

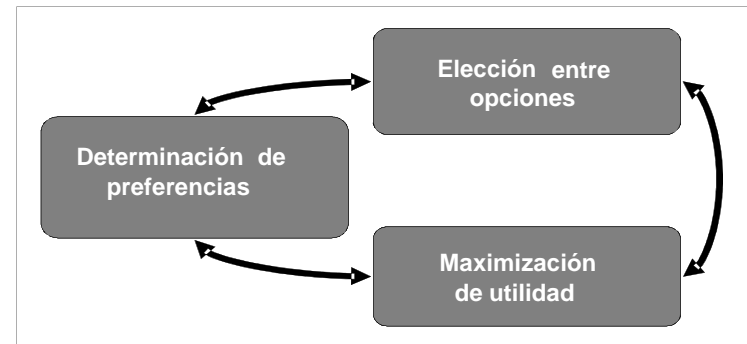
# Preferencias y Toma de decisiones.

Prof.: Eugenio Martínez Falero

# OPINIÓN versus MEDICIÓN.

Durante mucho tiempo se ha aceptado que “*la única alternativa a los juicios de valor no meditados son los juicios de valor meditados*”. Hoy se puede seguir afirmando que los juicios meditados son una alternativa válida, pero no la única. Al menos es obligado admitir que se han desarrollado metodologías y procedimientos que facilitan la reflexión y la comparación entre los juicios de valor de diferentes personas.

Los procedimientos de la figura de la derecha son equivalentes. Para todos existen metodologías científicas que permiten incorporar la opinión personal en los procesos de decisión. En general, se basan en la capacidad de los individuos para comparar alternativas.



Las dificultades en la comparación surgen al confrontar sistemas que se describen a través de múltiples cantidades. A diferencia de lo que ocurre en los sistemas simples (a) para los cuales existe una lógica de comparación universal (la medida de la única cantidad que describe al sistema); para los sistemas con múltiples resultados (b) no existe una lógica universal, por tanto, cada observador establece pautas de comparación a través de su propio sistema de preferencias:

- La comparación de cantidades simples se traduce directamente en la medida:  
(Naranja A) más pesada que (Naranja B)     $\text{Peso en grs. de A} > \text{peso en grs. de B}$
- Para valorar un problema complejo, el individuo que lo va a evaluar, debe poseer un sistema de preferencias sobre las **múltiples consecuencias** del mismo, de forma que:  
 $\text{Producto}(\text{Precio } a, \text{ Prestaciones } b) \text{ es preferible a } ( ) \text{ Producto}(\text{Precio } c, \text{ Prestaciones } d) \Leftrightarrow$   
 $\Leftrightarrow \text{Valor} [\text{Producto}(\text{Precio } a, \text{ Prestaciones } b)] > \text{Valor} [\text{Producto}(\text{Precio } c, \text{ Prestaciones } d)]$

## RASGOS DISTINTIVOS DE LA OPINIÓN.

- La opinión que posee un observador sobre una cuestión que se le plantea se puede deducir del conocimiento de las preferencias del observador ante esa cuestión. A partir de las preferencias es factible:
  - *Valorar cualquier alternativa* de solución sobre la cuestión para la cual se pulsa la opinión.
  - *Diseñar la alternativa que mejor se adapte a las preferencias* identificadas.
  - *Definir comunidades de personas* con los mismos sistemas de preferencias ante una cuestión concreta.

- La opinión se proyecta sobre sistemas complejos, con múltiples consecuencias que no son susceptibles de una única medida global y con sub-sistemas que interaccionan entre ellos aportando un valor diferente a la mera integración entre sus partes.

$(a_1, a_2, \dots, a_n) \rightarrow v(a_1, a_2, \dots, a_n) \in R$ , que respete la opinión de un observador externo

- La información.

Cuando se vierte la opinión sobre un problema multi-factorial, las interconexiones entre los elementos del problema se definen por el significado que el observador del sistema atribuye a estas interconexiones, no tienen porqué derivarse de una lógica universal. La opinión no está, por tanto, regulada por leyes lógicas, sino por leyes cambiantes en función del grado de conocimiento del sistema. La opinión depende de la persona y del grado de conocimiento que tiene la persona sobre el problema objeto de opinión.

# VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS A PARTIR DE PREFERENCIAS PERSONALES.

Metodologías para describir y predecir decisiones racionales.

- **REPRESENTACIÓN DE PREFERENCIAS.**
- **OPTIMIZACIÓN DE LA UTILIDAD.**
- **ANÁLISIS DE DECISIONES PASADAS.**

Desde un punto de vista metodológico, la *representación de las preferencias* de cualquier individuo es uno de los procedimientos utilizados en micro-economía para describir (y predecir) sus elecciones racionales. Otros procedimientos operativos para describir las elecciones racionales son respectivamente, la *optimización de la utilidad* y el *análisis de sus decisiones pasadas* (ver Aleskerov, Bouyssou y Monjardet, 2007 para un análisis detallado y aún actual del estado del arte sobre esta materia). Entre otros, los desarrollos de Suzumura (1983) y de Sen (1987) a partir de los resultados de Arrow (1959) para en la integración de los modelos disponibles permiten trasponer los conceptos de utilidad, preferencias y elecciones entre si y utilizar indistintamente las capacidades de cálculo de cualquiera de los mencionados modelos.

---

Aleskerov, F., Bouyssou, D., Monjardet, B., 2007. Utility maximization, Choice and Preference. Springer: Berlin, Heidelberg.

Suzumura, K., 1983. Rational Choice, Collective Decisions and Social Welfare. Cambridge University Press.

Sen, A., 1987. Rational behavior. In: Eatwell, J., Milgate, M., Newman, P. (Eds), The New Palgrave: A Dictionary of Economics. Macmillan: London.

Arrow, K.J., 1959. Rational choice functions and orderings. *Economica* 26 (102) 121–127.

# REPRESENTACIÓN DE PREFERENCIAS.

## SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS QUE SE SOMETEN A COMPARACIÓN.

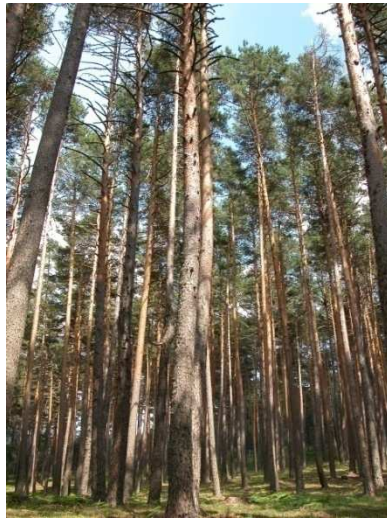
Para conocer las preferencias de un observador es necesario conocer sus elecciones sobre un conjunto significativo de alternativas. Para eso, en primer lugar, es necesario identificar un conjunto representativo de alternativas que puedan ser soluciones para la cuestión que se somete a opinión. A título de ejemplo, en el caso de solicitar la opinión para elegir el método de ordenación más sostenible para un decisor no cualificado, un conjunto de alternativas representativas podría ser el que se representa a continuación:



**ALTERNATIVA 1**



**ALTERNATIVA 2**



**ALTERNATIVA 3**



**ALTERNATIVA 4**



**ALTERNATIVA 5**



**ALTERNATIVA 6**

# REPRESENTACIÓN DE PREFERENCIAS.

## COMPARACIÓN POR PARES.

El sistema de preferencias de un observador se deduce de las elecciones que explicita al ser preguntado por sus preferencias ante pares de las alternativas representativas que son posibles soluciones de la cuestión sometida a opinión:

**ENTRE ESTOS DOS TIPOS DE ALTERNATIVAS MARQUE SU OPCIÓN PREFERIDA:**



Pulsar aquí si considera esta alternativa más sostenible que la otra

Pulsar aquí si no considera una de estas dos alternativas más sostenible que la otra




Pulsar aquí si considera esta alternativa más sostenible que la otra

Quando esté seguro pulse aquí para comparar otro par de alternativas

# REPRESENTACIÓN DE PREFERENCIAS.

## CARACTERIZACIÓN DE PREFERENCIAS PERSONALES.

### COMPARACIÓN POR PARES



Matriz de preferencias ( $P$ )

1: Fila preferida a columna	...	Alternativa $i$	Alternativa $i+1$	Alternativa $i+2$	...
0: Fila no preferida a columna	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
Alternativa $i$	...	1	1	1	...
Alternativa $i+1$	...	0	1	1	...
Alternativa $i+2$	...	1	0	1	...
...	...	...	...	...	...

→ Análisis



PROPIEDADES DE LA MATRIZ DE PREFERENCIAS	Asimétrica						X
	Irreflexiva		X		X	X	X
	Negativamente transitiva						X
	Completa						X
	Semitransitiva					X	
	Intervalidad fuerte			X	X	X	
	Transitiva		X				X
	BIÓRDENES DÉBILES ACÍCLICOS (ONADA)	ORDEN PARCIAL	BI-ORDEN	ORDEN POR INTERVALOS	SEMI-ORDEN	ORDEN DÉBIL	ORDEN LINEAL

### CARACTERIZACIÓN DE PREFERENCIAS

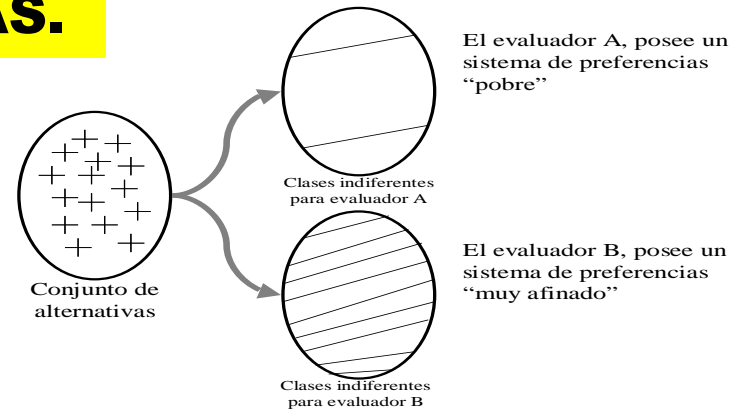
El resultado de la comparación por pares es la introducción de una relación binaria ( $P$ ) en el conjunto de alternativas ( $\Omega$ ), con  $P \subset \Omega \times \Omega$ . Notacionalmente,  $xPy$  significa que, para el individuo que ha realizado la comparación por pares, la alternativa  $x$  es preferida a la  $y$ . A partir de  $P$  se puede introducir la relación de indiferencia ( $I$ ), de forma que  $xIy$  significa que las alternativas  $x$  e  $y$  son indiferentes para el individuo cuyas preferencias se están analizando.  $I$  es igual a la parte simétrica de la parte complementaria de  $P$ .

Descripción de las propiedades de $P$	
Asimétrica	Si $xPy \Rightarrow ynoPx, \forall x, y \in \Omega$
Irreflexiva	$xnoPx, \forall x \in \Omega$
Negativamente transitiva	$xPy \Rightarrow xPz \text{ o } zPy, \forall x, y, z \in \Omega$
Completa	$xPy \text{ o } yPx, \forall x, y \in \Omega$
Semitransitiva	1: $xPy \text{ y } zPt \Rightarrow xPt \text{ o } tPy, \forall x, y, z, t \in \Omega$ , $y$ , también: 2: $xPyPz \Rightarrow xPt \text{ o } zPy, \forall x, y, z, t \in \Omega$
Intervalidad fuerte	$xPy \text{ y } zPt \Rightarrow xPt \text{ o } zPy, \forall x, y, z, t \in \Omega$
Transitiva	$xPy \text{ y } yPz \Rightarrow xPz, \forall x, y, z \in \Omega$

# REPRESENTACIÓN DE PREFERENCIAS.

## PROFUNDIDAD DE CONOCIMIENTO DEL SISTEMA.

Observadores capaces de distinguir sólo lo *muy bueno* de lo *muy malo* y observadores capaces de distinguir muchos más matices...



Unidades

homogéneas que un observador percibe como diferentes (en la parte superior de la figura). En este caso, unidades homogéneas territoriales en un monte de frondosas.

Global territory				Prof. conocimiento: MEDIO			
Understandable homogeneous units for a particular decision maker		Absence of N°2 descriptors Quercus pyrenaica & Fraxinus angustifolia. h : 300-650 m. T > 23 s < 5%		Absence of N°1 descriptors Isolated trees of Q.pyr. h : 1050-1300 m.			
Homogeneous Unit N° 1		Homogeneous Unit N° 2					
Non comprehensible homogeneous units		Presence of N°2 descriptors Absence of N°6 descriptors Schist T : 12-19 h : 1350-1550 m.		Presence of N°2 descriptors Absence of N°5 descriptors Granite s : 15 - 25% h : 1050 - 1300 m.			
Homogeneous Unit N° 3		Homogeneous Unit N° 4		Homogeneous Unit N° 5		Homogeneous Unit N° 6	
Homogeneous Unit N° 7		Homogeneous Unit N° 8		Homogeneous Unit N° 11		Homogeneous Unit N° 12	
Homogeneous Unit N° 9		Homogeneous Unit N° 10		Homogeneous Unit N° 13		Homogeneous Unit N° 14	
N°5 descrip. Abse. of N°12 d. Schist T : 17-19 South		N°5 descrip. Abse. of N°11 d. Q.pyr. woods T : 12-16 North					
Homogeneous Unit N° 11		Homogeneous Unit N° 12		Homogeneous Unit N° 13		Homogeneous Unit N° 14	
h = altitude;		s = slope;		T = Turc index of climatic productivity;		North = North-facing slope; South = South-facing slope	

Los observadores capaces de percibir mayor número de unidades diferentes poseen una mayor profundidad de conocimiento del sistema que evalúan.

# CÁLCULO DE LA UTILIDAD.

TIPOS DE PREFERENCIA	MODELO PARA VALORAR CUALQUIER ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN SOBRE LA CUESTIÓN SOMETIDA A OPINIÓN
ORDEN LINEAL	<p><b>Una función de valor que refleja las preferencias del evaluador:</b></p> $v: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ $\forall a \in \mathbb{R}^n [a=(a_1, a_2, \dots, a_n)] \rightarrow v(a) \in \mathbb{R} [v(a)=v(a_1, a_2, \dots, a_n)]$ <p>tal que: <math>v(a) \geq v(b) \Leftrightarrow a \succsim b</math> y <math>v(a) = v(b) \Leftrightarrow a \sim b</math></p>
ORDEN DEBIL	<p><b>Tareas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Definir qué función de valor es la que realmente refleja las preferencias del evaluador.</li> </ul>
ORDEN PARCIAL	<p><b>Una probabilidad que refleja las preferencias del evaluador:</b></p> <p>En condiciones de riesgo <math>a</math> es preferida a <math>b</math> (<math>aRb</math> o <math>a</math> super-clasifica a <math>b</math>) <math>\equiv</math></p> $\equiv P(a > b) \geq \alpha \text{ (p.e. } \alpha=0,95)$
ORDEN POR INTERVALOS	<p>La no transitividad: Si <math>P(a &gt; b) = 0.95 [aRb]</math> y <math>P(b &gt; c) = 0.95 [bRc] \Rightarrow</math></p> $\Rightarrow P(a > c) = 0,95 \times 0,95 < 0,95 \neq aRc$
SEMI - ORDEN	<p>posibilita que existan alternativas no relacionadas entre si y dificulta la valoración.</p>
BIORDEN	<p><b>Tareas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Definir qué ley de probabilidad es la que realmente refleja las preferencias del evaluador.</li> <li>✓ Transformar la probabilidad en valor.</li> </ul>
...	<p><b>Las preferencias se obtienen por preguntas directas al evaluador:</b></p>
INCOHERENTE	<p>Se aplican métodos directos como el matricial (Batell) o el Subrogate Trade-Off (STO) en función de la precisión del conocimiento del evaluador.</p>

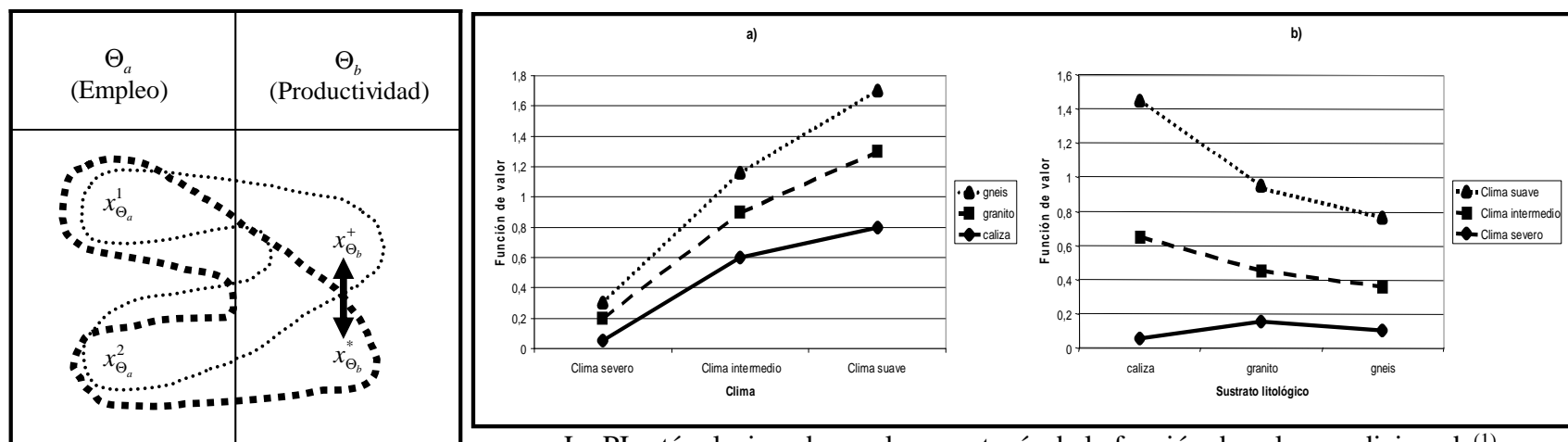
# CÁLCULO DE LA UTILIDAD: Expresión analítica.

## EXPRESIÓN ANALÍTICA DE LA FUNCIÓN DE VALOR.

La expresión aditiva de la función de valor está relacionada con la independencia preferencial entre objetivos:

*Teorema* (Chankong y Haimés, 1983): Si,  $\forall \Theta_0 \subset \Theta$ , ocurre que  $\Theta_0$  es PI de su complementario en  $\Theta$  [siendo  $\Theta = \{\theta_1, \dots, \theta_n\}$  el conjunto de todos los objetivos]  $\Rightarrow v(a) = k_1 v_1(a_1) + \dots + k_n v_n(a_n)$

*Definición*:  $\Theta_a$  es Preferencialmente Independiente (PI) de  $\Theta_b \equiv \forall x_{\Theta_a}^1, x_{\Theta_a}^2 \in \Theta_a$  y  $\forall x_{\Theta_b}^+ \in \Theta_b$  tales que:  $(x_{\Theta_a}^1, x_{\Theta_b}^+) \succ (x_{\Theta_a}^2, x_{\Theta_b}^+) \Rightarrow (x_{\Theta_a}^1, x_{\Theta_b}^*) \succ (x_{\Theta_a}^2, x_{\Theta_b}^*), \forall x_{\Theta_b}^* \in \Theta_b$ .



La PI está relacionada con la monotonía de la función de valor condicionada<sup>(1)</sup>

Otros tipos de funciones de valor se corresponden con otras definiciones de dependencia-independencia entre objetivos: independencia débil en las diferencias, condición de Thomsen, etc. (ver también Chankong and Haimés, 1983). Existen teoremas operativos de descomposición para las siguientes formas analíticas:

$$v(a) = k v_1(a_1) \times \dots \times v_n(a_n). \quad (\text{multiplicativa})$$

$$v(a) = k [v_1(a_1)]^{\alpha_1} \times \dots \times [v_n(a_n)]^{\alpha_n}. \quad (\text{polinomial})$$

$$v(a) = [k_1 v_1(a_1) + \dots + k_{n-2} v_{n-2}(a_{n-2})] \times v_{n-1}(a_{n-1}) \times v_n(a_n). \quad (\text{parcialmente aditiva})$$

$$\vdots$$

Para algunas de ellas existen simplificaciones de los teoremas de descomposición a partir de la forma de las funciones de valor condicionadas<sup>(1)</sup>.

Chankong V. and Haimés, Y.Y., **Multiobjective Decision Making: Theory and Methodology**. Elsevier. New York, 1983

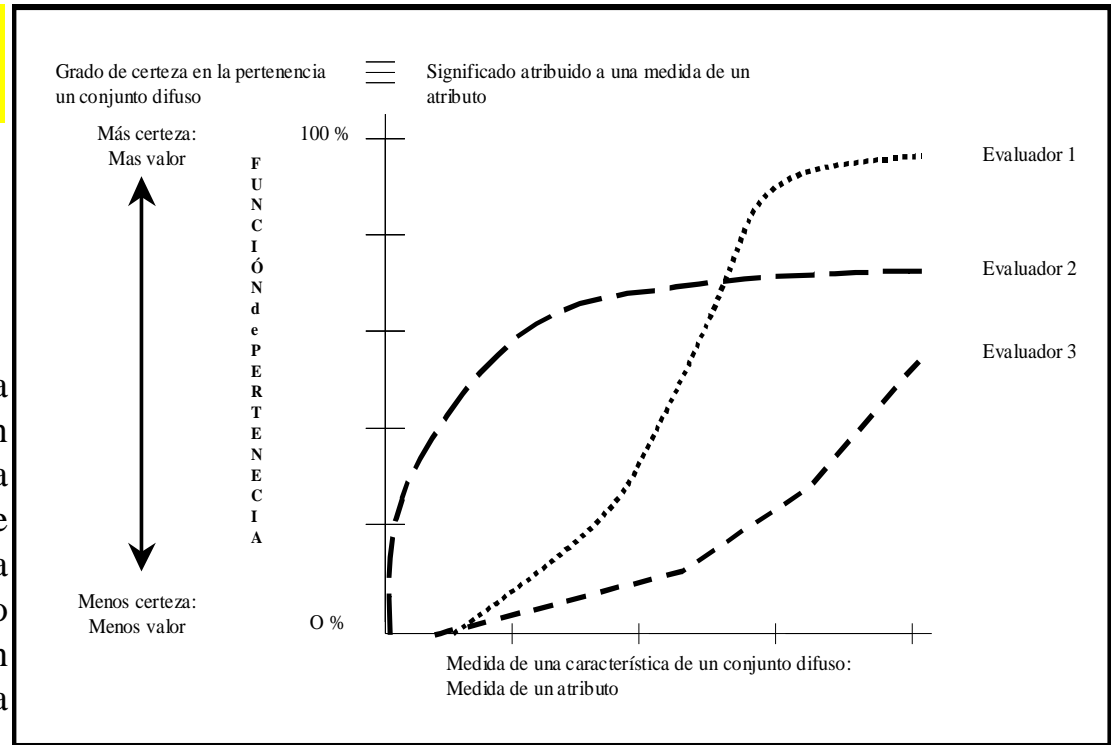
<sup>(1)</sup> Martínez Falero, E. et al. (1995). "Scaling Methods" In: **Quantitative Techniques in Landscape Planning**. Martínez Falero, E. & González, S. (eds). CRC-Lewis Publishers. New York, pp: 193-235.

# CÁLCULO DE LA UTILIDAD: Expresión analítica

## PARAMETRIZACIÓN DE LA FUNCIÓN DE VALOR:

### a) Función de Valor unidimensional

La valoración de una alternativa requiere una transformación de  $a_i$  en  $v_i(a_i)$ . Donde  $a_i$  es un atributo medible y  $v_i(a_i)$  es el significado atribuido a ese atributo por el evaluador. En general, este proceso se realiza con las herramientas para construir funciones de pertenencia a un conjunto difuso. Edwards (1977) y Fishburn (1967) han propuesto procedimientos no específicos para valorar las condiciones de referencia.



Para algunas familias de atributos Kirwood y Sarin (1980) han establecido ciertos tipos de valor:

$v_i(x_i) = \alpha_i + \beta_i x_i$  o  $v_i(x_i) = \alpha_i + \beta_i e^{k_i x_i}$ , si se satisface la propiedad delta, o:  $v_i(x_i) = \alpha_i + \beta_i \ln(x_i - x_i^*)$  o  $v_i(x_i) = \alpha_i + \beta_i (x_i - x_i^*)$ , si se satisface la propiedad delta-proporcional.

### b) Cálculo de coeficientes de ponderación.

- Método de la doble ordenación.

$$\left. \begin{array}{l} k_1 \leq k_2 \leq \dots \leq k_n \\ k_1 - k_2 \leq \dots \leq k_{n-2} - k_{n-1} \end{array} \right\} \rightarrow (k_1, k_2, \dots, k_n) \subset \text{Convexo}$$

- Método de las  $n$  igualdades.

$$a \approx b \Rightarrow k_1 v_1(a_1) + \dots + k_n v_n(a_n) = k_1 v_1(b_1) + \dots + k_n v_n(b_n) \quad \text{Ecuación N}^\circ 1$$

$$c \approx d \Rightarrow k_1 v_1(c_1) + \dots + k_n v_n(c_n) = k_1 v_1(d_1) + \dots + k_n v_n(d_n) \quad \text{Ecuación N}^\circ 2$$

⋮

Edwards, W. (1977). "How to use multiattribute utility measurement for social decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*", SMC, 7, 326-340.

Fishburn, P.C. (1967). "Additive utilities with incomplete product: applications to priorities and assignments". *Operation Research*, 15, 537-542.

Kirwood, C.W. & Sarin, R.K. (1980). "Preference conditions for multiattribute value functions". *Operation Research*, 28, 225-231

# CÁLCULO DE LA UTILIDAD: Obtención directa del valor.

## ASIGNACIÓN DE VALOR A LAS ALTERNATIVAS SOMETIDAS A COMPARACIÓN POR PARES.

### a) La relación de preferencia es un orden lineal o un orden débil

Como valor sobre el conjunto alternativas sometidos a comparación por pares ( $\Omega_C$ ) se puede asignar a cada alternativa el número de los pares en los que el evaluador considera que la alternativa analizada es al menos tan preferida como el otro elemento del par. A esta asignación de valor nos referiremos por  $u$  [ $u: \Omega_C \rightarrow \mathbb{R}$ ]. Si  $P$  es un orden lineal, entonces:

$$u(x) \geq u(y) \Leftrightarrow x \succcurlyeq y, \forall x, y \in \Omega_C$$

Por lo que  $u$ , además de proporcionar un valor de la utilidad, es una función de valor.

### b) Otro tipo de relación de preferencia

Si  $P$  no fuera un orden lineal (o un orden débil) se pueden aplicar transformaciones que tienden a transformar  $P$  en este tipo de relaciones. Las más utilizadas son las propuestas por Fishburn (1985): la clausura transitiva de  $I$  ( $I^k$ ) y las transformaciones tipo “*sequel*”:

$$S_0 = [IP \cup PI] \cap cd[IP \cup PI]; \dots; S_i(P) = S_0[S_{i-1}(P)], \text{ para } i = 1, 2, \dots$$

$$\text{donde: } IP = \{(x, y): xIz \text{ y } zPy \text{ para algún } z \in \Omega\}, \quad c(P) = \{(x, y): xnoPy\} \text{ y } d(P) = \{(x, y): yPx\}$$

Este tipo de transformaciones no incorporan conocimiento adicional al expresado por el individuo, por lo que la matriz resultante de las transformaciones anteriores sobre  $P$  sigue reflejando las preferencias personales y es la adoptada para el cálculo de la función  $u$ . Sin embargo, a no ser que la matriz original de preferencias sea un orden lineal o un orden débil, no se puede asegurar que  $u$  sea una función de valor.

## EXTENSIÓN DEL VALOR A ALTERNATIVAS NO SOMETIDAS A COMPARACIÓN POR PARES.

Con objeto de extender el valor obtenido de la comparación de un número reducido de pares de alternativas a todas ellas ( $\Omega$ ), se calcula una distancia estadística entre cada alternativa y las alternativas sometidas a comparación (esta distancia se puede calcular a partir del valor que toma cada alternativa en un conjunto de objetivos). A continuación, para cada alternativa  $y$ , a la que asignar un valor, sea  $y_1$  la alternativa más próxima a ella en el conjunto de alternativas comparadas ( $y_1 \in \Omega_C$ ),  $u(y_1)$  su valor según  $u$  y sea  $d(y_1)$  la distancia estadística de  $y$  a  $y_1$ . Sea  $y_2$  la segunda alternativa más próxima a  $y$  –en el conjunto de alternativas comparadas–,  $u(y_2)$  su valor y  $d(y_2)$  la distancia estadística de sostenibilidad de  $y$  a  $y_2$ . En estas condiciones, el valor asignado a  $y$  - $v(y)$ –, se calcula por interpolación lineal entre  $u(y_1)$  y  $u(y_2)$  como:

$$v(y) = \min \{u(y_1), u(y_2)\} + (d / [d(y_1) + d(y_2)]) \times |u(y_1) - u(y_2)|$$

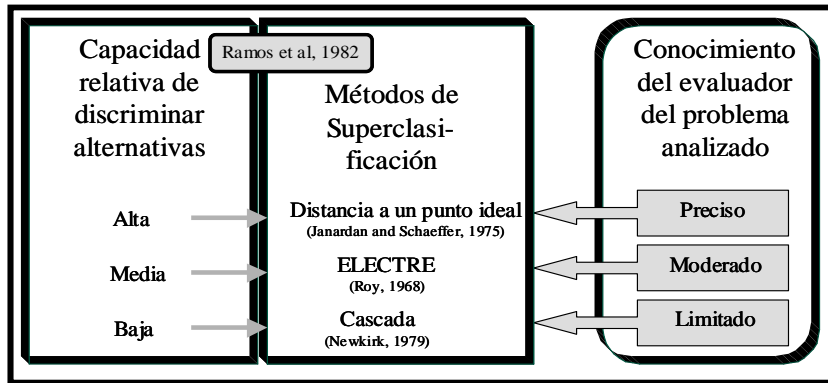
$$\text{donde: } d = d(y_1) \text{ [si } u(y_1) < u(y_2)\text{] y } d = d(y_2), \text{ en caso contrario}$$

# CÁLCULO DE LA UTILIDAD: Obtención directa del valor

## ASIGNACIÓN DE VALOR EN SISTEMAS DE PREFERENCIAS MENOS COHERENTES.

a) Construcción de una probabilidad que refleje las preferencias del evaluador.

Elección del método de superclasificación:



Cálculo de probabilidades por el Método ELECTRE:

$$aRb \equiv P(a \succeq b) = \frac{\sum_{i \in (I_{a \rightarrow b}^+ \cup I_{a \rightarrow b}^-)} \lambda_i}{\sum_{i=1, \dots, n} \lambda_i}$$

$\lambda_i \in [0,1]$  (importancia del objetivo : 1 + importante)

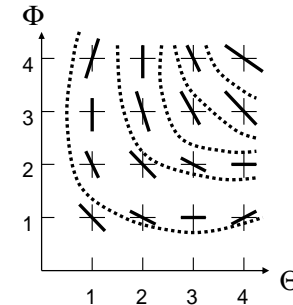
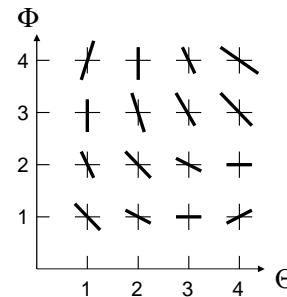
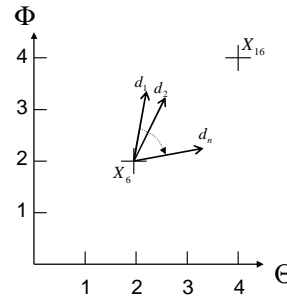
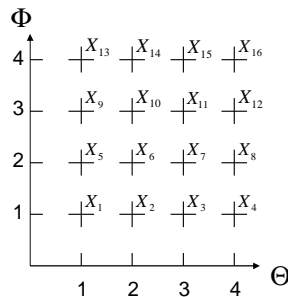
Si:  $a = (a_1, \dots, a_n)$ ;  $b = (b_1, \dots, b_n) \Rightarrow$

$$I_{a \rightarrow b}^+ = \{i(i=1, \dots, n) / a_i > b_i\} \text{ y } I_{a \rightarrow b}^- = \{i(i=1, \dots, n) / a_i = b_i\}$$

Transformación de la superclasificación en un valor:

La cantidad: número de alternativas superclasificadas por la alternativa analizada (resultante de establecer la posible superclasificación de la alternativa analizada con las restantes), cuando el número de alternativas es elevado, es una pseudo-distancia (Martínez Falero, 1995) que permite su utilización como valor del problema analizado.

b) Ejemplo de Método Directo: STO.



Ramos, A. et al, 1982. "Evaluación integrada de los espacios naturales. Aplicación a los espacios arbolados de Madrid". Monografía 6. Comunidad de Madrid. Madrid

Janardan, K y Schaeffer, Illinois water quality inventory report. U.S. Environmental Protection Agency. 1975. Chicago

Roy, B., Classement et choix en présence des critères multiples. 1968, *RIRO*, 8, 57-62

Newkirk, RT. 1979. Environmental planning for utility corridors. Ann Arbor Science. Michigan.

Martínez Falero, E. et al. (1995). "Scaling Methods" In: **Quantitative Techniques in Landscape Planning**. Martínez Falero, E. & González, S. (eds). CRC-Lewis Publishers. New York, pp: 193-235.

# CÁLCULO DE LA UTILIDAD: El valor y su expresión analítica

## EFFECTOS DE CONOCER LA EXPRESIÓN DEL VALOR.

La importancia de definir una función de valor va más allá de la mera comparación entre alternativas. La expresión analítica proporciona información del proceso racional de toma de decisiones por cada individuo. Consideremos, por ejemplo, una persona (*A*) cuya valoración de un conjunto de alternativas dependa de tres objetivos o indicadores ( $I_1, I_2, I_3$ ), de forma que  $v_A = I_1 I_2 + I_3$ . Se puede deducir que la evaluación de *A* es tal que un valor próximo a cero en  $I_1$  es suficiente para anular toda posible utilidad que se derivara de cualquier valor que tomara  $I_2$ . La relación de los dos primeros indicadores con  $I_3$  es diferente. En este caso, hay una clara sustituibilidad entre ellos: *A* podría sustituir un valor reducido en  $I_1$  o en  $I_2$  por uno alto en  $I_3$  y viceversa. Billot (2003) traduce estas relaciones cualitativas a los gustos de cada persona. Este hecho hace posible pasar del conocimiento del valor derivado de los juicios subjetivos sobre las preferencias, al conocimiento de por qué una persona considera que un alternativa es preferida a otra.

## CÁLCULO DE LA EXPRESIÓN DEL VALOR A PARTIR DEL PROPIO VALOR.

La expresión analítica de la función de valor se puede obtener a partir del conocimiento del valor que toman los indicadores en cada alternativa y del valor global (utilidad) que cada persona asigna a cada alternativa. A partir de esta información es posible calcular la expresión del valor mediante un modelo de regresión lineal. Las variables independientes de este modelo son todas las combinaciones posibles de indicadores y la variable dependiente es el valor de la utilidad global. Con el fin de facilitar la comparación de resultados se han seguido los siguientes pasos previamente a calcular el modelo de regresión:

1. El valor tomado por una combinación de indicadores en una alternativa se calcula multiplicando los indicadores de sostenibilidad incluidos en la combinación.
2. Se tipifica el valor de las variables independientes y dependiente antes de proceder al cálculo del modelo de regresión.
3. Se eliminan aquellas variables que incorporan una alta co-linealidad. Esta etapa es ineludible dado que se puede generar un gran número de variables independientes (por ejemplo, se producirían 696 variables independientes de las combinaciones de sólo 16 indicadores, tomados desde de 1 en 1 hasta de 3 en 3).

La Tabla adjunta muestra los resultados de la aplicación del modelo de regresión para el cálculo de la expresión de valor. Como se puede apreciar, no es posible aceptar que la contribución de las variables independientes utilizadas sea nula. Por tanto, el modelo de regresión es el que se presenta a continuación. Las variables independientes más influyentes se señalan con una flecha.

Análisis de la regresión múltiple:				
Parametro	Estimación	Error Típico	t-Statistic	P-value
CONSTANTE	0,000023	0,000139	0,1657	0,8683
I1	0,958533	0,002043	469,0316	0
==> I2	-5,387192	0,002647	-2034,647	0
==> I3	7,383588	0,003018	2445,7779	0
I1*I2	-1,080177	0,003524	-306,4836	0
I1*I3	1,188482	0,004272	278,1796	0
I2*I3	-0,682679	0,00149	-457,9039	0
I1*I2*I3	0,05652	0,00073	77,3958	0

Análisis de la varianza:	
F-Ratio (8, 2392 ) =	5873018,836

R-cuadrado (ajustado para grados de libertad) = 0,999948921545139

VALOR = 0,000023 +  
+ 0,958533 \* (I1) - 5,387192 \* (I2) + 7,383588 \* (I3)  
- 1,080177 \* (I1\*I2) + 1,188482 \* (I1\*I3) - 0,682679 \* (I2\*I3)  
+ 0,05652 \* (I1\*I2\*I3)

# CÁLCULO DE LA UTILIDAD: El valor y su expresión analítica

## AJUSTE DEL MODELO DE REGRESIÓN A LA EXPRESIÓN DEL VALOR.

En el desarrollo del modelo de regresión no se ha utilizado el significado que cada persona atribuye a las inter-relaciones entre los objetivos. Sin embargo, el valor que un individuo atribuye a un sistema complejo depende de las relaciones de dependencia-independencia entre los objetivos (indicadores) a integrar. De hecho, el modelo de regresión propuesto supone la aplicación de una función de valor cuasi-aditiva:

$$v(x) = k_0 + \sum_{i=1} k_i v_i(x_i) + \sum_{i=1} \sum_{j>i} k_{ij} v_i(x_i) \times v_j(x_j) + \\ + \sum_{i=1} \sum_{j>i} \sum_{k>j} k_{ijk} v_i(x_i) \times v_j(x_j) \times v_k(x_k) + \dots + k_{12\dots n} v_1(x_1) \times v_2(x_2) \times \dots \times v_n(x_n)$$

Expresión que depende de que, para el evaluador, todo objetivo sea Débilmente Independiente en las Diferencias (DID) de los restantes indicadores (Dyer y Sarin, 1979).

Según Changkong y Haimes (1983), un indicador ( $I$ ) es DID de los restantes indicadores ( $\bar{I}$ ) si, para todo conjunto de cuatro valores en  $I$  ( $w_I, x_I, y_I, z_I$ ) tales que:

$$(w_I, t_I^*) \circ (x_I, t_I^*) \succ^* (y_I, t_I^*) \circ (z_I, t_I^*) \text{ para algún valor } t_I^* \in \bar{I}$$

entonces:

$$(w_I, t_I) \circ (x_I, t_I) \succ^* (y_I, t_I) \circ (z_I, t_I) \text{ para todos los valores } t_I \in \bar{I}$$

donde  $x \circ y$  es la diferencia de valor entre la alternativa  $x$  y la alternativa  $y$  y el símbolo  $\succ^*$  indica que el evaluador asigna una mayor diferencia de valor a la existente entre el par de alternativas situadas a la izquierda del símbolo que entre el par de alternativas situadas a la derecha.

La independencia débil en las diferencias es una condición bastante restrictiva, que es difícil que se satisfaga en todas las posibles combinaciones de valores que se pueden presentar en todas las alternativas de  $\Omega$ . La proporción de combinaciones de valores existentes en el conjunto de alternativas que satisfacen las condiciones anteriores es una medida de la “bondad” de la aplicación del modelo de regresión para valorar la utilidad según el individuo cuyas preferencias se están representado. Por “Linearización” se entiende, en este contexto, el porcentaje de combinaciones de valores en el conjunto de alternativas ( $\Omega$ ) que satisfacen la condición de DID entre cada indicador y los restantes.

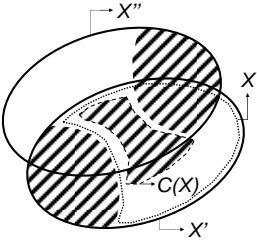
# ANÁLISIS DE DECISIONES PASADAS

## CARACTERIZACIÓN DE DECISIONES INDIVIDUALES.

$C$  es una función de elección que aplica sobre cualquier subconjunto de alternativas  $X \subseteq \Omega$  si:

$$C(X) = \{y \in X / \forall x \in X: u(y) \geq u(x)\}$$

donde  $\Omega$  es el conjunto de alternativas y  $u$  es la función de valor ( $u: \Omega \rightarrow \mathbb{R}_+$ )

<b>(ACA)</b>	<p>Una función de elección <math>C</math> satisface los axiomas de elección de Arrow (<b>ACA</b>), si: <math>X' \subset X</math> se supone que:</p> <p style="text-align: center;">Si <math>C(X) = \emptyset \Rightarrow C(X') = \emptyset</math>                  Si <math>C(X) \cap X' = \emptyset \Rightarrow C(X') = C(X) \cap X'</math></p> <p>para todo <math>X, X' \subseteq \Omega</math> (<math>X \neq \emptyset, X' \neq \emptyset</math>)</p> <p>Si se contrae un conjunto de ocupaciones de forma que las ocupaciones seleccionadas en el conjunto expandido se incluyen en conjunto contraído, estas ocupaciones y solo estas serán las seleccionadas en el conjunto contraído.</p>
<b>(JLF)</b>	<p>Una función de elección <math>C</math> satisface la condición de Jamison-Lau-Fishburn (<b>JLF</b>), si:</p> $C(X') \cap X'' \neq \emptyset \Rightarrow [X \setminus C(X)] \cap C(X'') = \emptyset$ <p>para todo <math>X, X', X'' \subseteq \Omega, X \subseteq X' \setminus C(X')</math></p> 
<b>(H)</b>	<p>Una función de elección <math>C</math> satisface la condición de Herencia (<b>H</b>), si: <math>X \subseteq X' \Rightarrow [C(X) \cap X'] \subseteq C(X')</math></p> <p>para todo <math>X, X' \subseteq \Omega</math> (<math>X \neq \emptyset, X' \neq \emptyset</math>)</p> <p>Si se contrae un conjunto eliminando algunas ocupaciones, aquellas seleccionadas en el conjunto original y que permanezcan en el contraído seguirán siendo seleccionadas.</p>
<b>(C)</b>	<p>Una función de elección <math>C</math> satisface la condición de Concordancia (<b>C</b>), si: <math>C(X') \cap C(X) \subseteq C(X' \cup X)</math></p> <p>para todo <math>X, X' \subseteq \Omega</math> (<math>X \neq \emptyset, X' \neq \emptyset</math>)</p> <p>Si se selecciona algunas ocupaciones de dos conjuntos diferentes de ocupaciones, seguirán siendo elegidas si se presentan en un conjunto combinado.</p>

# INTEGRACIÓN DE PROCEDIMIENTOS

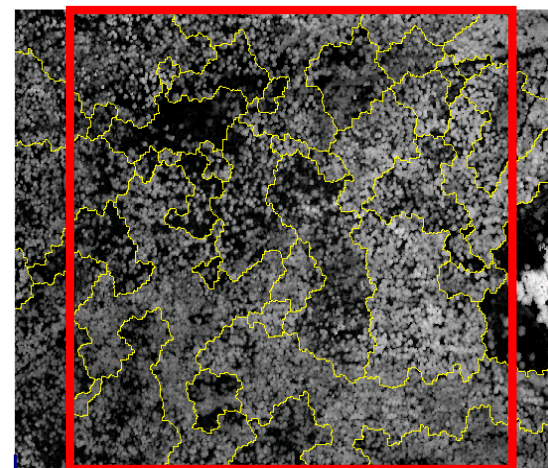
En general, la maximización de la utilidad sigue siendo el fundamento de la teoría clásica de la demanda. Bajo determinadas condiciones cada individuo posee una función de valor ( $v$ ) relacionada con sus preferencias y que rige sus elecciones racionales. De forma que un individuo elige la alternativa  $x$  antes que la  $y$  si, y solo si, prefiere  $x$  a  $y$  ( $xPy$ ) y, en ambos casos si, y solo si,  $v(x) > v(y)$ .

Sin embargo, no todo el mundo es un maximizador de la utilidad. Como muestran, entre otros, los experimentos de Kahneman y Tversky (2000), en muchos casos simplemente se aceptan soluciones satisfactorias. En términos de preferencias esto significa que además de la función de valor, es necesario trabajar con una cantidad ( $\varepsilon$ ), denominada umbral. Una persona elegirá una alternativa  $x$  antes que otra  $y$  cuando  $v(x) > v(y) + \varepsilon$ . Es decir cuando el valor de una alternativa supere "the Just noticeable difference" (Jnd de Fechner, 1860) respecto de la otra. Las características del umbral son propias de cada individuo y están relacionadas con su capacidad de discriminación para reconocer la diferencia entre dos cuestiones. Por tanto, una delimitación correcta del umbral proporciona un amplio conocimiento sobre el procedimiento de elecciones racionales de cada persona.

Tipo de RACIONALIDAD	Caracterización del UMBRAL	Caracterización de las DECISIONES	Tipo de relación de preferencia ( $P$ )	
TIPO I	$\varepsilon = 0$	Axiomas de elección de Arrow	Orden lineal u orden débil	
TIPO II	$\varepsilon$ (constante) $> 0$	Condición de Jamison-Lau-Fishburn	Semiorden	
TIPO III	Dependiente del punto en que se calcula el valor (del punto analizado o del analizado y del que se compara con él)	Condiciones de Heredabilidad y Concordancia	Orden por intervalos	$\varepsilon = \varepsilon(x) \geq 0$
			Biorden	$\varepsilon = \varepsilon(x)$
			Orden parcial	$\varepsilon = \varepsilon(x, y) \geq 0$ y, al mismo tiempo: $\varepsilon(x, y) \leq \varepsilon(x, z) + \varepsilon(z, y)$
TIPO IV	Dependiente del contexto $\varepsilon = \varepsilon(x, y, \Omega)$		Biórdenes débiles acíclicos (o no definido)	

# EJEMPLO: Evaluación de la sostenibilidad forestal

## DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE APLICACIÓN.



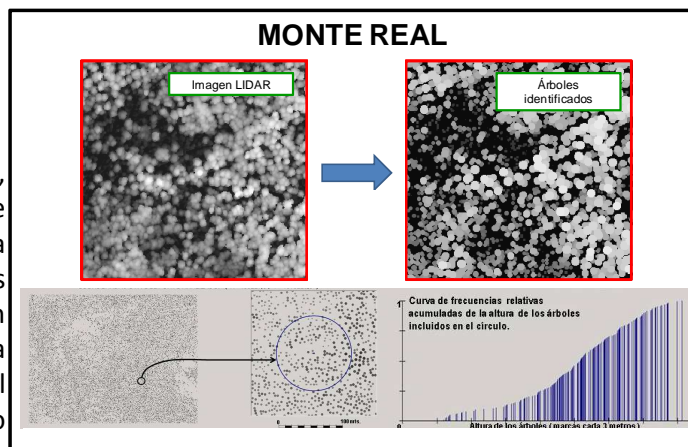
Coordenadas UTM: 408108,5 - 4512228,5  
 Límite entre tipos de estructura forestal  
 Límite de la Zona de Aplicación

A continuación se presenta la valoración de la sostenibilidad en cada punto de una masa forestal mono-específica de coníferas en el centro de España -en el Valle de la Fuenfría (Madrid)-. En la imagen adjunta se muestra la zona de aplicación, que corresponde a un cuadrado de 980 metros de lado marcado en rojo. La zona se sitúa en las coordenadas: 40°45'N, 4°5'W, con altitudes entre 1310 y 1790 m, temperatura media anual de 9.4°C, precipitación media anual de 1180mm y la vegetación principal es el pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.). Se enmarca en las siguientes condiciones ambientales: Subregión Fitoclimática IV (VI) mediterráneo subhúmedo, de tendencia centroeuropea; vegetación potencial: serie supramediterránea carpetano ibérico-leonesa y alcarreña subhúmeda silicícola de *Quercus pyrenaica* o roble (Rivas-Martínez, 1987) ; geología: rocas plutónicas ácidas y suelo: cambisol húmico.

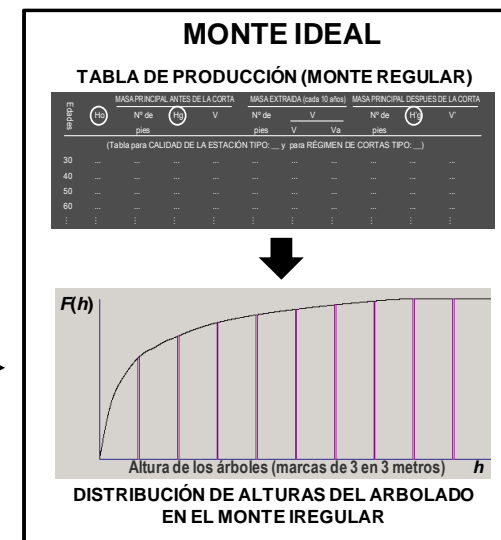
En agosto de 2002, se sobrevoló el área de estudio con sensor laser para la medición de alturas de la vegetación (en inglés LiDAR de *Ligh Detector and Ranging*) por TopoSys GmbH: Toposys II LiDAR system (small-footprint, primer y último retorno con diámetro de huella 0,95m, densidad media de 5 puntos/ m<sup>2</sup>). Del procesamiento de la imagen se obtuvo el DCHM (Mapa Digital de Altura de Copas o *Digital Crown Height Map*). Una descripción más detallada de la zona y del proceso de digitalización de la imagen se puede consultar en Pascual *et al.*, (2008).

## SOSTENIBILIDAD FORESTAL.

La sostenibilidad es un concepto complejo, su valor se obtiene de la integración de diferentes mediciones parciales de la misma que se denominan indicadores (Cabot et al, 2009). Los indicadores se han convertido, por tanto, en una poderosa herramienta para la gestión forestal sostenible (Wijewardana, 2008) y, en todo el mundo, existen procesos regionales para desarrollar indicadores de sostenibilidad.



### INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD



Rivas-Martínez, S., 1987. Mapa de series de vegetación de España 1:400.000 y memoria. ICONA Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.  
 Pascual, C., García-Abril, A., García-Montero, L.G., Martín-Fernández, S., Cohen, W.B., 2008. Object-based semi-automatic approach for forest structure characterization using lidar data in heterogeneous *Pinus sylvestris* stands. *For. Ecol. Manage.* 255, 3677-3685.  
 Cabot, J., Easterbrook, S., Horkoff, J., Mazón, J.N., Lessard, L., Liaskos, S., 2009. Integrating sustainability in decision-making processes: a modelling strategy. ICSE'09, International Conference on Software Engineering, Vancouver, Canada.  
 Wijewardana, D. Critères et indicateurs de gestion durable (Criteria and indicators for sustainable forest management). *Bulletin de l'OIBT sur les forêts tropicales* 8 4-6.

# EJEMPLO: Evaluación de la sostenibilidad forestal

## INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD.

Se han utilizado tres indicadores para evaluar la sostenibilidad forestal: diversidad estructural, retorno maderable y biomasa, que responden, respectivamente, a los criterios 1.3, 3.1 y 1.4 de los indicadores paneuropeos de gestión forestal sostenible.

La unidad en que se mide el valor de los tres indicadores es el porcentaje del valor máximo que puede presentar cada indicador en las características ecológicas de los puntos del Área de Aplicación (Monte Ideal). Los indicadores usados son:

### Diversidad estructural.

Calculado como la separación estadística entre la distribución de alturas de los árboles en cada punto (obtenida a partir de la imagen LiDAR) y la distribución de alturas de los árboles en el Monte ideal.

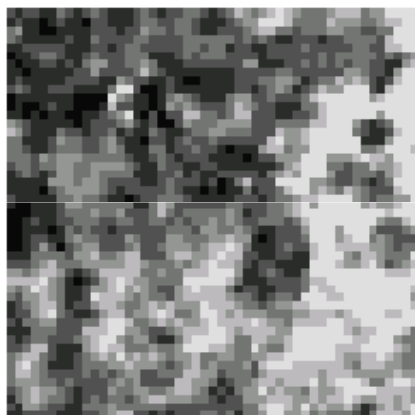
### Retorno maderable.

Volumen de madera que se extrae del monte ( $m^3/ha/año$ ) cuando se organiza la gestión de la superficie entorno a cada punto para converger al Monte Ideal en el menor tiempo posible.

### Biomasa.

Proporción total de biomasa aérea estimada a partir de la imagen LiDAR respecto de la cantidad de biomasa en el Monte Ideal.

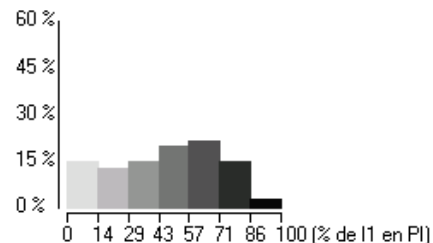
## INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD



I1: Diversidad estructural (Mapa reclasificado)

Rango de variación: 0 - 95,47 %

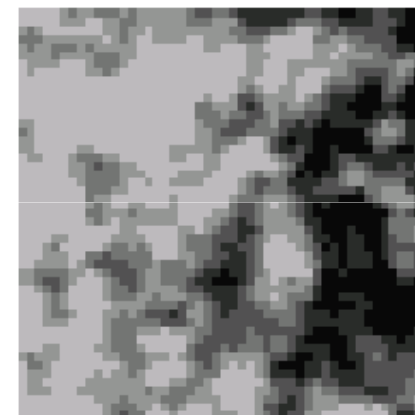
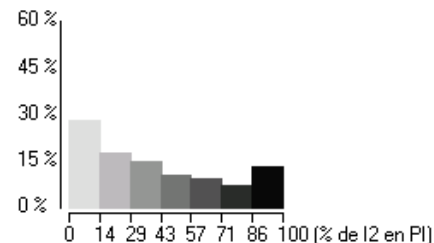
Distribución de los valores



I2: Retorno maderable (Mapa reclasificado)

Rango de variación: 0,47 - 100 %

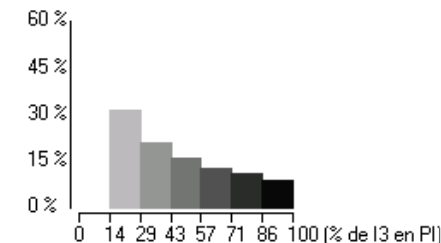
Distribución de los valores



I3: Biomasa (Mapa reclasificado)

Rango de variación: 15,27 - 100 %

Distribución de valores



# EJEMPLO: Evaluación de la sostenibilidad forestal

## SELECCIÓN DE PUNTOS SIGNIFICATIVOS PARA COMPARACIÓN POR PARES.

### INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD

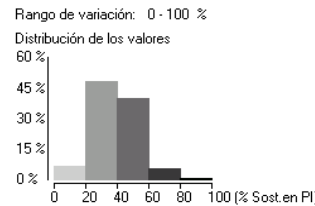
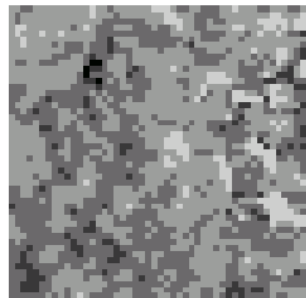
MATRIZ DE COVARIANZAS:  
 628,97607314 -613,35791146 -478,04317055  
 -613,35100634 929,56394531 721,09574769  
 -478,04481703 721,0871967 561,82424656

INVERSA MATRIZ DE COVARIANZAS:  
 0,00450028 -0,00022014 0,00411172  
 -0,00023822 0,24657157 -0,31667482  
 0,00413494 -0,31665569 0,41172261

Los puntos de comparación se han elegido de forma que cubran el mayor rango posible de separaciones al PI y mantengan entre sí una separación constante de sostenibilidad objetiva.

(1)

### SOLUCION OBJETIVA



Dist. Estadística a PI (Mapa reclassificado)

### Localizaciones elegidas para comparación por pares (localizaciones representativas)

LOCALIZACIÓN:	A	B	C	D	E	F
Coord-X (UTM):	408916,5	408776,5	408916,5	408976,5	408936,5	408516,5
Coord-Y (UTM):	4512672,5	4513172,5	4512272,5	4512952,5	4512252,5	4513012,5
Distancia a PI:	8,49	25	41,66	58,31	74,46	93,4
Diversidad estructural	68,63	49,51	40,64	2,96	8,69	6,85
Retorno maderable	51,95	76,92	35,07	83,73	25,91	2,51
Biomasa	57,33	73,94	43,57	78,24	35,8	16,86

$$(1) S_{x \rightarrow PI} = 100 \times \frac{\sqrt{(x - PI)\Sigma^{-1}(x - PI)^T}}{D_{max}}$$

donde:

- ✓  $D_{max}$  es el valor máximo del numerador de la anterior expresión en todos los puntos de la zona;
- ✓  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  es un vector con el valor de los  $n$  indicadores de sostenibilidad en el punto  $x$  (reclasificados en valores de 0 a 100, que corresponden a los máximos y mínimos valores de cada uno de los indicadores de sostenibilidad en la Zona de Aplicación);
- ✓  $PI = (100, 100, \dots, 100)$  es un vector con el valor de los  $n$  indicadores de sostenibilidad en el Monte Ideal (PI) y
- ✓  $\Sigma$  es la matriz de correlación entre cada par de indicadores de sostenibilidad para todos los puntos de la Zona de Aplicación.

## COMPARACIÓN POR PARES.

**Localización: A**

**Localización: B**

**Cual de estas dos localizaciones considera más sostenible?**

A
B
NS / NC

Ejemplo de tipo de Información suministrada para facilitar la elección en el proceso de comparación por pares

**Localización A:**

- Índice de Diversidad Estructural: 2,95 %
- Índice de Retorno Maderable: 83,72 %
- Índice de Biomasa: 78,23 %

**Localización B:**

- Índice de Diversidad Estructural: 49,51 %
- Índice de Retorno Maderable: 76,91 %
- Índice de Biomasa: 73,93 %

PUESTAS		% de RESPUESTAS			Total	
NS/NC	Total	A	B	NS/NC	Total	
9	25	33	76	25	0	3,2
2	0	20,2	36,4	63,6	0	10,1
2	0	21,1	0	100	0	0,9
0	25,7	0	16,7	83,3	0	5,5
0	100	79	25	0	0	3,7
9	16,3	39,4	66,7	25	8,3	11
1	5,9	31,2	48,4	45,2	6,5	28,4
1	0	25,4	66,7	33,3	0	8,3
			29,4	70,6	0	15,6
			33,3	16,7	50	11

# EJEMPLO: Evaluación de la sostenibilidad forestal

## VALORACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD A PARTIR DE PREFERENCIAS PERSONALES.

**PREFERENCIAS PERSONALES**

DATOS INTRODUCIDOS

	A	B	C	D	E	F
A	3	2	1	1	1	1
B	1	3	1	1	1	1
C	2	2	3	2	1	1
D	2	2	1	3	1	1
E	2	2	2	2	3	1
F	2	2	2	2	2	3

(1: Fila preferida a Columna)  
(2: Columna preferida a Fila)  
(3: Ninguna es preferida)

**ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD EN LOS PUNTOS SOMETIDOS A COMPARACIÓN**

	A	B	C	D	E	F
A	0	0	1	1	1	1
B	1	0	1	1	1	1
C	0	0	0	0	1	1
D	0	0	1	0	1	1
E	0	0	0	0	0	1
F	0	0	0	0	0	0

	A	B	C	D	E	F
A	1	0	0	0	0	0
B	0	1	0	0	0	0
C	0	0	1	0	0	0
D	0	0	0	1	0	0
E	0	0	0	0	1	0
F	0	0	0	0	0	1

	A	B	C	D	E	F
A	0	0	1	1	1	1
B	1	0	1	1	1	1
C	0	0	0	0	1	1
D	0	0	1	0	1	1
E	0	0	0	0	0	1
F	0	0	0	0	0	0

	Dis.Estadist.(%)	Original	Desp.Claus.	Desempe
A	91,51	4	4	4
B	75	5	5	5
C	58,34	2	2	2
D	41,69	3	3	3
E	25,54	1	1	1
F	6,6	0	0	0

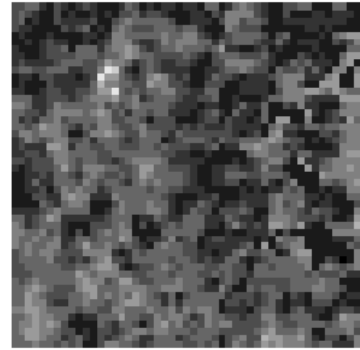
Propiedades de la matriz de preferencia (original):

Irreflexividad	SI
Condición de Chipman	SI
Semitransitividad	SI
Intervalidad fuerte	SI
Transitividad	SI

Tipo de Relación de Preferencia:  
**ORDEN DÉBIL**

Profundidad de conocimiento del medio:  
**ALTA**

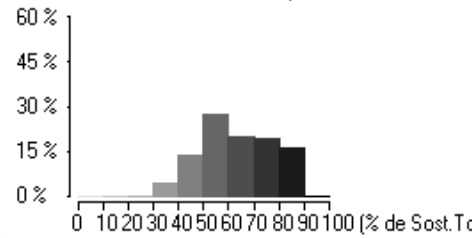
**EXTENSIÓN DEL VALOR A TODA LA ZONA**



Sostenibilidad: A partir de preferencias personales

Rango total de variación: 7,23 - 92,6 %

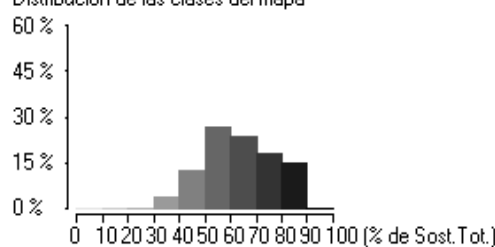
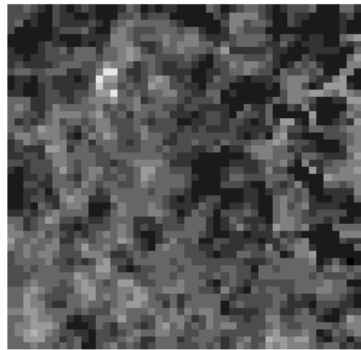
Distribución de las clases del mapa



**VALOR POR EL MODELO DE REGRESIÓN**

Rango total de variación: 1,66 - 98,06 %

Distribución de las clases del mapa

Sostenibilidad: Estimada por el modelo de regresión

**ANÁLISIS DEL MODELO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE**

Parametro	Estimación	Error Típico	t-Statistic	P-value
CONSTANTE	0,000023	0,000139	0,1657	0,8683
I1	0,958533	0,002043	469,0316	0
I2	-5,387192	0,002647	-2034,647	0
I3	7,383588	0,003018	2445,7779	0
I1*I2	-1,080177	0,003524	-306,4836	0
I1*I3	1,188482	0,004272	278,1796	0
I2*I3	-0,682679	0,00149	-457,9039	0
I1*I2*I3	0,05652	0,00073	77,3958	0

Análisis de la varianza: F-Ratio (8, 2392) = 5873018,836

R-cuadrado (ajustado para grados de libertad) = 0,999948921545139

SOSTENIBILIDAD = 0,000023 + 0,958533 \* (I1) - 5,387192 \* (I2) + 7,383588 \* (I3) - 1,080177 \* (I1\*I2) + 1,188482 \* (I1\*I3) - 0,682679 \* (I2\*I3) + 0,05652 \* (I1\*I2\*I3)

## DISEÑO DE LA ALTERNATIVA QUE MEJOR SE ADAPTA A PREFERENCIAS PERSONALES.

En muchos casos, las cuestiones sometidas a opinión poseen un número de soluciones potenciales tan elevado que no es operativo generar todas las alternativas de solución diferentes y evaluar cada una de ellas con objeto de elegir la mejor.

**Ejemplo:** Si un monte consta de 500000 pies y se consideran como actuaciones diferentes aquellas que suponen una operación diferente en cada árbol en un período de tiempo de un año. Si, también para simplificar, consideramos que las posibles actuaciones en cada árbol fueran 10 (poda, fumigación, laboreo del suelo, corta, combinaciones de las anteriores, ...) y el turno fuera de 100 años. Entonces, el número de posibles actuaciones diferentes sería de  $500000^{1000}$ . Lo que impide la generación y evaluación de todas las alternativas.

Alternativamente se puede determinar la mejor alternativa incorporando el factor riesgo de la decisión: se considera como solución aquella con mayor probabilidad de mejor de ser la que mejor se ajusta a las preferencias de un observador dado. Una solución de este tipo requiere:

- ✓ Transformar el valor que para cada alternativa refleja las preferencias de un evaluador, en una medida de la probabilidad de que esa alternativa satisfaga las preferencias del evaluador (a mayor valor, mayor probabilidad de adaptarse a las preferencias de cualquier usuario y viceversa).
- ✓ Convertir el proceso de búsqueda dentro del conjunto de posibles alternativas en un proceso de muestreo dirigido a encontrar la solución más probable.

# METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LA ALTERNATIVA QUE MEJOR SE ADAPTA A PREFERENCIAS PERSONALES (I).

Los algoritmos utilizados en optimización en condiciones de riesgo suelen ser una combinación de algoritmos recursivos, neuronales y adaptativos. No obstante el procedimiento más utilizado para la obtención de la alternativa con mayor probabilidad de ser la mejor -para un individuo con un sistema de preferencias conocido- es una modificación del algoritmo Metropolis que se aplica en los procesos de enfriamiento simulado (Metropolis et al, 1953, Kirkpatrick et al, 1983 y Černý, 1985) y se describe a continuación:

## FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Sea  $\Omega$  el conjunto de todas las posibles alternativas ( $w$ ) y sea  $\mathbf{X}$  el campo aleatorio que representa la ocurrencia de las posibles alternativas. Este campo está constituido por variables aleatorias dependientes  $X_t$  ( $t \in C \subset \mathbb{N}$ ), que pueden tomar un número discreto de hasta  $L$  valores diferentes en cada sub-índice  $t$ . Si, simultáneamente, ocurre que:

a.  $P(\mathbf{X} = w) > 0$  y

b.  $\forall s \in C \Rightarrow P[X_s = x_s / X_r = x_r, s \neq r] = P[X_s = x_s / X_t = x_t, t \in v(s)]$ , donde  $v(s)$  es el conjunto de sub-índices vecinos de  $s$ .

entonces  $\mathbf{X}$  es un Campo Aleatorio Markoviano (CAM) y la ley que define la probabilidad de que una alternativa es la mejor sigue la distribución de Gibbs (Kinderman y Snell, 1980):

$$P(\mathbf{X} = w) = [1/Z]e^{-U(w)/T}$$

donde  $-U(w)$  es la utilidad (el valor) que el individuo considerado asigna a la alternativa  $w$  -y que se deduce de su sistema de preferencias-;  $T$  es una constante y  $Z$  es una constante de normalización:  $Z = \sum_{w \in \Omega} e^{-U(w)/T}$ .

Sobre esta distribución es posible construir un proceso de muestreo -enfriamiento simulado- (ver, por ejemplo, Geman y Geman, 1980 y los ya citados Kirkpatrick et al. y Cerny; si bien los primeros trabajos se retrotraen a Pincus, (1968 y 1970) que converge más rápidamente a la alternativa con mayor probabilidad de ser la mejor ( $w^*$ ) que otros sistemas convencionales de muestreo (Monte-Carlo). Este proceso se describe a continuación:

---

Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., y Teller, E. (1953). Equations of State Calculations by Fast Computing Machines. *Journal of Chemical Physics*, 21, 1087-1092.

Kirkpatrick, S., Gelatt, C D., & Vecchi, M.P. (1983). Optimization by Simulated Annealing. *Science, New Series* 220 (4598), 671-680.

Cerny, V. (1985). A thermo-dynamical approach to the travelling salesman problem: an efficient simulation algorithm. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 45, 41-51.

Kinderman, R y Snell, J.L. Markov random field and their applications. *American Journal of Mathematics and Management Sciences*. 1980

Geman, S y Geman, S. Stochastic relaxation, Gibbs distribution and Bayesian restoration of images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1984, 6, 721-741

Pincus, M. A closed form solution for certain programming problems. *Operational research*. 1968, 16, 690-694

Pincus, M. A Monte-Carlo method for the approximate solution of certain types of constrained optimization problems. *Operational research*. 1970, 18, 1225-1228

# METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LA ALTERNATIVA QUE MEJOR SE ADAPTA A PREFERENCIAS PERSONALES (II).

## MUESTREADOR DE GIBBS.

Sea  $P(w)$  la ley de probabilidad de que una alternativa ( $w$ ) sea la mejor de las pertenecientes al conjunto  $\Omega$ . Con objeto de seleccionar la alternativa con mayor probabilidad de ser la mejor ( $w^*$ ) se define una nueva ley de probabilidad:  $P_\lambda(w) = P(w)^\lambda / \sum_{w \in \Omega} P(w)^\lambda$ . Si  $\lambda \rightarrow \infty$ , la distribución de  $P_\lambda(w)$  tiende a concentrarse sobre el valor de  $w$  con mayor probabilidad ( $w^*$ ). Por tanto, si se muestrea sobre  $P_\lambda(w)$ , con  $\lambda$  grande, nos encontraremos -con alta probabilidad- muy cerca de  $w^*$ .

Al muestrear aleatoriamente sobre la ley de probabilidades  $P_1(w)$  -para  $\lambda=1$ -, se obtiene una alternativa ( $w_1$ ), su ocurrencia modificará la ley de probabilidad con en el siguiente valor de  $\lambda$  ( $\lambda=2$ ) que, según el teorema de Bayes, permite calcular la distribución a posteriori:

$$P_2[w / w_1] \propto \text{Verosimilitud}(w, w_1) \times P_2(w)$$

Si se sustituye  $\lambda$  por  $1/T$  y se adopta como distribución a priori la distribución de Gibbs, con una función de energía  $U(w)$ , entonces la distribución a posteriori también será una distribución de Gibbs con función de energía  $U^P(w)$ :

$$U^P(w) = U(w) + g\{\|U(w) - U(w^*)\|\}$$

y  $\lambda \rightarrow \infty$  significa la disminución de  $T$  hasta 0. Entre otros, Mitra et al (1986), han demostrado que cambios en  $T$  proporcionales a  $1/\ln n$  ( $n$  es número de muestras realizadas hasta el estado analizado) son suficientes para asegurar la convergencia al óptimo.

Operacionalmente, el proceso anterior supone elegir un valor  $T_1$  y obtener una muestra ( $w_1$ ) de la distribución  $[1/Z] \exp\{-U(w)/T_1\}$ . A continuación se disminuye la temperatura en una cantidad proporcional a  $1/\ln 2$  ( $T_2$ ) y se obtiene una segunda realización muestral de la distribución  $[1/Z_2] \exp\{-U^2(w)/T_2\}$ . Este proceso se repite hasta obtener la  $n$ -ésima muestra con una temperatura:  $T_n = k T_1 / \ln n = k_b T_{n-1}$ .

La aplicación directa del proceso anterior supone que siempre se cambia hacia alternativas con mayor probabilidad de ser las mejores. Por tanto, el proceso se detendrá cuando se alcance un óptimo local. Para solucionar este problema se incorpora un mecanismo de relajación estocástica que permite saltos aleatorios a estados de menor probabilidad.

# METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LA ALTERNATIVA QUE MEJOR SE ADAPTA A PREFERENCIAS PERSONALES (III).

## SIMPLIFICACIONES EN EL MUESTREADOR DE GIBBS.

En todo caso, el enfriamiento simulado, sigue requiriendo un elevado número de cálculos que ralentiza la obtención de soluciones *on-line*. Para solventar este problema se ha adoptado dos simplificaciones:

1) En primer lugar la utilización del Modelo Condicional Iterativo (Besag, 1986) o ICM (del inglés *Iterated Conditional Method*). Como en el modelo original, el ICM visita todos los subíndices del campo aleatorio ( $t \in C \subset \mathbb{N}$ ) y calcula:

$$P [ X_i = s / X_j = r, s \neq r ] = (1/Z_s) \exp \{ -U(X_i = s) / T \}$$

donde  $-U(X_i = s)$  es la utilidad que, para el individuo para el que se calcula la mejor alternativa, tiene asignar el valor  $s$  a la variable  $X_i$ , lo que no solo depende del valor en  $X_i$  sino del valor en sus variables vecinas. Sin embargo, a diferencia del enfriamiento simulado, la nueva alternativa muestreada no consiste en cambiar en la original solo el valor de la variable que induce un mayor incremento de utilidad, sino que está formada por un cambio sincronizado de todas las variables a los valores que maximizan la utilidad en cada una de ellas. Este proceso se repite en cada paso de la optimización. El ICM también converge la alternativa con mayor probabilidad de ser la mejor. Sin embargo, en lugar de presentar un proceso de convergencia monótono avanza en saltos que pueden generar soluciones intermedias con baja probabilidad de ser la mejor alternativa.

2) Una segunda simplificación afecta a trabajar directamente con la utilidad en lugar de hacerlo con la probabilidad. De esta forma se puede utilizar la siguiente expresión para la utilidad de cada alternativa (Azencott, 1987):

$$U(w) = \sum_{i=1, \dots, C} \sum_{j=1, \dots, L} \mathbf{1}_{X_i=j} U(X_i=j) - \beta V(w)$$

donde:

$\mathbf{1}_{\text{condición}}$  es la función indicadora: vale 1 si ocurre lo expresado en el subíndice y 0 en caso contrario.

$-U(X_i = j)$  es la utilidad que, para el individuo para el que se calcula la mejor alternativa, tiene asignar el valor  $j$  a la variable  $X_i$ , lo que no solo depende del valor en  $X_i$  sino del valor en sus variables vecinas.

$C$  es el total de variables en  $\mathbf{X}$  y  $L$  el número de posibles valores que pueden tomar estas variables.

$\beta$  es un parámetro y  $V(w)$  es el término de regularización:  $V(w) = \sum_{i=1, \dots, C} \sum_{j \in v(i)} \sum_{k=1, \dots, L} \mathbf{1}_{X_i=j} \mathbf{1}_{X_j=k}$ , donde  $v(i)$  es el conjunto de variables aleatorias vecinas de  $X_i$ .

# METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LA ALTERNATIVA QUE MEJOR SE ADAPTA A PREFERENCIAS PERSONALES (IV).

A continuación se presenta el esquema operativo del algoritmo descrito anteriormente:

Determinar: el número de pasos en el proceso iterativo (M) y las condiciones de inicio (Temperatura inicial [T]; Constante de enfriamiento [ $k_b$ ] y solución de partida [X])

Hasta que se den las condiciones de fin del algoritmo: (no se aprecien mejoras de sostenibilidad):

**para i = 1 a M:**

Forzar pequeñas perturbaciones sobre X, que representaremos por  $X_i$

**Si**  $X_i$  satisface las condiciones del gestor (coste, restricciones ambientales, ...):

Calcular sus efectos en la su utilidad:  $\Delta U = U(X_i) - U(X)$

**Si**  $\Delta U \geq 0$ :

aceptar la perturbación:  $X = X_i$

**caso contrario:**

aceptar la perturbación con probabilidad:  $P(\Delta U) = \exp[\Delta U / (k_b T)]$ .

**(Si**  $P(\Delta U) \geq \text{Rnd}(0-1)$  **entonces**  $X = X_i$ )

**Fin de la condición**

**Fin de la condición**

**Siguiente M**

Reducir la temperatura e ir a

Acabar

# EJEMPLO DE DISEÑO DE LA ALTERNATIVA QUE MEJOR SE ADAPTA A PREFERENCIAS PERSONALES (Caso I).

## DISEÑO DEL MEJOR PLAN DE GESTIÓN DE UNA EXPLOTACIÓN FORESTAL.

Esta aplicación se ha realizado para optimizar la explotación forestal que ha servido de ejemplo en el apartado de valoración. Por Plan de Gestión se entiende el conjunto de actuaciones, localizadas espacio-temporalmente, que se van a realizar en un monte durante un período de tiempo determinado. Se consideran como actuaciones diferentes las que suponen un tipo específico de trabajo en cada árbol y durante el período de tiempo considerado.

La función a optimizar ( $U$ ) incluye la expresión analítica del valor de la sostenibilidad ( $v$ ), que se obtiene para cada evaluador, y se aplica a los valores que toman diferentes indicadores de sostenibilidad en cada uno de los puntos de la Zona de Aplicación. En concreto los resultados que se presentan se han obtenido para el evaluador cuyas preferencias de han representado en el apartado anterior. La función de valor obtenida por aplicación del modelo de regresión es:

$$v_i = -5,3872 \times I_2(i) + 7,3836 \times I_3(i) + I_1(i) \times [-1,0881 \times I_2(i) + 1,1885 \times I_3(i)]$$

Además se ha incorporado balance económico del plan de explotación ( $B$ ) para los próximos 10 años, lo que incluye:

- ✓ El beneficio por corta y extracción de madera
- ✓ El coste de rozar el repoblado y el matorral y
- ✓ El coste de la eliminación de residuos.

En estas condiciones, la función a optimizar se expresa como:  $U(X_i=s) = k_1 v_i(s) + k_2 B_i(s)$ , siendo  $s$  la asignación de actuaciones (en el punto  $i$ ).

Adicionalmente, para el cálculo del mejor plan, se han adoptado las siguientes simplificaciones operativas:

- Se considera *pequeña perturbación* de una solución inicial a una variación de entre un -5% y un +5% en el número de árboles en cada una de las clases de altura (8 clases de 3 en 3 metros), adoptando como variación mínimamente apreciable a una variación del 1% de las existencias en cada clase de altura (11 posibles estados por clase de altura). Por tanto, para cualquier unidad de actuación, el número de posibles pequeñas perturbaciones es de  $11^8 = 214.358.881$ .
- Como unidades de actuación diferentes se consideran cada una de las clases de estructura forestal (en total son 5), por lo que resulta que el número de pasos requeridos en el proceso de optimización es  $M = 5 \times 11^8$ .
- Para ser considerada una solución admisible, se comprueba que, en el período de aplicación del Plan (10 años), toda perturbación debe ser compatible con la evolución natural de la masa forestal a partir de las existencias actuales.
- No se han incluido restricciones adicionales del responsable final de la toma de decisiones (presupuesto, mínimo aprovechamiento de recursos, condiciones ambientales) por que en un análisis de sensibilidad de los resultados estos datos no aparecieron como significativos.

# EJEMPLO DE DISEÑO DE LA ALTERNATIVA QUE MEJOR SE ADAPTA A PREFERENCIAS PERSONALES (Caso I).

## DISEÑO DEL MEJOR PLAN DE GESTIÓN DE UNA EXPLOTACIÓN FORESTAL.

Estructura ----> Tipo: 1    Tipo: 2    Tipo: 3    Tipo: 4    Tipo: 5

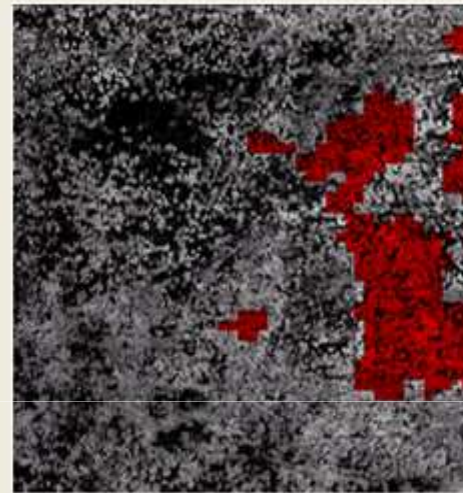
### EXISTENCIAS TOTALES ACTUALES

Clase h árbol	Número de pies en cada tipo de estructura:				
0 - 3 m	97271	119934	211559	252111	98667
3 - 6 m	81	102	197	327	101
6 - 9 m	159	321	723	759	147
9 - 12 m	462	1166	1922	1204	190
12 - 15 m	1135	2487	2741	1131	174
15 - 18 m	2231	2486	1743	601	84
18 - 21 m	2756	1136	533	236	22
21 - 24 m	1469	262	83	46	4

### EXTRACCIONES (en los próximos 10 años)

Clase h árbol	Número de pies a sacar en cada tipo de estructura:				
0 - 3 m	0	0	0	0	0
3 - 6 m	0	0	0	0	0
6 - 9 m	159	0	0	0	0
9 - 12 m	0	361	495	509	190
12 - 15 m	313	1907	1407	550	80
15 - 18 m	103	2193	594	0	84
18 - 21 m	436	312	0	69	0
21 - 24 m	799	56	0	0	0

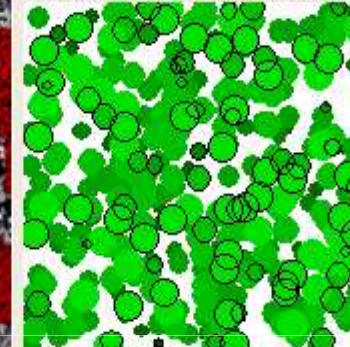
### Tipo 1 de Estructura



### Operaciones

en los próximos 10 años y en 1 ha representativa de la estructura:

- 1 Extraer los árboles marcados

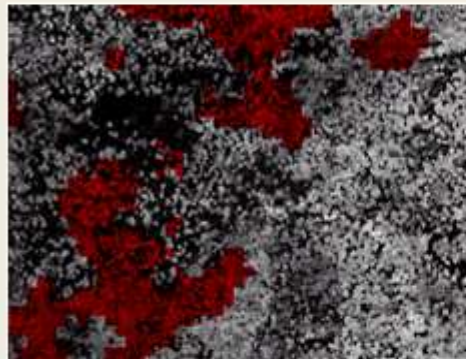


- 2 Rozar el 0 % del repoblado (pies de menos de 3 m)
- 3 Rozar el 0 % del matorral (pies de 3 a 6 m)

### Tipo 2 de Estructura



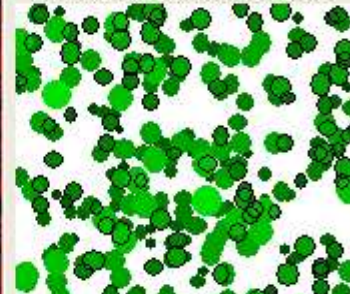
### Tipo 3 de Estructura



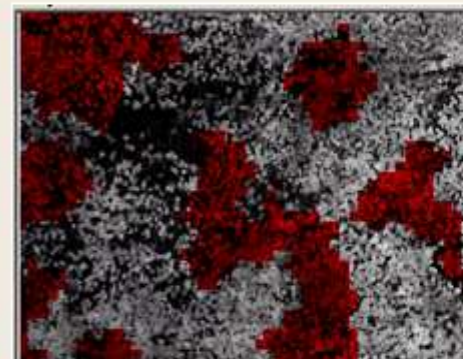
### Operaciones

en los próximos 10 años y en 1 ha representativa de la estructura:

- 1 Extraer los árboles marcados



### Tipo 4 de Estructura



### Operaciones

en los próximos 10 años y en 1 ha representativa de la estructura:

- 1 Extraer los árboles marcados



### Tipo 5 de Estructura



# EJEMPLO DE DISEÑO DE LA ALTERNATIVA QUE MEJOR SE ADAPTA A PREFERENCIAS PERSONALES (Caso II).

## DISEÑO DE LA MEJOR ASIGNACIÓN DE PLANES DE DESARROLLO PROFESIONAL A LOS DEMANDANTES DE EMPLEO DE UN MERCADO DE TRABAJO.

Considérese un desempleado que pudiera elegir entre  $n_1$  ocupaciones diferentes y que para acceder a ellas pudiera, a su vez, desarrollar  $n_2$  programas de empleo. El número total de acciones diferentes que podría desarrollar esa persona sería  $n_1 \times n_2$  (este número aumentaría si se incorpora el horizonte temporal: si se consideraran, por ejemplo, que las actuaciones anteriores se desarrollaran en un período de tres meses y, que tres meses después se desarrollaran otras actuaciones, y así, sucesivamente). Si esta persona desarrollara su actividad en un mercado con  $n_3$  demandantes, el número total de posibles alternativas de actuación sería: **Nº alternativas de actuación =  $n_3^{n_1 \times n_2}$**

Si, por ejemplo, resultara que:  $n_1=500$ ;  $n_2=1000$  y  $n_3=3000000$ ; entonces: **Nº de actuaciones =  $3000000^{500000}$**

El proceso de optimización se ha aplicado a los datos reales del mercado de trabajo de la Comunidad de Madrid para todos los demandantes y contratos de empleos reales del año 2006. Se han adoptado las siguientes simplificaciones operacionales:

- Una alternativa ( $\mathbf{X}$ ) es una asignación de una ocupación y de un itinerario de empleo (hasta 7 combinaciones de los programas de empleo disponibles en ese mercado) a cada uno de los desempleados de un mercado de trabajo.
- Una perturbación ( $\mathbf{X}_i$ ) para una alternativa de asignación ( $\mathbf{X}$ ) es una modificación de la asignación inicial de itinerarios y ocupaciones por otra.
- Una pequeña perturbación ocurre cuando la nueva asignación (de ocupaciones e itinerarios) no se separa en exceso de la original.
- La función de utilidad a maximizar  $U(\mathbf{X})$  incluye la probabilidad de inserción de cada ocupación y el coste de los recursos totales utilizados en el proceso. Por ejemplo:

$$U(\mathbf{X}) = k_1 \sum_{\substack{\text{Desempleados,} \\ \text{ocupaciones} \\ \text{e itinerarios de empleo}}} P_i(O/EI) - k_2 \left\| GC - \sum_{\substack{\text{Desempleados} \\ \text{y ocupaciones}}} c_i(EI) \right\|$$

donde:

$P_i(O/EI)$  es la probabilidad de que el desempleado  $i$  encuentre trabajo en la ocupación  $O$  después de haber realizado el itinerario  $EI$ ;  $GC$  es el presupuesto total dedicado a programas de empleo y  $c_i(EI)$  es el coste de que el desempleado  $i$  realice el itinerario  $EI$ .

# EJEMPLO DE DISEÑO DE LA ALTERNATIVA QUE MEJOR SE ADAPTA A PREFERENCIAS PERSONALES (Caso II).

## DISEÑO DE LA MEJOR ASIGNACIÓN DE PLANES DE DESARROLLO PROFESIONAL A LOS DEMANDANTES DE EMPLEO DE UN MERCADO DE TRABAJO.

**ASIGNACIÓN DE LOS MEJORES ITINERARIOS DE EMPLEO Y OCUPACIONES A CADA UNO DE LOS MÁS DE 400000 DESEMPLEADOS DE LA COMUNIDAD DE MADRID.**

NºDem.	Itinerario	Ocupación
1510	1 4 0 0 0	4210
1646	2 7 0 0 0	2639
3871	1 0 0 0 0	2639
4428	0 0 0 0 0	6022
16008	0 0 0 0 0	-1
16852	0 0 0 0 0	-1
23851	0 0 0 0 0	-1
24136	1 2 0 0 0	4510
25203	0 0 0 0 0	-1
25927	0 0 0 0 0	-1
33717	1 0 0 0 0	5121
33920	0 0 0 0 0	-1
35005	1 0 0 0 0	9220
37291	1 0 0 0 0	2413
40294	1 2 0 0 0	3320
41234	1 2 0 0 0	7920
41512	2 4 0 0 0	3546
42572	0 0 0 0 0	-1
43275	0 0 0 0 0	-1
44355	1 2 4 7 0	3312
45293	1 2 0 0 0	5020
45431	1 0 0 0 0	4603
46028	2 0 0 0 0	5020
46315	2 0 0 0 0	9121
46571	1 0 0 0 0	4210
46715	1 2 0 0 0	1131
46815	2 3 4 0 0	4210
46886	1 2 0 0 0	4012
46935	0 0 0 0 0	2811
46981	0 0 0 0 0	4522
47074	1 2 0 0 0	1132
47335	1 2 0 0 0	8610
47374	1 2 0 0 0	5330
47409	1 2 3 0 0	3125
47538	0 0 0 0 0	-1
47558	2 6 0 0 0	3411
47574	1 6 0 0 0	2412
47646	1 7 0 0 0	3031
47699	1 0 0 0 0	3031

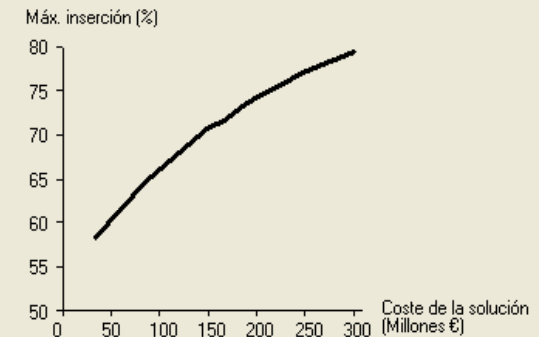
Clave de itinerarios de empleo <sup>1,4,41</sup>

- 0: No aplica programa
- 1: Tutoría individualizada
- 2: Tutoría colectiva
- 3: Curso de formación del POCM
- 4: Curso de formación del Plan FIP
- 5: Programas mixtos de empleo y formación
- 6: Contratación pública
- 7: Programas experimentales

**ANÁLISIS DE LA SENSIBILIDAD DEL TOTAL DE INSERCIÓN ALCANZADA CON DIFERENTES ASIGNACIONES PRESUPUESTARIAS**

### Soluciones que maximizan el empleo estable para varios presupuestos:

TIPO DE PROGRAMA	Nº de Actuaciones en PERSONAS				
	Cost-100	Cost-150	Cost-200	Cost-250	Cost-300
Tutoría individualizada	195115	262756	304471	341631	373087
Tutoría colectiva	403800	422822	403845	436341	414350
Curso Progr. Operat. CM	27662	51517	69630	80239	96022
Curso Plan FIP	276	8392	16277	35456	45619
Mixto de empleo & forma.	0	0	0	0	1
Contratación pública	0	0	0	0	0
Experimental de inserción	1986	2995	6724	6671	12440
<b>COSTE (MILLONES €)</b>	<b>92</b>	<b>150</b>	<b>199</b>	<b>248</b>	<b>302</b>
<b>INSERCIÓN (% de M.I.)</b>	<b>65</b>	<b>71</b>	<b>74</b>	<b>77</b>	<b>79</b>

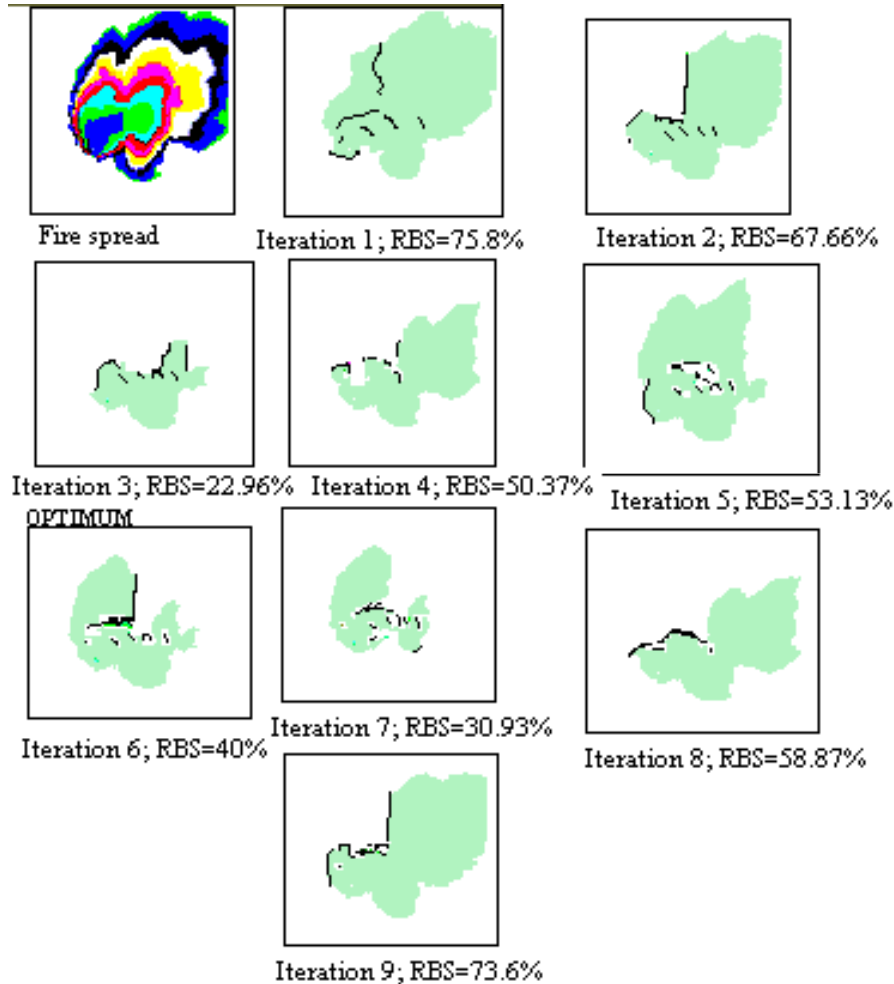


TIPO DE PROGRAMA	MUJERES por PROGRAMA				
	Cost-100	Cost-150	Cost-200	Cost-250	Cost-300
Tutoría individualizada	68 %	72 %	75 %	75 %	77 %
Tutoría colectiva	62 %	60 %	57 %	57 %	54 %
Curso Progr. Operat. CM	98 %	95 %	87 %	82 %	80 %
Curso Plan FIP	8 %	75 %	68 %	54 %	45 %
Mixto de empleo & forma.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Contratación pública	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Experimental de inserción	68 %	52 %	50 %	49 %	77 %
<b>COSTE (MILLONES €)</b>	<b>79</b>	<b>80</b>	<b>76</b>	<b>70</b>	<b>70</b>

TIPO DE PROGRAMA	Coste Unitario (en euros)	ND2004-05	Máx.Inserc.
Tutoría individualizada	134	46514	300160
Tutoría colectiva	54	7553	151886
Curso Progr. Operat. CM	1386	2358	90393
Curso Plan FIP	1443	39359	308098
Mixto de empleo & forma.	8391	2908	54511
Contratación pública	8836	4053	33751
Experimental de inserción	2400	518	121757
<b>INSERCIÓN (% de M.I.)</b>		<b>24</b>	<b>100</b>
<b>COSTE(MILLONES €)</b>		<b>128</b>	<b>1666</b>

# EJEMPLO DE DISEÑO DE LA ALTERNATIVA QUE MEJOR SE ADAPTA A PREFERENCIAS PERSONALES (Caso III).

## DISEÑO DE LA MEJOR ALTERNATIVA PARA COMBATE DE UN INCENDIO FORESTAL\*

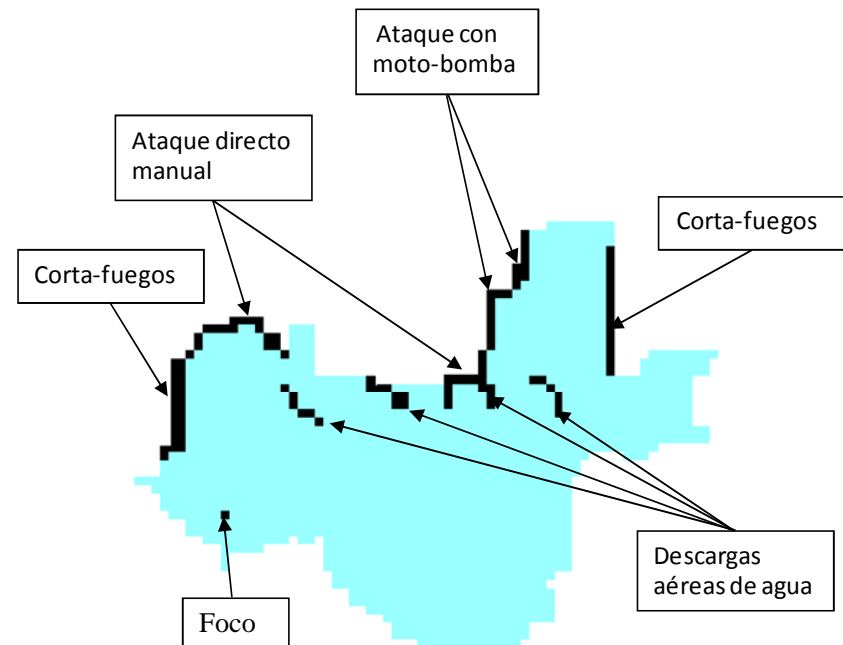


**Objetivo:** Asignación espacio-temporal de recursos de extinción para minimizar la superficie quemada en el combate de incendios forestales.

A través de simulaciones informáticas es posible determinar el tiempo de llegada de cualquier recurso de extinción a cualquier punto del territorio; modelar la expansión de incendio y determinar la actuación de los recursos de extinción. Todo ello permite predecir la superficie (y el valor) de lo quemado ante un plan de combate.

La figura de la izquierda muestra el resultado de aplicar el ICM a minimizar la superficie quemada (respecto a la superficie que se quemaría sin ninguna actuación).

Abajo, detalle del combate que tiene mayor probabilidad de resultar en una menor superficie quemada.



# EJEMPLO DE DISEÑO DE LA ALTERNATIVA QUE MEJOR SE ADAPTA A PREFERENCIAS PERSONALES (Caso IV).

## DISEÑO DE LA MEJOR LOCALIZACIÓN ESPACIAL DE ACTIVIDADES AGRÍCOLAS\*

**Objetivo:** La asignación de usos de suelo a píxeles de 20 por 20 metros en un término municipal (Torrelaguna, Madrid) para optimizar criterios agrarios y ambientales.

Objetivos incluidos en la función de utilidad cuya expresión final depende de las preferencias de cada usuario:

1. La capacidad de acogida de cada uso de suelo en cada punto y en la vecindad de cada punto. A mayor capacidad de acogida del uso de suelo  $s$  en el punto  $X_i$ , menor es la función  $U(X_i=s)$ .
2. El impacto ecológico de cada uso de suelo en cada punto y en la vecindad de cada punto. A mayor impacto del uso de suelo  $s$  en el punto  $X_i$ , mayor es la función  $U(X_i=s)$ .
3. El coste económico del cambio de cada uso de suelo en cada punto y en la vecindad de cada punto. A mayor coste de cambio del uso de suelo actual por el uso de suelo  $s$  en el punto  $X_i$ , mayor es la función  $U(X_i=s)$ .
4. Otros costes sociales (como el aumento del número de puestos de trabajo, el aumento del TIR y el balance coste-beneficio) que resumen los beneficios de asignar el uso de suelo  $s$  al punto  $X_i$ .
5. La comparación de la superficie ocupada por cada uno de los usos de suelo en toda la zona de aplicación y para una solución óptima (obtenida por programación lineal por metas) con la ocupada en la alternativa analizada.

Para la optimización descrita en la imagen de la izquierda se ha utilizado:

$$U(X_i=s) = \lambda_1 I_1(s) + \lambda_2 I_2(s) + \lambda_3 I_3(s) + \lambda_4 I_4(s) + \lambda_5 I_5(s)$$

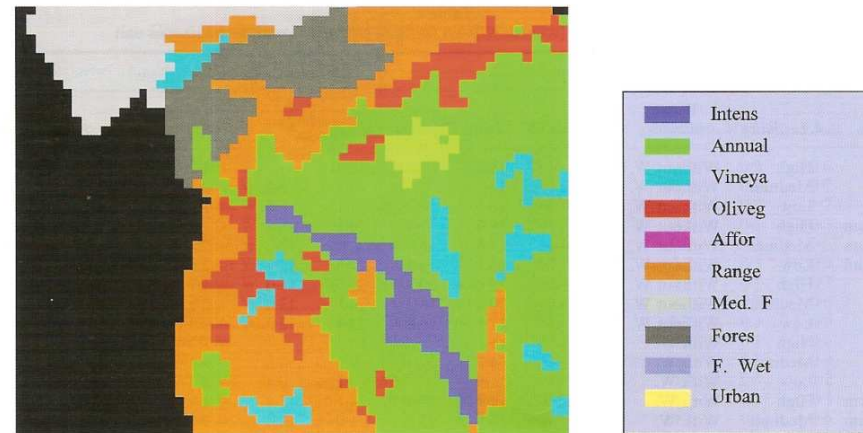


Fig. 3. Current land use and description of the different land uses. The following acronyms represent the land-use categories and are valid for all figures and tables of the paper: Irrigated and intensive cultivation (**Intens**), Non-irrigated crop production (**Annual**), Non-irrigated vineyards (**Vineya**), Non-irrigated olive groves and other fruit and nut culture (**Oliveg**), Afforestation (**Affor**), Rangeland (**Range**), Mediterranean oak and other autochthonous forest land (**Med. F**), Forestland (**Fores**), Forested wetland (**F.Wet**) and Urbanized land (**Urban**)



Fig. 7. Optimum land use allocation, after 10 iterations

# EJEMPLO DE DISEÑO DE LA ALTERNATIVA QUE MEJOR SE ADAPTA A PREFERENCIAS PERSONALES (Caso V).

## DISEÑO DE LA MEJOR SEGMENTACIÓN DE USOS DE SUELO AGROLÓGICOS A PARTIR DE FOTOGRAFÍA AÉREA \*

**Objetivo:** segmentación de una fotografía aérea en una zona típica del secano español para minimizar las desviaciones entre los usos de suelo estimados y los reales.

La imagen elegida es el fotograma nº2 de la Pasada B de la hoja 631 del M.N.T, en blanco y negro y a escala 1:18.000. La imagen se escaneó en 380×333 píxeles de información, con una resolución aproximada de 6,2 metros en cada eje (horizontal y vertical). A cada pixel se asignó uno de los 265 niveles de gris resultantes de escanear la imagen, que posteriormente se redujeron al rango de variación de los 15 tonos de gris (0 a 14) disponibles en la pantalla VGA. A partir de los trabajos de campo se establecieron los siguientes usos:

1: Viñedo; 2: Pinar/Monte denso; 3: Erial; 4: Olivar; 5: Cereal 6: Barbecho

y se replantearon ventanas muestrales para cada uso de suelo donde se calcularon las características tonales y texturales de cada uso.

La optimización se basó en elegir como  $U(X_i=s)$  a la distancia entre el vector de atributos  $a_i$ , (que representa las características descriptoras en el punto analizado) y en el uso de suelo  $s$ :

$$d(s, a_i) = \left[ \frac{a_i - \mu_s}{\sigma_s} \right]^2$$

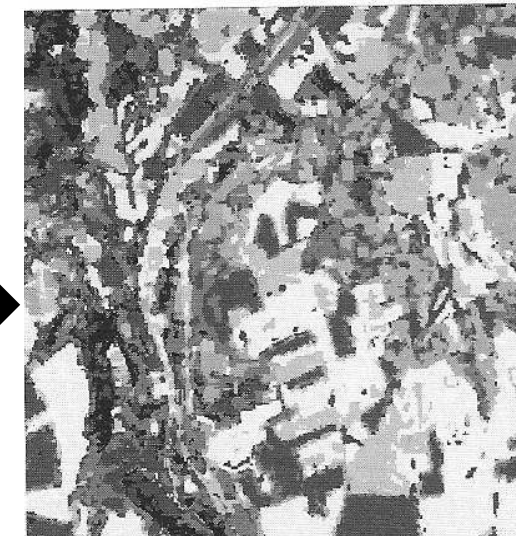
donde,  $a_i = (a_{i1}, \dots, a_{ik})$  es el vector de atributos sobre una ventana ( $V_i$ ) situada alrededor del punto  $i$  (el tamaño de esta ventana varía para cada uso de suelo) y  $\mu_s$  y  $\sigma_s$  son los vectores que representan la media y la desviación típica de los  $k$  atributos en la ventana muestral que se ha replanteado para el uso de suelo  $s$ .

Se utilizaron ( $k=16$ ) atributos agrupados en:

- i. Características espectrales
- ii. Características texturales
- iii. Características contextuales



**Representación de la Zona de Estudio escaneada sobre VGA**



**Segmentación final (después de 10 iteraciones)**

\* Gómez-Elvira, MA y Martínez-Falero, E. Aplicación de un método bayesiano de segmentación de imágenes a la definición de usos agrícolas a partir de fotografía aérea. Proceeding de Jornadas Técnicas sobre Sistemas de Información Geográfica y Teledetección espacial aplicados a la Ordenación del Territorio y al Medio Ambiente. Vitoria, noviembre, 1994. Centro de Estudios Ambientales. Ayuntamiento de Vitoria, 1995, 41-51

# COMUNIDADES DE OPINIÓN

## ANTECEDENTES.

✓ Teorema de Arrow: no se puede asegurar la existencia de un sistema de preferencias transitivo para múltiples decisores.

• Arrow K, Sen A K and Suzumura K. *Handbook of Social Choice and Welfare*. 2002

✓ Métodos para la convergencia de múltiples preferencias (bandas de indiferencia, DELPHI, ...).

• Morton, A. et al, 1999. Delphic SODA: A new approach to distributed group decision support. Research paper 1999/2. Management Science. Strachclyde Business School

• Morton, A. et al, 2001 Distributed group decision support. A study of some key concepts. Research paper 2001/2. Management Science. Strachclyde Business School

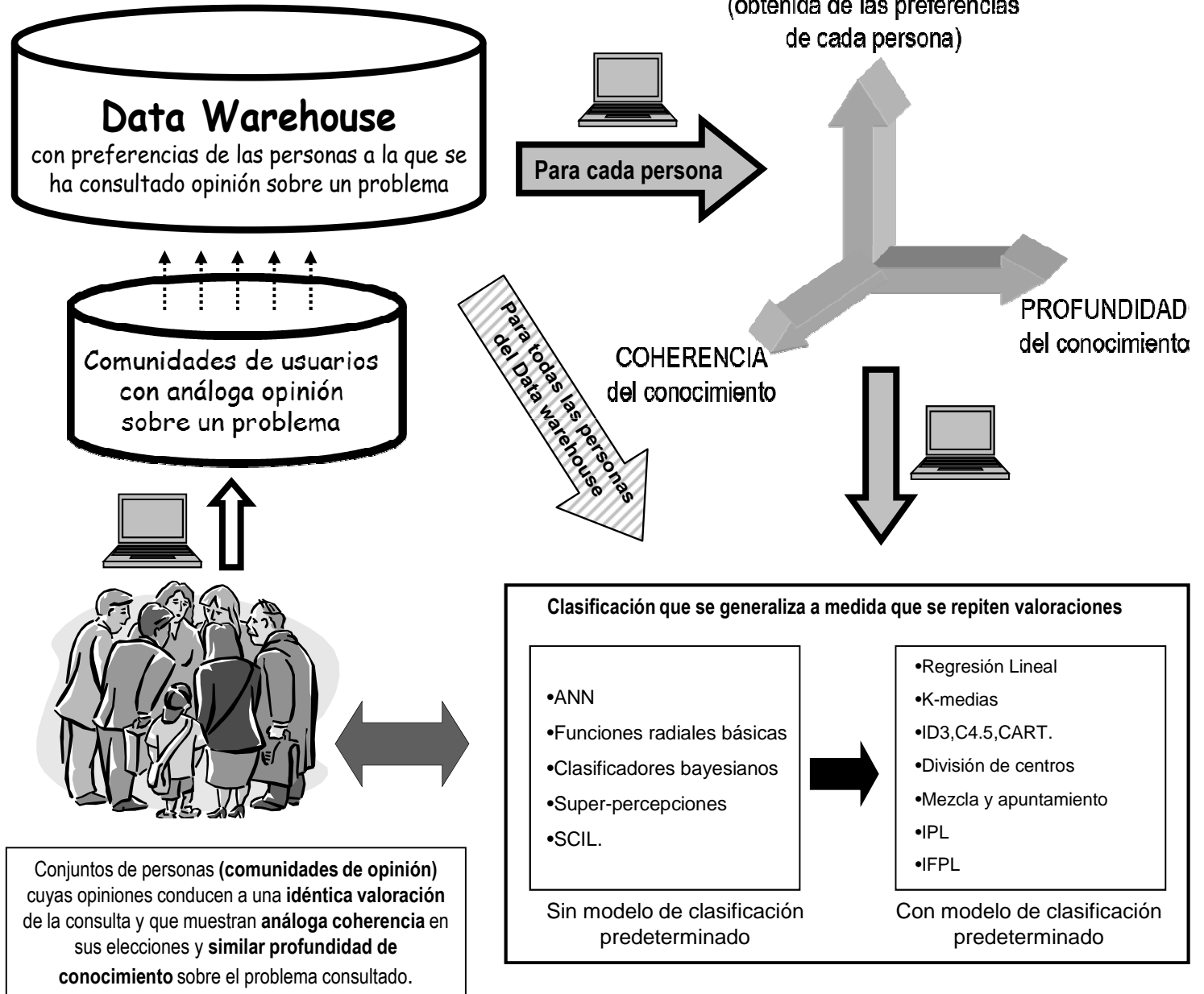
✓ Construcción de comunidades de evaluadores con análogos sistemas de preferencias para la interacción entre grupos de personas.

• Wang FY, Carley KM, Mao W. Social Computing: From Social Informatics to Social Intelligence. *IEEE Intelligent Systems* 2007; 22(2): 79-83.

✓ Simulación del comportamiento de comunidades de análoga opinión.

• Wang FY. Social Computing: Fundamentals and applications. *IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics*; 2008; xxxv-xxxviii.

## PROCESO OPERATIVO.



# METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE COMUNIDADES DE OPINIÓN.

La representación de preferencias individuales permite construir una medida de la separación entre las preferencias de dos o más personas, lo que facilita la agrupación de individuos con preferencias homogéneas. Se trata de un problema típico de clasificación, que se puede abordar mediante la aplicación de técnicas de minería de datos, de KDD (Dunham, 2002; Mligo y Lyaruu, 2008) o de otras técnicas de clasificación (Martínez-Falero y González-Alonso, 1994).

Las técnicas de clasificación divisiva y politética se ajustan bien a la agrupación de sistemas de preferencia individuales. Para su aplicación:

1. Se parte de las preferencias de todos los individuos de una población (o de una simulación aleatoria de un elevado número de matrices de preferencia) y se clasifican los individuos en dos grupos más homogéneos entre sí que el conjunto original, para cual se requiere:
  - a. En un primer paso, la construcción de un gradiente para los individuos que absorba la máxima variabilidad en todas las características (descriptores) utilizadas en la representación de las preferencias (Hill, 1974).
  - b. A continuación se identifican los descriptores más discriminantes y se construye un segundo gradiente (también para los individuos) basado únicamente en estos descriptores más discriminantes.
  - c. Finalmente, se define una regla de decisión que permita la incorporación de cualquier individuo a los grupos existentes a partir únicamente de los descriptores más significativos y minimice el número de individuos mal clasificados.
2. El proceso de división se aplica de nuevo a cada uno de los dos grupos resultantes, y se continúa hasta que los grupos obtenidos presenten una homogeneidad interna suficiente.

---

Dunham MH. Data Mining, Introductory and Advanced Topics, Prentice Hall; 2002.

Mligo C, Lyaruu HVM. The Impact of Browsing and Grazing Pressure on Vegetation Community, Composition and Distribution Pattern in Ikona Wildlife. Botany Research Journal 2008; 1(1): 1-8.

Martinez-Falero E., Gonzalez-Alonso S. Quantitative Techniques in Landscape Planning. CRC Press; 1994.

Hill MO. Correspondence Analysis: A Neglected Multivariate Method. Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics) 1974; 23(3): 340- 54.



# METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE COMUNIDADES DE OPINIÓN.

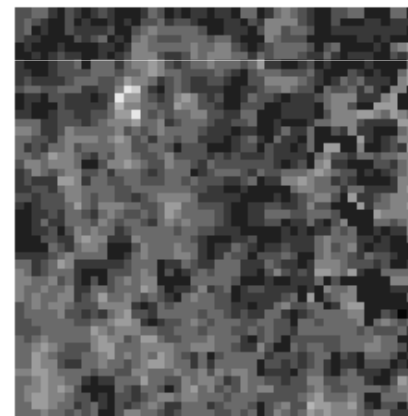
Incorporación de un individuo a una comunidad de personas con sistemas de preferencias análogos para la evaluación de la sostenibilidad forestal y caracterización de la comunidad por los descriptores utilizados para la agrupación de preferencias:

	DESCRITORES																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Datos del individuo:	Prox.a Sost.Objetiva					Tipo de Rel.de Orden					Parámetros de la regresión					Linearización					Prof.Conoc.				
	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	1: Presencia del descriptor en el individuo																								
Datos del grupo:																									
	0	-1	0	0	0	-1	-1	-1	0	-1	1	0	1	1	-1	0	-1	-1	0	0	0	-1	-1	1	-1
	1: Presencia significativa de este descriptor en el grupo (P>0.45) -1: Ausencia significativa de este descriptor en el grupo (P>0.90)																								

Caracterización de la comunidad por las características personales de sus componentes:

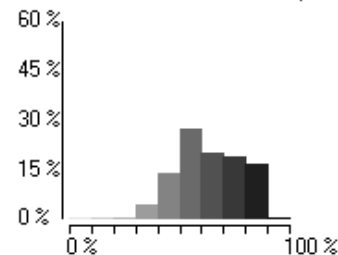
GRUPO Nº: 33	% de RESPUESTAS	
	(en el Grupo)	(en Total)
<b>EDAD/GÉNERO</b>		
-30años/Mujer	41,7	33
+29años/Mujer	25	19,8
-30años/Varón	16,7	21,7
+29años/Varón	16,7	25,5
<b>NIVEL ACADÉMICO</b>		
Formación Básica	50	37,7
Titulación no Univ.	33,3	32,1
Titulación Univ.	16,7	30,2
<b>OCUPACIÓN</b>		
Direct. Empres. +AAPP	0	3,8
Prof. Cc. Experi. +Tec.	8,3	10,4
Prof. Sanidad	0	0,9
Prof. Docent. +Invest.	8,3	5,7
Prof. Cc. Jurid. +Soc.	0	3,8
Prof. Humanidades	0	1,9
Emplead. Administr.	0	11,3
Trab. Cualif. Sect. 1ª+2ª	41,7	29,2
Trab. Cualif. Servicios	16,7	8,5
Trab. no Cualif.	16,7	15,1
Fuerzas armadas	8,3	9,4
<b>LUGAR de RESIDENCIA</b>		
Zona Urbana	33,3	46,2
Zona Rural	50	44,3
Interfase U-R	16,7	9,4
<b>TIPOLOGÍA de AGENTE</b>		
Empresar. Fores.	25	16
Técnico Fores.	8,3	22,6
Poblac. Rural	8,3	11,3
G. Ecologista	25	18,9
Usuario Gen.Red	33,3	31,1

MAPA DE SOSTENIBILIDAD DEL INDIVIDUO

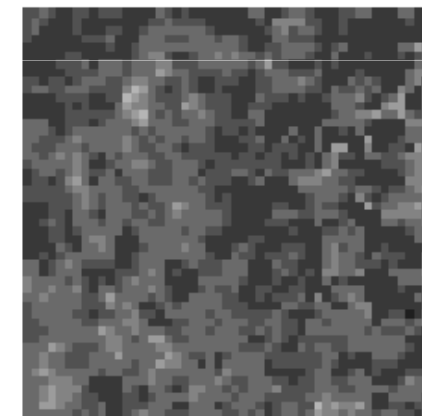


SOSTENIBILIDAD (individuo)

Distribución de las clases del mapa

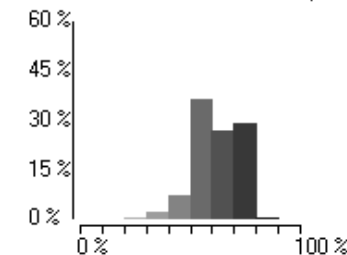


MAPA DE SOSTENIBILIDAD PROMEDIO DEL GRUPO

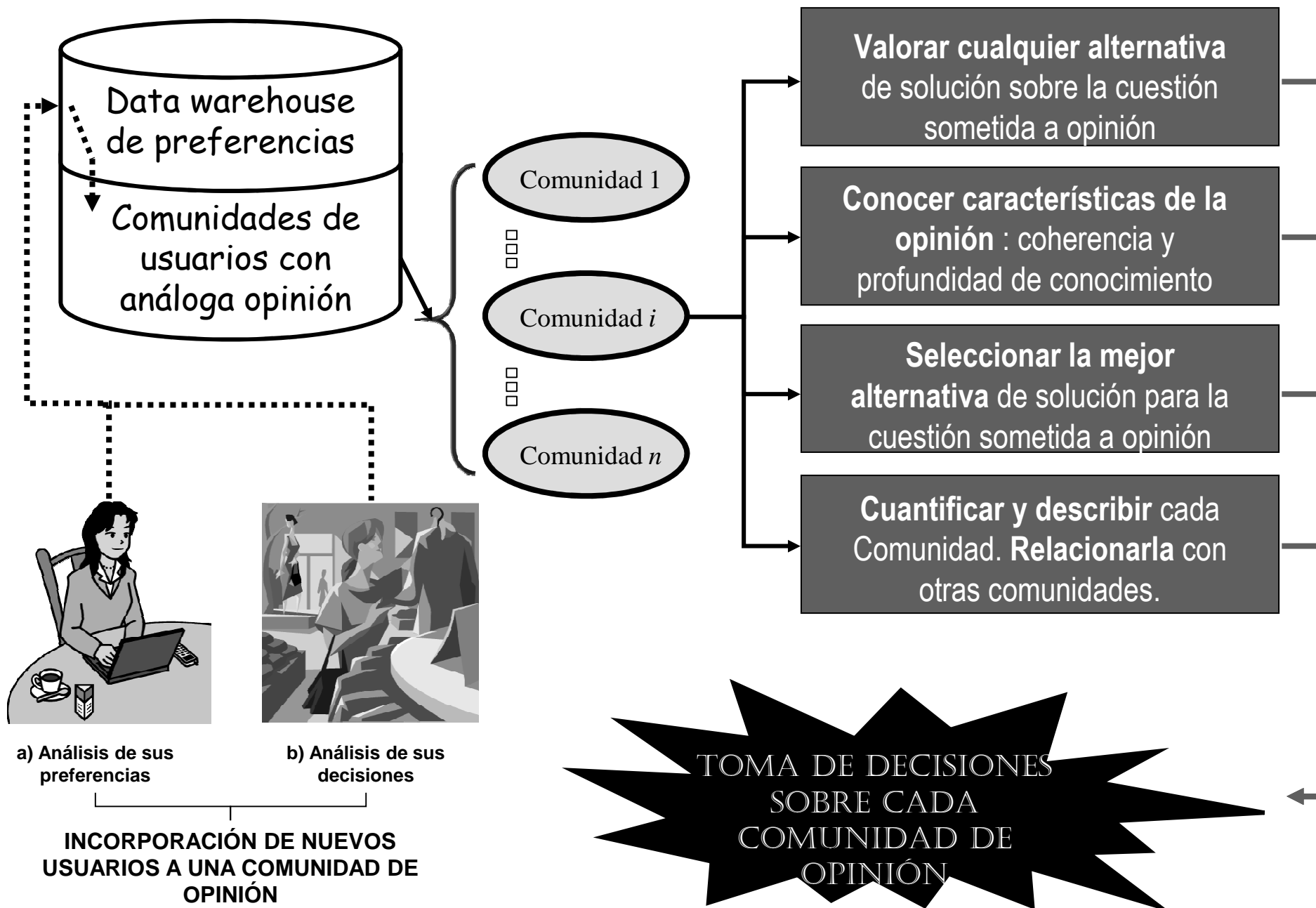


SOSTENIBILIDAD (grupo)

Distribución de las clases del mapa



# OPERATIVIDAD DE LAS COMUNIDADES DE OPINIÓN.



# RELACIÓN ENTRE COMUNIDADES DE OPINIÓN.

## SISTEMAS COMPLEJOS.

### *CAS (Complex Adaptive Systems)*

- ❑ Complejos: el todo es más que las partes, lo que significa que:
  - ✓ Sistema como conjunto de componentes que interaccionan.
  - ✓ Cada componente tiene sus propias reglas y responsabilidades.
  - ✓ Algunos componentes pueden influir más que otros, pero ninguno controla completamente el comportamiento del sistema.
  - ✓ Todos los componentes contribuyen en mayor o menor medida al resultado final.
- ❑ Adaptativos: Reaccionan, aprenden del ambiente y modifican su comportamiento para alcanzar algún objetivo.

El **comportamiento emergente** de un sistema son las reacciones del sistema que superan la mera suma de sus partes.

**Agentes.**- Todo lo que puede tomar decisiones en un sistema. Como:

- Ciudadanos en procesos de participación
- Ejecutivos y empleados.
- Organizaciones completas.
- Sistemas informáticos.
- Consumidores, ...

**ABMS** (simulación y modelización basadas en agentes) proceso de representación del comportamiento de los componentes del sistema para reproducir el comportamiento de todo el sistema. Combina:

- Conocimiento profundo del comportamiento emergente.
- La utilización de herramientas probadas de modelización y simulación.

# RELACIÓN ENTRE COMUNIDADES DE OPINIÓN.

## CARACTERIZACIÓN DE LOS AGENTES.

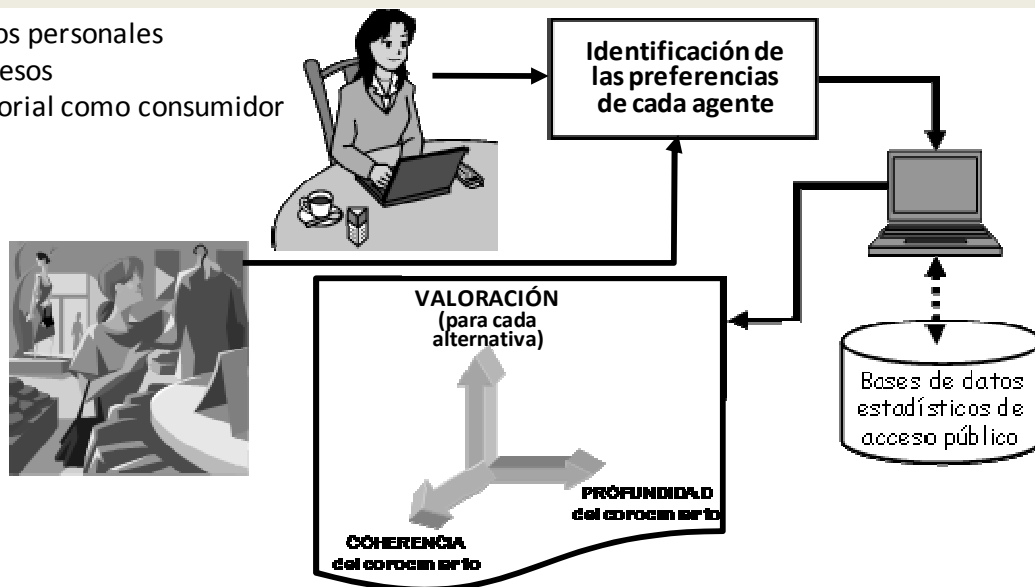
AGENTES	Ejemplo de consumidor individual	Ejemplo de corporación	Propiedades
<b>Atributos</b> Definen lo que es un agente.	Personales: Sexo, edad, ... Ingresos. Preferencias como consumidor. Historial como comprador. etc.	Recursos. Tiempos de respuesta de decisiones. Objetivos de beneficios. Objetivos de producción. Objetivos de tasa de mercado. Tolerancia al riesgo. etc.	✓ Pueden evolucionar y cambiar con el tiempo. ✓ Simples, multifactoriales (preferencias) o anidados (subagentes en una organización).
<b>Comportamientos</b> Definen lo que hace un agente.	Productos que usa. Servicios que recibe. Compras que realiza. etc.	Respuesta a sucesos inesperados. Operación diaria. Operación semanal. Operación mensual. Operación anual. etc.	✓ Facetas del comportamiento. ✓ Pasos del comportamiento. ✓ Requisitos para ABMS. ✓ Modelado del comportamiento.

### Atributos:

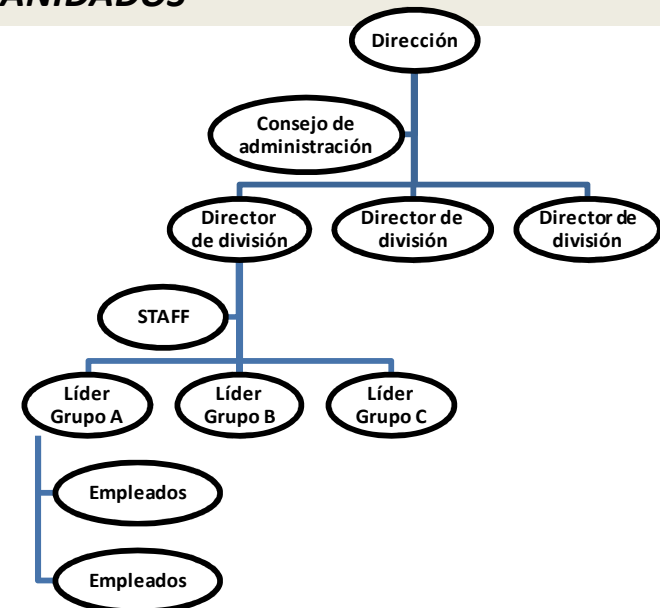
#### SIMPLES

Datos personales  
Ingresos  
Historial como consumidor

#### MULTIFACTORIALES



#### ANIDADOS

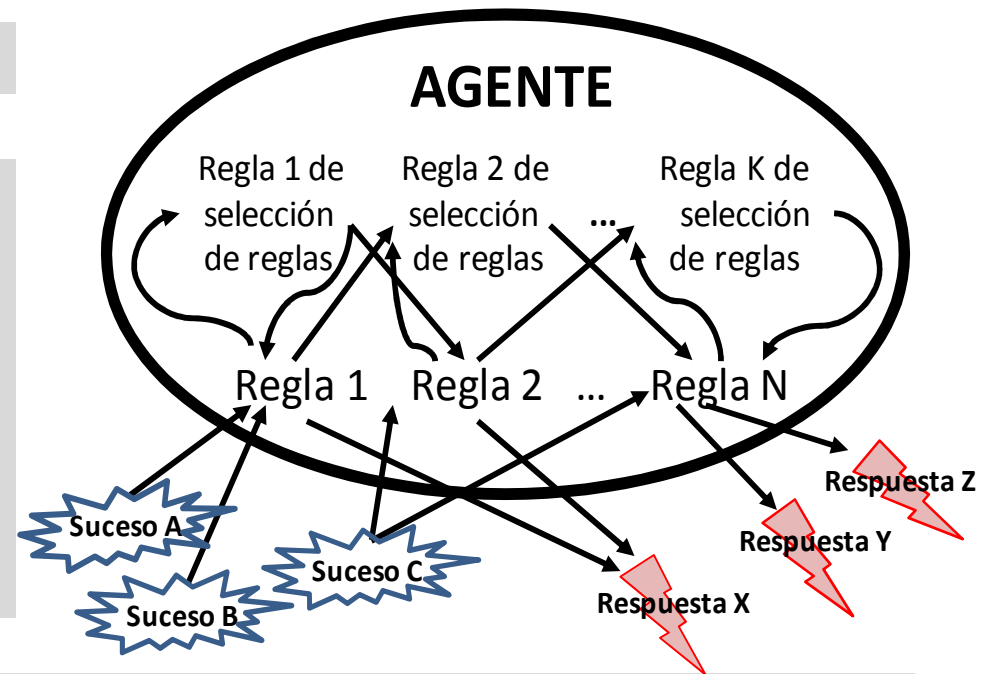


# RELACIÓN ENTRE COMUNIDADES DE OPINIÓN.

## Comportamientos:

### FACETAS:

- Reglas de decisión para seleccionar medidas:
  - Reglas de nivel básico.
  - Reglas que modifican las reglas de nivel básico.
- Capacidades adaptativas para aprender de la experiencia.
- Capacidades de percepción para comprender el entorno.
- Modelos internos para proyectar consecuencias de decisiones.



### REQUISITOS:

- Con capacidad de aprender, modificar y redirigir el comportamiento a la consecución de objetivos (adaptativos).
- Existencia de algún grado de autonomía en los agentes.
- Existencia de múltiples agentes heterogéneos.

### PASOS:

- 1) Evaluación del estado actual y determinación de lo que hacer en ese momento.
- 2) Ejecución de la decisiones elegidas.
- 3) Evaluación de resultados de las actuaciones y ajuste de las reglas a partir de resultados.

**Operación incremental con ciclos cortos de decisión**

### MODELADO DEL COMPORTAMIENTO:

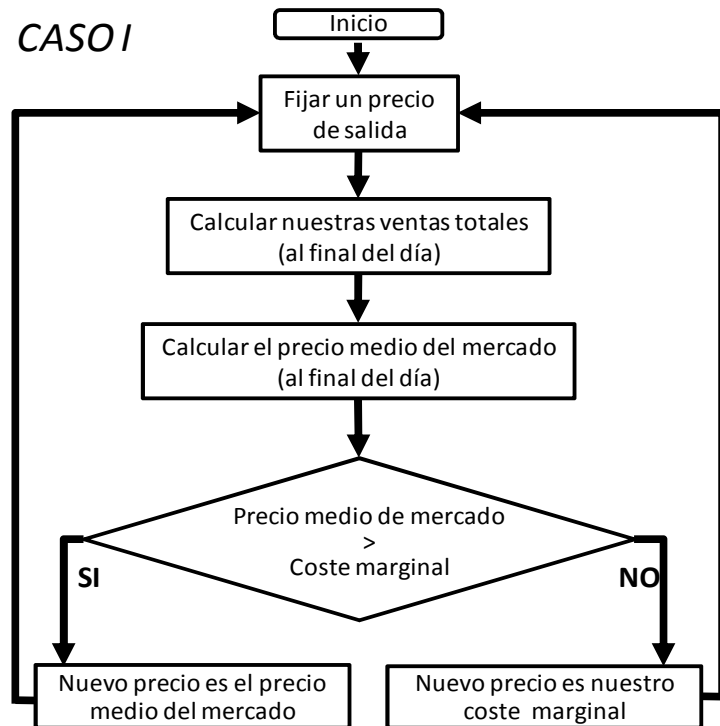
- Reglas simples
- Reglas complejas.
- Técnicas avanzadas.
- Programas externos.
- Agentes anidados.

# RELACIÓN ENTRE COMUNIDADES DE OPINIÓN.

## Agentes con reglas simples (proto-agentes)

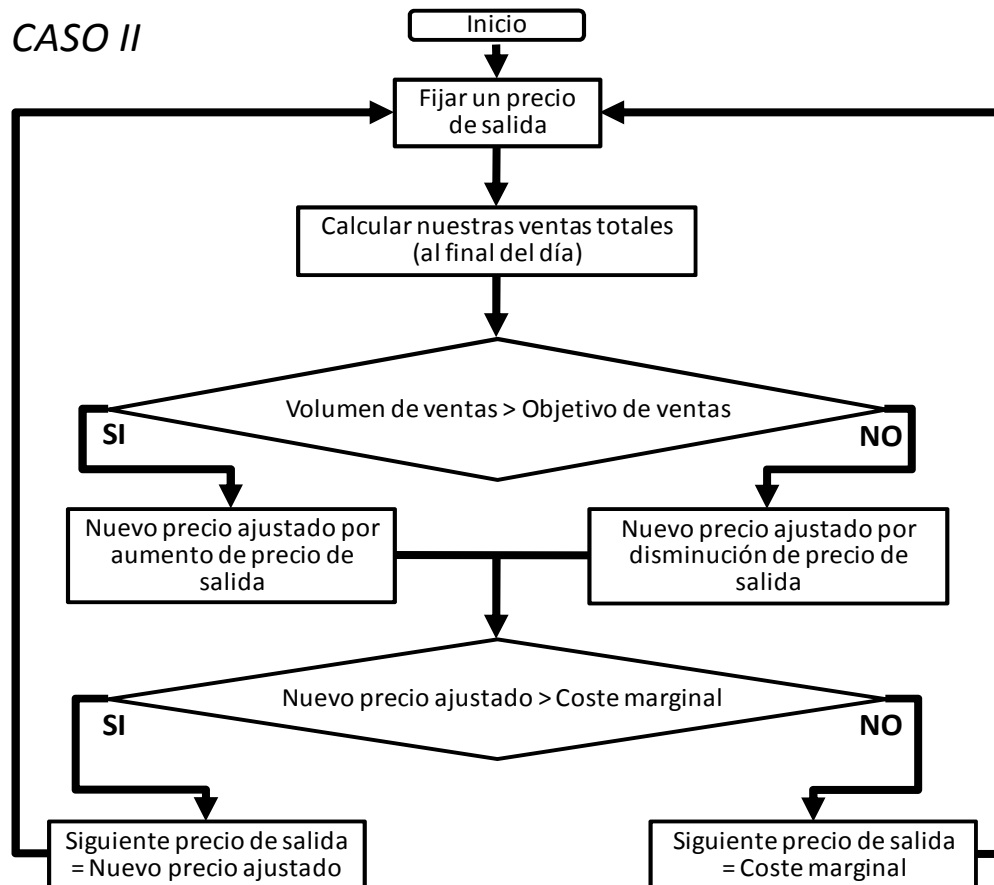
Mercado de corro:

CASO I



Mercado de corro:

CASO II



En ambos casos, los agentes actúan como meros descubridores de precios (reaccionan), pero no son capaces de modificar su comportamiento (**no son adaptativos**).

### PROTOAGENTES:

- ✓ Los estímulos externos (que determinan la activación de las reglas) son mutuamente excluyentes o están priorizados.
- ✓ No son adaptativos porque sólo es posible un tipo de comportamiento: tienen una regla (o varias secuenciadas).
- ✓ Es un único agente o son agentes homogéneos.

ADAPTATIVOS

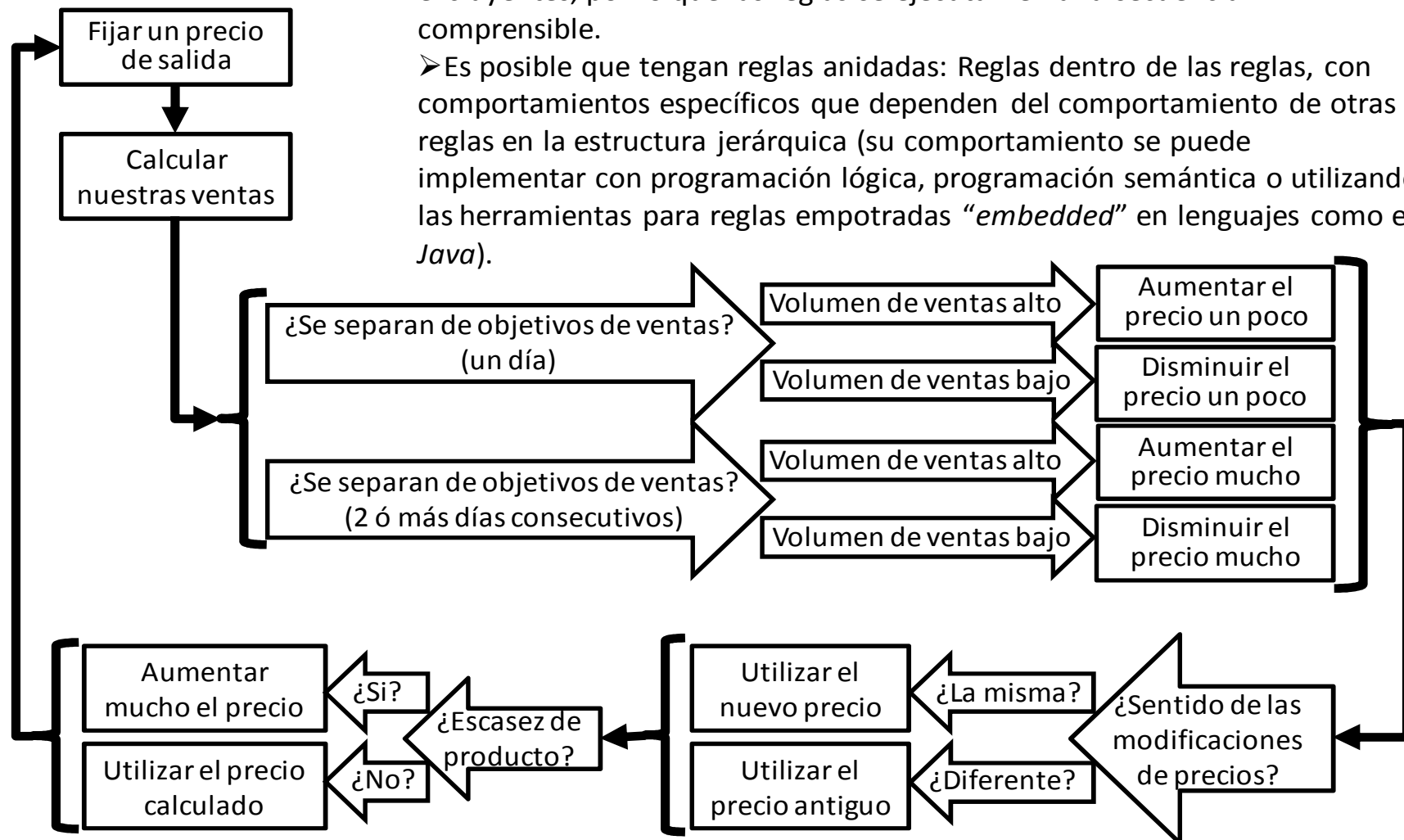
Incorporar comportamientos adicionales (reglas en paralelo)

Añadir agentes heterogéneos.

## RELACIÓN ENTRE COMUNIDADES DE OPINIÓN.

### Agentes complejos

- Aumentan el detalle, fidelidad y expresividad del modelo mediante la activación de múltiples reglas en un mismo ciclo de decisiones y con complicados mecanismos de activación.
- Los estímulos externos siguen estando priorizados o siendo mutuamente excluyentes, por lo que las reglas se ejecutan en una secuencia comprensible.
- Es posible que tengan reglas anidadas: Reglas dentro de las reglas, con comportamientos específicos que dependen del comportamiento de otras reglas en la estructura jerárquica (su comportamiento se puede implementar con programación lógica, programación semántica o utilizando las herramientas para reglas empotradas “*embedded*” en lenguajes como el *Java*).



# RELACIÓN ENTRE COMUNIDADES DE OPINIÓN.

## Técnicas avanzadas

### Métodos estadísticos:

Enfoque de modelización que trata a los sistemas o a sus componentes como a una caja negra y busca determinar las salidas del sistema a partir de las entradas, al mismo, sin considerar la estructura interna del sistema o los procesos causales.

Es útil para la búsqueda numérica de correlaciones entre datos cuantitativos.

La **regresión logística multinomial** es un ejemplo de método que se puede utilizar para predecir la evolución de sucesos discretos.

### Métodos de optimización:

Métodos dirigidos a encontrar la mejor solución, para un problema bien definido, en un conjunto muy grande de posibles soluciones. Cuando el problema se puede formular matemáticamente a través de funciones continuas se pueden aplicar la **programación lineal** y la **cuadrática**, con o sin restricciones.

Para la optimización de sucesos discretos se utilizan técnicas de optimización combinatoria (**simulated annealing**).

### Métodos de inteligencia artificial:

Es la rama de las ciencias de la computación dedicada al desarrollo de agentes racionales no vivos.

**Programación lógica:** Simulación del razonamiento de la lógica matemática (análogo al pensamiento abstracto humano) en la programación de aplicaciones informáticas.

**Redes neuronales:** Simulación del funcionamiento del sistema nervioso de los animales. El objetivo es conseguir que las máquinas den respuestas similares a las que es capaz de dar el cerebro que se caracterizan por su generalización y su robustez.

**Algoritmos genéticos:** Se inspiran en la evolución biológica y su base genético-molecular.

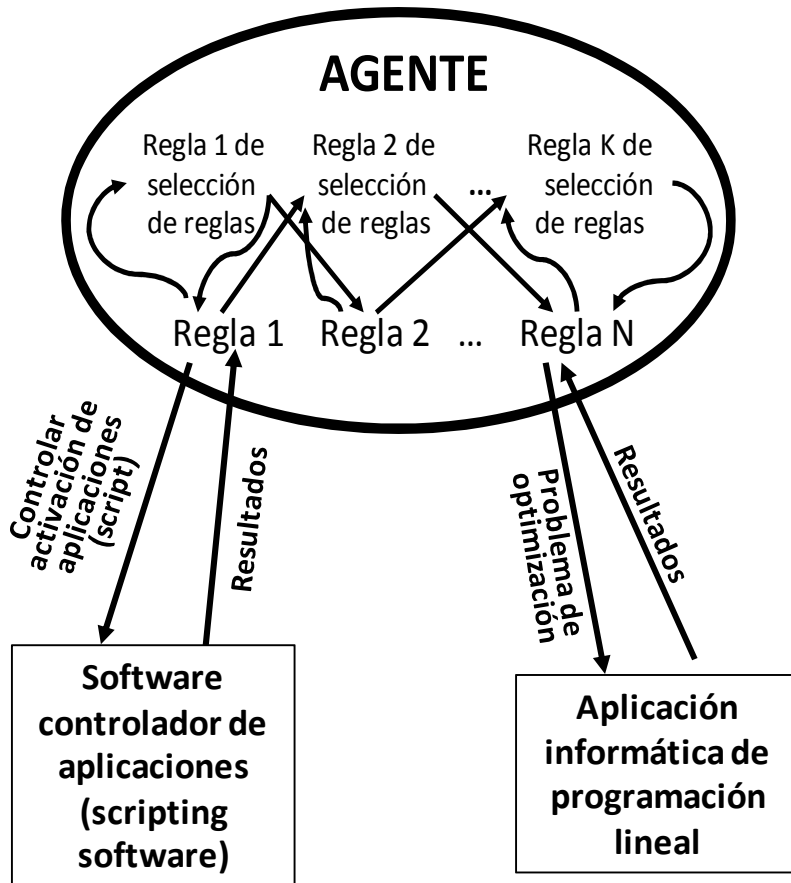
**Inteligencia de enjambre:** Estos sistemas están constituidos típicamente de agentes simples que interactúan entre ellos y con su ambiente. Los agentes siguen reglas simples y, aunque no existe una estructura de control que dictamine el comportamiento de cada uno de ellos, las interacciones locales entre los agentes conduce a la emergencia de un comportamiento global complejo (colonias de hormigas, alineamiento de aves en vuelo, comportamiento de rebaños, crecimiento bacteriano y comportamiento de los bancos de peces).

# RELACIÓN ENTRE COMUNIDADES DE OPINIÓN.

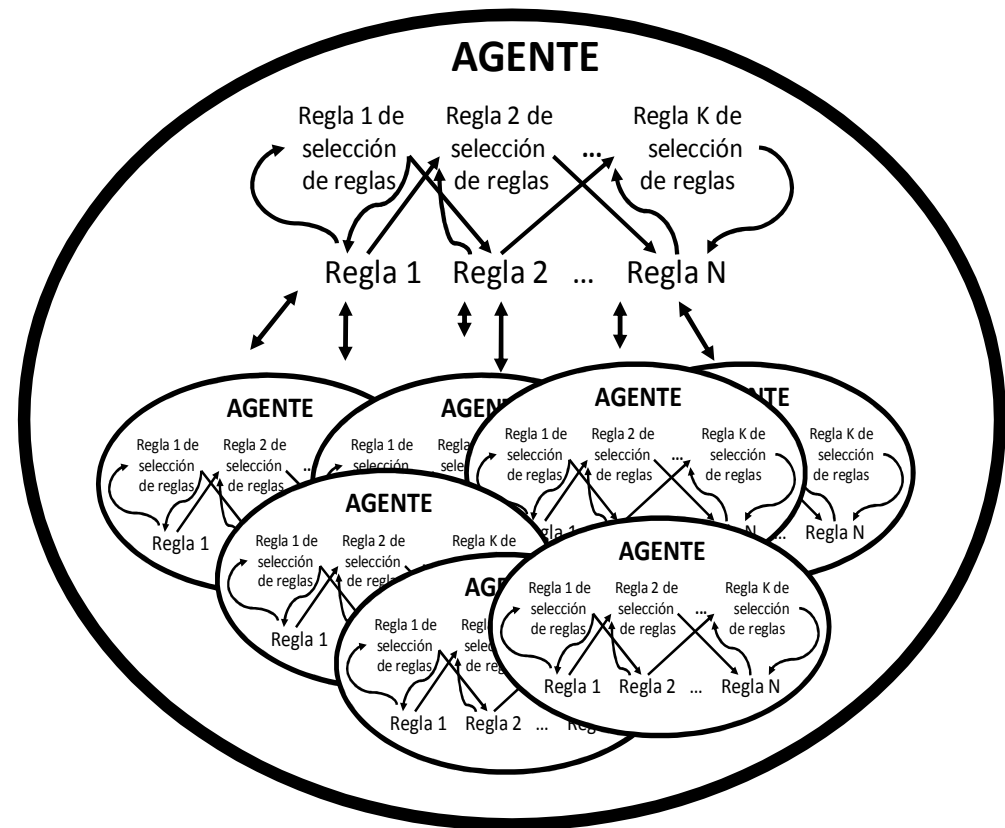
## Técnicas especiales

Bajo este epígrafe se agrupan diferentes procedimientos heurísticos y contruidos a medida (empaquetados) para la resolución de problemas específicos.

**Programas externos** que implementan el comportamiento de los agentes o proporcionan librerías de software



**Subagentes anidados** agentes que a su vez se modelan como sistemas complejos adaptativos.



# RELACIÓN ENTRE COMUNIDADES DE OPINIÓN.

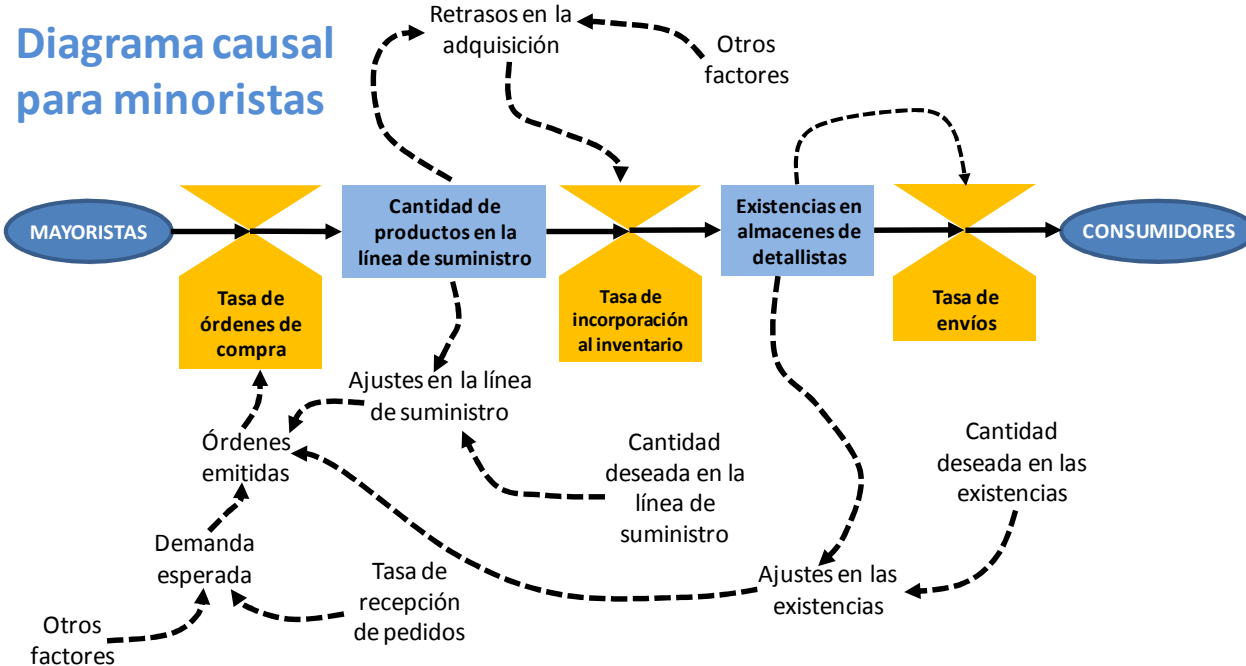
## TÉCNICAS DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS COMPLEJOS.

### Modelización de sistemas dinámicos.

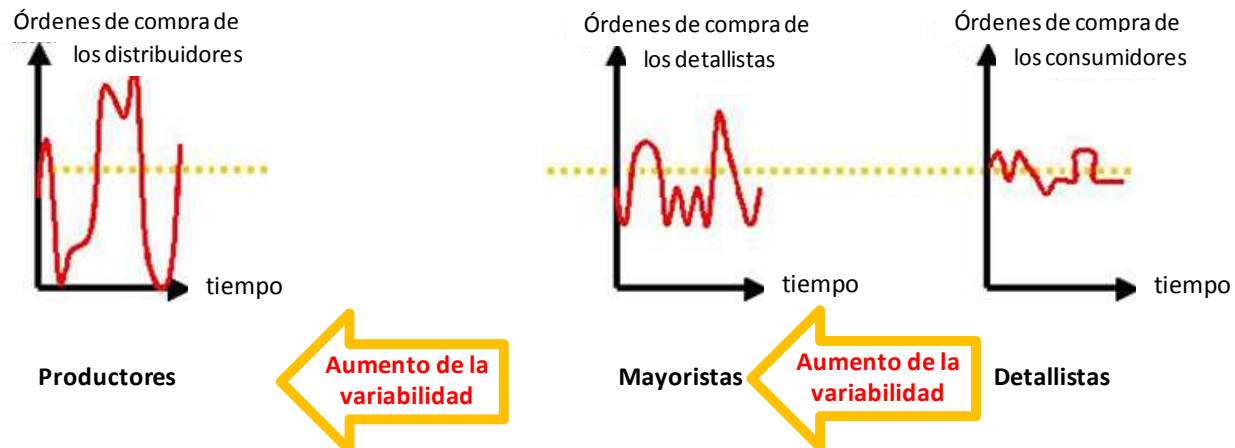
Modeliza, en un nivel general de detalle, el funcionamiento interno de un proceso estratégico, a través de ecuaciones diferenciales que reflejan el estado de sus variables de un instante a otro (variables de existencias y de flujo).

#### Limitaciones:

- ✓ No puede reflejar la interacción espacial de los agentes con el territorio.
- ✓ No incorpora las redes de agentes que interaccionan con el tiempo.
- ✓ La consideración de variables discretas (conjuntos de pedidos) no se puede obtener por truncamiento directo de las soluciones obtenidas.
- ✓ Tampoco se pueden incorporar restricciones en las variables de decisión.



### Efecto "cola de toro"



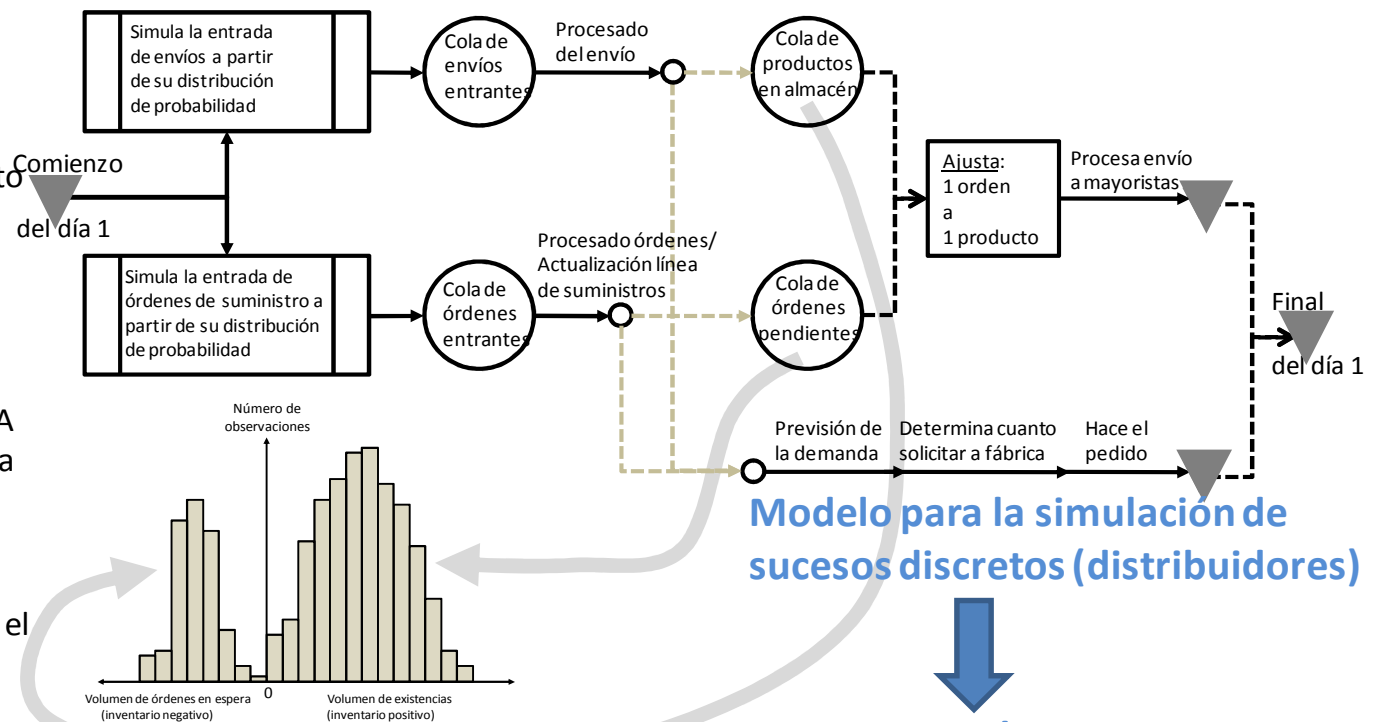
# RELACIÓN ENTRE COMUNIDADES DE OPINIÓN.

## Modelización de sucesos discretos.

Modeliza con un gran nivel de detalle, el funcionamiento interno de un proceso dinámico, a través de la programación de la ocurrencia de sucesos discretos en instantes de tiempo, también discretos. A su vez, cada suceso, provoca una cadena de sucesos futuros que también deben programarse según evoluciona la simulación en el tiempo.

### Limitaciones:

- ✓ Se pone el énfasis en un conjunto reducido de procesos y relaciones que se definen al comienzo de la simulación, pero: no cambian con el tiempo y deben ser bien comprendidos y estar perfectamente definidos.
- ✓ La existencia de múltiples niveles de decisión incrementa exponencialmente la dificultad de este enfoque.



Modelo para la simulación de sucesos discretos (distribuidores)

### Cronograma de sucesos:

Actividad	Ocurrencia de sucesos:	
	DIA 1	DIA 2
• Procesar la orden entrante	▲	▲
• La orden espera a que haya existencias	■	■
• Procesar el envío entrante	▲	▲
• Las existencias esperan por la orden	■	■
• Procesar el envío saliente	▲	▲
• Prever la demanda	▲	▲
• Determinar el orden siguiente	▲	▲
• Hacer el pedido "aguas arriba"	▲	▲

# RELACIÓN ENTRE COMUNIDADES DE OPINIÓN.

## Simulación participativa.

Versión del *crowdsourcing* para simular las interacciones entre los componentes de un sistema y comprender su comportamiento. Cada componente se sustituye por una persona o un grupo de personas que toman las decisiones del sistema.

### Condiciones de aplicación:

- ✓ Buena herramienta de formación y entrenamiento para transmitir conocimiento.
- ✓ También es buena para entender el comportamiento de la gente; las estrategias que despliegan como respuesta a situaciones específicas y cómo interaccionan y se posicionan los participantes respecto a otros grupos.
- ✓ La gente no comprende la gestión de sistemas con muchos componentes y no tiene en cuenta los efectos de las segundas o terceras causas en sus decisiones.

## Modelos estadísticos.

### Análisis de riesgos.

Técnica de modelización que evalúa la exposición de las compañías a sucesos que afectan negativamente su valor. Requiere:

- Identificar los sucesos negativos.
- Transformar estos sucesos en impactos cuantificables

Aplicación al control de inventarios:



### Condiciones de aplicación:

- ✓ Es de cálculo simple, con expresión explícita de las hipótesis aceptadas y de aplicación a toda la compañía o a unidades separadas de negocio.
- ✓ Requiere estimar la probabilidad de ocurrencia de sucesos que nunca han ocurrido
- ✓ Se centra sólo en el peor de los posibles resultados
- ✓ No son aplicables a modelos complejos no lineales.

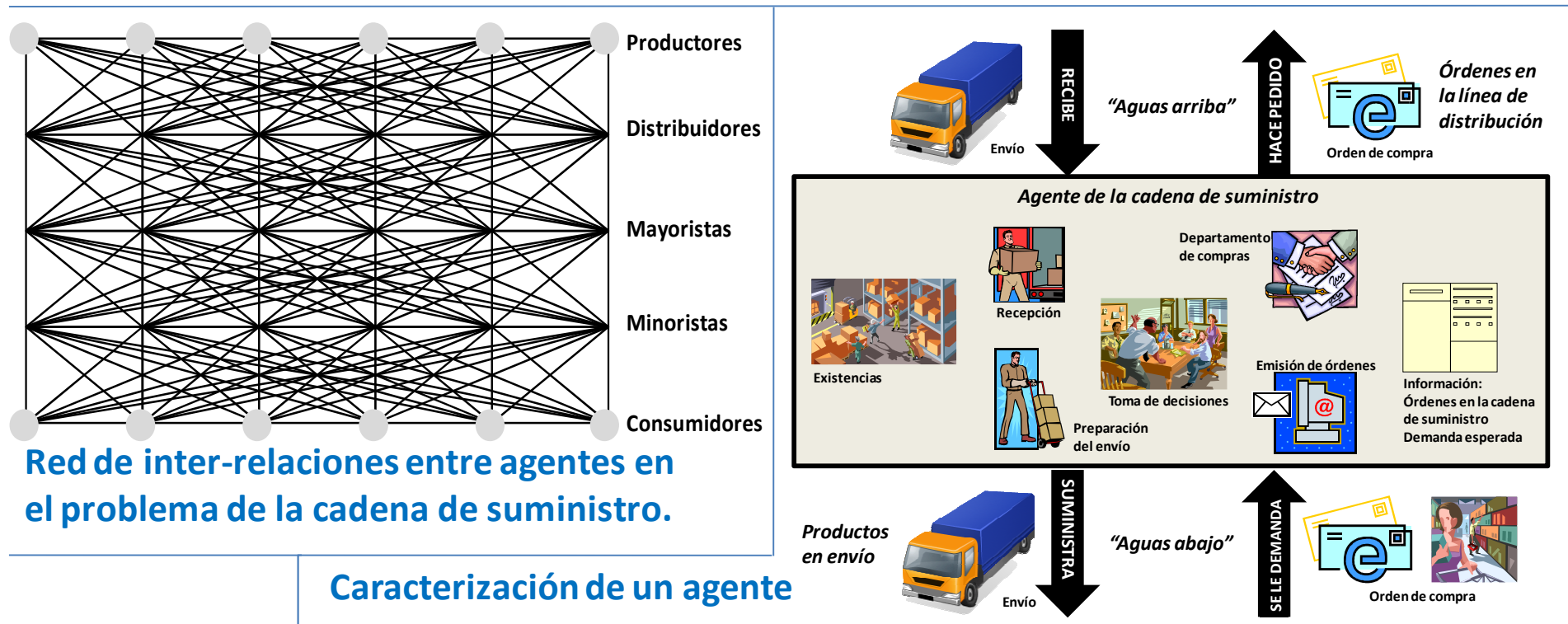
## Optimización y técnicas de inteligencia artificial

# RELACIÓN ENTRE COMUNIDADES DE OPINIÓN.

## Simulación basada en agentes.

Técnica de simulación en la que agentes independientes y con información local interactúan entre ellos. Cada agente, tiene la capacidad de evaluar y tomar decisiones en función de su entorno y de los agentes próximos a él.

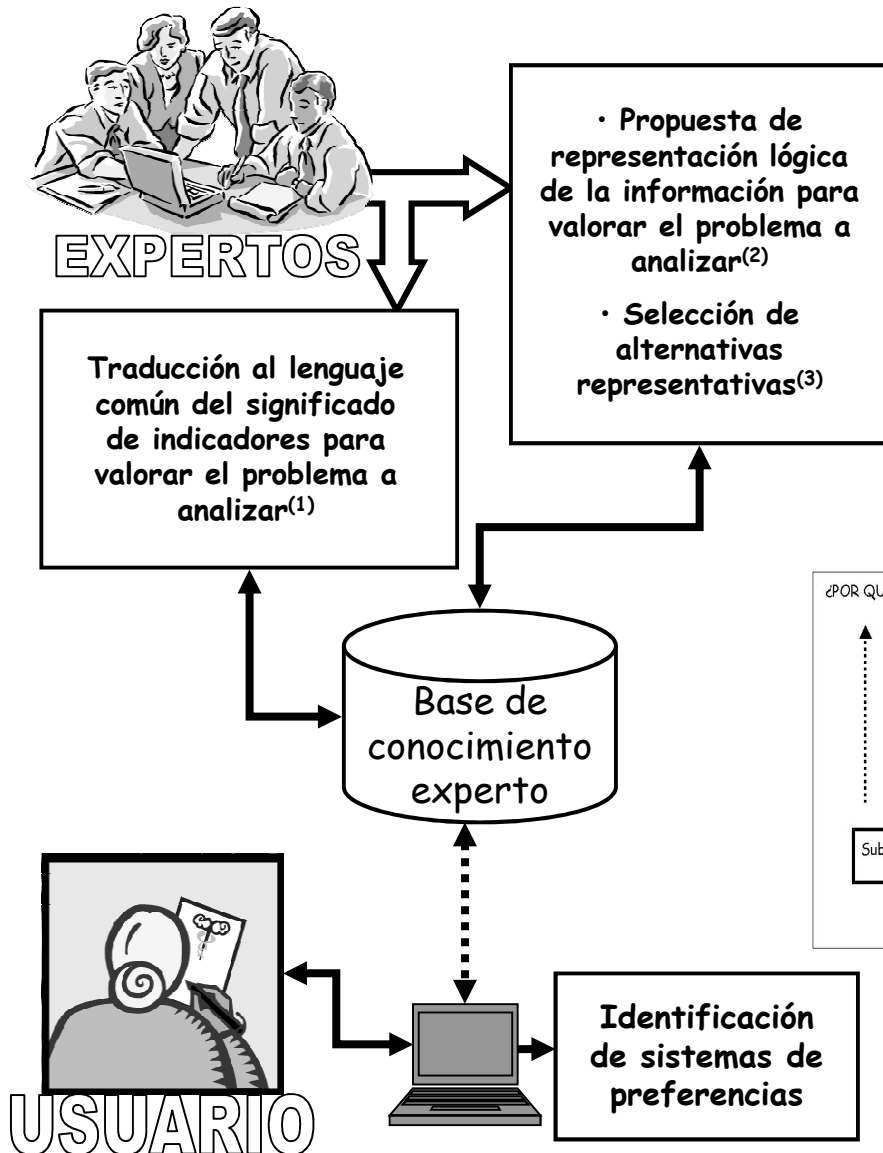
La simulación tiene herramientas para procesamiento en paralelo y para la caracterización de los agentes:



y permite controlar el comportamiento emergente y condiciones de las interacciones entre agentes para la consecución de un objetivo global.

# USO DE LA INFORMACIÓN.

La opinión depende de la persona y del grado de conocimiento que tiene la persona sobre el problema objeto de opinión. Por tanto, la información que se aporta es decisiva para configurar la opinión. El mensaje debe atender a la coherencia y profundidad de conocimiento del destinatario



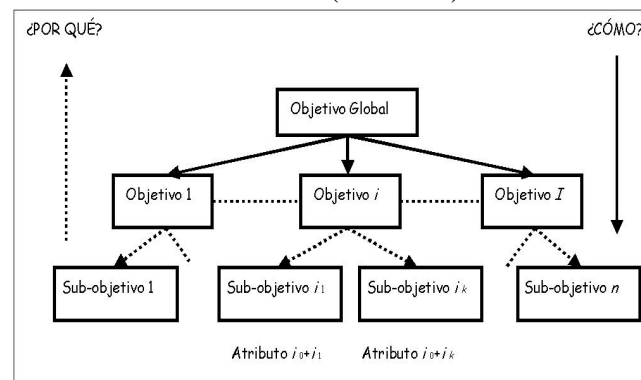
<sup>(1)</sup> Ejemplo de comunicación de los expertos a los usuarios:

Schiller, A., C. T. Hunsaker, M. A. Kane, A. K. Wolfe, V. H. Dale, G. W. Suter, C. S. Russell, G. Pion, M. H. Jensen, and V. C. Konar. 2001. **Communicating ecological indicators to decision makers and the public.** Conservation Ecology 5(1): 19. [online]URL . <http://www.consecol.org/vol5/iss1/art19>

<sup>(2)</sup> Con objeto de facilitar el conocimiento sobre problemas complejos es conveniente representar gráficamente las relaciones entre los elementos del mismo.

En caso de un problema de valoración, esta representación supone construir una jerarquía en los elementos del problema, que partiendo del problema global a valorar (objetivo global) se extienda hasta alcanzar problemas parciales más comprensibles (sub-objetivos).

Los objetivos mas comprensibles son los que se pueden medir directamente (atributos).



Posteriormente es necesario sintetizar la información que proporcionan diferentes atributos. Esto requiere identificar las preferencias del observador y transformarlas en un valor numérico que represente su opinión.

El proceso se repite en cada nudo de la jerarquía, de abajo a arriba, hasta asignar un valor al objetivo global.

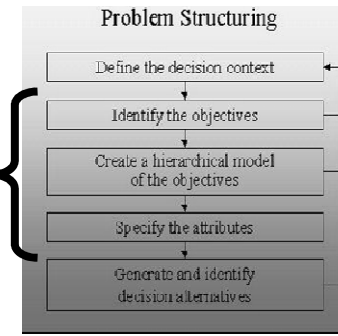
<sup>(3)</sup> La elección de un conjunto de alternativas representativas u otro puede determinar la decisión final.

# REPRESENTACIÓN LÓGICA DE LA INFORMACIÓN: Relación entre objetivos (Conjunto esquemas).

## Representación lógica de la información

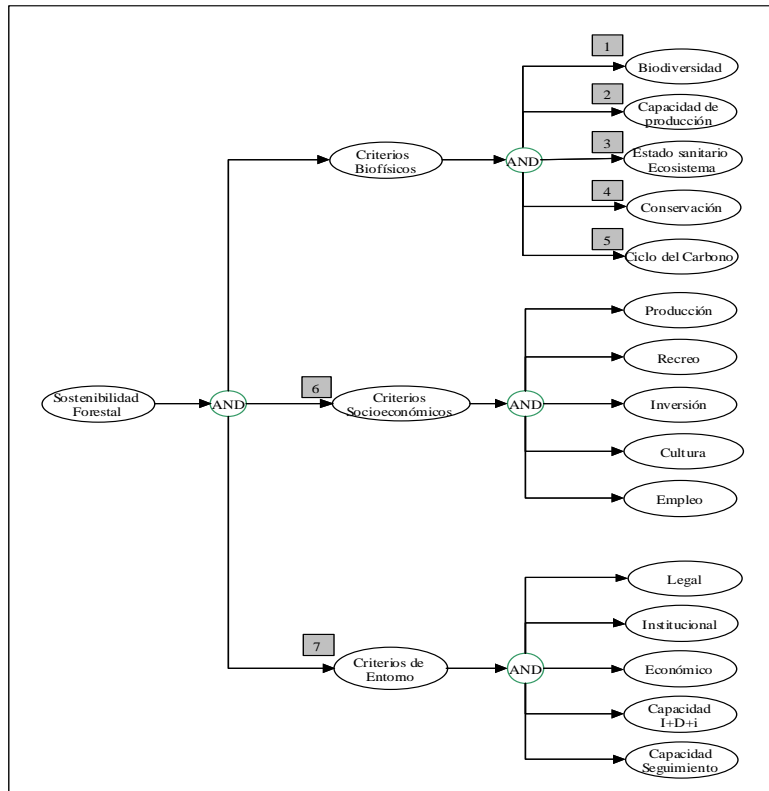
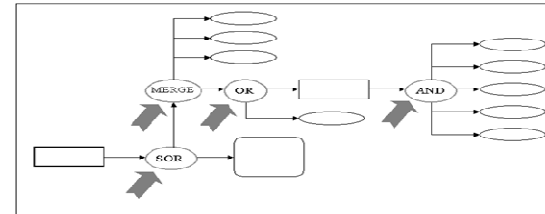
Los expertos también pueden definir la precisión requerida en la síntesis de información, especificando operaciones tipo:

- ✓ Caminos alternativos de preferencia (Sequential OR –SOR-);
- ✓ Unidades de evaluación que deben considerar valores límite (AND);
- ✓ Caminos indiferentes (OR) o
- ✓ Procesos generales de integración de la información que incorporen las preferencias de un observador (MERGE)

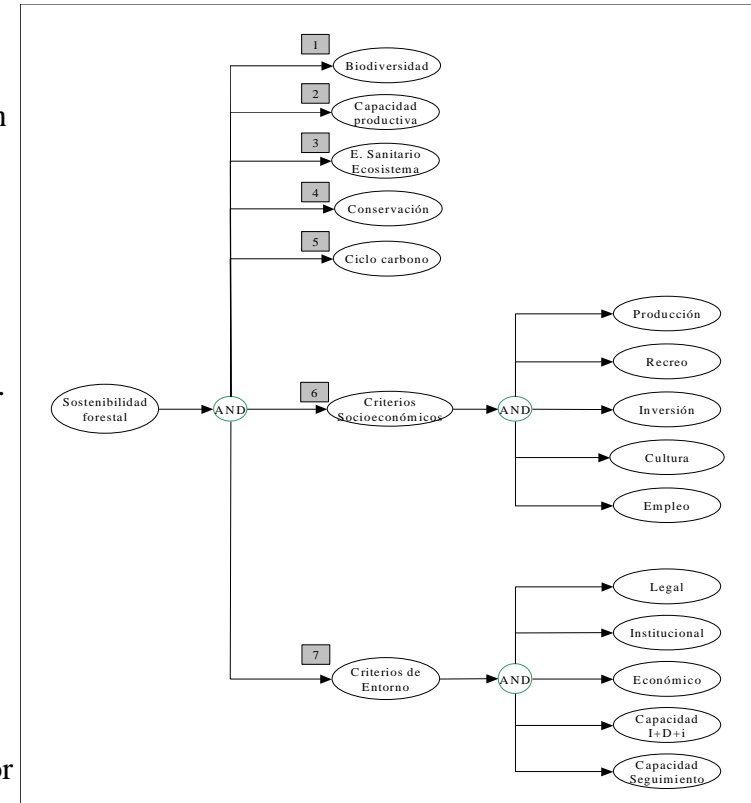


Reynolds, et al. 2000. Knowledge-based assessment of watershed condition. Computers and Electronics in Agriculture. 27, 315- 333.

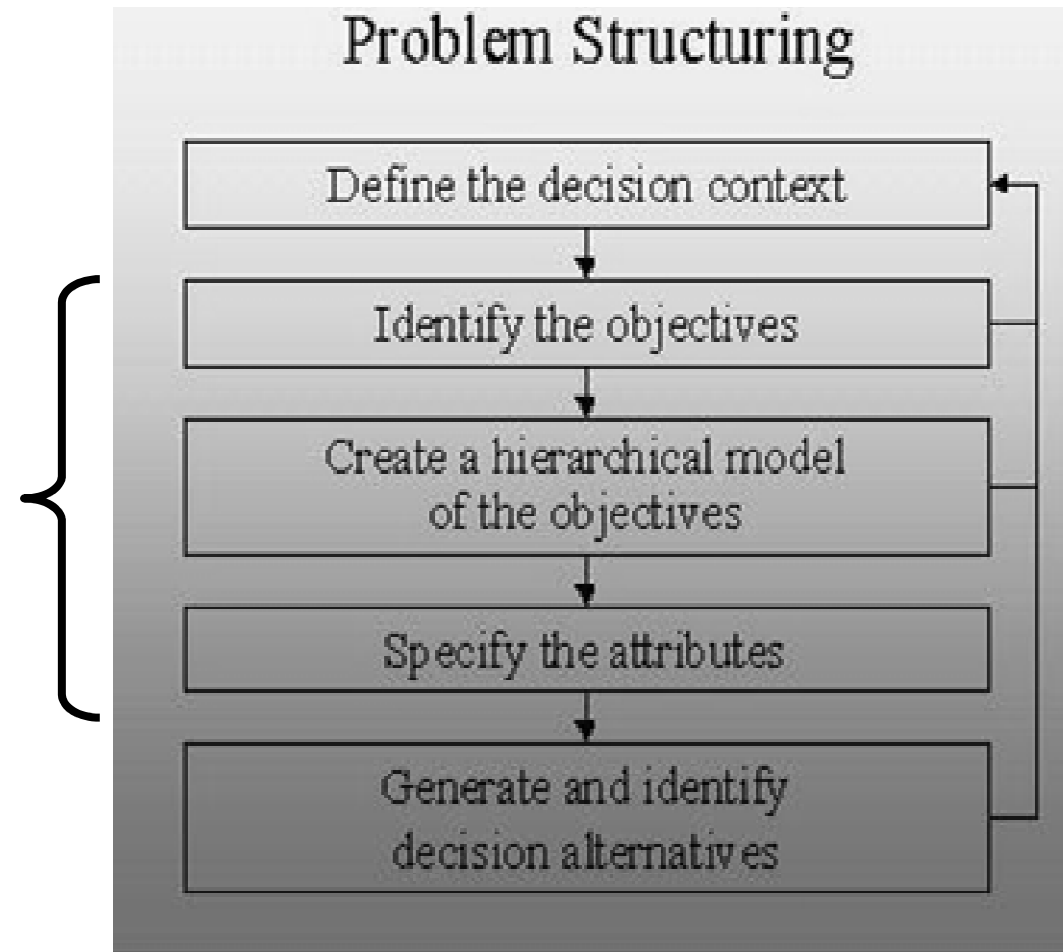
Reynolds, K.M. et al. (1999). EMDS: Knowledge-based Decision Support for Ecological Assessment.. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-470. USDA Forest Service & PNW Research Station.



Dos representaciones de la información alternativas, basadas en el sistema de gestión del conocimiento del USDA Forest Service, para evaluar la sostenibilidad ecológica forestal (Reynolds et al., 2000). Los números representan los indicadores de Montreal para la gestión forestal sostenible. La presentación de una u otra representación incidirá directamente en el valor asignado por un observador.



### Representación lógica de la información

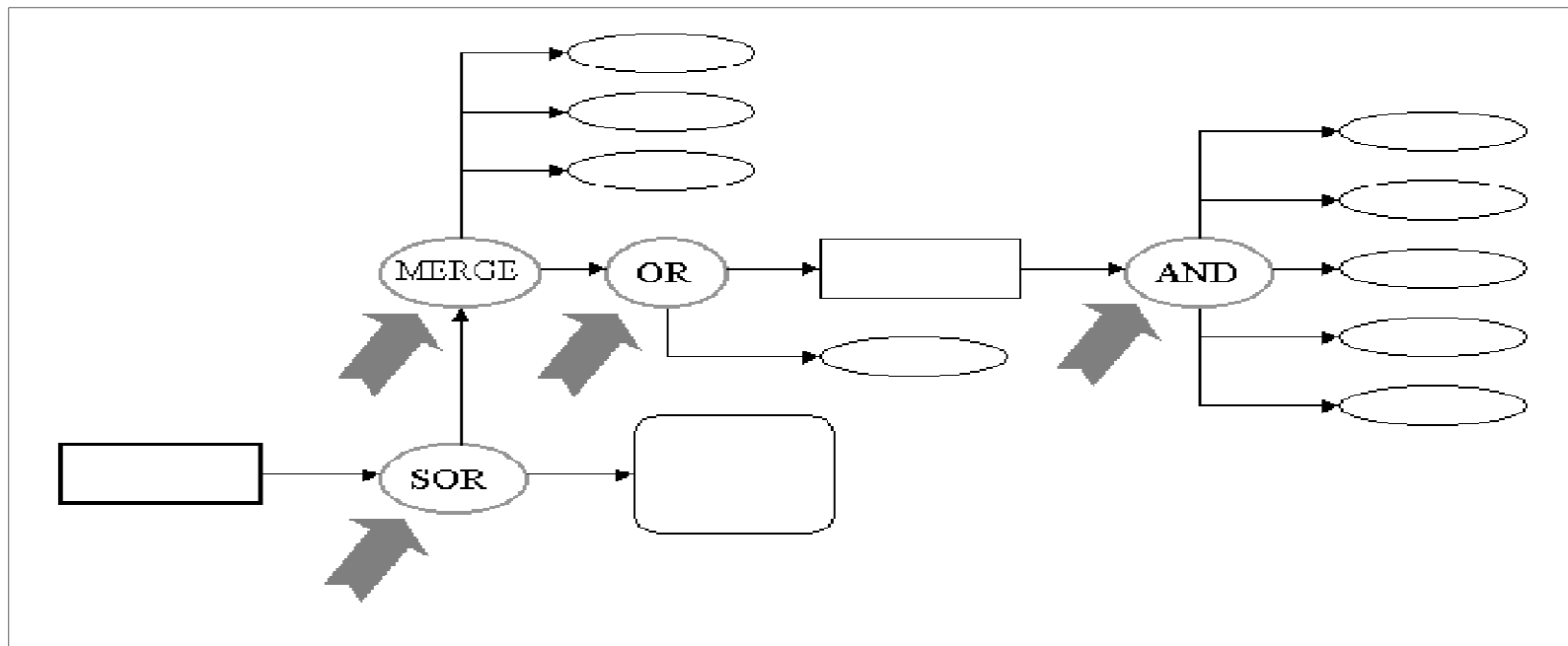


Reynolds, et al. 2000. Knowledge-based assessment of watershed condition. *Computers and Electronics in Agriculture*. 27, 315- 333.

## REPRESENTACIÓN LÓGICA DE LA INFORMACIÓN: Relación entre objetivos (II)

Los expertos también pueden definir la precisión requerida en la síntesis de información, especificando operaciones tipo:

- ✓ Caminos alternativos de preferencia (Sequential OR –SOR–);
- ✓ Unidades de evaluación que deben considerar valores límite (AND);
- ✓ Caminos indiferentes (OR) o
- ✓ Procesos generales de integración de la información que incorporen las preferencias de un observador (MERGE)

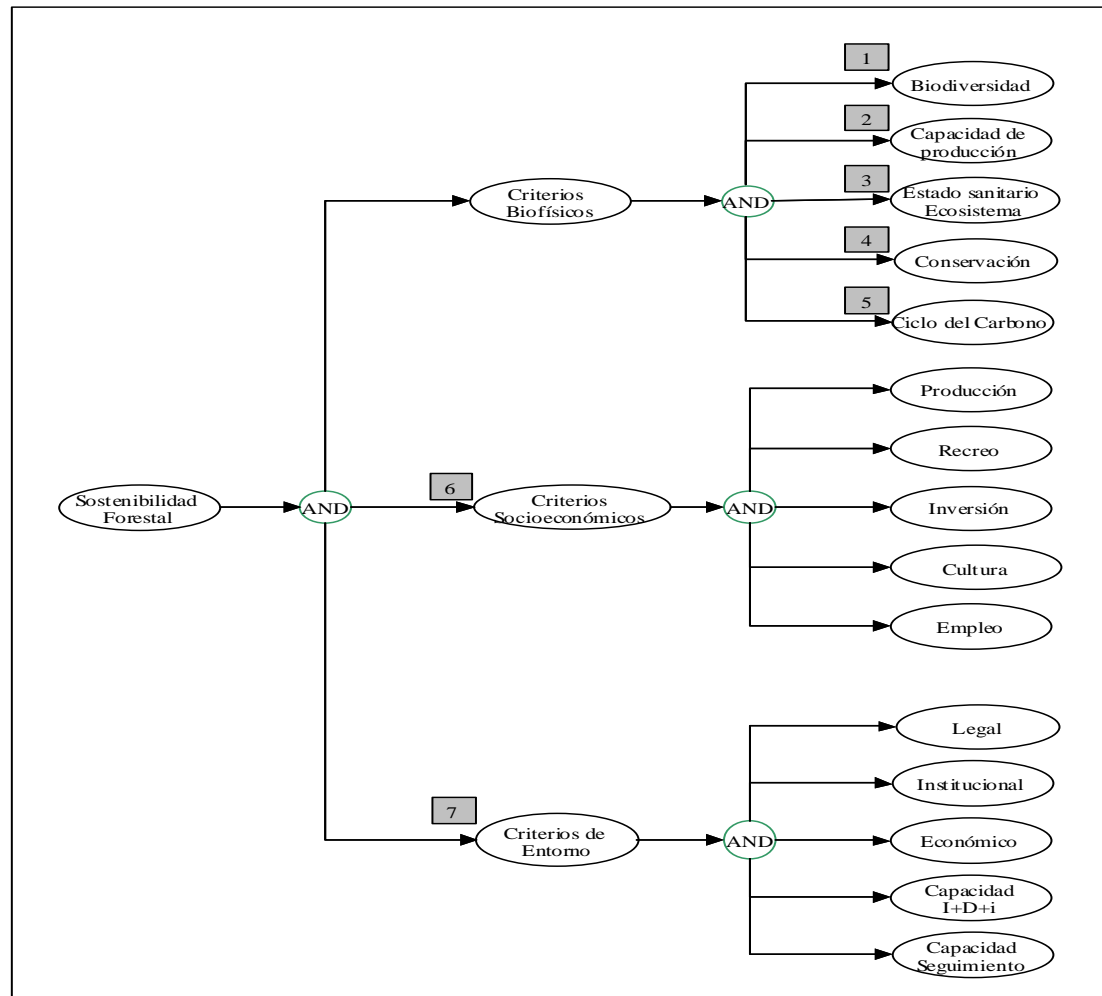


Reynolds, K.M. et al. (1999). EMDS: Knowledge-based Decision Support for Ecological Assessment... Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-470. USDA Forest Service & PNW Research Station.

# REPRESENTACIÓN LÓGICA DE LA INFORMACIÓN: Relación entre objetivos (III) - A

Dos representaciones (A y B) alternativas de la información, basadas en el sistema de gestión del conocimiento del USDA Forest Service, para evaluar la sostenibilidad ecológica forestal (Reynolds et al., 2000). Los números representan los indicadores de Montreal para la gestión forestal sostenible. La presentación de una u otra representación incidirá directamente en el valor asignado por un observador.

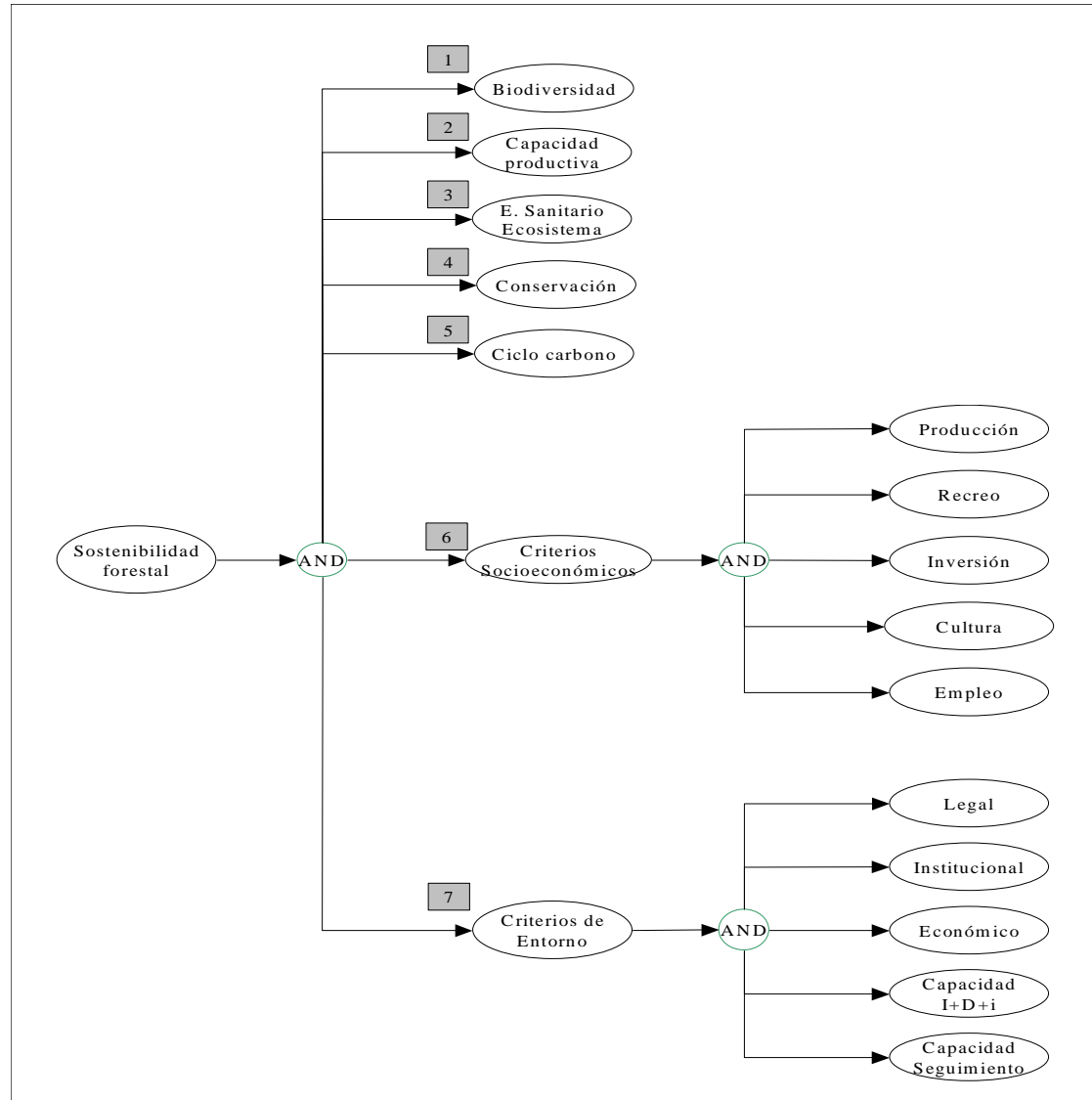
## ALTERNATIVA A



## REPRESENTACIÓN LÓGICA DE LA INFORMACIÓN: Relación entre objetivos (III) - B

Dos representaciones (A y B) alternativas de la información, basadas en el sistema de gestión del conocimiento del USDA Forest Service, para evaluar la sostenibilidad ecológica forestal. Los números representan los indicadores de Montreal para la gestión forestal sostenible.

### ALTERNATIVA B (Reynolds et al., 2000)



# REPRESENTACIÓN LÓGICA DE LA INFORMACIÓN: Relación entre agentes (comunidades de opinión).

## REPRESENTACIÓN DE LOS AGENTES.

**Lenguaje Unificado de Modelado (UML**, por sus siglas en inglés, *Unified Modeling Language*) es el lenguaje de modelización de sistemas más conocido y utilizado en la actualidad. Es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema y que se utiliza para describir el modelo.

UML cuenta con varios tipos de diagramas que muestran diferentes aspectos de las entidades representadas. Para facilitar su comprensión es útil categorizarlos jerárquicamente:

**Diagramas de Estructura** que ponen el énfasis en los elementos que existen en el sistema modelado:

- Diagrama de clases
- Diagrama de componentes (UML 2.0)
- Diagrama de objetos
- Diagrama de estructura compuesta
- Diagrama de paquetes

**Diagramas de Comportamiento** que ponen el énfasis en la actuación del sistema modelado:

- Diagrama de actividades
- Diagrama de casos de uso
- Diagrama de estados

**Diagramas de Interacción** que son un subtipo de diagramas de comportamiento y enfatizan el flujo de control y de datos entre los elementos del sistema modelado:

- Diagrama de secuencia
- Diagrama de comunicación, que es una versión simplificada del Diagrama de colaboración (UML 1.x)
- Diagrama de tiempos (UML 2.0)
- Diagrama global de interacciones o Diagrama de vista de interacciones (UML 2.0)

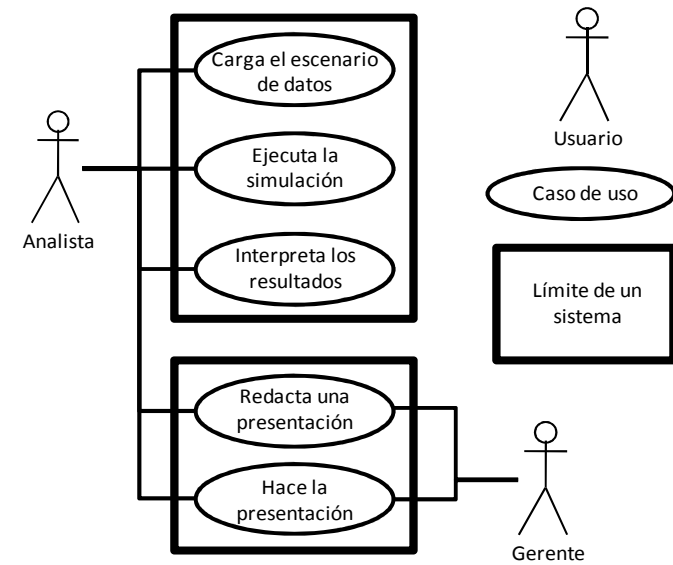
Desde el año 2005 UML es un estándar aprobado por la ISO como ISO/IEC 19501:2005 Information technology — Open Distributed Processing — Unified Modeling Language (UML) Version 1.4.2.

# REPRESENTACIÓN LÓGICA DE LA INFORMACIÓN: Relación entre agentes (comunidades de opinión).

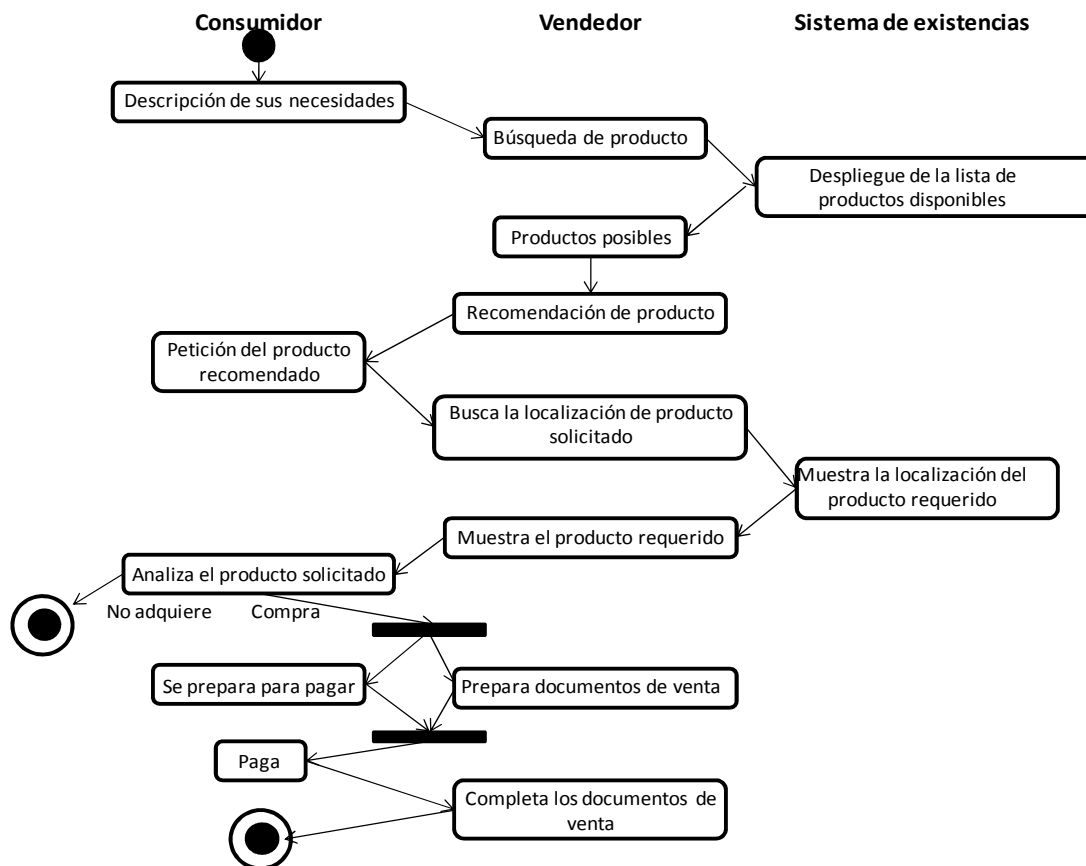
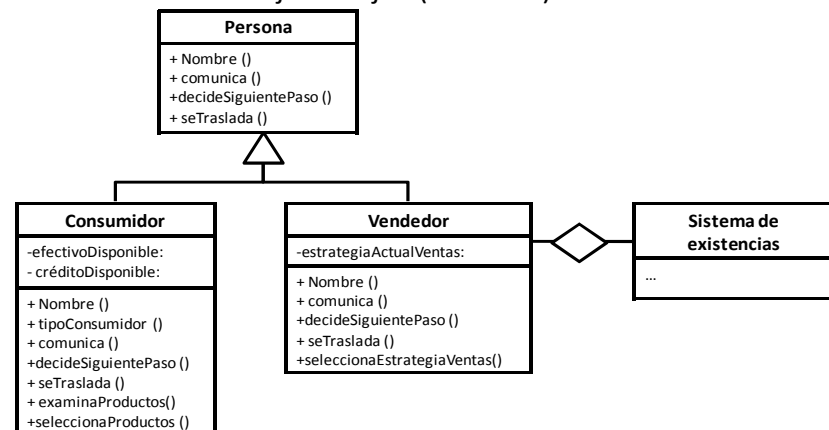
**Diagrama de casos de uso** es un diagrama de comportamiento que describe la interacción entre los usuarios (humanos u otras entidades externas) y la aplicación informática. La interacción entre usuarios no se representa; si esta interacción es esencial para una descripción coherente del comportamiento, los límites del sistema, los casos de uso y la identificación de usuarios debe ser re-examinada. En general es necesario asignar cada rol o papel a un usuario diferente.

**Diagrama de estados** es una representación utilizada para identificar cada una de las rutas o caminos que puede tomar un flujo de información después de ejecutarse cada proceso.

**Diagrama de actividades** representa los flujos de trabajo entre sistemas o entre componentes en un sistema.



**Diagrama de clases.** Es un tipo de diagrama estático que describe la estructura de un sistema mostrando sus objetos. En concreto sus atributos; las relaciones entre ellos. (operaciones); el conjunto de operaciones que permiten a un objeto comportarse de cierta manera (interface) y la reutilización de un objeto padre para extender su funcionalidad a objetos hijos (herencia).



# REPRESENTACIÓN LÓGICA DE LA INFORMACIÓN: Relación entre agentes (comunidades de opinión).

**Diagrama de objetos.** Representa la estructura dinámica del sistema. Se puede considerar un caso especial de un diagrama de clases, en el que se muestran instancias específicas de clases (objetos) en un momento particular del sistema.

**Diagrama de componentes** representa cómo un sistema de software se divide en componentes y muestra las dependencias entre estos componentes.

**Diagrama de estructura compuesta** muestra la estructura interna de una clase y las *colaboraciones* que esta estructura hace posibles. Puede incluir *partes* internas; *puertas* mediante las cuales las partes interactúan entre ellas y con el mundo exterior, y *conectores* entre partes o puertas. Una *estructura compuesta* es un conjunto de elementos interconectados que colaboran en tiempo de ejecución para lograr algún propósito. Cada elemento tiene algún *rol* definido en la colaboración.

**Diagrama de despliegue** se utiliza para modelar el hardware utilizado en las implementaciones de sistemas y las relaciones entre sus componentes.

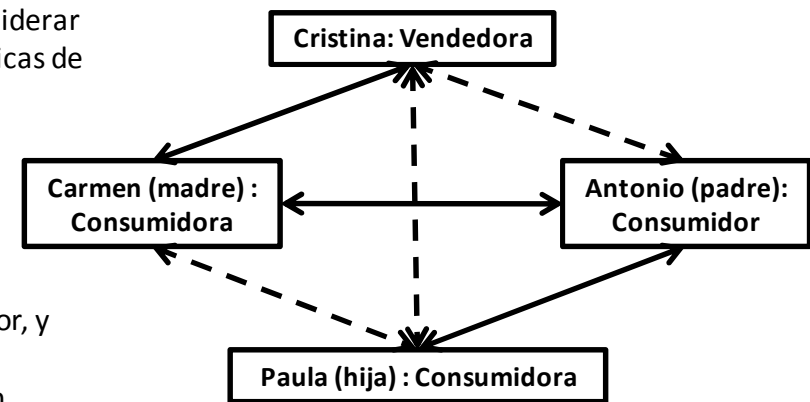
**Diagrama de paquetes** muestra como un sistema está dividido en agrupaciones lógicas y las dependencias entre esas agrupaciones

**Diagrama de secuencia** representa la ejecución temporal de un proceso por pasos. Muestran cómo se comportan los objetos en contacto con otros objetos y con el sistema general.

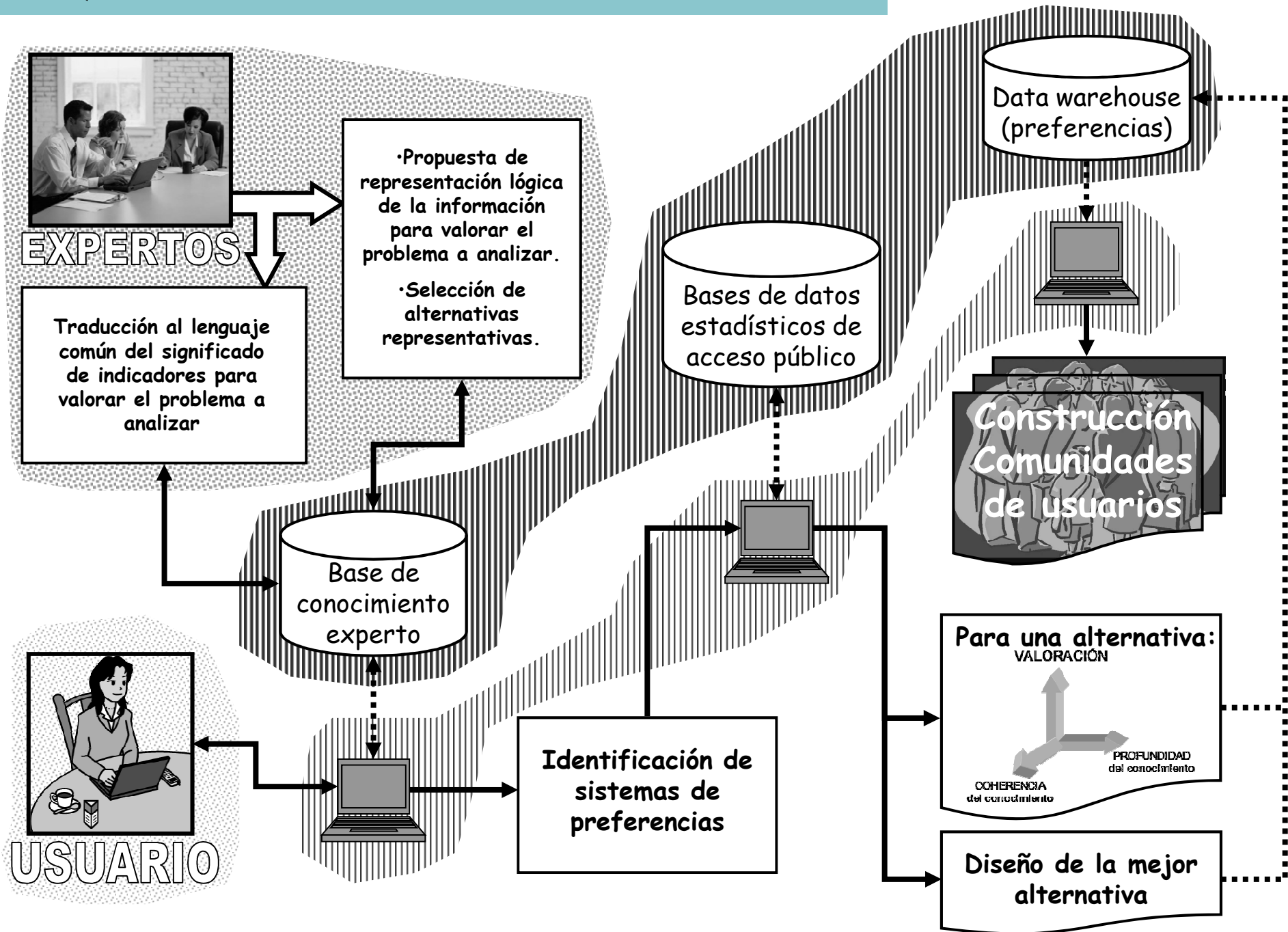
**Diagrama de comunicación** modela las interacciones entre objetos o partes en términos de mensajes en secuencia. Los diagramas de comunicación representan una combinación de información tomada desde los diagramas de clases, secuencia y de casos de uso, describiendo tanto la estructura estática como el comportamiento dinámico de un sistema.

**Diagrama de tiempos** cuyo objetivo es mostrar los cambios en el estado o la condición de una línea de vida (representando una Instancia de un Clasificador o un Rol de un clasificador) a lo largo del tiempo. El uso más común es mostrar el cambio de estado de un objeto a lo largo del tiempo, en respuesta a los eventos o estímulos aceptados. Los sucesos que se producen se anotan y se muestran cuando se desea conocer la causa del cambio en la condición o en el estado.

**Diagrama global de las interacciones** es un *diagrama de comportamiento* que muestra los aspectos dinámicos de los sistemas modelados.



# ESQUEMA DEL PROCESO Y SUBSISTEMAS.



## Referencias

- Aleskerov, F., Bouyssou, D., Monjardet, B., 2007. *Utility maximization, Choice and Preference*. Springer: Berlin, Heidelberg.
- Arrow, K.J., 1959. Rational choice functions and orderings. *Economica* 26 (102) 121–127.
- Arrow, K., Sen, A. K. & Suzumura, K. (eds.) 2002 *Handbook of Social Choice and Welfare*. Vol. 1. North Holland. ISBN: 978-0-444-82914-6
- Azencott, R. 1987 Markov random field and image analysis. Proceedings of AFCET, Antices, France,
- Besag, J. 1986 On the statistical analysis of dirty pictures. *Journal of Royal Statistical Society.*, series B, vol.48, 259-302.
- Billot, A., 2003 . The deep side of preference theory, *Theory and Decisions* 53 , 243-270.
- Cabot, J., Easterbrook, S., Horkoff, J., Mazón, J.N., Lessard, L., Liaskos, S., 2009. *Integrating sustainability in decision-making processes: a modelling strategy*. ICSE'09, International Conference on Software Engineering, Vancouver, Canada.
- Cerny, V. 1985. A thermo-dynamical approach to the travelling salesman problem: an efficient simulation algorithm. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 45, 41-51.
- Chankong V. and Haimes, Y.Y., 1983 . *Multiobjective Decision Making: Theory and Methodology*. Elsevier Science. New York.
- Dunham M.H. ; 2002 *Data Mining, Introductory and Advanced Topics*, Prentice Hall.
- Dyer, J.S. y Sarin, K.S. 1979. Measurable Multiattribute Value Functions. *Operations Research*; 27(4): 810-822.
- Edwards, W. ,1977. How to use multiattribute utility measurement for social decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC, 7, 326-340.
- Fishburn, P.C. 1967. Additive utilities with incomplete product: applications to priorities and assignments. *Operation Research*, 15, 537-542.
- Fishburn P.C. 1985. *Interval Orders and Interval Graphs*, John Wiley and Sons. Nueva York.
- Geman, S y Geman, S. 1984. Stochastic relaxation, Gibbs distribution and Bayesian restoration of images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1984, 6, 721-741.
- Gómez-Elvira, M.A. y Martínez-Falero, E. 1995 Aplicación de un método bayesiano de segmentación de imágenes a la definición de usos agrícolas a partir de fotografía aérea. Proceedings de Jornadas Técnicas sobre Sistemas de Información Geográfica y Teledetección espacial aplicados a la Ordenación del Territorio y al Medio Ambiente. Vitoria, noviembre, 1994. Centro de Estudios Ambientales. Ayuntamiento de Vitoria, 41-51.

## Referencias

- Hill M.O. 1974 Correspondence Analysis: A Neglected Multivariate Method. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*; 23(3): 340- 54.
- Janardan, K y Schaeffer, 1975 . *Illinois water quality inventory report*. U.S. Environmental Protection Agency. Chicago.
- Kahneman, D. y Tversky, A. 2000. *Choices, Values, and Frames*. Cambridge University Press.
- Kassanke, S. (Coord.) 2003 Proyecto ORWorld . Systems Analysis Laboratory. Helsinki University of Technology  
<http://www.orworld.hut.fi>
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C D., & Vecchi, M.P. 1983. Optimization by Simulated Annealing. *Science, New Series* 220 (4598), 671-680.
- Kinderman, R y y Snell, JL. 1980. *Markov random field and their applications*. American Mathematical Society (AMS), Providence Rhode Island. ISBNs: 978-0-8218-5001-5 (print); 978-0-8218-3381-0 (online) DOI: <http://dx.doi.org/10.1090/conm/001>
- Kirwood, C.W. & Sarin, R.K. 1980. Preference conditions for multiattribute value functions. *Operation Research*, 28, 225-231.
- Martín-Fernandez, S; Martínez-Falero, E y Pérez-Gonzalez, JM. 2002 Optimization of resources management in fighting wildfires. *Enviromental Management*, Vol 30, No 3, 352-363
- Martínez Falero, E. & González, S. (eds.)1995. *Quantitative Techniques in Landscape Planning*. CRC-Lewis Publishers. New York.
- Martínez-Falero, E.; Cazorla A.; Trueba, I. y Alier, J.L. 1998. Optimization of Spatial Allocation of Agricultural Activities. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 69: 1-13.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., y Teller, E. 1953. Equations of State Calculations by Fast Computing Machines. *Journal of Chemical Physics*, 21, 1087-1092.
- Mligo C, Lyaruu H.V.M. 2008 The Impact of Browsing and Grazing Pressure on Vegetation Community, Composition and Distribution Pattern in Ikona Wildlife. *Botany Research Journal*; 1(1): 1-8.
- Mitra, D.; Romeo, F., Sangiovanni-Vincentelli, A. 1986 Convergence and finite-time behavior of simulated annealing. *Advance in Applied Probability* 3, 747-771.
- Morton, A .1999. *Distributed Group Decision Support Systems: an exploration of some key concepts*. Unpublished Ph.D. thesis, University of Strathclyde. Glasgow, UK.

## Referencias

- Morton, A., Ackermann, F., Belton, V. 1999 Delphic SODA: A New Approach to Distributed Group Decision Support. Management Science, theory, method and practice series. Department of Management Science, University of Strathclyde, 12 pags. Glasgow (UK).
- Morton, A., Ackermann, F., Belton, V. 2001 Distributed "group" "decision" "support": A Study of Some Key Concepts Issues 2001-2002 of Management Science, theory, method and practice series. University of Strathclyde, Department of Management Science, 72 pags. Glasgow (UK).
- Newkirk, R.T. 1979. Environmental planning for utility corridors. Ann Arbor Science. Michigan.
- Pascual, C., Garcia-Abril, A., Garcia-Montero, L.G., Martin-Fernandez, S., Cohen, W.B. 2008. Object-based semi-automatic approach for forest structure characterization using lidar data in heterogeneous Pinus sylvestris stands. *For. Ecol. Manage.* 255, 3677-3685.
- Pincus, M. 1968 A closed form solution for certain programming problems. *Operational Research.*, 16, 690-694.
- Pincus, M. 1970 A Monte-Carlo method for the approximate solution of certain types of constrained optimization problems. *Operational Research.*, 18, 1225-1228.
- Prabhu, R., Colfer, C. y Shepherd, G. 1998. Critères et indicateurs de gestion durable (Criteria and indicators for sustainable forest management): nouveaux résultats des recherches du CIFOR au niveau de l'Unité de gestion forestière. Réseau de foresterie pour le développement rural. Document RDFN numéro 23a - Eté 1998. ISSN 1351-3966
- Ramos, A. et al, 1982. "Evaluación integrada de los espacios naturales. Aplicación a los espacios arbolados de Madrid". Monografía 6. Comunidad de Madrid.
- Reynolds, K. M. 1999. EMDS users guide (version 2.0): knowledge-based decision support for ecological assessment. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-470. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 63 p.  
<http://www.spatial.redlands.edu/emds/manuscripts/esri%202002/p0664.htm#projectComponent>  
<http://www.spatial.redlands.edu/emds/manuscripts/esri%202002/p0664.htm>.

## Referencias

- Reynolds, K.M.; Jensen, M.; Andreasen, J.; Goodman, I. 2000. Knowledge-based assessment of watershed condition. *Computers and Electronics in Agriculture*. 27, 315- 333.
- Rivas-Martínez, S. 1987. Mapa de series de vegetación de España 1:400.000 y memoria. ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid
- Roy, B., 1968. Classement et choix en présence des critères multiples. *RIRO*, 8, 57-62.
- Schiller, A., C. T. Hunsaker, M. A. Kane, A. K. Wolfe, V. H. Dale, G. W. Suter, C. S. Russell, G. Pion, M. H. Jensen, and V. C. Konar. 2001. Communicating ecological indicators to decision makers and the public. *Conservation Ecology* 5(1): 19. [online]URL .  
<http://www.consecol.org/vol5/iss1/art19>
- Sen, A., 1987. Rational behavior. In: Eatwell, J., Milgate, M., Newman, P. (Eds), *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*. Macmillan: London.
- Suzumura, K., 1983. *Rational Choice, Collective Decisions and Social Welfare*. Cambridge University Press.
- Wang, F.Y., Carley, K.M., Mao, W.. 2007 Social Computing: From Social Informatics to Social Intelligence. *IEEE Intelligent Systems*; 22(2): 79-83.
- Wang, F.Y. 2008 Social Computing: Fundamentals and applications. *IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics*; xxxv-xxxviii.
- Wijerwardena, D. 1998. Critères et indicateurs de gestion durable (Criteria and indicators for sustainable forest management). *Bulletin de l'OIBT sur les forêts tropicales*, , Vol 8 (3), 4-6.

## Otras referencias y enlaces de interés

Power, D.J. *A Brief History of Decision Support Systems*. DSS Resources.COM.

<http://dssresources.com/history/dsshistory.html> (last accessed, April/20/2014)

Reynolds, K.M.; Jensen, M.; Andreasen, J.; Goodman, I. 2000. Knowledge-based assessment of watershed condition. *Computers and Electronics in Agriculture*. 27, 315- 333.

[http://www.fs.fed.us/pnw/lwm/aem/docs/wondzell/qtrs\\_and\\_proceedings/2004\\_wondzell\\_and\\_howell\\_riparian\\_and\\_aquatic\\_model\\_pnw-gtr.pdf](http://www.fs.fed.us/pnw/lwm/aem/docs/wondzell/qtrs_and_proceedings/2004_wondzell_and_howell_riparian_and_aquatic_model_pnw-gtr.pdf)

Reynolds, K.M., P.F. Hessburg, and P.S. Bourgeron (eds). 2014. *Making Transparent Environmental Management Decisions: Applications of the Ecosystem Management Decision Support System*. Berlin: Springer.

A framework for distributed group multi-criteria decision support Systems.:

<http://ausweb.scu.edu.au/aw03/papers/li/paper.html>