

Simulación por ordenador del comportamiento de sistemas complejos

Antonio Caselles

Departament de Matemàtica Aplicada

Universitat de Valencia

España

Problema complejo



Muchas variables interrelacionadas
de manera quizás no evidente



Sistema

(conjunto de elementos interrelacionados)



Modelo simulador

(Artefacto que reproduce el comportamiento del sistema real
para sustituirle en la experimentación)

Mental

Físico

Gráfico

Lógico - Matemático

Computerizado

Estático

Dinámico

.....

Variables interrelacionadas por

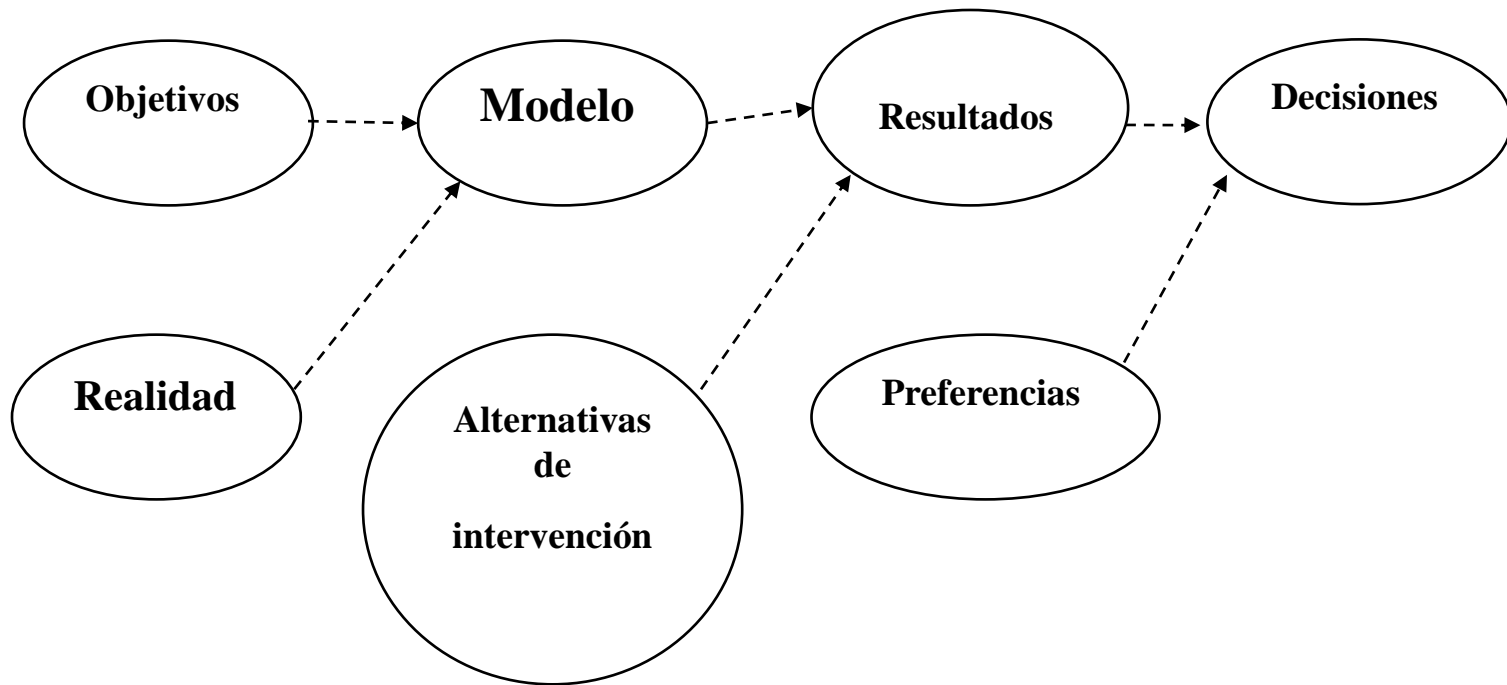
- Variables de entrada: Datos.
- Variables de salida: Resultados.
- Constantes o cambiantes.
- Escalares o vectoriales.
- Cadenas de caracteres o numéricas.
- Aleatorias o deterministas.
-

Ecuaciones

Tablas

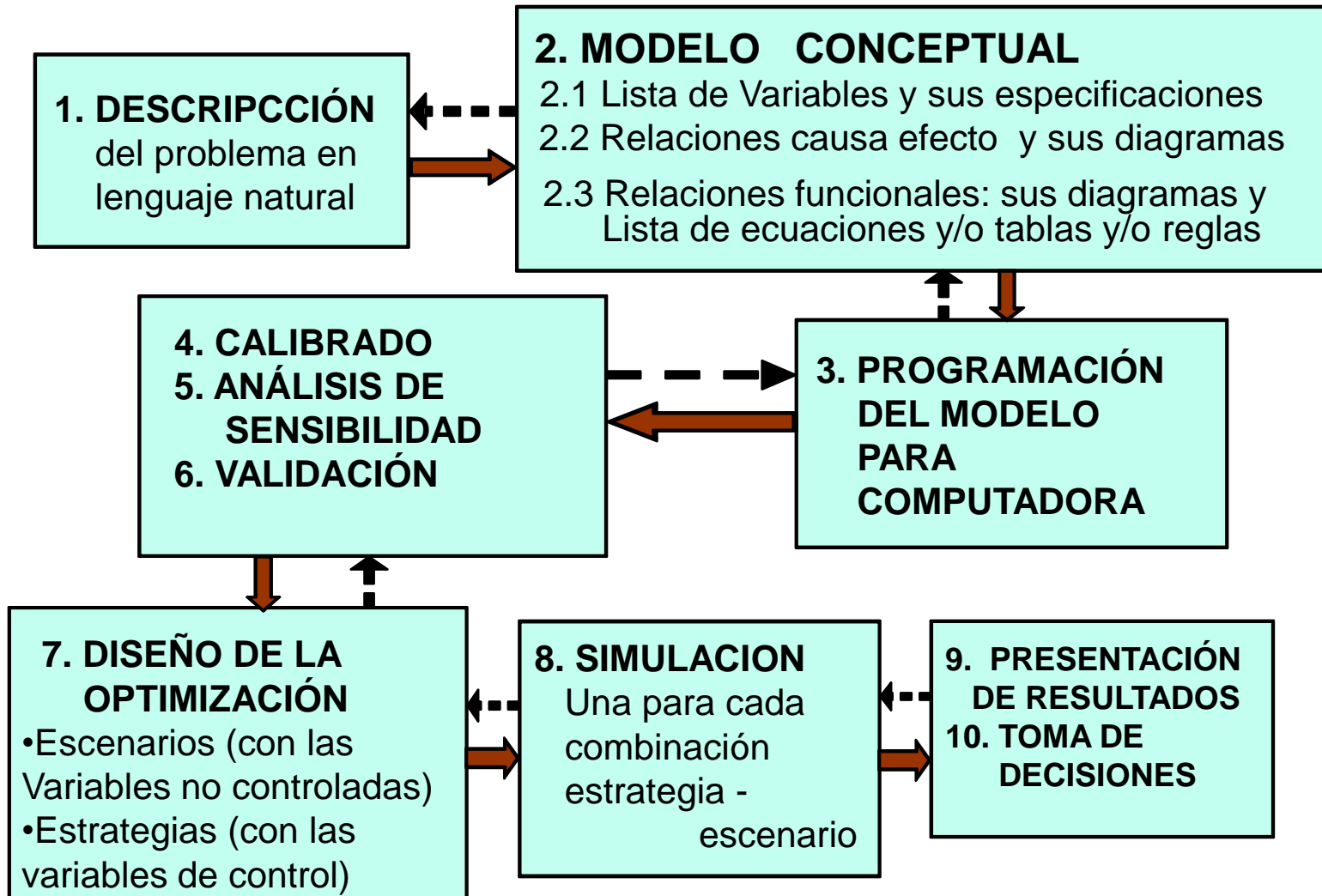
Reglas

Los modelos son una ayuda a la toma de decisiones



METODOLOGÍA DE MODELIZACIÓN GENERAL:

trama que guía un conjunto organizado de métodos



Ejemplo 1:

Demografía elemental

Descripción del problema

Objetivos.

1. El gobierno de un país desea estimar los efectos a largo plazo de determinadas campañas publicitarias (antitabaco, anti-alcohol, etc.) y de fomento de la natalidad (premios, conciliación de la vida laboral y familiar, etc.) sobre el número de habitantes de dicho país.

Restricciones.

1. El país se considera de manera global (no por regiones).
2. La unidad de tiempo será el año.
3. El gobierno no controla el saldo migratorio.

Tipos de datos.

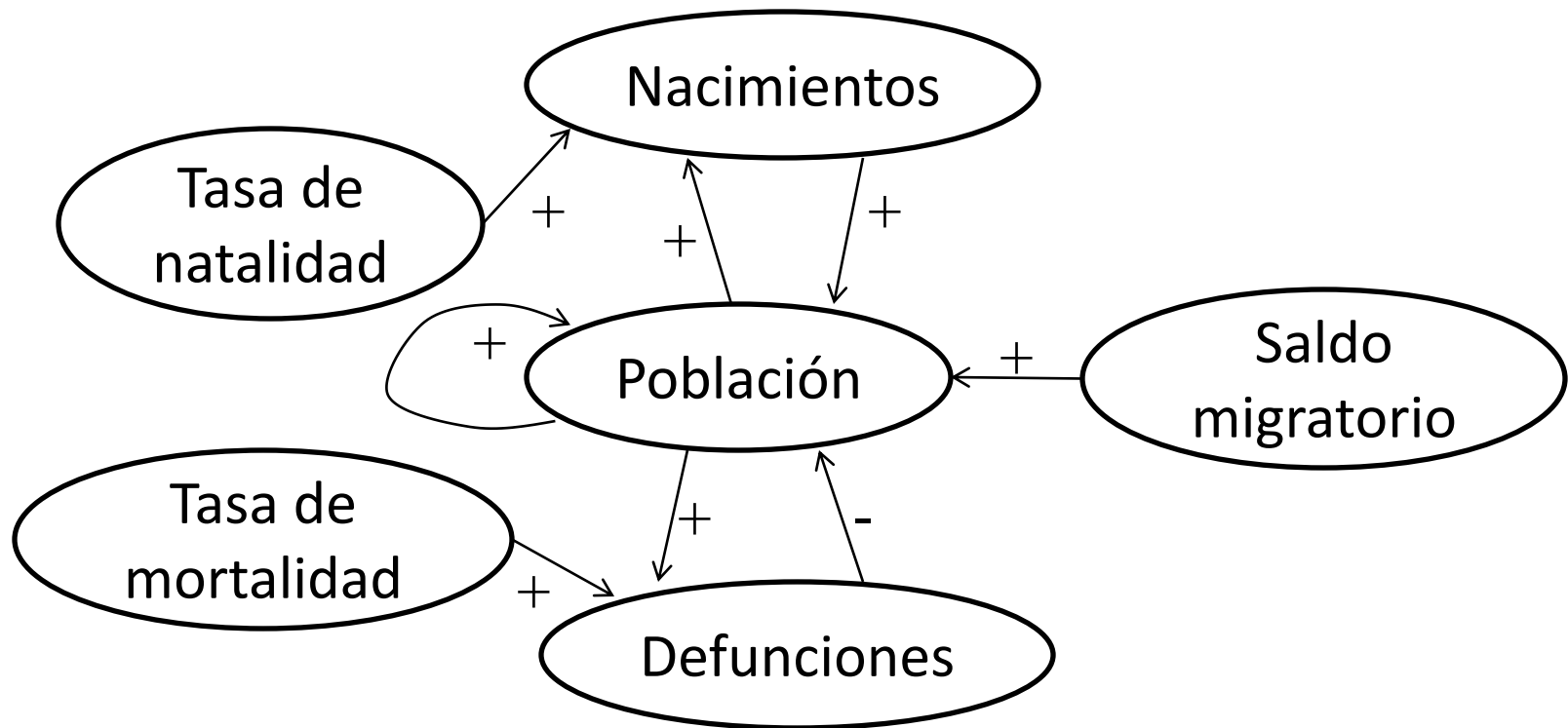
1. Datos históricos de estadísticas oficiales.
2. No interesa la desagregación por cohortes de edad.

Tipos de resultados.

1. Evolución del número de habitantes por años durante los próximos 5 años.
2. Evolución del número de nacimientos por años durante los próximos 5 años.
3. Evolución del número de defunciones por años durante los próximos 5 años.

Demografía elemental

Diagrama causal



Demografía elemental

Lista de variables

POBI Población a principio de año

POBL Población a final de año

XACI Nacimientos

DEFU Defunciones

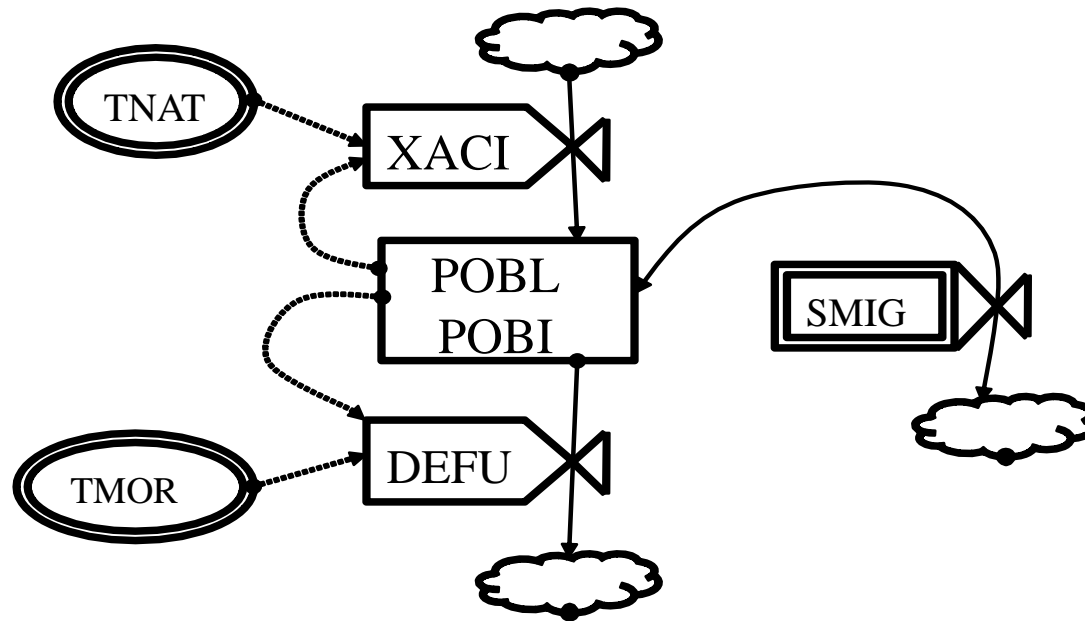
TNAT Tasa de natalidad

TMOR Tasa de mortalidad

SMIG Saldo migratorio

Demografía elemental

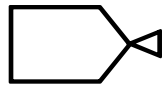
Diagrama hidrodinámico o de Forrester



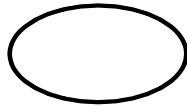
Interpretación de los iconos del diagrama hidrodinámico o diagrama de Forrester



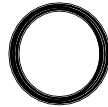
Nivel. Algo que se acumula



Flujo que aumenta o disminuye un nivel.



Variable auxiliar o de salida estricta.



Variable de entrada o parámetro (datos para el modelo).



Fuente o sumidero.



Material que se mueve.



Información o influencia.

Demografía elemental

Lista de funciones (ecuaciones, tablas o reglas lógicas)

- XACI $xaci = pobi * tnat / 1000$
- DEFU $defu = pobi * tmor / 1000$
- POBL $pobl = pobi + xaci - defu + smig$

Programación para la computadora

- Lenguajes de programación de tipo general (C, PASCAL, BASIC, etc.).
- Lenguajes de simulación (GPSS, SIMSCRIPT, SIMULA, QNAP2, STIMS, etc.)
- Cajas de herramientas (MATLAB, MATHEMATICA, etc.)
- Interpretadores de descripciones (Inter-SIM, HOCUS, STELA, VENSIM, etc.)
- Generadores de aplicaciones (DRAFT, eLSE, GASPE, **SIGEM**, etc.)

El generador de aplicaciones SIGEM

- Recaba del usuario la información correspondiente a:
 - la lista de nombres de los elementos del sistema y sus características
 - la lista de las relaciones funcionales entre los mismos.
- Genera tres programas en lenguaje fuente Visual Basic 6:
 - El gestor de datos
 - El simulador
 - El gestor de resultados

Validación del modelo

Lo más frecuente: predicción del pasado.

- **Para valores calculados (uno por uno):**

$$\text{Error (\%)} = \frac{|\text{Valor real} - \text{Valor estimado}|}{\text{Valor real}} \cdot 100$$

- **Para el modelo global:**

$$R^2 = \frac{(\sum(\text{Valor real} - \text{Valor real medio}) (\text{Valor estimado} - \text{Valor estimado medio}))^2}{(\sum(\text{Valor real} - \text{Valor real medio})^2) (\sum(\text{Valor estimado} - \text{Valor estimado medio})^2)}$$

Métodos para optimizar sistemas complejos

- **Sistemas deterministas**

- Escenarios y estrategias

- Algoritmos genéticos

- **Muestreo** (extraer una muestra aleatoria de tamaño n)

- **Sin posterior ajuste de una función:** $P = 1 - (1 - p)^n$

- $P =$ probabilidad de encontrar al menos uno dentro del $p\%$ mejor

- **Con posterior ajuste de una función y búsqueda de su máximo o mínimo**

-

- **Sistemas estocásticos**

- Escenarios y estrategias

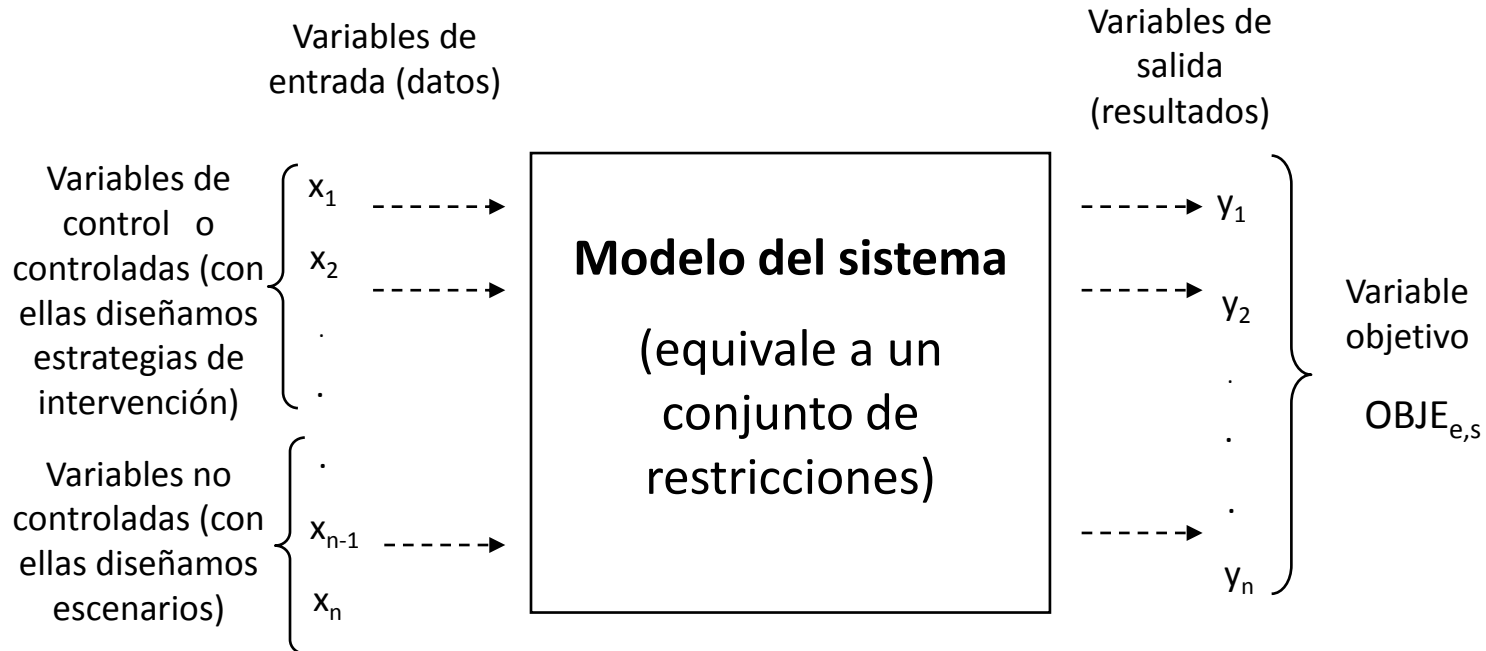
- Pruebas de hipótesis

- Análisis de varianza

-

Formalización del método de los escenarios y las estrategias

Normalmente la situación con la que nos encontramos es la siguiente:



Y lo que tenemos que hacer es lo siguiente:

1. Definir la variable objetivo a partir de las variables de salida: la llamaremos OBJE.
2. Definir la variable objetivo intertemporal (si estamos en un sistema dinámico):
la llamaremos $Y_{e,s}$ pues tiene un valor para cada escenario e y para cada estrategia s .
3. Definir los escenarios y las estrategias.
 - Escenario: conjunto de valores distribuidos a lo largo del tiempo para las variables no controlables o no controladas. Se le da un nombre asociado a una situación del entorno.
 - Estrategia: conjunto valores de las variables de control distribuidos a lo largo del tiempo. Se le da un nombre asociado a un tipo de acción.
4. Calcular $Y_{e,s}$. Se obtiene sumando o promediando los valores de la variable objetivo a lo largo del tiempo.

$$Y_{e,s} = \sum_t OBJE_{e,s,t}$$

5. Asignar probabilidades a los escenarios (normalmente con opiniones de expertos): P_e .
6. Calcular el valor de cada estrategia. Se obtiene sumando los productos $Y_{e,s} \cdot P_e$.

$$Z_s = \sum_e Y_{e,s} \cdot P_e$$

7. Seleccionar la estrategia óptima. Se consigue encontrando el valor mayor de Z_s

$$Z_{opt} = \max_s Z_s$$

Demografía elemental

Veamos como quedaría el método de los escenarios y estrategias con este modelo

- **Variable objetivo:** la población
- **Variables de control:** las tasas de natalidad y mortalidad
(Ambas se podrían controlar con ayudas económicas y campañas publicitarias).
- **Variable de escenario** (no controlada): el saldo migratorio.
- **Estrategia 1:** Campaña de fomento de la natalidad.
- **Estrategia 2:** Campaña de reducción de la mortalidad (anti tabaco y anti accidentes de tráfico).

Definición de las estrategias:

Años	Estrategia 1: Pro-natalidad		Estrategia 2: Pro-salud	
	TNAT	TMOR	TNAT	TMOR
1	10.1	9.1	10.1	9.1
2	10.2	9.1	10.1	9.0
3	10.3	9.0	10.2	8.9
4	10.5	9.0	10.2	8.7
5	10.7	8.9	10.3	8.5

Definición de los escenarios

AÑOS	Escenario 1: exceso	Escenario 2: asimilación
	SMIG	SMIG
1	40000	20000
2	45000	20000
3	50000	25000
4	60000	25000
5	80000	27000

Combinación de escenarios y estrategias: crearemos cuatro ficheros de datos.

	Exceso	Asimilación
Pro-natalidad	Datos 1	Datos 2
Pro-salud	Datos 3	Datos 4

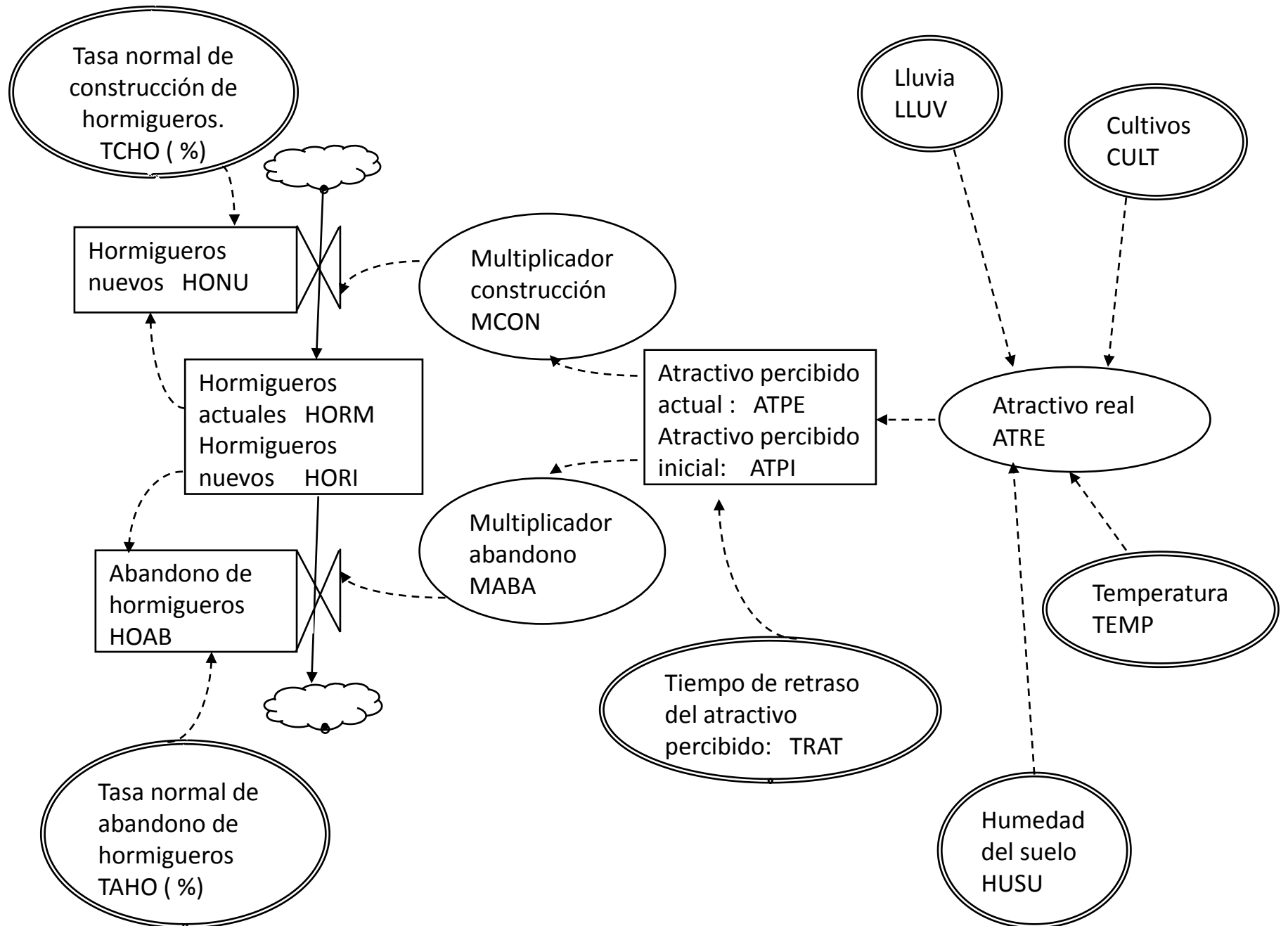
Ejemplo 2: Hormigueros

En una zona con hormigueros, las hormigas pueden colonizar o abandonar la zona.

Hay atractivos de la zona que pueden tardar en percibirse.

Sobre el atractivo puede influir la lluvia, nuevas fuentes de alimento, etc.

Estúdiense el diagrama siguiente:



La lista de variables sería:

HORM cantidad de hormigueros
HORI cantidad inicial de hormigueros
HONU nuevos hormigueros
LLUV cantidad de lluvia media de la zona
CULT cantidad de cultivos (%)
TEMP temperatura media de la zona
HUSU humedad media del suelo en la zona
HOAB abandono de hormigueros
ATPE atractivo de la zona percibido por las hormigas
ATPI atractivo de la zona percibido inicialmente por las hormigas
TCHO tasa normal de construcción de hormigueros
TAHO tasa normal de abandono de hormigueros
MCON multiplicador para la construcción de hormigueros
MABA multiplicador para el abandono de hormigueros
TRAT tiempo de retraso en la percepción del atractivo de la zona por las hormigas
ATRE atractivo real de la zona para las hormigas

La lista de funciones sería:

HONU $\text{honu} = \text{hori} * \text{tcho}/100 * \text{mcon}$

HOAB $\text{hoab} = \text{hori} * \text{taho}/100 * \text{maba}$

HORM $\text{horm} = \text{hori} + \text{honu} - \text{hoab}$

ATPE $\text{atpe} = \text{atpi} + 1/\text{trat} * (\text{atre}-\text{atpi})$

ATRE $\text{atre} = f(\text{lluv}, \text{cult}, \text{temp}, \text{husu})$
`f obtenida por ajuste

MCON $\text{mcon} = \text{tabla}(\text{atpi})$
`tabla dada por expertos y calibrada

MABA $\text{maba} = \text{tabla}(\text{atpi})$
`tabla dada por expertos y calibrada

Las variables de entrada (datos) las podríamos clasificar así:

➤ Variables de escenario:

- LLUV Cantidad de lluvia media de la zona
- TEMP Temperatura media de la zona

➤ Variables de control o intervención

- CULT cantidad de cultivos
- HUSU humedad media del suelo en la zona

➤ Parámetros

- TRAT tiempo de retraso en la percepción del atractivo de la zona por las hormigas
- TCHO tasa normal de construcción de hormigueros
- TAHO tasa normal de abandono de hormigueros

Algunas aplicaciones recientes publicadas por nuestro grupo:

<http://www.uv.es/~caselles/>

<http://www.uv.es/~pla/>

- **Control del desempleo (1999).**
Universitat de València. ISBN: 84-370-4167-8
- **Control de la accesibilidad a la vivienda (2004).**
Revista española de sistemas, V-3, pp.21-66.
- **Rentabilidad de una central eléctrica (2006).**
Energy Policy, 34(18), pp. 3812-3826.
- **Control de la erosión hídrica (2000).**
Revista Internacional de sistemas, V-10, pp. 1-11.
- **Control de la calidad del suministro de agua en las viviendas (2006).**
Revista Internacional de sistemas, V-14, pp. 43-67.
- **La actividad cerebral como consecuencia de la toma de una droga estimulante (2008).**
British Journal of Mathematical and Statistical Psychology,

Otros grupos en España

<http://www.salle.url.edu/eng/elsDET/Catedra/t6.htm>

Juan Martín García (Barcelona)

<http://dialnet.unirioja.es/servlet/extaut?codigo=80291>

Silvio Martínez Vicente (Madrid, CSIC)

http://investigacion.us.es/sisius/sis_showpub.php?idpers=2919

Javier Aracil Santonja (Sevilla)

<http://www.parraluna.es/>

Francisco Parra Luna (Madrid)(Sociología)

Grupos y trabajos sobre sistemas complejos en Europa

<http://www.uv.es/pla/SESGE/> Sociedad Española de Sistemas Generales

<http://www.airs.it/AIRS/indexEN.htm>

Associazione Italiana per la Ricerca sui Sistemi

<http://www.ukss.org.uk/>

UK Systems Society

<http://www.cybsoc.org/>

The Cybernetics Society

<http://www.iiasa.ac.at/>

IIASA's research programs examine approaches to energy and technology, population and society, natural resources and environment, and developing systems which fit these dynamics.

The systems analysis is multidisciplinary.

Mathematical modeling is an integral component.

Specialized mathematical models of dynamics and control are key instruments.

<http://www.ifsr.org/>

THE INTERNATIONAL FEDERATION FOR SYSTEMS RESEARCH (IFSR), founded 1981, is a a non-profit, scientific and educational agency, constituted of member organizations from various countries.

The overall purpose of the Federation is to advance cybernetic and systems research and systems applications and to serve the international systems community.

<http://www.afscet.asso.fr/>

Chaque jour, ingénieurs, médecins, managers, industriels, enseignants, chercheurs, hommes politiques, font face à des situations d'une grande complexité.

Leur action, pour être efficace, doit articuler appréhension et conceptualisation de ces situations... ce qui suppose de bons modèles descriptifs et opératoires.

Mais si cette affirmation soulève peu d'objections, elle est difficile à mettre en pratique.

En effet, rares sont les lieux où, sans exclusive ni dogmatisme, sont élaborés, confrontés et enrichis ces modèles, *outils cognitifs et techniques* indispensables pour penser et agir dans la complexité.

Último congreso de la IFSR (Viena. Abril 2008). EMCSR 2008 Symposia:

[A Systems Science](#) *R. Belohlavek, USA, and P.Prautsch, Czech Republic*

[B Mathematical Methods in Cybernetics and Systems Theory](#)

Y.Rav, France, and J.Scharinger, Austria

[C The Cybernetics of Cybernetics: Cybernetics, Interaction and Conversation](#) *R. Glanville, UK*

[D Living Systems Theory](#) *G.A.Swanson, USA*

[E Biocybernetics and Mathematical Biology](#) *L.M.Ricciardi, Italy*

[F Cognitive Rationality, Relativity and Clarity](#) *I. Ezhkova, Belgium*

[G Management, Organizational Change, and Innovation](#)

M. Mulej, Slovenia, and S. Umpleby, USA

[H Neural Computation and Neuroinformatics](#) *G.Dorffner, Austria*

[I Agent-Based Modeling & Simulation](#) *S.Bandini, Italy, G.Vizzari, Italy, and P.Petta, Austria*

[J Theory and Applications of Artificial Intelligence](#)

V.Marik, Czech Republic, and O.Stepankova, Czech Republic

[K Systems Sciences - Challenges, Visions and Roadmaps](#)

G.Chroust, Austria, and M.Mulej, Slovenia

[L Sociocybernetic Models: Conceptual and Formal Approaches](#) *E. Buchinger, Austria*

Próximo congreso de la UES (Lisboa. Diciembre 2008).

1. Hermínio Duarte-Ramos, «[Communication Complexity](#)»
2. Joan Carles Micó, Salvador Amigó, Antonio Caselles, «[Biological and Dynamic Nature of Personality: A Dynamic System Approach](#)»
3. Gérard Donnadieu, «[What Autonomy For the Psyches?](#)»
4. Emmanuel Nunez, «[Need for the Other\(s\) \(Human, Living Organisms, God\) for Self Consciousness-Identity Formation and Acceptance of Individual Death](#)»
5. Gianfranco Minati, «[Processes of Structured, Non-Structured Interactions, Phase Transitions, Self-Organization and Emergence](#)»
6. Richard Cantin, «[Systemic Management of a Building Stock](#)»
7. Antonio Caselles, Joan Carles Micó, Salvador Amigó, «[Chaos in Brain's Response to a Single Dose of a Stimulant Drug](#)»
8. Joan Carles Micó, Antonio Caselles, David Soler, Maria Teresa Sanz, «[Population Growth and Social Welfare: A Dynamic Model Approach](#)»
9. Pierre Bricage: «[Associations for the Mutual Reciprocal Sharing of Advantages and Disadvantages](#)»
10. Salvador Amigó, Joan Carles Micó, Antonio Caselles, «[Adjective Scale of the Unique Personality Trait: Measure of Personality as an Overall and Complete System](#)»
11. Jean-François Vautier, «[A Systemic Approach to Question Complexity: The Systemic Scores](#)»
12. Shelia Guberman, «[What Is "Self-Organization"?](#)»
13. Jesus Flores, «[The Privatization of Governmental Enterprises, a Process of Great Complexity](#)»
14. Silvia Moraru Moraru, «[Using ITC Scientific Teaching](#)»
15. Ioana Stoica, «[Modern Techniques of Evaluation of the Learning Excellence](#)»
16. Hermínio Duarte-Ramos, «[Hard and Soft System Intentionality](#)»
17. Leonardo Lana de Carvalho, Salima Hassas, Robert Martin, Ederaldo José Lopes, Frécon Louis, «[Emergence of Representations from a Multi-Agent Implementation of Schelling's Model](#)»
18. Teresa Gonçalves, «[Education and Cognitive Neuroscience: A Systemic Approach to Cognition and Learning](#)»
19. Eric Zyla, Didier Lebert, «[Sustainable Development and social System Complexity: The Use of Cognitive Models to Explain the Limits of Nature Conservation Policies](#)»
20. Richard Cantin, «[System Approach of Energy Spreadsheets, Systemics and Simulations](#)»
23. Magali Issues in Buildings»
21. Julien Broquet, «["Multilevel Governance" As Organizational System Co-Evolution](#)»
22. Jacky Legrand, «[Orillard, «Identity and Autonomy in a Complex Human System](#)»
24. Andrey Grunin, «[Thinking a Historical Society as a Complex System: Ways of Theorization and Means of Application](#)»
25. Pierre Michel, Richard Cantin, Ludovic Leclercq, Thierry Winiarski, Aurore Cambien, «[Introducing Complexity and Modeling Principles in a School of Engineers Curriculum: A French Experience](#)»
26. Luis Brito Palma, Paulo Sousa Gil, Fernando Coito, «[Dealing with Complexity in Supervision Systems](#)»
27. François Dubois, «[On the Measure Process Between Different Scales](#)»
28. Yves Chaumette, «[Applying Quantum Concepts to Systems Theory](#)»
29. Ulker Guner Bacanlı, Fatih Dikbas, Turkey Baran, «[Meteorological Drought Analysis for Western Turkey](#)»
30. Arne Collen, «[The Complexity of Home](#)»
31. Bernard Balcet, «[Liberty and Thought](#)»
32. Nikitas A. Assimakopoulos, Ioannis C. Theocharopoulos, «["Systemic Meta-Design" and Testing Enterprise I. S. in Strategic Level with the DCSYM Case Tool v1.0](#)»
33. Nikitas A. Assimakopoulos, Ioannis C. Theocharopoulos, Maria M. Konstantopoulou, «["Systemic Meta-Design" and Testing Enterprise I. S. in Procedural Level with the DCSYM Case Tool v1.0](#)»
34. Emmanuel Haven, «[Arbitrage and Quantum Mechanics](#)»
35. Aurore Cambien, «[Urban Modeling: Emergence of a Systemic Approach of Urban Development](#)»
36. Robert Strobl, Francesco Forte, «[Lake Eutrophication Status Classification Using Artificial Neural Network Architectures](#)»
37. Lorenzo Ferrer-Figueras, «[Globalization and Sustainability from General Systems Theory and Chaos Theory](#)»
38. R. Cantin, P. Michel, Y. Belmont, F. Bonnard, J. Constant, J.C. Cryonnet, M. El Mankibi, G. Guarracino, G. Labor, B. Moujalled, M. Paulin, T. Salem, «[Experience of a French Working Group about Systemic Approach of Buildings](#)»
39. Alexandre Makarovitsch, Jean-Pierre Foll, «[TUBES II](#)»
40. Bassam Moujalled, Richard Cantin, Gerard Guarracino, «[Dynamic Modeling of Thermal Comfort in Buildings](#)»
41. Ana Paula Caetano, «[Modelling Ethical Teacher Tensions and Dilemmas](#)»
42. Isabel Freire, «[Searching a Systemic Model in an Educative Project of a Local Schools Network](#)»
43. Alexandre Makarovitsch, Jean-Pierre Foll, Pierre Chauvet, «[Modeling Complex Systems with Cellular Automata](#)»
44. Anne Muller, Mejdí Jeguirim, Francois Demouge, Philippe Fromy, Jean-François Brillhac, «[Contribution to the Development of a Systemic Approach for Building Fire Safety Characterization](#)»
45. Maria Encarnação Marreiros Henriques, «[Education Projects and Sustainable Development](#)»
46. J. P. Martins Barata, «[The Complex Nature of Metropolis and the Intervention](#)»
47. Marie-Noëlle Sarget, «[Systemic Approach of Individual and Social Complexity](#)»
48. Raul Rato, «[About Complexity](#)»
49. Raul Rato, «[The Future Is Now: The Meadows report Accuracy, from 1972 to Present Day \(2008\)](#)»