Determinación de la Senda Óptima de Disminución de Pérdidas Técnicas y No Técnicas

Harold Salazar Isaza Ph.D
Universidad Tecnológica de Pereira
Grupo de Planeamiento en Sistemas Eléctricos

Comisión de Regulación de Energía y Gas
Convenio Específico No. 3
Agosto del 2010

Contenido

1. Antecedentes del problema
2. Elementos conceptuales (Parte I) – Flujo de caja dinámico
3. Reducción de pérdidas como un problema de flujo de caja dinámico
4. Elementos conceptuales (Parte II) – Estimación de pérdidas
5. Presentación programa computacional

Antecedentes del problema

Antecedentes

Dos estudios desarrollados por diferentes consultores para determinar la senda de reducción de pérdidas:

1. Estudio desarrollado por la consultora IEB
2. Estudio contratado por ASOCODIS

Ambos estudios plantean modelos econométricos para estimar el nivel de pérdidas. La diferencia básica entre ambos son las variables explicativas de los modelos.

Antecedentes

El modelo contratado por ASOCODIS se construye sobre el modelo elaborado por IEB. En términos generales, los modelos presentan los siguientes inconvenientes:

1. Las inversiones/usuario o (Inversión+Gasto)/usuario no son una variable suficientemente explicativa en los modelos econométricos desarrollados en ambos estudios. (Ver detalle diapositiva 39)

2. Los modelos ignoran variables explicativas necesarias para la construcción de modelos econométricos. (Ver detalle diapositiva 39)

Antecedentes

3. La senda de disminución de pérdidas se construye con base en el análisis de sensibilidad de diferentes criterios (inversiones, horizontes de tiempo, etc.) ignorando cualquier criterio de optimización.

4. El valor final del nivel de pérdidas se obtiene a través de criterios heurísticos.

5. Los valores de inversiones pueden llegar a niveles cuya viabilidad financiera descarta la aplicación de los modelos (por ejemplo $150,000/Usuario/año).

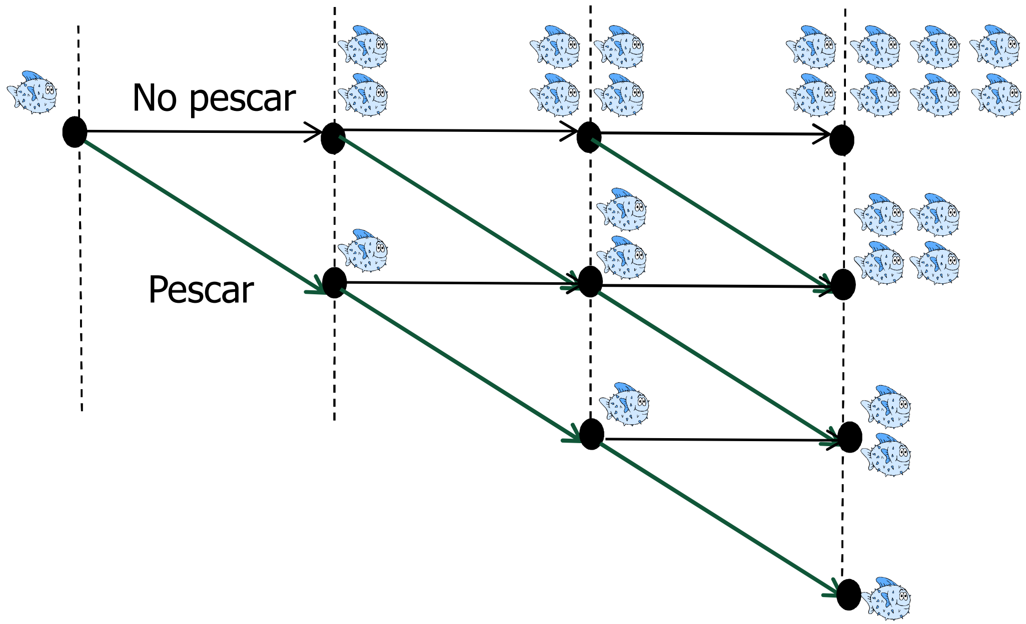
6. Los modelos construidos ignoran la experiencia de distintos operadores de red-comercializadores que han logrado disminuir significativamente las perdidas.

Introducción a los flujos de caja dinámicos y la programación dinámica

Elementos conceptuales (Parte I)
Flujo de caja dinámico

El problema de la pesca : 1ª parte

¿Pescar o no pescar durante tres años?

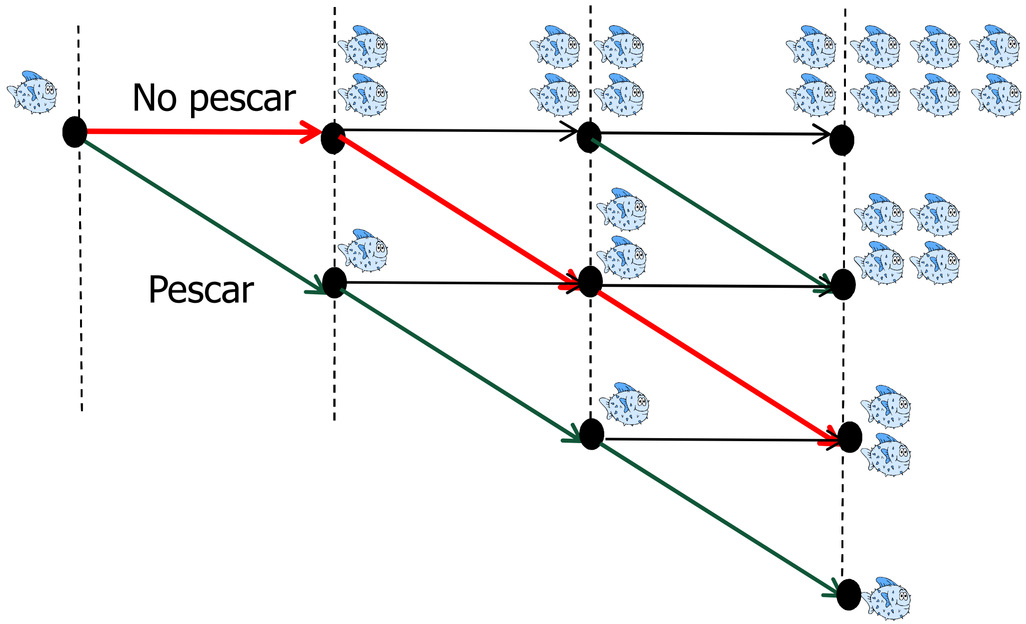


Elementos conceptuales (Parte I)

Flujo de caja dinámico

El problema de la pesca : 1ª parte

¿Pescar o no pescar durante tres años?

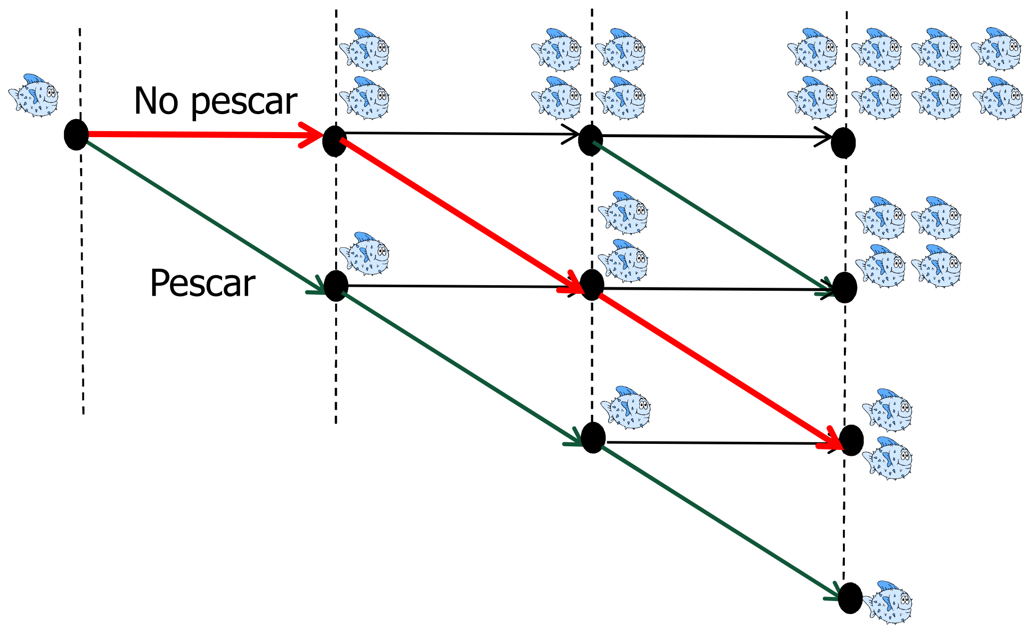


Elementos conceptuales (Parte I)

Flujo de caja dinámico

Observe que determinar la ruta óptima en el problema de la pesca implica el conocimiento de la siguiente información:

1. Opciones disponibles en cada nodo del árbol de decisión
2. Beneficios producto de cada decisión
3. Horizonte de tiempo a considerar



Elementos conceptuales (Parte I)

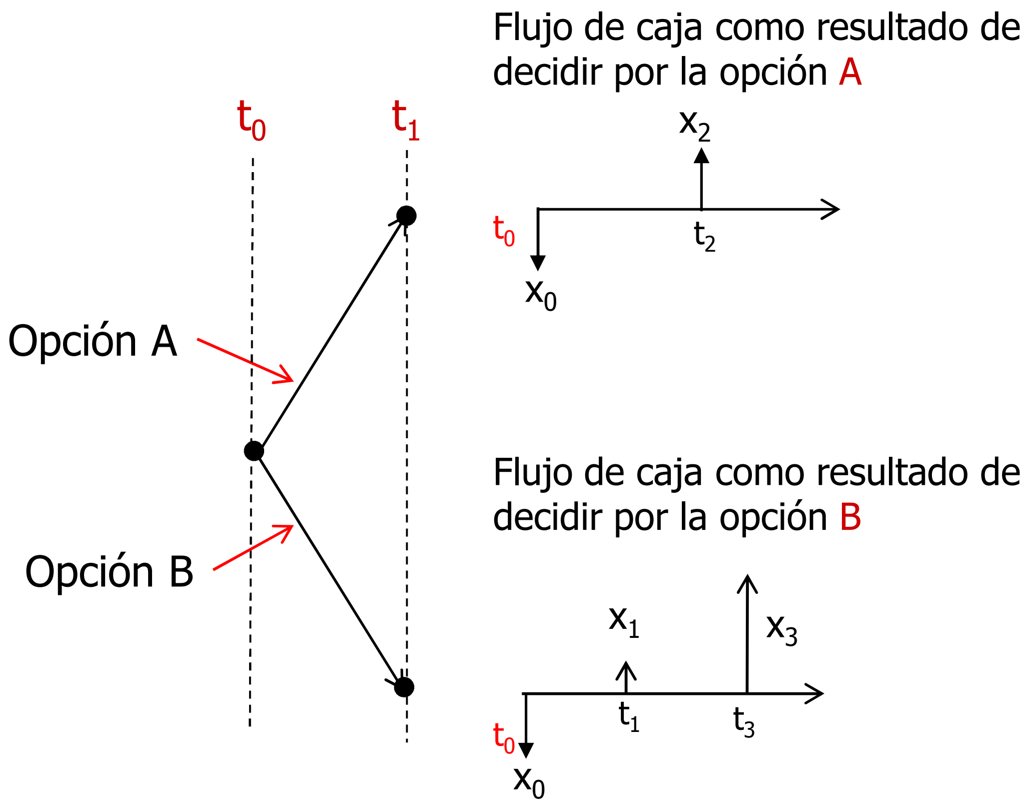
Flujo de caja dinámico

Definición: Un flujo de caja dinámico es un flujo de caja que cambia a través del tiempo producto de decisiones, por lo general inversiones, en diferentes instantes del tiempo. Para analizar un flujo de caja dinámico, en otras palabras, decisiones que se deben tomar con el tiempo, se emplea una técnica conocida como programación dinámica.

Elementos conceptuales (Parte I)

Flujo de caja dinámico

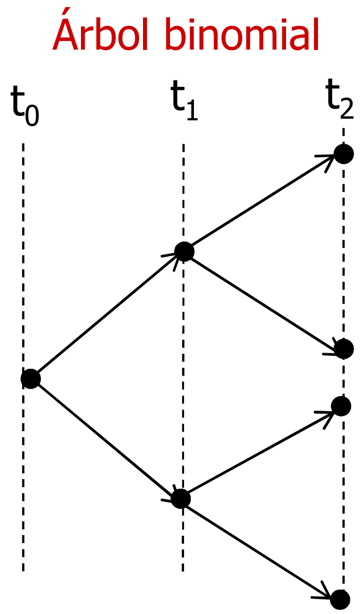
Considere por ejemplo un caso en el cual se tiene dos posibles opciones de decisiones en t_0, denotadas como A y B y representadas gráficamente de la siguiente forma:

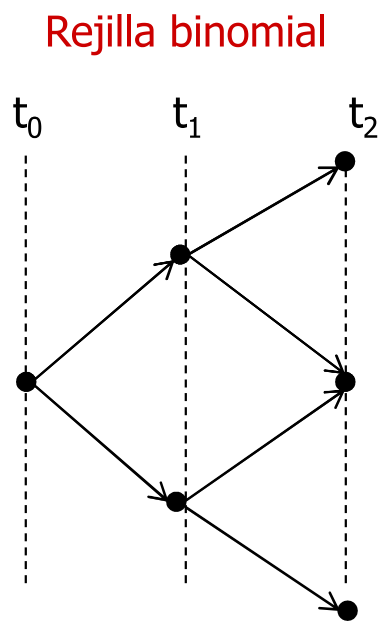


Elementos conceptuales (Parte I)

Flujo de caja dinámico

En general, si en cada instante de tiempo se deben tomar decisiones, estas se puede representar gráficamente a través de los árboles o rejillas de la siguiente forma:





Elementos conceptuales (Parte I)

Flujo de caja dinámico

Para analizar problemas de esta naturaleza es preciso calcular el valor presente (VP) en los diferentes nodos de la siguiente manera:

$$VP(k) = \sum_{i=k}^{n} \frac{x_i}{(1+r)^{i-k}} \qquad i \geq k$$

De forma equivalente, el valor presente (VP) se puede calcular con una expresión de recursividad:

$$VP(k) = x_k + \frac{VP(k+1)}{(1+r)}$$

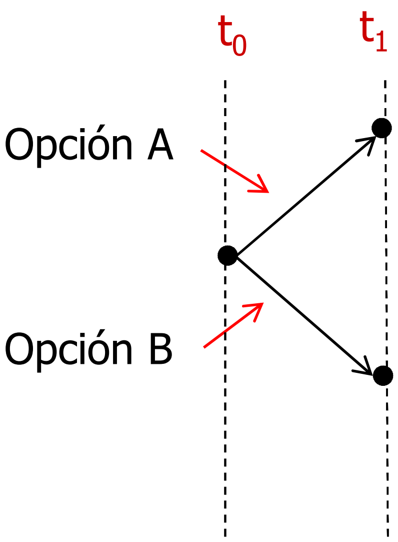
En donde:

x_k	: Flujo de caja en el año k
$VP(k)$	: Valor presente evaluado en el año k
$VP(k+1)$	: Valor presente evaluado en el año k+1
$(1+r)$	: Factor de descuento

Elementos conceptuales (Parte I)

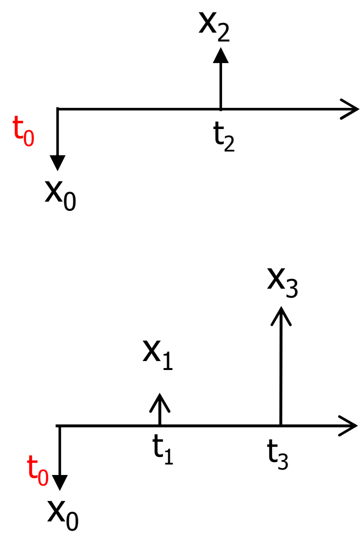
Flujo de caja dinámico

En problemas de ingeniería financiera cada nodo en un árbol o rejilla se caracteriza por un valor presente (VP). Los nodos en los árboles o rejillas se conocen como estados, gráficamente:



VP(1,1) : Valor presente en el estado 1 en el tiempo t1 del flujo de caja producto de decidir por A.

VP(2,1) : Valor presente en el estado 2 en el tiempo t1 del flujo de caja producto de decidir por B.

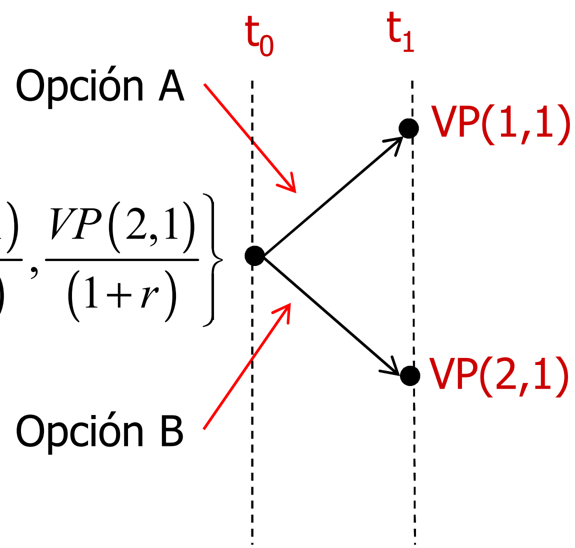


Elementos conceptuales (Parte I)

Flujo de caja dinámico

La representación anterior permite establecer las decisiones que se deben tomar en el tiempo, por ejemplo, para el caso anterior, ¿cual es la mejor decisión que se debe tomar en t_0?, esta decisión se determina comparando los VP de los diferentes estados, esto es:

$$VP(1,0) = \text{mejor decisión} = \max\left\{\frac{VP(1,1)}{(1+r)}, \frac{VP(2,1)}{(1+r)}\right\}$$

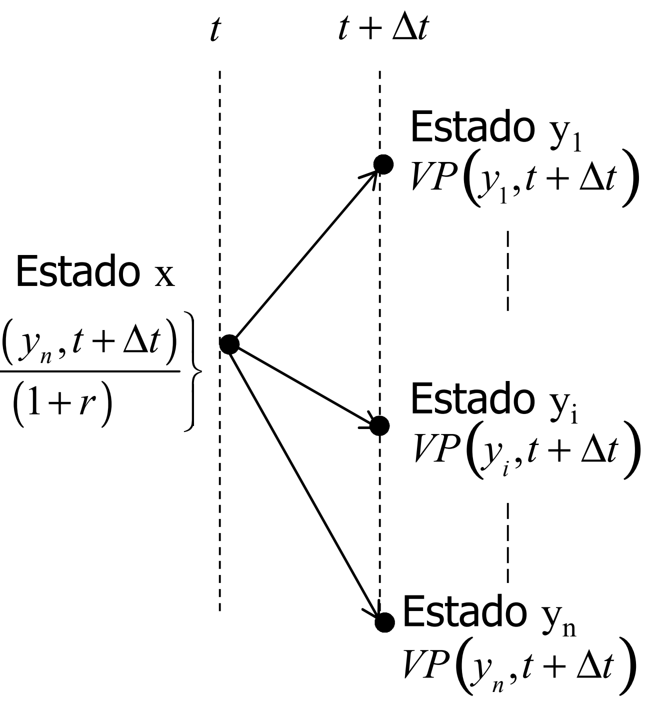


Elementos conceptuales (Parte I)

Flujo de caja dinámico

En general, si existen varias opciones de decisiones en el tiempo t, la mejor decisión es aquella que maximice el VP, matemáticamente:

$$\max\left\{\frac{VP(y_1, t+\Delta t)}{(1+r)}, \dots, \frac{VP(y_i, t+\Delta t)}{(1+r)}, \dots, \frac{VP(y_n, t+\Delta t)}{(1+r)}\right\}$$



Elementos conceptuales (Parte I)
Flujo de caja dinámico

Con base a lo anterior, el VP en el estado x del tiempo t es aquel que maximiza la siguiente expresión:

$$VP(x,t) = \max_{i=1\ldots n}\left\{ c_i + \frac{1}{(1+r)} VP\left(y_i, t+\Delta t\right)\right\}$$

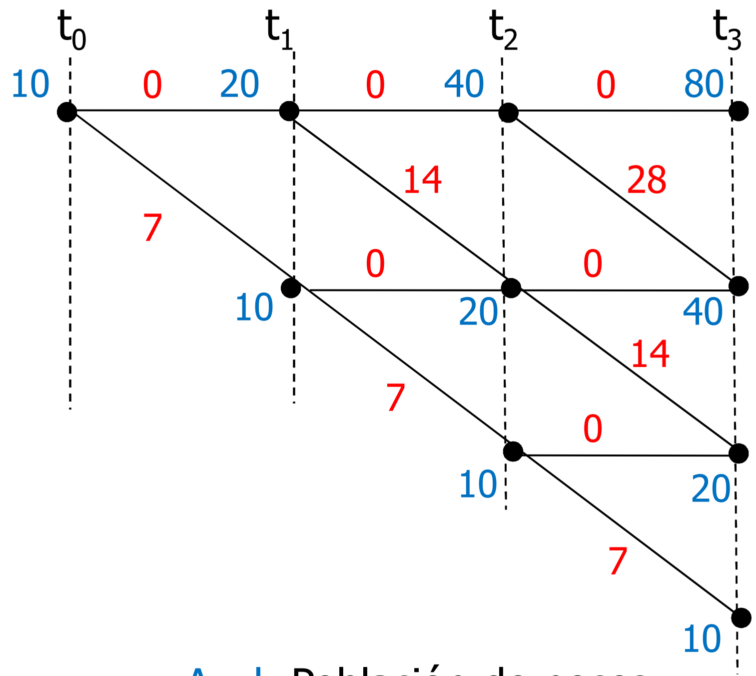
En donde c_i representa la inversión realizada (costo incurrido) en el tiempo t cuando se toma a decisión i.

Elementos conceptuales (Parte I)
Flujo de caja dinámico

La ecuación anterior se conoce como la ecuación básica de recursividad o ecuación de optimalidad de Bellman. Se puede demostrar que la ruta óptima puede ser alcanzada a través de la decisiones óptimas tomadas en cada estado, es decir, decisiones óptima parciales (en cada estado) producen la ruta óptima.

Elementos conceptuales (Parte I)
Flujo de caja dinámico

El problema de la pesca : 1ª parte



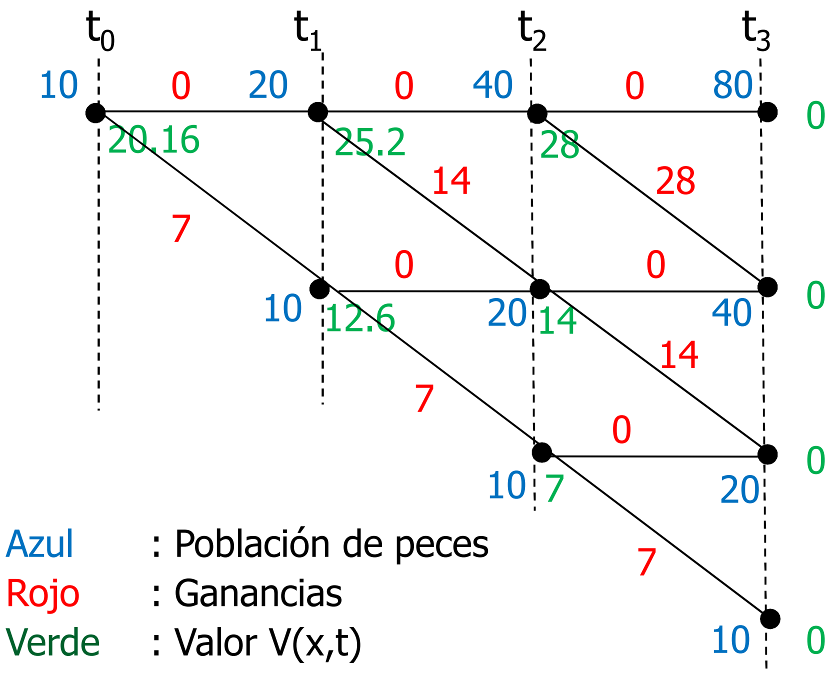
Azul: Población de peces

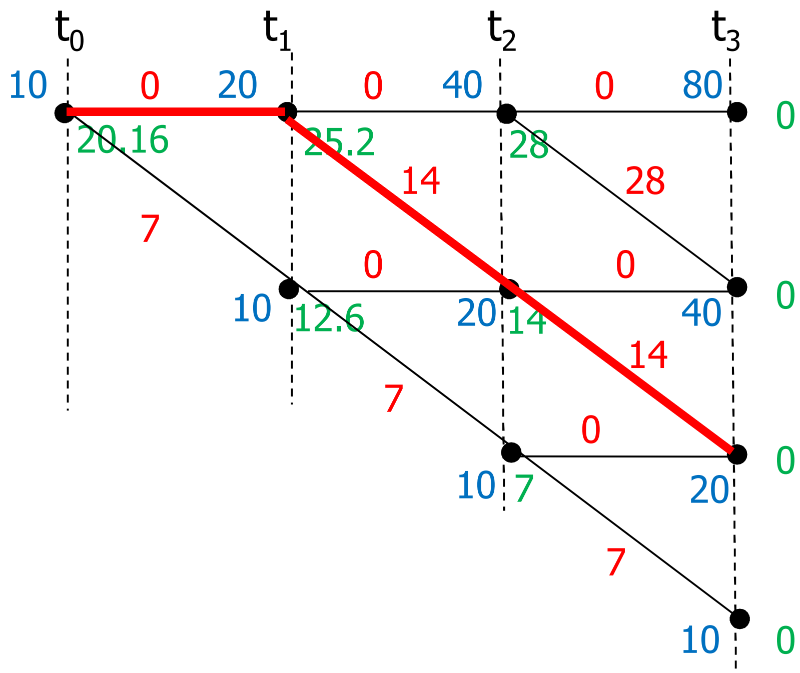
Rojo: Ganancias

Elementos conceptuales (Parte I)

Flujo de caja dinámico

Conociendo las ganancias y considerando que después del año 3 el VP es cero pues no hay pesca, los VP para los diferentes estados a través del tiempo se pueden determinar con la ecuación de optimalidad, y con esta la ruta óptima.





Reducción de pérdidas como un problema de flujo de caja dinámico

Senda de reducción de pérdidas

Las características del problema de la determinar de la senda de reducción de pérdidas son las siguientes:

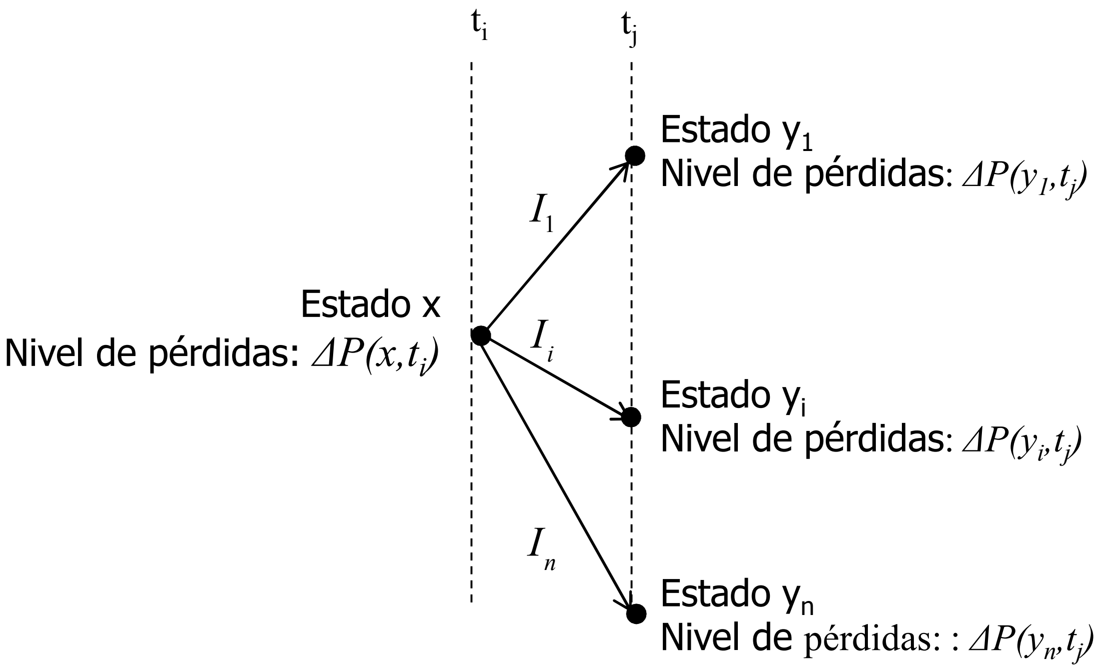
1. El objetivo final es determinar una ruta óptima (senda de disminución de pérdidas óptima) que permita una disminución del nivel actual de pérdidas. La ruta debe ser óptima en el sentido que cualquier alternativa distinta a esta ruta ofrezca menores incentivos en un horizonte de tiempo definido.

2. En cada año se debe tomar una decisión de cuánto invertir en el programa de reducción de pérdidas. Igual que en la programación dinámica, es preciso tomar decisiones en cada estado.

3. Los beneficios en términos monetarios de cada posible decisión pueden ser cuantificados, esto es, es posible determinar la relación beneficio/costo para diferentes niveles de pérdidas.

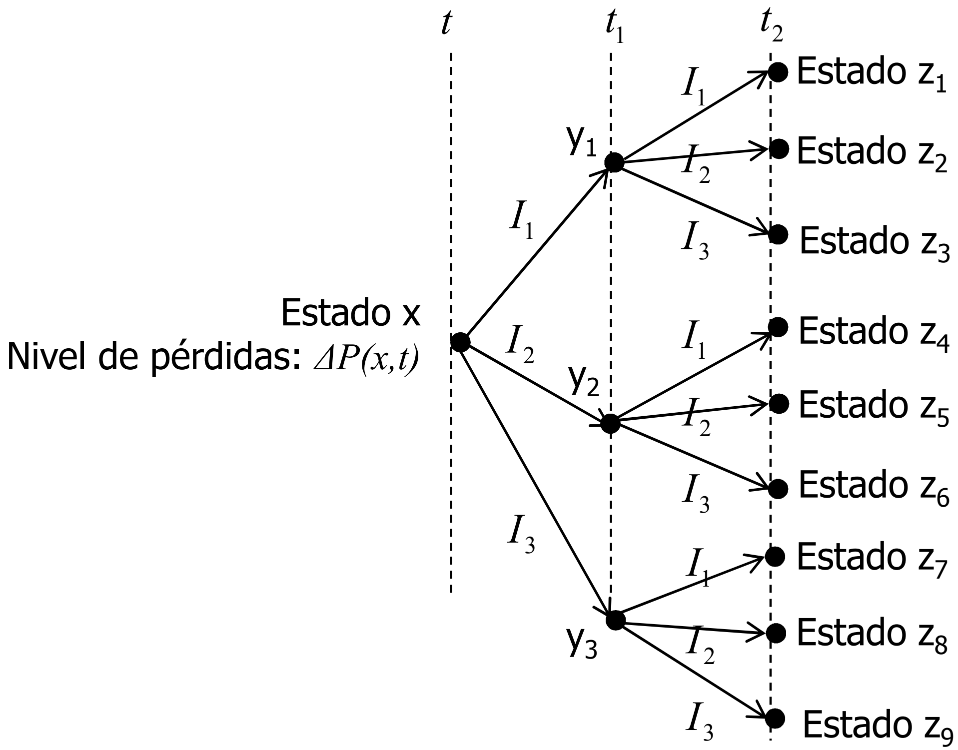
Senda de reducción de pérdidas

En el cualquier año (denotado como año t), las distintas opciones del OR se puede representar gráficamente de la manera abajo indica. En esta representación, I_i es la inversión en $/kwh (pesos/ventas de energía)



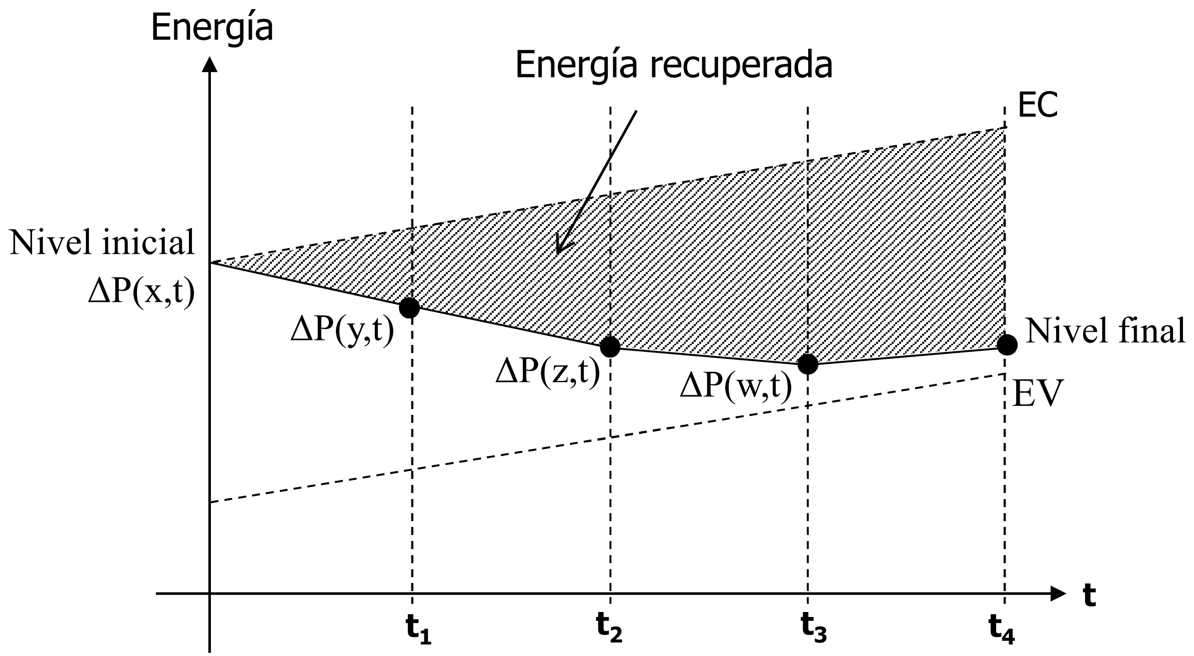
Senda de reducción de pérdidas

Gráficamente, los estados para dos periodos consecutivos y considerando tres inversiones por estados son :



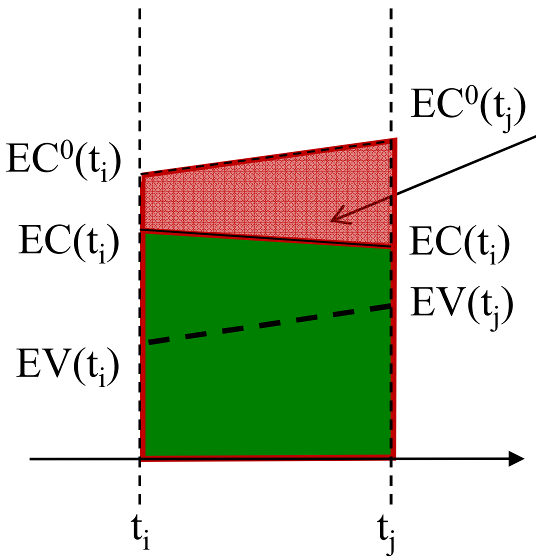
Senda de reducción de pérdidas

Una vez tomada la decisión en año t, el C-OR se "mueve" a un nuevo estado en el cual el nivel de pérdidas, es de esperarse, sea menor y diferente al del año anterior. La energía recuperada durante esta transiciones, a través del tiempo, es la siguiente:



Senda de reducción de pérdidas

Considere, gráficamente, la energía recuperada durante dos periodos consecutivos:



Energía recuperada (ER) por la implementación del plan para dos periodos consecutivos

$$ER(t_j) = Area_1 - Area_2$$

En donde:

EC^0 : Compras de energía sin recuperación de perdidas

EC : Compras de energía con recuperación de perdidas

EV : Ventas de energía

Senda de reducción de pérdidas

Dos beneficios económicos se derivan al disminuir las pérdidas entre dos estados consecutivos, estos son:

1. Incremento en la facturación

   El aumento en la facturación se debe al hecho de facturar parte de las pérdidas de energía no técnicas recuperadas.

2. Reducción de pago por generación y transporte

   La reducción de pago por generación y transporte se debe al hecho de comprar menos energía para suplir la demanda una vez recuperadas las pérdidas.

Senda de reducción de pérdidas

1. Aumento de facturación

Con el cálculo de la energía total recuperada, el aumento de ingresos por facturación esta dado por la siguiente expresión:

$$\Delta F_1(y_i, t_j) = (1 - k) \times ER(t_j) \times CU$$

En donde:

$\Delta F_1(y_i,t_j)$: Cambio del flujo de caja del C-OR en el estado y_i en el año t_j por aumento de facturación
k : Elasticidad de la demanda
$ER(t_j)$: Energía recuperada al final del año t_j
CU : Costo Unitario del mercado de comercialización

Senda de reducción de pérdidas

2. Reducción de pago por generación y transporte

Con el cálculo de la energía total recuperada, el ahorro por pagos por generación y transporte esta dado por la siguiente expresión:

$$\Delta F_2(y_i, t_j) = ER(t_j) \times (G + T)$$

En donde:

$\Delta F_2(y_i,t_j)$: Cambio del flujo de caja del C-OR en el estado y_i en el año t_j por disminución de pagos por generación y transporte

G : Pago por generación

T : Pago por transporte

Senda de reducción de pérdidas

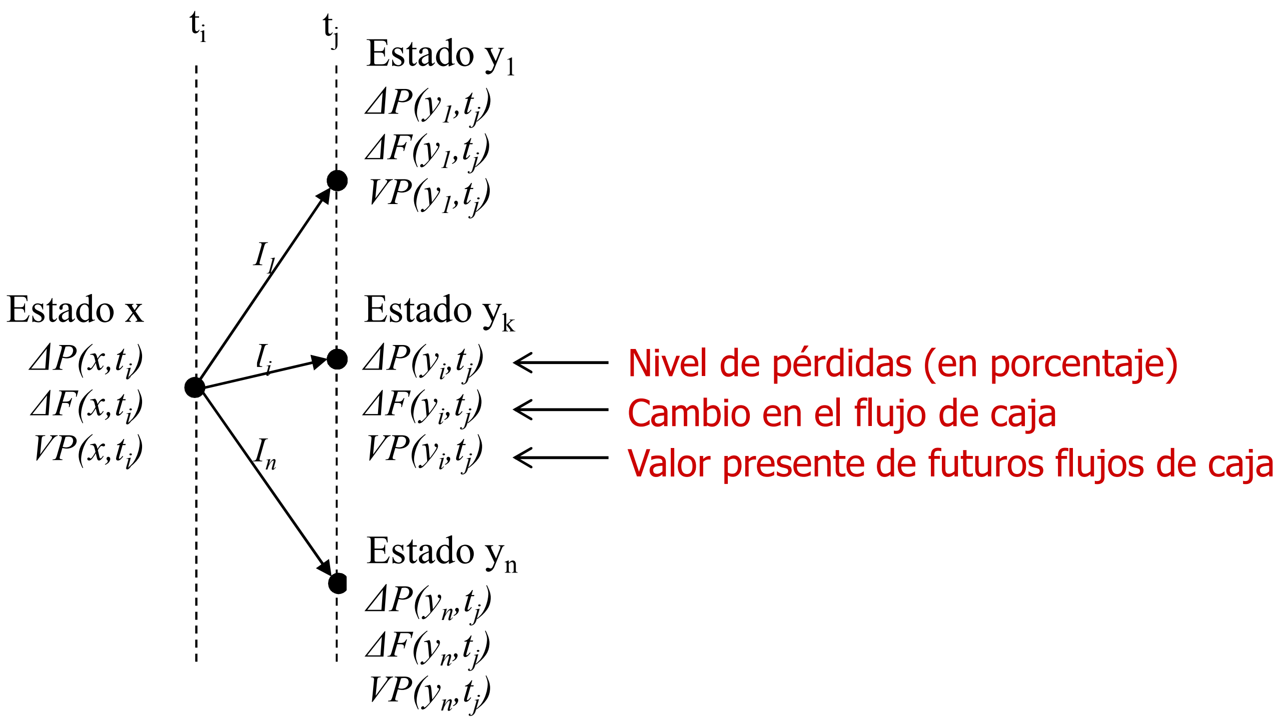
Los beneficios totales, entendidos como el cambio en el flujo de caja $\Delta F(y_i,t_1)$ (ingresos mas ahorro) producto de la disminución de las pérdidas entre dos periodos consecutivos, son:

$$\Delta F(y_i,t_j) = \underbrace{\Delta F(x,t_i)}_{\text{Beneficios del periodo anterior}} + \underbrace{\Delta F_1(y_i,t_j)}_{\text{Aumento ingresos por facturación}} + \underbrace{\Delta F_2(y_i,t_j)}_{\text{Reducción de pago por G+T}}$$

Note que el primer termino considera el hecho que los beneficios son acumulativos a través del tiempo.

Senda de reducción de pérdidas

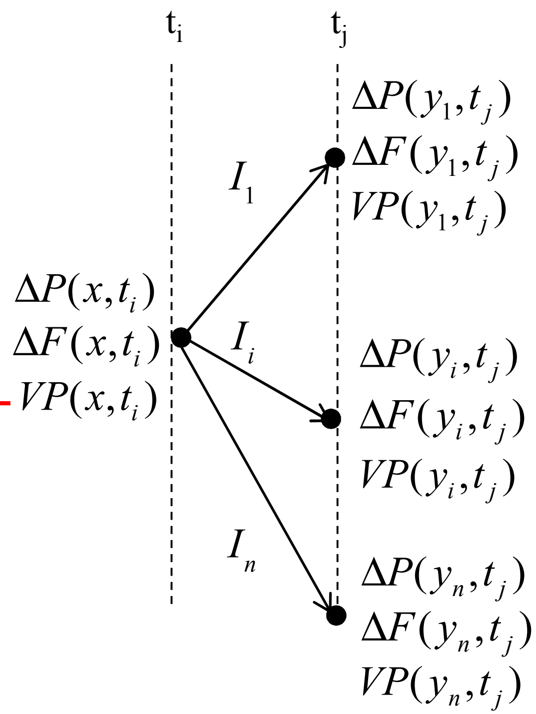
Con base en los análisis anteriores, cada estado se caracteriza entonces por tres valores:



Senda de reducción de pérdidas

Con los valores asociados a cada nodo es posible, según la introducción de flujos de caja dinámico, determinar la mejor decisión en el tiempo t, esta decisión es:

$$VP(x,t_i) = \max_{k=1\ldots n}\left\{-I_k + \frac{\Delta F\left(y_k,t_j\right)}{\left(1+r\right)} + \frac{VP\left(y_k,t_j\right)}{\left(1+r\right)}\right\}$$



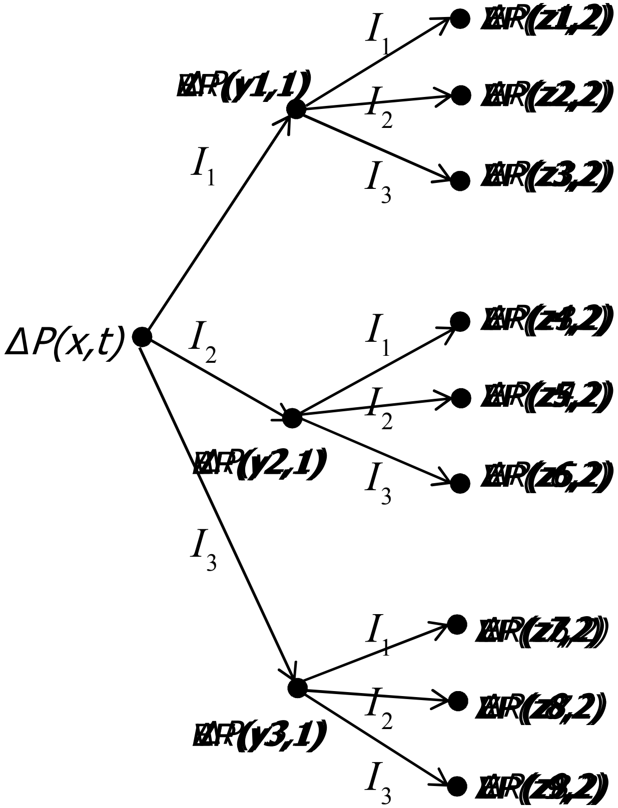
Senda de reducción de pérdidas

Con la ecuación anterior (indicada abajo nuevamente) es posible, como se indicó en la introducción al flujo de caja dinámico, establecer la ruta óptima o senda de pérdidas.

$$VP(x,t_i) = \max_{k=1\ldots n}\left\{-I_k + \frac{\Delta F\left(y_k,t_j\right)}{\left(1+r\right)} + \frac{VP\left(y_k,t_j\right)}{\left(1+r\right)}\right\}$$

Senda de reducción de pérdidas

Para determinar la ruta óptima, según diapositivas anteriores, se sigue la siguiente secuencia:



1. Definir el horizonte de tiempo para determinar la ruta. Para este ejemplo 2 años.
2. Establecer los valores de inversión para cada estado, esto es, cuantos valores de inversión se van a contemplar por año. Para este ejemplo, 3 inversiones por año.
3. Determinar los niveles de pérdidas con los valores de inversión empleando una red neuronal (ver siguientes diapositivas).
4. Con el nivel de pérdidas establecer la energía recuperada para cada estado (diapositiva 27).
5. Con los la energía recuperada determinar los beneficios para cada estado (diapositiva 31).
6. Determinar el valor presente empleando la ecuación de optimalidad (diapositiva 34) y establecer la ruta óptima.

Senda de reducción de pérdidas

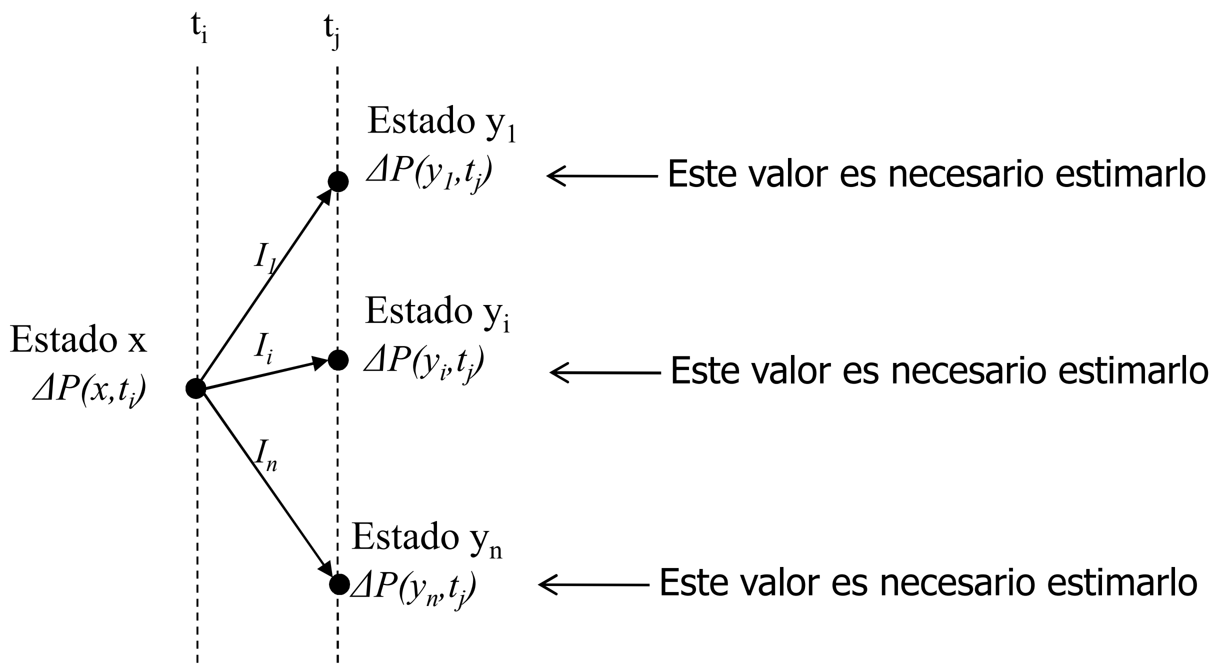
Comentarios sobre el modelo

1. La ruta optima determinada por el modelo es aquella que maximiza los beneficios del C-OR, esto proporciona suficientes incentivos para seguir la ruta.
2. El árbol de decisión permite, de manera similar, determinar otras rutas, sub-óptimas, que alcanzan diferentes niveles de pérdidas. En otras palabras, el árbol esta en capacidad de mostrar diferentes alternativas para alcanzar un nivel de pérdidas deseado.

Estimación de pérdidas

Elementos conceptuales (Parte II)

Note que el modelo anterior requiere determinar el nivel de pérdidas para un nivel de inversión, esto es, ¿cuál es el nuevo nivel de pérdidas para un determinado valor de inversión?



Elementos conceptuales (Parte II)

Modelos econométricos

Inicialmente se considero la construcción de un modelo econométrico con el fin de estimar el nivel de perdidas. El modelo considerado es el siguiente:

$$\Delta \mathrm{Logperkwh}_{i,t} = \alpha\, \Delta \mathrm{Logperkwh}_{i,t-1} + \beta_1\, \Delta \mathrm{Loges}_{i,t} + \beta_2\, \Delta \mathrm{Logee}_{i,t} + \beta_3\, \Delta \mathrm{Loginvgasto}_{i,t-1} + \beta_4\, \Delta \mathrm{LogkmredInv}_{i,t} + \Delta \nu_{i,t}$$

Modelo tipo panel por diferencias (sin efectos fijos) con variable rezagada, en términos generales:

$$\Delta y_{i,t} = y_{i,t} - y_{i,t-1}$$

$$\Delta \mathbf{x}_{i,t} = \mathbf{x}_{i,t} - \mathbf{x}_{i,t-1}$$

Este es el modelo de mejores resultados, sin embargo (ver siguiente diapositiva)

Elementos conceptuales (Parte II)
Modelos econométricos

Comentarios sobre el modelo

1. Los modelos explorados son estadísticamente significativos.
2. La elasticidad de las inversiones con respecto al nivel de perdidas es baja.
3. Lo anterior resultado contra intuitivo.
4. Se requiere explorar otros modelo de estimación.

Elementos conceptuales (Parte II)
Modelos econométricos

Comentarios sobre los modelos de IEB y ASOCODIS

1. El modelo de IEB no discrimina los datos entre empresas.
2. El modelo de ASOCODIS ignora la variable rezagada.
3. La elasticidad en esos modelos es igualmente baja.

Elementos conceptuales (Parte II)

Redes Neuronales

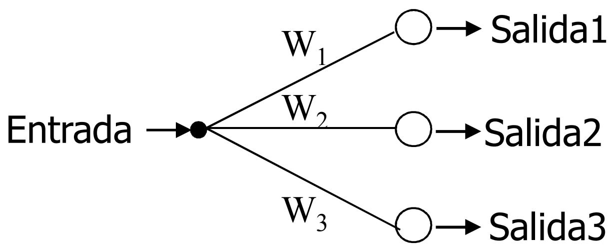
Definición: Una Red Neuronal (RN) es una herramienta computacional para estimar una función, por lo general no lineal, que relaciona un conjunto de entradas y salidas. La utilidad de esta herramienta computacional es su habilidad para determinar una relación funcional no explicita entre las entradas y salidas.

Elementos conceptuales (Parte II)

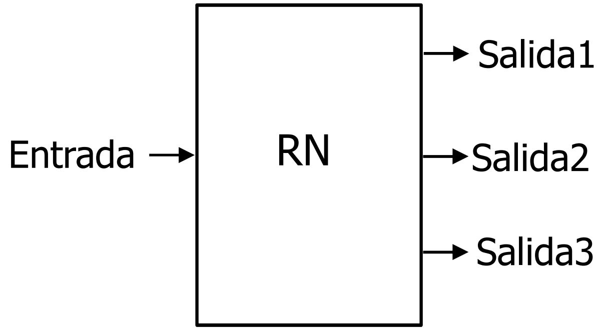
Redes Neuronales

En su forma mas simple, una RN es una colección de nodos conectados a través de enlaces. Estos enlaces se caracterizan por un número denominado peso (denotado como W). La red abajo indicada es de una entrada y tres salidas.

Representación Explícita



Representación Simplificada

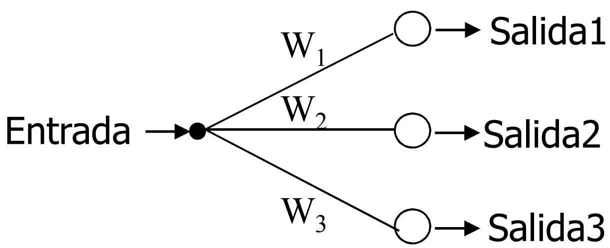


El proceso de entrenamiento consiste en modificar los pesos de la RN de tal forma que se establezca la relación entre un conjunto de entradas y salidas.

Elementos conceptuales (Parte II)

Redes Neuronales

Considere la siguiente situación:



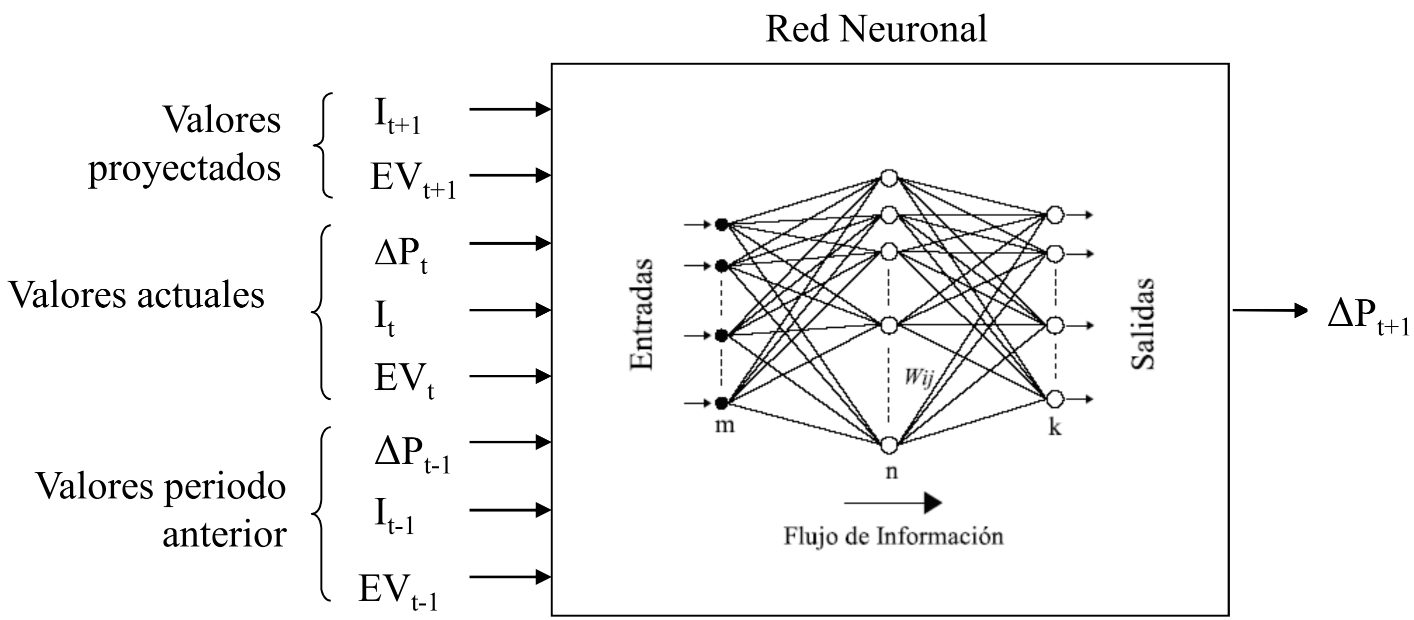
Entrada	Salida	
0.5	[0.1 0.3 0.2]	Patrón 1
1.0	[0.6 -0.1 1.0]	Patrón 2
-0.8	[2.0 -0.7 1.5]	Patrón 3

El entrenamiento consiste en determinar los valores de W_1, W_2, W_3 de tal forma que la red aprenda los tres patrones, esto es, cuando la red vea, por ejemplo, un valor 0.5 en su entrada, esta responda con el vector [0.1 0.3 0.2]. En las referencias [4] y [5] del modelo teórico se explican diferentes algoritmos de entrenamiento.

Elementos conceptuales (Parte II)

Redes Neuronales

Para el problema de la estimación del nivel de pérdidas se diseño la siguiente RN:



Elementos conceptuales (Parte II)
Redes Neuronales

Comentarios sobre la red neuronal.

1. Los valores actuales y del periodo anterior se utilizan con el fin de mejorar la estimación de la red.
2. La RN es entrenada con los datos de los siguientes mercados de comercialización: Codensa, Epm, Electricaribe, Epsa, Chec, Edeq, Cens, Enertolima, Huila, Meta.
3. El algoritmo de aprendizaje es el indicado en [5].

Presentación programa computacional

Programa computacional

Aviso de legalidad:

El programa Plan Reducción de Pérdidas se rige bajo los términos del convenio específico UTP-CREG No. 3. Se autoriza la descarga y uso a la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y a los Comercializadores o Distribuidores de energía eléctrica del Sistema Interconectado Nacional. La descarga y uso del Compilador de Matlab© (MCRInstaller©) se rige bajo los términos del contrato de licencia de MATLAB. (c) 1984 - 2010 The MathWorks, Inc de la Universidad Tecnológica de Pereira; los cuales permiten su distribución únicamente para los propósitos de este convenio y solamente para los usuarios indicados en este aviso de legalidad.

Gracias!