del futuro), y con ello realizar el **análisis prospectivo correspondiente**.

A continuación se presenta el **procedimiento para determinar las probabilidades simples y condicionadas de los eventos (E)** en la técnica de las **matrices de impactos cruzados (cross-impact matrices)**, así como las **probabilidades de ocurrencia de los escenarios planteados**.

### Paso 1

El grupo de expertos preestablece, de acuerdo con su conocimiento y experiencia, **las probabilidades de ocurrencia de cada evento considerado**, dentro del marco temporal establecido para el **proceso de pronóstico**.

Llámense estas probabilidades:

$$P^0(E_j)$$

donde  $i = 1, 2, \dots, n$ . Tales probabilidades iniciales  $P^0(E_i)$  serán **ajustadas** a través de un procedimiento basado en la corrida de un **ejercicio de simulación estocástica**, el cual se describe como parte del procedimiento aquí explicado.

## Paso 2

Se formula **la matriz de impactos cruzados**, esto es, una matriz donde se especifican las interacciones o impactos entre unos y otros eventos, dentro del horizonte temporal preestablecido para el proceso de pronóstico. Obviamente, si hay “n” eventos, se tendrá una **matriz cuadrada de orden “n”**, es decir, una matriz  $n \times n$ .

Esta matriz nos permite conocer qué evento ( $E_j$ ) impacta a qué otro evento ( $E_i$ ), además de establecer la fuerza de ese impacto, en términos de su grado de contribución a que tal evento ( $E_j$ ) ocurra o no ocurra. Dentro de este orden de ideas, es importante tener claro que siempre se va a satisfacer la identidad:

$$P\left(\frac{E_j}{E_i}\right) = 1 - P\left(\frac{-E_j}{E_i}\right)$$

A continuación, a título de ejemplo, se formula una matriz de impactos cruzados para un proceso de pronóstico ( $X$ ), en el cual se han identificado las probabilidades de ocurrencia de  $n = 5$  eventos:  $E_1, E_2, E_3, E_4$  y  $E_5$ .

FIGURA 5. MIC, PROCESO DE PRONÓSTICO (X)

	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$
$E_1$					
$E_2$	↑(+)				
$E_3$	—	—			
$E_4$	↑(+)				
$E_5$	—	—	—	—	

Según la información obtenida en la matriz, tenemos algunos aspectos clave en su interpretación:

1. El evento ( $E_1$ ) apuntala (impacta positivamente) la ocurrencia de los eventos ( $E_4$ ) y ( $E_5$ ). Ello debe traducirse matemáticamente en asignarle a las probabilidades condicionales  $P^0\left(\frac{E_4}{E_1}\right)$  y  $P^0\left(\frac{E_5}{E_1}\right)$  valores “mayores” a las probabilidades simples de ocurrencia de ( $E_4$ ) y ( $E_5$ ). Dicho en otras palabras, si ( $E_1$ ) ocurre, ello contribuye a aumentar las **probabilidades de ocurrencia** asignadas apriorísticamente a los eventos ( $E_4$ ) y ( $E_5$ ).

El evento ( $E_2$ ) apuntala o impacta positivamente la ocurrencia del evento ( $E_1$ ), pero dificulta o impacta negativamente la ocurrencia del evento ( $E_3$ ). Ello debe traducirse matemáticamente en asignarle a  $P^0\left(\frac{E_1}{E_2}\right)$  un valor mayor que  $P^0(E_1)$ . En cambio, para el caso de ( $E_3$ ):

2. Debe ser lo contrario, es decir, asignarle a  $P^0\left(\frac{E_3}{E_2}\right)$  un valor menor a  $P^0(E_3)$ .
3. El evento ( $E_3$ ) impacta negativamente la ocurrencia del evento ( $E_4$ ). Ello debe traducirse matemáticamente en asignarle a  $P^0\left(\frac{E_4}{E_3}\right)$  un valor menor al valor de  $P^0(E_4)$ .
4. El evento ( $E_4$ ) impacta positivamente al evento ( $E_1$ ). Ello debe traducirse matemáticamente en asignarle a  $P^0\left(\frac{E_1}{E_4}\right)$  un valor mayor al de  $P^0(E_1)$ .
5. Como los eventos ( $E_2$ ) y ( $E_4$ ) apuntalan la ocurrencia del evento ( $E_1$ ), deberá considerarse el caso de la probabilidad de ocurrencia de ( $E_1$ ), si se han dado previamente ( $E_2$ ) y ( $E_4$ ). Esto es, se requiere la opinión de los expertos para la estimación de:  $P^0\left(\frac{E_1}{E_2 \& E_4}\right)$ ; de igual manera se requerirá la estimación de:  $P^0\left(\frac{E_4}{E_1 \& E_3}\right)$ .

Un punto muy importante es asignar las probabilidades condicionadas de un evento dado, cuando hay eventos que lo preceden y lo “impactan” en sentido contrario.

Por ejemplo, al analizar los eventos que impactan al evento ( $E_4$ ), vemos que ( $E_1$ ) lo apuntala en caso de que haya ocurrido previamente, pero ( $E_3$ ) lo impacta negativamente también en el caso de que haya ocurrido previamente.

La pregunta clave es: ¿cómo asignar el valor  $P^0\left(\frac{E_4}{E_1 \& E_3}\right)$ ? Una guía práctica para tal asignación, es la parte del valor de  $P^0(E_4)$ , es decir, en ausencia de la ocurrencia tanto de ( $E_1$ ) como de ( $E_3$ ). Posteriormente, estimar a juicio del grupo de expertos el " $\Delta^+$ " (léase delta T) de *incremento* de la probabilidad de ( $E_4$ ), en caso de ocurrir previamente el evento ( $E_1$ ). De igual manera, estimar a juicio del grupo de expertos, el " $\Delta^-$ " (léase delta menos) de *decremento* de la probabilidad de ( $E_4$ ), cuando ocurre previamente el evento ( $E_3$ ).

Con estos dos insumos se puede estimar el valor de  $P^0\left(\frac{E_4}{E_1 \& E_3}\right)$ , mediante la forma:

$$P^0\left(\frac{E_4}{E_1 \& E_3}\right) = P^0(E_4) + \Delta^+ + \Delta^-$$

Esto proporciona una regla práctica, pero sobre todo de sentido común, para hacer las estimaciones de las probabilidades condicionadas de carácter múltiple.

### Paso 3

El grupo de expertos/especialistas establece las **probabilidades condicionadas iniciales**, que requieren ser especificadas en concordancia con la **matriz de impactos cruzados** formulada en el Paso 2.

## Paso 4

Una vez asignadas las **probabilidades simples<sup>(a)</sup> y condicionadas iniciales o *a priori***, se procede a realizar el **ajuste** correspondiente (proceso de refinamiento de las mismas), mediante el uso de las técnicas de simulación estocástica.

Supóngase que se tienen como valores iniciales los siguientes:

$$P^0(E_1) = 0.50; P^0(E_2) = 0.70; P^0(E_3) = 0.50; P^0(E_4) = 0.30; P^0(E_5) = 0.60;$$

$$P^0\left(\frac{E_4}{E_1}\right) = 0.75; P^0\left(\frac{E_5}{E_1}\right) = 0.80; P^0\left(\frac{E_1}{E_2}\right) = 0.70; P^0\left(\frac{E_3}{E_2}\right) = 0.30;$$

$$P^0\left(\frac{E_4}{E_3}\right) = 0.20; P^0\left(\frac{E_1}{E_4}\right) = 0.80.$$

Para **simplificar** el proceso de generación de evento y cálculo en las corridas (en frío) de simulación, no consideramos lo relativo a las probabilidades condicionadas del tipo  $P^0\left(\frac{E_1}{E_2 \& E_4}\right)$  y  $P^0\left(\frac{E_4}{E_1 \& E_3}\right)$ . No obstante, el *software* a utilizar sí deberá considerarlas, ya que son parte de una modelación más fiel de la realidad que se pretende simular.

A continuación se especifica, paso a paso, el procedimiento a seguir durante el ejercicio de simulación que permitirá “refinar” los valores asignados inicialmente (*a priori*):

### Paso 4.1

Seleccione "aleatoriamente" cualesquiera de los  $n$ -eventos considerados (5 eventos, en este caso). Para ello use un **generador de números pseudoaleatorios** conformado por los valores: 1, 2, 3, 4 y 5.

Sea "x" dicho número. Por ejemplo:  $x = 3$ , ello implica la selección del evento ( $E_3$ ).

### Paso 4.2

Simule la ocurrencia o no del evento seleccionado. Para ello utilice un generador de números aleatorios entre  $[0,1]$ . Si ( $P$ ) es la probabilidad inicial de ocurrencia (simple) de este evento, entonces, si el valor *random* generado es  $\leq P$ , el evento ocurre; en caso contrario, no ocurre. Por ejemplo,  $P^0(E_3) = 0.40$ . Si el número pseudoaleatorio generado es  $\leq 0.4000$ , entonces se asume que ocurre el evento. Suponga que el número generado es 0.371058, ello implica que ( $E_3$ ) ha ocurrido.

Hasta este momento se ha seleccionado uno de los cinco eventos, el evento ( $E_3$ ). Además de ello, el proceso de "simulación", basado en la generación de números aleatorios, establece la **ocurrencia de ( $E_3$ )**.

### Paso 4.3

Proceda a seleccionar "uno" de los eventos hasta este momento no seleccionado. En este ejemplo serían:  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_4$  o  $E_5$ . Para ello, proceda a la generación de números pseudoaleatorios en el rango de valores correspondientes, esto es: 1, 2, 4 o 5.

Sea "x" dicho número. Por ejemplo,  $x = 4$ , ello implica la selección del evento ( $E_4$ ).

**Paso 4.4**

Simule la ocurrencia o no del evento seleccionado. Como ha ocurrido ( $E_3$ ), previo a la ocurrencia de ( $E_4$ ), entonces para simular el proceso de **ocurrencia o no** de ( $E_4$ ), se debe utilizar **la probabilidad condicional**

$$P^0\left(\frac{E_4}{E_3}\right), \text{ la cual tiene un valor de } 0.20.$$

Generando el número *random*  $U$  en  $[0,1]$ , se obtiene el valor 0.5783. Como este valor  $U > 0.20$ , entonces se asume que el **evento ( $E_4$ ) no ocurre** (en esta corrida).

**Hasta este momento se han seleccionado dos de los cinco eventos: ( $E_3$ ) y ( $E_4$ ). En el proceso de simulación ( $E_3$ ) ha ocurrido y ( $E_4$ ) no ha ocurrido.**

**Paso 4.5**

Continúe con la selección de los eventos restantes, éstos son: ( $E_1$ ), ( $E_2$ ) y ( $E_5$ ). Para ello, se procede en forma análoga a los procesos anteriores.

Suponga que  $x = 1$ : se selecciona el evento ( $E_1$ ).

**Paso 4.6**

Simule la ocurrencia o no del evento seleccionado. Como no está definida ninguna probabilidad condicional de ( $E_1$ ) respecto a ( $E_3$ ), se usa la probabilidad  $P^0(E_1)$  para experimentar su ocurrencia o no ocurrencia.

Suponga que  $U = 0.35$  y por ello se decide que ( $E_1$ ) **ocurre**.

Hasta el momento se han seleccionado tres de los cinco eventos:  $(E_1)$ ,  $(E_2)$  y  $(E_3)$ . En el proceso de simulación  $(E_1)$  y  $(E_2)$  han ocurrido, mientras que  $(E_3)$  no ha ocurrido.

#### Paso 4.7

Seleccione el siguiente evento entre  $(E_2)$  y  $(E_3)$ .

Suponga que  $x = 2$ : se selecciona  $(E_2)$ .

#### Paso 4.8

Simule la ocurrencia o no de dicho evento  $(E_2)$ . Como no hay ningún evento que apunte o impacte negativamente la ocurrencia de  $(E_2)$ , se toma como referencia para simular su ocurrencia o no  $P^0(E_2) = 0.70$ .

Suponga que  $U = 0.5732$ , por lo que  $(E_2)$  ocurre.

Hasta este momento se han seleccionado cuatro de los cinco eventos. Han ocurrido:  $(E_1)$ ,  $(E_2)$  y  $(E_3)$ .

#### Paso 4.9

Se procede a simular la ocurrencia o no del evento restante  $(E_3)$ . Un solo evento impacta de manera previa la ocurrencia del mismo. Este es el evento  $(E_1)$  que lo apunta, es decir, lo impacta positivamente.

Por ello, se toma  $P^0\left(\frac{E_3}{E_1}\right) = 0.80$  para simular su ocurrencia o no con el generador de números pseudoaleatorios  $[0,1]$ .

Suponga que  $U = 0.71402$ , por lo que  $(E_3)$  ocurre.

**Después de haber seleccionado (aleatoriamente) todos los eventos en cuestión, se simuló la ocurrencia de ellos en la secuencia:  $(E_3)$ ,  $(E_1)$ ,  $(E_2)$  y  $(E_3)$ .**

Al finalizar la selección de todos los eventos considerados en el estudio de pronóstico y habiendo establecido cuáles de ellos ocurren o no ocurren –para lo cual se utilizan como base las probabilidades iniciales simples de ocurrencia y las probabilidades condicionadas iniciales, según sea el caso–, se tendrán los llamados **resultados de esa corrida de simulación para la ocurrencia de los eventos considerados.**

En tal sentido, se deberá preestablecer **el número de corridas que se realizarán.** Por ejemplo,  $n = 100$ ,  $n = 1,000$ ,  $n = 5,000$ ,  $n = 10,000$ , etc.

#### **Paso 4.10**

Los pasos 4.1 a 4.9 se repiten cuantas veces sea necesario, de acuerdo con **el número de corridas** previamente establecido para el experimento de simulación. El objeto de este experimento es **ajustar** los valores iniciales de **las probabilidades simples y las probabilidades condicionadas.**

#### **Paso 5**

Con base en los resultados obtenidos en el ejercicio de simulación del Paso 4, proceda a la determinación de las “nuevas” probabilidades ajustadas:

$$P^0(E_1), P^0(E_2), P^0(E_3), P^0(E_4), P^0(E_5), P^0\left(\frac{E_4}{E_1}\right), P^0\left(\frac{E_5}{E_1}\right), P^0\left(\frac{E_1}{E_2}\right), P^0\left(\frac{E_3}{E_2}\right), P^0\left(\frac{E_4}{E_3}\right), P^0\left(\frac{E_1}{E_4}\right).$$

Tales probabilidades vendrán dadas como **los porcentajes de ocurrencia** de cada una de ellas en relación con el número de corridas realizadas.

Para ilustrar la explicación, imaginemos que se han realizado 25 corridas con los resultados siguientes:

# CORRIDA	EVENTOS OCURRIDOS				
1	E <sub>2</sub>	-	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>5</sub>
2	-	E <sub>1</sub>	-	E <sub>3</sub>	E <sub>1</sub>
3	E <sub>5</sub>	-	E <sub>3</sub>	-	E <sub>4</sub>
4	E <sub>1</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>5</sub>
5	E <sub>4</sub>	-	E <sub>2</sub>	-	-
6	E <sub>3</sub>	E <sub>5</sub>	E <sub>1</sub>	-	-
7	E <sub>4</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>	-	E <sub>1</sub>
8	-	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	-
9	E <sub>3</sub>	-	-	E <sub>1</sub>	-
10	-	-	-	-	-
11	E <sub>2</sub>	E <sub>4</sub>	-	E <sub>1</sub>	-
12	E <sub>4</sub>	-	-	-	E <sub>3</sub>
13	-	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	-
14	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	-	E <sub>4</sub>	-
15	-	E <sub>5</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>	-

Después de estas 15 corridas, se tienen los siguientes resultados empíricos "parciales", para la determinación de las **probabilidades simples**.

$$\% \text{ ocurrencia } E_1 = \frac{8}{15} \times 100 = 53.33\%$$

$$\% \text{ ocurrencia } E_2 = \frac{10}{15} \times 100 = 66.66\%$$

$$\% \text{ ocurrencia } E_3 = \frac{11}{15} \times 100 = 73.33\%$$

$$\% \text{ ocurrencia } E_4 = \frac{8}{15} \times 100 = 53.33\%$$

$$\% \text{ ocurrencia } E_5 = \frac{6}{15} \times 100 = 40.00\%$$

De igual manera, para la determinación (ajuste) de las **probabilidades condicionadas**, se tendrá:

$$\% \text{ ocurrencia de } E_4 \text{ habiendo ocurrido previamente } E_1 = \frac{2}{15} \times 100 = 13.33\%$$

$$\% \text{ ocurrencia de } E_5 \text{ habiendo ocurrido previamente } E_1 = \frac{2}{15} \times 100 = 13.33\%$$

$$\% \text{ ocurrencia de } E_1 \text{ habiendo ocurrido previamente } E_2 = \frac{3}{15} \times 100 = 20.00\%$$

$$\% \text{ ocurrencia de } E_3 \text{ habiendo ocurrido previamente } E_2 = \frac{3}{15} \times 100 = 20.00\%$$

$$\% \text{ ocurrencia de } E_4 \text{ habiendo ocurrido previamente } E_3 = \frac{4}{15} \times 100 = 26.66\%$$

$$\% \text{ ocurrencia de } E_1 \text{ habiendo ocurrido previamente } E_4 = \frac{1}{15} \times 100 = 6.66\%$$

De estos resultados “parciales” se tendrán las siguientes probabilidades **ajustadas empíricamente** mediante el ejercicio de simulación respectivo:

$$P^*(E_1) = 0.53; \quad P^*(E_2) = 0.66; \quad P^*(E_3) = 0.66; \quad P^*(E_4) = 0.53; \quad P^*(E_5) = 0.40;$$

$$P^*\left(\frac{E_4}{E_1}\right) = 0.06; \quad P^*\left(\frac{E_5}{E_1}\right) = 0.13; \quad P^*\left(\frac{E_1}{E_2}\right) = 0.20;$$

$$P^*\left(\frac{E_3}{E_2}\right) = 0.20; \quad P^*\left(\frac{E_4}{E_3}\right) = 0.26; \quad P^*\left(\frac{E_1}{E_4}\right) = 0.06.$$

Estos valores difieren en algunos casos de forma alarmante. Sin embargo, el problema es que sólo se han hecho 15 corridas de simulación. En ejercicios de esta naturaleza, se recomienda hacer por lo menos de 500 a 1000 corridas de simulación.

Continuamos con el procedimiento para llegar a la parte más crucial del mismo.

Como resultado de la aplicación de todos los pasos anteriores, llegamos a obtener **las probabilidades simples y condicionadas ajustadas**, mediante

el uso de las técnicas de simulación. En otras palabras, hemos pasado de los valores iniciales  $P^0(\bullet)$  de probabilidades de ocurrencia a los valores ajustados o revisados  $P^*(\bullet)$  de tales probabilidades de ocurrencia.

El siguiente paso será determinar empíricamente **las probabilidades de ocurrencia** de cada uno de los posibles escenarios que se pueden presentar, como consecuencia de la ocurrencia o no de los eventos considerados. Para ello se toman como **insumos** las probabilidades ajustadas  $P^*(\bullet)$ .

### Paso 6

Proceda a repetir la realización del Paso 4, tomando como base las probabilidades ajustadas o revisadas  $P^*(\bullet)$ . Registre el resultado de cada corrida en una tabla de la forma:

No. CORRIDA	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	No. ESCENARIO
1	1	0	0	1	1	XX
2	1	1	1	0	0	XX
3	0	0	0	0	0	XX

Aquí la aparición de 1 ó 0 dependerá de la ocurrencia o no ocurrencia del evento en cuestión en la corrida respectiva. Por ejemplo, en la corrida No. 1 se dieron solamente los **eventos**: 1, 4 y 5.

¿Qué significa la columna **No. de escenario**? Este punto es básico. Como se están considerando cinco eventos, **eventos que pueden o no pueden ocurrir**, ello genera la posibilidad de ocurrencia de 32 escenarios. La razón de este número es un ejercicio elemental de teoría combinatoria:  
 $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 2^5 = 32$

A cada uno de los **escenarios** (los cuales están conformados por unos y ceros, debido a la ocurrencia o no ocurrencia de sus eventos respectivos), se le asigna un número (código) identificativo. Por ejemplo:

OCURRENCIA DE EVENTOS					CÓDIGO ESCENARIO
1	2	3	4	5	
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	2
1	1	1	0	1	3
1	1	0	1	1	4
1	0	1	1	1	5
0	1	1	1	1	6
1	1	1	0	0	7
1	1	0	1	0	8
1	0	1	1	0	9
0	1	1	1	0	10
1	1	0	0	1	11
1	0	0	1	1	12
0	0	1	1	1	13
1	0	1	0	1	14
0	1	0	1	1	15
0	1	1	0	1	16
1	1	0	0	0	17
1	0	1	0	0	18
0	1	1	0	0	19
0	1	0	1	0	20
0	1	0	0	1	21
0	0	0	1	1	22
1	0	0	0	1	23
0	0	1	0	1	24
1	0	0	0	0	25
0	1	0	0	0	26
0	0	1	0	0	27
0	0	0	1	0	28
0	0	0	0	1	29
0	0	0	0	0	30
0	0	1	1	0	31
1	0	0	1	0	32

## Paso 7

Determine la **probabilidad de ocurrencia de cada escenario** de la forma:

$$\pi_k = \frac{\text{Número de veces de ocurrencia del escenario } (X)}{\text{Número de corridas de simulación}} \quad (K = \text{escenario})$$

Como consecuencia de la aplicación del Paso 7, se podrá obtener la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los escenarios planteados. En el ejemplo genérico de cinco eventos, se tendría (dependiendo del *software* que se utilice) una tabla con el formato que se observa en la página siguiente. Estos resultados son producidos por RADAR, *software* desarrollado por **Visión Grupo Consultores** y que posee todas estas técnicas de pronóstico. Dada la forma como se modela en esta técnica (ceros y unos), tenemos usualmente un número grande de **escenarios** contemplados, al menos lógicamente. Por ejemplo, para el caso de cinco eventos, tenemos 32 escenarios lógicamente posibles. Para el caso de seis eventos: 64, y así sucesivamente.

Con el alto grado de variedad (2<sup>n</sup>) que se tiene en tales resultados, es necesario manejar un criterio claro, pero sobre todo **práctico**, para el análisis de los mismos, lo cual es “crucial” en el proceso de pronóstico. Los seguidores del uso de esta técnica sugieren el criterio de **agrupar los escenarios** en tres grandes categorías:

1. Aquel grupo de escenarios cuya probabilidad de ocurrencia “acumula”, ordenando éstos de mayor a menor, o sea igual o menor a un valor establecido  $P_c$ . Este valor  $P_c$  suele ser: 0.75, 0.80, 0.85, 0.90, etc. Es decir, un valor lo suficientemente grande de probabilidad de ocurrencia, como para considerar que tal grupo de escenarios “en conjunto” tiene **altísima posibilidad de ocurrencia**, o simplemente es lo que se espera ocurra. Esta categoría suele denominarse **escenarios alternos probables**.

K: NÚMERO DE ESCENARIO	ESPECIFICACIÓN DEL ESCENARIO					PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DEL ESCENARIO DEL EVENTO  -K- ( $\pi_K$ )
	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	
1	1	1	1	1	1	$\pi_1$
2	1	1	1	1	0	$\pi_2$
3	1	1	1	0	1	$\pi_3$
4	1	1	0	1	1	$\pi_4$
5	1	0	1	1	1	$\pi_5$
6	0	1	1	1	1	$\pi_6$
7	1	1	1	0	0	$\pi_7$
8	1	1	0	1	0	$\pi_8$
9	1	0	1	1	0	$\pi_9$
10	0	1	1	1	0	$\pi_{10}$
11	1	1	0	0	1	$\pi_{11}$
12	1	0	0	1	1	$\pi_{12}$
13	0	0	1	1	1	$\pi_{13}$
14	1	0	1	0	1	$\pi_{14}$
15	0	1	0	1	1	$\pi_{15}$
16	0	1	1	0	1	$\pi_{16}$
17	0	0	1	1	0	$\pi_{17}$
18	1	0	0	1	0	$\pi_{18}$
19	1	1	0	0	0	$\pi_{19}$
20	1	0	1	0	0	$\pi_{20}$
21	0	1	1	0	0	$\pi_{21}$
22	0	1	0	1	0	$\pi_{22}$
23	0	1	0	0	1	$\pi_{23}$
24	1	0	0	0	1	$\pi_{24}$
25	0	0	1	0	1	$\pi_{25}$
26	1	0	0	0	0	$\pi_{26}$
27	0	1	0	0	0	$\pi_{27}$
28	0	0	1	0	0	$\pi_{28}$
29	0	0	0	1	0	$\pi_{29}$
30	0	0	0	0	1	$\pi_{30}$
31	0	0	0	0	0	$\pi_{31}$
32	0	0	0	1	1	$\pi_{32}$

2. Enseguida se distingue el grupo de escenarios cuya probabilidad de ocurrencia acumulada es:

$$\overline{P}_C = 1 - P_C$$

Por ejemplo, si  $P_C = 0.80$ , entonces  $\overline{P}_C = 0.20$ . A los escenarios de este grupo se les llama **escenarios improbables**; tal calificativo obedece a que su posibilidad de ocurrencia es "remota".

3. Por último, tenemos todos aquellos escenarios cuya probabilidad de ocurrencia es 0.00. En este grupo (categoría) están los llamados **escenarios imposibles**.

Dentro de este contexto, se tiene que:

1. **Los escenarios alternativos probables** son aquellos que "en conjunto" conforman las situaciones alternas probables de presentarse, en términos de su probabilidad acumulada de ocurrencia.
2. **Los escenarios improbables** son aquellos que "en conjunto", y en términos de su probabilidad acumulada de ocurrencia, conforman las situaciones con poca probabilidad de ocurrencia y, por lo tanto, improbables.
3. **Los escenarios imposibles** son todos aquellos que resultan con probabilidad cero de ocurrencia.

Los resultados de un ejercicio de **prospectiva** basado en el uso de esta técnica, deben ser interpretados con bastante cuidado; de lo contrario, se pueden sacar conclusiones erróneas en cuanto a lo que pueden ser los resultados a futuro. La razón de esta acotación radica en el hecho de que los resultados de este tipo de ejercicios, son los resultados de un **ejercicio de simulación**, donde las probabilidades "base" para la generación **aleatoria de la ocurrencia de eventos** son las opiniones (juicios de valor) de los expertos.

Como bien se sabe, una de las tareas más delicadas e importantes en cualquier experimento de simulación estocástica es: **saber interpretar adecuadamente los resultados.**

Por lo expuesto anteriormente, la metodología de los impactos cruzados, generadora de los escenarios en los estudios de pronóstico, es un ejemplo de las llamadas metodologías de los sistemas blandos (SMB), que se encuentran en pleno desarrollo actual, dentro del amplio marco del análisis de sistemas.

Como resultado de la metodología de los impactos cruzados, se obtiene **la estrategia de lo deseable**, donde los estudios prospectivos permiten la reflexión sobre la actitud de los actores en los planteamientos estratégicos.

Por otra parte, la manifiesta evolución de los instrumentos que apoyan la racionalización de las decisiones, está basada en los últimos desarrollos en este campo, en el enfoque o en el análisis de sistemas, y se refleja en la actitud prospectiva y su Metodología de Sistemas Blandos.

De modo que ante la **estrategia clásica de lo "real"**, se puede hoy colocar la **estrategia de lo deseable**. La primera hace referencia a un futuro previsible, que cubre normalmente el corto y mediano plazos, y se apoya en la continuidad de las tendencias detectadas en el pasado. Las decisiones tomadas en este marco, se justifican por las fuertes inercias del presente con grandes posibilidades de mantenerse en el futuro.

El pensamiento clásico de la "estrategia de lo real" se apoya en un proceso intelectual en el que la lógica y la argumentación se sustentan en las tendencias históricas, las cuales permiten realizar extrapolaciones para la obtención de conclusiones, en el contexto de que el momento actual es similar al momento futuro.

En cambio, la "estrategia de lo deseable" difiere sensiblemente de la actitud intelectual antes expuesta, pues pone en duda la linealidad de la relación causa/efecto (uno de los principios cartesianos) y encauza su proceso

de razonamiento hacia la exploración, con creatividad e imaginación, de los futuros posibles en esa actitud denominada prospectiva.

La “estrategia de lo deseable” necesita una metodología, y ésta bien puede ser el método de los impactos cruzados, el cual debe ser aplicado dinámicamente y como un instrumento de reflexión para la construcción de los escenarios posibles.

Por último, es necesario señalar que los escenarios obtenidos con la técnica de los impactos cruzados (o X - I) son del tipo de anticipación, pero con un aspecto singular: el método los presenta jerarquizados por su probabilidad de ocurrencia. La exigencia del “cumplimiento” de los objetivos buscados (característica del escenario normativo) se deja a la labor del analista, cuando selecciona entre los más probables aquel o aquellos que mejor cumplan los objetivos determinados por los decisores del sistema, según una escala de valores prevista.

## Bibliografía

- Chechland, P. B. y J. Scholes. *Soft Systems Methodology in Action*, Wiley, Chester, Reino Unido, 1990.
- Duperrin, J. C. y M. Godet. "Prospective des Systèmes et Construction de Scénarios. Méthode, SMIC", *Metra*, vol. XII, núm. 4, París, 1995.
- Gregory, G. *Decision Analysis*, Plenum, Nueva York, 1998.
- Gregory, G. *Systems Methodology by Management Sciences*, Plenum, Nueva York, 1992.
- Mercado Ramírez, Ernesto. *Técnicas y modelos para la toma de decisiones*. Ed. Limusa, México, 1998.
- Poper, K. R. *The Logic of Scientific Discovery*, Harper and Row Co., Nueva York, 1996.
- Saaty, T. L. y K. P. Kearus. *Analytical Planning. The Organization of Systems*, Pergamon Press, Oxford, Reino Unido, 1995.