



03 / 11 / 06

## Módulo 2 – Probabilidades Condicionales- Bayes

# Estudio de Caso

## Proyecto: Predicción Hidrológica

### Destinatario:

Gobierno Municipal de San Antonio de Areco

### Objetivo:

Control del nivel del río Areco, en una zona de interés turístico, comercial, histórico y residencial.

### Metodología:

Desarrollo de un modelo probabilístico, que facilite la toma de decisiones.

### Estructura:

<u>Antecedentes</u>	página 2
<u>Parte 1 – Generalidades</u>	página 4
<u>Parte 2 – Datos necesarios</u>	página 8
<u>Parte 3 – Método a utilizar</u>	página 9
<u>Parte 4 – Cálculos</u>	página 11
<u>Parte 5 – Conclusiones</u>	página 15



03/11/06

**Módulo 2 – Probabilidades Condicionales- Bayes**

San Antonio de Areco, octubre de 2006

Sres. Consultora

De mi mayor consideración:

Me dirijo a Uds. a efectos de solicitarles vuestro servicio de consultoría en hidrología, y dado que la cuestión que nos atañe, proviene de antigua data, describiré a continuación una reseña para su entendimiento:

La ciudad de San Antonio de Areco ubicada al noreste de la Pcia de BsAs, fue fundada, como muchos pueblos coloniales, en la proximidad de un río, debido la importancia estratégica de desarrollo que ofrecen los cauces de agua.

Éste curso de agua, el río Areco, permitió crecer prósperamente a la comunidad, principalmente sobre la margen sur, cuyas tierras son más elevadas, ya que habían observado que el río eventualmente pasaba de un cauce normal a una gran crecida que ocupaba importantes sectores, aledaños al río, en lo que se conoce como valle de inundación.

Asimismo el nivel del río solía bajar tanto que permitía sin inconvenientes el paso de carretas y demás transportes. Esto fue decisivo para que San Antonio de Areco fuera parte de las rutas comerciales que unían Buenos Aires con el Alto Perú.

Debido a que esta ruta se veía imposibilitada de transitar cuando crecía el nivel del agua, fue cuando se decidió la construcción de un puente -hacia el año 1857-, que debía soportar el peso de los transportes, pero también la fuerza del río durante las crecidas. Se dice que este puente fue el primero en cobrar peaje en el país, lo cual se hizo para poder amortizar la obra.

El puente aún existe y se transformó en un símbolo emblemático de la ciudad. A causa del paso de los años, las carretas y las inundaciones, que lo afectaron paulatinamente, fue necesaria una restauración de su parte estructural en el año 2002.

Por otro lado, como era de esperar, la población -que seguía creciendo- encontró en el río un lugar de recreación y esparcimiento. Sin embargo la variabilidad del río obligó la posterior construcción de una presa, aguas abajo, en las cercanías, para que el agua quede retenida en un sector destinado a balneario, tomándose la previsión de que cuente con un canal aliviador y compuertas para cuando viniera la crecida.

La teoría fue buena, pero no la práctica: la apertura tardía de las compuertas, provocó grandes inundaciones en la zona ribereña y daños en el puente; la apertura prematura sin contar con un dato certero de crecida aguas arriba causó el reiterado vaciado del río, generando el descontento a turistas y vecinos.



03/11/06

### **Módulo 2 – Probabilidades Condicionales- Bayes**

En la actualidad la zona ribereña es un importante centro turístico, histórico, comercial y residencial y es voluntad del Poder Ejecutivo fomentar el crecimiento y la preservación de este sector.

Por los motivos expuestos se solicita a Uds. la realización de un estudio que permita encontrar los caminos posibles para reducir los efectos negativos de las inundaciones, como así también la falta de agua en el río Areco.

Sin otro particular y a la espera de una respuesta favorable, saludo a Uds. muy atte.  
Intendente Municipal de San Antonio de Areco



03 / 11 / 06

## Módulo 2 – Probabilidades Condicionales- Bayes

Buenos Aires, octubre de 2006

Sr. Intendente Municipal  
de San Antonio de Areco  
S                    /                    D

De nuestra consideración:

A raíz de su petición, y en virtud del convenio celebrado, queremos remitirle el primer informe realizado por esta empresa, en el cual se ha desarrollado un modelo probabilístico que permitirá una optimización en la operación del sistema de compuertas y que a su vez abre caminos al uso de técnicas más sofisticadas, que si bien pueden ser más costosas de implementar, permitirán un manejo mucho mas eficiente del río.

Sin otro particular, saluda atte.  
Consultora Di Ruggiero



03 / 11 / 06

## Módulo 2 – Probabilidades Condicionales- Bayes

### Parte 1 – Generalidades

Una predicción hidrológica es la estimación del estado futuro de los fenómenos hidrológicos. La necesidad de estas predicciones aumenta con la expansión económica de un país y la utilización de sus recursos hídricos, lo que implica la mejor gestión posible de estos recursos. Así mismo, las predicciones hidrológicas son esenciales para la mitigación de los desastres naturales, como inundaciones o sequías.

#### 1. Características de las predicciones

Las predicciones y los avisos hidrológicos, se emiten por diversas razones: desde eventos de corto plazo, como crecidas repentinas, hasta perspectivas estacionales relativas al aporte hídrico potencial para el riego, la producción de energía o la navegación tierra adentro.

Las técnicas de predicción abarcan el uso de fórmulas empíricas simples o de correlaciones, con el uso de complejos modelos matemáticos que representan todas las fases del balance hídrico de la cuenca de un río.

La dinámica de los procesos hidrológicos obedece a factores meteorológicos, pero los cambios que estos factores producen en el régimen no ocurren instantáneamente. Por ejemplo, la duración de la escorrentía (corriente de agua) causada por una precipitación, es en general mucho mayor que la lluvia que la produjo.

Los **Factores Básicos** que controlan los procesos hidrológicos se pueden dividir en los siguientes grupos:

- a) **Factores iniciales**, que determinan las condiciones existentes en el momento en que se hace la predicción, y que pueden ser calculados o estimados, en base a las observaciones o mediciones hidrológicas y meteorológicas corrientes
- b) **Factores futuros**, que influyen en los procesos hidrológicos después de que se ha emitido la predicción.

A continuación se definen los términos normalmente usados para identificar el **alcance de las predicciones hidrológicas**:

- a) **Predicción hidrológica a corto plazo** – Predicción de los valores futuros de una variable hidrológica, para un período no mayor de dos días después de la emisión de la predicción.
- b) **Predicción hidrológica a plazo medio** (extendida) – Predicción de los valores futuros de una variable hidrológica, para un período que finaliza entre dos y 10 días, después de la emisión de la predicción.
- c) **Predicción hidrológica a largo plazo** – Predicción de los valores futuros de una variable hidrológica, para un período que se extiende más allá de 10 días, después de la emisión de la predicción.



03 / 11 / 06

## Módulo 2 – Probabilidades Condicionales- Bayes

- d) **Predicción hidrológica estacional** – Predicción de los valores futuros de una variable hidrológica, para una estación en general, cubre un período de varios meses o más.
- e) **Aviso hidrológico** – Información de emergencia sobre un fenómeno hidrológico esperado, que es considerado peligroso.

Las predicciones hidrológicas tienen **seis Características Principales**:

- a) Variable que se debe predecir, elementos hidrológicos que se predicen
- b) Plazo de la predicción, también llamado período de predicción o de advertencia
- c) Métodos del cálculo utilizados
- d) Finalidad de la predicción
- e) Forma de presentación, por ejemplo, un solo valor esperado, hidrograma total, distribución de probabilidad
- f) Medios de difusión

## 2. Efectividad de las predicciones

Las predicciones hidrológicas son necesarias para la regulación racional de la escorrentía, la utilización de la energía fluvial, la navegación tierra adentro, el riego (especialmente en regiones áridas), el abastecimiento de agua, y la gestión de la calidad del agua. Las predicciones son también de gran importancia para hacer frente a fenómenos peligrosos, que se pueden producir en la corriente de un río.

Como consecuencia de los avisos previos de crecidas, se pueden tomar las medidas necesarias para prevenir pérdida de vidas y daños materiales, de modo que puedan reducirse al mínimo los trastornos y la destrucción originadas por esas calamidades.

## 3. Exactitud y oportunidad

El valor de una predicción hidrológica depende, en gran medida, de su exactitud, cuyos requisitos deben ser obviamente adecuados al uso de la predicción. Sin embargo, la exactitud tiene que ser considerada, junto con la oportunidad de la predicción. Los criterios para evaluar una predicción deben teóricamente considerar la exactitud y la oportunidad.

Éstas, a su vez, dependen de la fiabilidad y la cantidad de información hidrológica y meteorológica, la rapidez con la cual se proporciona la información al centro de predicción, el tiempo de respuesta de la cuenca, el tipo de método de predicción o modelo que puede ser usado y el tiempo que toma para difundir la predicción a los usuarios.



03 / 11 / 06

## Módulo 2 – Probabilidades Condicionales- Bayes

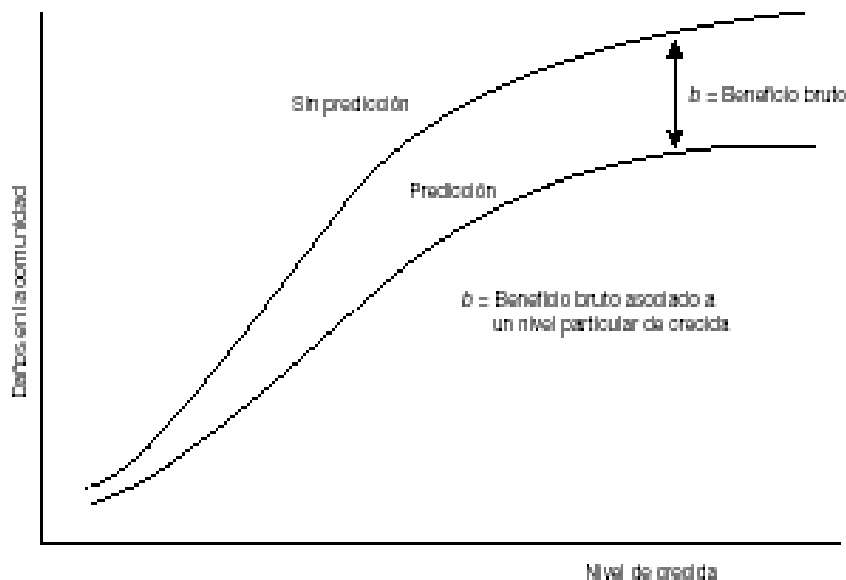
### 4. Costo y beneficio

La determinación de los beneficios y costos de las aplicaciones de predicción, es similar a la aplicada a la planificación y al diseño. Los factores que deben tenerse en cuenta al valorar los beneficios son:

- En caso de una predicción de crecida, el alcance del daño que se puede evitar en situaciones privadas, comerciales, industriales y agrícolas
- El alcance de los ahorros que se pueden realizar efectivamente en la agricultura, la industria o el comercio gracias a las diversas predicciones hidrológicas
- La determinación de los beneficios totales, materiales e inmateriales, de una región.

Además, al pronosticar, se debe considerar el efecto de la inexactitud en la predicción, en la reacción y la confianza del usuario en un período prolongado de tiempo.

Si se toma la decisión de realizar la investigación, la evaluación de los beneficios monetarios de un servicio de predicción de crecida, puede utilizar el siguiente método gráfico:



Curva de relación nivel de crecida–daño



03 / 11 / 06

## Módulo 2 – Probabilidades Condicionales- Bayes

### 5. Servicio de predicción

#### 5.1. Organización

Los requisitos principales para una explotación eficiente son:

- a) Una red adecuada de estaciones hidrológicas y meteorológicas
- b) Medios de comunicación rápidos y seguros para reunir y distribuir, la información hidrológica y meteorológica
- c) Un banco de datos hidrológicos y meteorológicos, bien documentado y organizado, provisto de un programa de procesamiento, almacenamiento y recuperación rápido
- d) Personal especializado en los diferentes campos de la predicción hidrológica
- e) Información sobre la manera de explotación de obras, de gestión de recursos hídricos y protección de crecidas, como embalses, fábricas hidroeléctricas, riego y sistemas de drenaje.

#### 5.2. Actividades

En los centros de predicción hay cinco campos de actividades principales:

- a) Recolección y procesamiento de información, que se recibe sobre el estado de las masas de agua, los factores operativos, y las observaciones y predicciones meteorológicas
- b) Publicación de un boletín periódico, en el que se informe sobre la situación y las predicciones y avisos
- c) Distribución de la información diaria, análisis, predicción y avisos a usuarios interesados
- d) Evaluación de la exactitud y efectividad de la predicción
- e) Análisis de las necesidades del usuario y las mejoras al sistema de predicción existente





03 / 11 / 06

## Módulo 2 – Probabilidades Condicionales- Bayes

### 5.3. Difusión de Predicciones y Avisos

El método para distribuir la información, sobre el estado de ríos, lagos, embalses, análisis hidrológicos, predicciones y avisos, depende de los requisitos de los usuarios, el grado de urgencia, los canales de comunicación y los medios que el centro de predicción hidrológica tiene a su disposición.

## Parte 2 - Datos Necesarios

Los datos usados en las predicciones hidrológicas pueden dividirse en **dos grupos**; el primero incluye todo el material requerido para desarrollar el método de predicción, y el segundo grupo contiene la información necesaria para producir la predicción.

La preparación de predicciones hidrológicas requiere una red adecuada de datos y medios para la medición del río y de la cartografía de la cuenca.

En la etapa de preparación, se pueden prever y estudiar varios métodos, como el análisis retrospectivo de eventos hidrológicos pasados. Suele requerirse de la siguiente información: *Variables hidrológicas, características de la cuenca y características del río.*

Una vez que se ha determinado el procedimiento de la predicción, se podrían medir las siguientes variables para predicciones a corto plazo relativas al nivel del río:

- a) nivel del río aguas arriba y condiciones de almacenamiento*
- b) distribución temporal y espacial de la lluvia*
- c) condiciones del suelo, incluida la humedad del suelo y las heladas*
- d) características y cubierta del suelo*
- e) datos meteorológicos para calcular los ingresos de energía.*

Para pronósticos a corto plazo, es de suma importancia que todas las observaciones estén disponibles rápidamente en el centro de predicción.



03 / 11 / 06

## Módulo 2 – Probabilidades Condicionales- Bayes

### Precisión de las Observaciones y Frecuencia de las Mediciones

Las pautas recomendadas referentes a precisión y frecuencia de mediciones para las predicciones hidrológicas están contenidas en una **Tabla**, que anexamos por separado.

Asimismo, figuran en esa tabla las variables que pueden ser observadas por las estaciones automáticas. La lluvia, el nivel (o el caudal) y el equivalente en agua de la capa de nieve, son las variables más usadas con fines generales en los centros de predicción.

### Parte 3 - Método a utilizar

Esta sección versa sobre las bases matemáticas, los métodos hidrológicos que forman los componentes del sistema de predicción a utilizar, los criterios para determinar los parámetros a medir y seleccionar los métodos de medición.

Muchas buenas predicciones exitosas dependen de enlaces muy simples que han sido establecidos empíricamente entre la variable observada, por ejemplo, el nivel aguas arriba y, una variable que hay interés en predecir, por ejemplo el nivel aguas abajo en un momento posterior.

Los procedimientos de predicción, están basados cada vez más, en una descripción física y más completa, de los procesos hidrológicos e hidráulicos.

El modelo que se usará aquí, es del tipo **Probabilístico**, basado en el Teorema de Bayes:

### FÓRMULA DEL TEOREMA DE BAYES

$$P(B_i/A) = \frac{P(B_i) * P(A/B_i)}{\sum_{i=1}^n P(B_i) * P(A/B_i)}$$

Diagram illustrating the components of Bayes' Theorem formula:

- Probabilidad de la causa** (Probability of the cause) points to  $P(B_i)$ .
- Probabilidad del suceso con respecto a la causa ó "Probabilidad a priori"** (Probability of the event with respect to the cause or "Prior probability") points to  $P(A/B_i)$ .
- "Probabilidad a posteriori"** (Posterior probability) points to  $P(B_i/A)$ .
- Probabilidad Total** (Total probability) points to the denominator  $\sum_{i=1}^n P(B_i) * P(A/B_i)$ .



03 / 11 / 06

## Módulo 2 – Probabilidades Condicionales- Bayes

Esto puede leerse como:

La probabilidad condicional de la **Causa Bi**, sabiendo que ocurrió el **Suceso A**, es el cociente entre la probabilidad conjunta (de la causa Bi y el suceso A), sobre la probabilidad total.

Las condiciones para su aplicación deben ser las siguientes:

- 1) Todas las causas Bi deben ser conocidas.
- 2) Las causas Bi deben ser mutuamente excluyentes entre sí.
- 3) Cada causa Bi debe tener establecida su probabilidad de ocurrencia.

En nuestro caso de análisis se ha determinado que las **causas que conllevan a una inundación** pueden ser de tres tipos: a) climáticas, b) humanas y c) tecnológicas

- a) **Las climáticas** son aquellas condiciones meteorológicas, que se presentan en la región y que pueden favorecer o no, a una importante crecida del río. A efectos de simplificar el modelo, se establecieron 3 tipos de climas en la región a lo largo del año:

A: Clima húmedo, lluvias moderadas, vientos leves

B: Clima húmedo, lluvias copiosas, vientos moderados a intensos

C: Clima normal o seco, lluvias moderadas, vientos leves a intensos

- b) **Los factores humanos** pueden ser:

D: Falta de información para el operador de compuertas.

E: Información errónea

F: Ausencia del operador

G: Dato correcto (Si bien no es una falla, se han observado inundaciones que a pesar de que se operó correctamente el sistema de compuertas, igual hubo inundación)

- c) **Los factores tecnológicos** (aquellos debidos a los instrumentos y equipos) que implican las posibles fallas de instrumento de medición, falla de apertura de compuerta o la ausencia de instrumentos, serán descartados pues –como oportunamente notara su equipo técnico- se observa una gran aleatoriedad en las apariciones de estos hechos, lo cual sumado al hecho, que no se cuenta con una serie cronológica de datos lo suficientemente amplia, no hemos podido establecer una tendencia realista, de las probabilidades de ocurrencia de los mismos.

**Recomendación:** Para poder contrarrestar esta carencia, recomendamos la utilización de instrumental nuevo y contrastado, para las futuras mediciones, como así también un plan de mantenimiento preventivo, para todas aquellas instalaciones electromecánicas en juego, de manera, de reducir a un mínimo el azar sobre este factor.

Asimismo, recomendamos iniciar un nuevo registro, con los hechos donde intervengan factores tecnológicos, y que hubieran incidido en la altura del río.



03 / 11 / 06

## Módulo 2 – Probabilidades Condicionales- Bayes

### Parte 4 – Cálculos

Se estableció, mediante la información que pudo recopilarse, que los factores climáticos y humanos poseen las siguientes **probabilidades de ocurrencia** (expresadas en porcentajes)

- A: 17%
- B: 8%
- C: 75%
  
- D: 3%
- E: 15%
- F: 4%
- G: 78%

La probabilidad que suceda una inundación, sabiendo que se debe a cada una de las causas, es la siguiente:

- IA: 12%
- IB: 60%
- IC: 2%
  
- ID: 70%
- IE: 60%
- IF: 50%
- IG: 10%

De acuerdo a lo expresado por el teorema de Bayes, para las **Causas Climáticas**, se obtienen, las siguientes probabilidades para cada una de las tres causas:

$$p(A/I) = \frac{p(A) * p(I/A)}{p(A) * p(I/A) + p(B) * p(I/B) + p(C) * p(I/C)} = \frac{0.17 * 0.12}{0.17 * 0.12 + 0.08 * 0.60 + 0.75 * 0.02} =$$

$$= \frac{0.0204}{0.0204 + 0.048 + 0.015} = \frac{0.0204}{0.0834} = \mathbf{0.2446}$$

$$p(B/I) = \frac{p(B) * p(I/B)}{p(A) * p(I/A) + p(B) * p(I/B) + p(C) * p(I/C)} =$$

$$\frac{0.08 * 0.60}{0.17 * 0.12 + 0.08 * 0.60 + 0.75 * 0.02} = \frac{0.048}{0.0204 + 0.048 + 0.015} = \frac{0.048}{0.0834} = \mathbf{0.5755}$$



03 / 11 / 06

## Módulo 2 – Probabilidades Condicionales- Bayes

$$p(C/I) = \frac{p(C) * p(I/C)}{p(A) * p(I/A) + p(B) * p(I/B) + p(C) * p(I/C)} =$$

$$\frac{0.75 * 0.02}{0.17 * 0.12 + 0.08 * 0.60 + 0.75 * 0.02} = \frac{0.015}{0.0204 + 0.048 + 0.015} = \frac{0.015}{0.0834} = \mathbf{0.1798}$$

De acuerdo a lo expresado por el teorema de Bayes, para las **Causas Factor Humano**, se obtienen, las siguientes probabilidades para cada una de las cuatro causas:

$$p(D/I) = \frac{p(D) * p(I/D)}{p(D) * p(I/D) + p(E) * p(I/E) + p(F) * p(I/F) + p(G) * p(I/G)} =$$

$$\frac{0.03 * 0.70}{0.03 * 0.70 + 0.15 * 0.60 + 0.04 * 0.50 + 0.78 * 0.10} = \frac{0.021}{0.021 + 0.09 + 0.02 + 0.078} = \frac{0.021}{0.209} = \mathbf{0.1004}$$

$$p(E/I) = \frac{p(E) * p(I/E)}{p(D) * p(I/D) + p(E) * p(I/E) + p(F) * p(I/F) + p(G) * p(I/G)} =$$

$$\frac{0.15 * 0.60}{0.03 * 0.70 + 0.15 * 0.60 + 0.04 * 0.50 + 0.78 * 0.10} = \frac{0.09}{0.021 + 0.09 + 0.02 + 0.078} = \frac{0.09}{0.209} = \mathbf{0.4306}$$

$$p(F/I) = \frac{p(F) * p(I/F)}{p(D) * p(I/D) + p(E) * p(I/E) + p(F) * p(I/F) + p(G) * p(I/G)} =$$

$$\frac{0.04 * 0.50}{0.03 * 0.70 + 0.15 * 0.60 + 0.04 * 0.50 + 0.78 * 0.10} = \frac{0.02}{0.021 + 0.09 + 0.02 + 0.078} = \frac{0.02}{0.209} = \mathbf{0.0957}$$

$$p(G/I) = \frac{p(G) * p(I/G)}{p(D) * p(I/D) + p(E) * p(I/E) + p(F) * p(I/F) + p(G) * p(I/G)} =$$

$$\frac{0.78 * 0.10}{0.03 * 0.70 + 0.15 * 0.60 + 0.04 * 0.50 + 0.78 * 0.10} = \frac{0.078}{0.021 + 0.09 + 0.02 + 0.078} = \frac{0.078}{0.209} = \mathbf{0.3732}$$

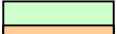



03 / 11 / 06

## Módulo 2 – Probabilidades Condicionales- Bayes

Luego ordenamos en forma decreciente, los valores obtenidos, de manera de establecer en qué grado, cada causa está asociada con una probable inundación:

<b>p(B/I)</b>	0.5755	<b>57.55%</b>
<b>p(E/I)</b>	0.4306	<b>43.06%</b>
<b>p(G/I)</b>	0.3732	<b>37.32%</b>
<b>p(A/I)</b>	0.2446	<b>24.46%</b>
<b>p(C/I)</b>	0.1798	<b>17.98%</b>
<b>p(D/I)</b>	0.1004	<b>10.04%</b>
<b>p(F/I)</b>	0.0957	<b>9.57%</b>

<i>Referencias</i>	
Factor climático	
Factor humano	

**Conclusiones Preliminares del Estudio:** una lectura de los tres principales valores obtenidos, puede ser interpretado como sigue:

- 1) El primer lugar lo ocupa **p(B/I)**, con un **57.55%**, o sea, las condiciones climáticas que son menos frecuentes, pero que tienen las condiciones ideales para que se produzca una inundación. El elevado valor, es indicativo que el sistema de control de compuertas, no fue operado efectivamente.
- 2) Que el 2º lugar y con un valor elevado, esté ocupado por **p(E/I)**, con un valor de **43.06%**, nos indica que en el pasado se transmitieron cantidades importantes de datos no verificados, lo cual influyó en la decisión del operador de compuertas.
- 3) Encontramos aquí a **p(G/I)**, con un valor de **37.32%**, o sea que si bien se contó con los datos correctos (el valor real, en el momento debido) el operador de compuertas no pudo evitar la inundación, lo cual puede sugerir, que las crecidas fueron de mayor tamaño a las dimensionadas, en el estudio de diseño de las compuertas y el canal aliviador; o bien que el canal y/o las compuertas requieren de mantenimiento que las vuelva a dejar al nivel óptimo de operación.

Sin considerar las causas siguientes, la situación así planteada sugiere, que en el pasado, se intentó el control de compuertas para evitar las inundaciones, sin embargo las condiciones de generación, transmisión e interpretación de los datos para la toma de decisiones, fueron tomadas sin la debida consideración por parte de las sucesivas administraciones municipales, evidenciándose falta de instrucción de los agentes a cargo, respecto a las tareas requeridas para una gestión eficiente del río. De esta manera, se gestó la sensación de inevitabilidad de que suceda una nueva inundación y que el sistema de compuertas era totalmente inútil.

**CASOS ESPECIALES:** también hemos considerado la probabilidad, que sucedan conjuntamente tanto un **factor “climático”** como uno del tipo que denominamos **factor “humano”**.

El análisis de los datos, también nos permitió hallar los porcentajes de coincidencia, entre los factores climáticos y los de carácter humano, más preponderantes o de mayor impacto.



03 / 11 / 06

**Módulo 2 – Probabilidades Condicionales- Bayes**

Como **Casos Especiales** se analizaron las siguientes contingencias, es decir probabilidades de ocurrencia simultánea, o conjunta de pares de causas:

a)  $P(B \cap E)$

b)  $P(B \cap G)$

c)  $P(B \cap F)$

- a) Se la consideró, ya que tanto la causa B como la E, fueron los 2 valores más elevados, al estimar mediante el teorema de Bayes.

Entonces

$$P(B \cap E) = 0.08 * 0.15 = 0.012 = \mathbf{1.20\%}$$

Es decir que existe una probabilidad baja, que ambos sucesos (temporal y falta de datos) se den simultáneamente. Equivaldría a suponer que sucede a razón de **4.38 días en un año**.

- b) La consideramos ya que G fue determinada como la 2<sup>a</sup> causa, al haberse producido una inundación.

Entonces

$$P(B \cap G) = 0.08 * 0.78 = 0.0625 = \mathbf{6.25\%}$$

En este caso, esta coincidencia se presentaría durante **22,8 días en el término de un año**.

- c) Por último analizamos la probabilidad, que se presenten B (temporal) y F (ausencia del operador) juntas habiendo determinado que es el peor escenario posible.

Entonces

$$P(B \cap F) = 0.08 * 0.04 = 0.0032 = \mathbf{0.32\%}$$

Equivaldría a que ambos sucesos, se presenten juntos **1 día al año**.



03 / 11 / 06

## Módulo 2 – Probabilidades Condicionales- Bayes

### Parte 5 – Conclusiones

En virtud de los análisis realizados, podemos concluir que se evidencia una importante ineficacia en la gestión del río, principalmente en lo que respecta a los datos hidrometeorológicos (su generación, registro, validación, transmisión e interpretación).

También puede apreciarse, la baja eficiencia del sistema aliviador (compuertas y canal).

Si bien se determinó, como muy poco frecuente la ausencia del operador, debiera implementarse una metodología laboral, que evite (salvo causas de fuerza mayor) la ausencia de un operador.

Las mejoras en dichos aspectos, lograrían reducir sensiblemente, el impacto de una nueva crecida.

Por todo esto, proponemos los siguientes **Cursos de Acción** a tomar, a diferentes plazos:

#### A corto plazo:

- Relevamiento de instalaciones, e Implementación de un plan de mantenimiento preventivo.
- Relevamiento de instrumental, y reemplazo de aquellos defectuosos.
- Relevamiento de personal, y establecimiento de nuevos cronogramas o afectaciones de operarios.
- Continuar el análisis de las series hidrológicas existentes, a los efectos de brindar mayor información, que sirva para la toma de decisiones en el futuro.

#### A Mediano Plazo:

- Capacitación sobre uso de instrumental hidrometeorológico y gestión de datos.
- Realización de análisis de la cuenca del río Areco, con preponderancia en el sector desde el Puente Viejo, hasta pasadas las compuertas y el canal aliviador.
- Adquisición de nuevo instrumental, equipo de registración y transmisión de datos, para nuevas estaciones de monitoreo.

#### A Largo Plazo:

- Realización de las obras hidráulicas, que correspondieran de acuerdo a los estudios realizados.
- Realización de un nuevo análisis estadístico integral.