

# **Monografía: Metodologías Cualitativas Aplicadas a los Sistemas Socioeconómicos y Razonamiento con Intervalos**

## **Presentación de la Monografía:**

Miguel Toro, Juan Antonio Ortega y Rafael M. Gasca  
Depto. Lenguajes y Sistemas Informáticos  
Universidad de Sevilla  
Avda. Reina Mercedes s/n SEVILLA  
{mto, jaortega, gasca}@lsi.us.es

### **Resumen**

Esta monografía, y en particular este artículo, nace con la intención, por un lado, de presentar el estado actual de las investigaciones en España sobre la aplicación a los sistemas socioeconómicos de metodologías cualitativas. Por otro lado, realizar una puesta en común entre diversos investigadores españoles de los temas relacionados con la utilización de los intervalos en el razonamiento cualitativo, estudiando su aplicación al control y a la diagnosis de sistemas.

Recientemente se han celebrado en Sevilla dos reuniones de carácter nacional sobre investigadores que trabajan en los temas anteriormente comentados. El objetivo de este artículo es presentar de manera general los temas centrales de cada uno de los dos eventos, presentando a su vez de manera resumida algunos de los trabajos que allí se presentaron.

## **1 Introducción**

El desarrollo de metodologías cualitativas y su aplicación a sistemas reales es un tema de bastante actualidad. Con la intención de agrupar a investigadores nacionales que trabajaban en estos temas se constituyó el colectivo español ARCA (Automatización del Razonamiento Cualitativo y Aplicaciones). Este colectivo está formado por grupos y personas que investigan y trabajan en el campo del Razonamiento Cualitativo.

Los temas del grupo ARCA son conexos en algunos aspectos con los temas abordados por otros grupos españoles, y en particular con los temas tratados por el colectivo IAC (Intervalos Aplicados a Control). En este sentido existe coincidencia en los temas

relacionados con la utilización de los Intervalos en el Razonamiento Cualitativo, Temporal y Espacial.

A continuación se describe de manera resumida los temas de interés y los grupos que integran ambos colectivos: ARCA e IAC.

### **1.1 ARCA**

Este grupo surgió con la idea de promover la cooperación investigadora real entre científicos nacionales e internacionales sobre el tema; y estudiar la posible aplicación industrial del razonamiento cualitativo.

El trabajo del colectivo ARCA se estructura principalmente en las siguientes líneas:

- formalismo cualitativo
- razonamiento espacial
- razonamiento temporal
- simulación cualitativa
- razonamiento causal
- aprendizaje y conexistencia
- aplicaciones e implementaciones.

Un objetivo principal de este grupo es potenciar las conexiones directas con grupos europeos que trabajan en temas similares. Actualmente se está cooperando con el grupo de la red europea MONET (The Network of Excellence in Model-Based Qualitative Reasoning Systems), y con la red europea SPACENET (Qualitative Spatial Reasoning).

La evolución del colectivo ARCA se puede resumir de la siguiente manera: la sesión constituyente del grupo ARCA se celebró en Barcelona en Junio de 1994. La siguiente reunión fue en Castellón en Enero de 1995, donde ya se celebraron exposiciones de investigadores en una de nuestras líneas de trabajo, en concreto, sobre Razonamiento Espacial. La tercera tuvo lugar en Sevilla durante el mes de Abril del mismo 1995, siendo su tema central la Simulación Cualitativa; en Noviembre de 1995 y coincidiendo con la Conferencia de la Asociación Española para la Inteligencia Artificial (CAEPIA'95) celebrada en Alicante tuvo lugar la siguiente reunión. Por motivos diversos, no fue hasta Diciembre de 1996 la quinta reunión, coincidiendo con el segundo Forum sobre Razonamiento Cualitativo Euro-QR, celebrado en Barcelona. El tema de la misma fue doble: fundamentos teóricos y modelos ecológicos.

Paralelamente se han ido realizando varias actividades incluidas en diversos congresos. Se han celebrado seminarios dentro las Conferencias de la Asociación Española para la Inteligencia Artificial de los años 1995, 1997 y 1999, celebradas en Alicante,

Torremolinos (Málaga) y Murcia respectivamente. En el año 1997 el grupo ARCA celebró una sesión especial sobre Razonamiento Cualitativo en el congreso IFAC-IFIP-IMACS Conference - Control of Industrial Systems, celebrado en Belfort (Francia). En el año 1998 se ha celebrado una sesión especial sobre Razonamiento Cualitativo dentro del congreso internacional 11<sup>th</sup> International Conference on Industrial & Engineering Applications of Artificial Intelligence & Expert Systems, celebrado en Junio de ese mismo año en Benicàssim (Castellón). Finalmente se han celebrado dos reuniones en Sevilla las Jornadas de Trabajo sobre Metodologías Cualitativas aplicadas a los Sistemas Socioeconómicos y las Jornadas de Trabajo sobre Razonamiento con Intervalos.

Más información sobre el grupo se puede obtener en la página Web del grupo <http://www.lsi.us.es/arca>.

## 1.2 IAC

El grupo IAC es un grupo de reciente creación siendo creado por iniciativa del ESAIL de la Universidad Politécnica de Cataluña y del LAAS-CNRS de Francia.

Este grupo reúne principalmente equipos catalanes que trabajan en temas relacionados con la aplicación de los entornos en el control de sistemas: Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad de Gerona, etc.

La primera reunión de IAC tuvo lugar en Abril de 1998 en Terrassa (ESAIL, UPC) siendo su tema la simulación intervalar. En Junio del mismo año y coincidiendo con la celebración del congreso WESIC'98 en Girona tuvo lugar la siguiente sesión del grupo donde se trabajó sobre los Intervalos modales y su aplicación. En el mes de noviembre de ese año se volvió a reunir el grupo centrado sus discusiones sobre los intervalos aplicados en el control. La siguiente reunión ha tenido lugar este año 1999 en Girona en el mes de Febrero. Finalmente la última reunión tuvo lugar en Sevilla de manera conjunta con el grupo

ARCA dentro de las Jornadas sobre Razonamiento con Intervalos.

Los principales temas de trabajo del grupo son:

- simulación intervalar
- análisis y diseño de controladores robustos
- detección y diagnóstico de fallos basados en modelos intervalares
- análisis intervalar modal

## 2 Jornadas de Trabajo sobre Metodologías Cualitativas Aplicadas a Sistemas Socioeconómicos

Esta Jornadas surgen con la intención de aunar experiencias y discutir sobre la aplicación de las técnicas cualitativas a los sistemas socioeconómicos. Además se pretende estudiar la posible aplicación industrial de estos temas.

A estas Jornadas asistirán investigadores que se encuentran integrados dentro del colectivo ARCA pertenecientes entre otros a las Universidades Españolas:

- Universidad Politécnica de Cataluña
- Universidad de Girona
- Universidad Jaime I de Castellón
- Universidad del País Vasco
- Universidad de Málaga
- Universidad de Cádiz
- Universidad de Sevilla, que actuó como anfitriona de las Jornadas

Los trabajos que se presentaron en estas Jornadas se agruparon y distribuyeron en las varias sesiones de trabajo, de acuerdo con temas específicos. A continuación se presentan de manera esquemática la distribución de los trabajos y posteriormente un resumen de los mismos.

- Sesión: Operadores en Orden de Magnitud y Métodos Intervalares

1. Sistemas lineales cualitativos en sistemas socioeconómicos  
Rafael M. Gasca, Juan A. Ortega, Miguel Toro
2. El modelo mixto de órdenes de magnitud: operadores y relaciones binarias  
Núria Agell, Mónica Sánchez, Francesc Prats

- Sesión: Modelos Cualitativos de Sistemas Socioeconómicos

3. Estabilidad de soluciones en un modelo dinámico bioeconómico  
M<sup>a</sup> Luisa Vilchez, Francisco Velasco, Juan José García
4. Una aproximación de la teoría del caos al Marketing  
Javier Landa, Francisco Velasco, María Sancho
5. El modelo político/económico de Kazuyuki Sasakura: Un estudio cualitativo.  
Jose Maria Alba, Elena Olmedo, Francisco Velasco

- Sesión: Simulación Semicualitativa Aplicada a Modelos Socioeconómicos

6. Análisis de modelos semicualitativos mediante simulaciones cuantitativas. Aplicación a sistemas socioeconómicos  
Juan Antonio Ortega, Rafael M. Gasca, Miguel Toro
7. Una herramienta para obtener un sistema jerárquico de reglas cualitativas a partir de datos cuantitativos  
José Riquelme, Jesús Aguilar, Miguel Toro
8. Aplicaciones de técnicas cualitativas en las ciencias del management  
N. Agell, C. Ansotegui, X. Rovira, J. Sayeras

Los resúmenes de estos trabajos se presentan a continuación, en el mismo orden en el que se han recogido en las anteriores sesiones:

## 2.1 Sistemas lineales cualitativos en sistemas socioeconómicos

*R. M. Gasca, J. A. Ortega y M. Toro  
Dpto. Lenguajes y Sist. Informáticos  
Universidad de Sevilla  
{gasca,jaortega,mtoro}@lsi.us.es*

En los sistemas socioeconómicos las relaciones que ligan las variables y parámetros del sistema son generalmente lineales y muchas veces no son conocidas con precisión pero si se pueden expresar de forma cualitativa, tales como  $a$  es mucho mayor que  $b$ , la variable  $y$  depende de forma monótona creciente respecto a la  $x$ , la variación de  $m$  es creciente, etc...

En este trabajo se dispone de un lenguaje de modelado, que permite especificar cada uno de estos elementos cualitativos y que de acuerdo a su semántica se produce la transformación de las entidades cualitativas a relaciones en que participan nuevos elementos que tienen sus dominios en intervalos reales cerrados.

Con la anterior transformación se forma un problema de satisfacción de restricciones que lo constituye una red de restricciones entre las variables que toman valores en dominios intervalares. Para el caso de los sistemas lineales de este trabajo dichos sistemas se transforman en sistemas polinómicos.

La resolución de dicho problema de satisfacción de restricciones con restricciones polinómicas, con objeto de obtener conclusiones, se realiza mediante técnicas de consistencia desarrolladas anteriormente en otros trabajos previos.

Como ejemplo de la posible aplicación de estas técnicas a los modelos socioeconómicos se ha aplicado a modelos input/output de Leontieff para diferentes sectores de producción donde se posee conocimiento cualitati-

vo de algunos de los parámetros que intervienen y para un modelo del impacto que produce la implantación de una gran factoría en una determinada zona en las que se tiene al igual que en el ejemplo anterior conocimiento cualitativo.

Los resultados obtenidos al aplicar las técnicas propuestas para ambos modelos aparecen como significativos desde el punto de vista predictivo y para la toma de decisiones.

## 2.2 El modelo mixto de órdenes de magnitud: operadores y relaciones binarias

Núria Agell  
ESADE-URL & LEA-SICA  
Av. Pedralbes, 62, 08034 Barcelona  
agell@esade.es

Francesc Prats, Mónica Sánchez  
MA2-UPC & LEA-SICA  
Pau Gargallo 5, 08028 Barcelona  
{prats, monicas}@ma2.upc.es

Uno de los problemas más importantes que se han venido planteando en el razonamiento cualitativo ha sido el cálculo con variables cualitativas. En este artículo se define un modelo mixto de órdenes de magnitud que constituye un marco de referencia adecuado para poder representar problemas reales en los que las variables pueden tomar valores cualitativos.

Dentro del ámbito del razonamiento cualitativo con órdenes de magnitud, hasta el momento, se han utilizado dos tipos de modelos que permiten trabajar con información cualitativa, estos son los llamados modelos de órdenes de magnitud absolutos y los de órdenes de magnitud modelos relativos. En este artículo se unifican criterios dados desde ambos modelos para definir un modelo mixto de órdenes de magnitud. En él se dispone de una referencia absoluta para etiquetar las magnitudes, así como de un conjunto de relaciones binarias (despreciabilidad, proximidad y comparabilidad) en concordancia con el lenguaje propio de dichas etiquetas. Las relaciones de despreciabilidad y de proximidad entre

valores cuantitativos se definen a partir de cocientes entre los valores frontera que delimitan los intervalos correspondientes a distintas magnitudes cualitativas del modelo considerado, y son invariantes por homotecias. La relación de comparabilidad se define a partir de las propias etiquetas cualitativas del modelo. Estas relaciones son generalizadas de manera natural a los casos de dos valores cualitativos y de un valor cualitativo y uno cuantitativo imponiendo que la relación se cumpla para todos los valores numéricos correspondientes a los valores cualitativos dados.

Los resultados que se presentan permiten la aproximación a problemas reales con datos cualitativos y cuantitativos, es decir problemas en los que no se dispone de suficiente información cuantitativa como para establecer un tratamiento numérico de los mismos, pero se conocen operadores y relaciones binarias definidas entre magnitudes que permiten obtener resultados menos precisos pero más realistas que los que se obtendrían forzando una resolución numérica. En concreto, se utiliza el modelo mixto para la resolución de sistemas de restricciones cualitativas y semicualitativas dadas por ecuaciones lineales y relaciones binarias. En este trabajo se presenta también la aplicación OM-LAB, creada sobre MATLAB (versión 5.1), que permite trabajar en espacios de órdenes de magnitud mixtos.

### 2.3 Estabilidad de soluciones en un modelo dinámico bioeconómico

M<sup>a</sup> Luisa Vilchez, Juan José García  
 Universidad de Huelva  
 {lobato,hoyo}@uhu.es

Francisco Velasco  
 Universidad de Sevilla  
 velasco@cica.es

En este documento se estudia la estabilidad de las soluciones de equilibrio de un sistema dinámico que modeliza la situación real de un ecosistema en el que dos especies (en nuestro caso peces) compiten por la utilización de un mismo recurso y donde una de

ellas es sometida a captura. El modelo estudiado es una variación del propuesto por Gause(1935) para medir la interacción entre dos especies en un mismo medio. Se ha supuesto que una de las especies es explotada, y se ha considerado así mismo el Esfuerzo de Pesca como una variable dinámica. El sistema dinámico estudiado es un sistema diferencial de tres ecuaciones con tres variables, a saber:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = rx \left(1 - \frac{x}{K}\right) - \alpha xy - qEx \\ \frac{dy}{dt} = sy \left(1 - \frac{y}{L}\right) - \beta xy \\ \frac{dE}{dt} = kE \left(x - \frac{c}{pq}\right) \end{cases}$$

donde  $x$  e  $y$  representan los stocks de cada especie,  $E$  es el esfuerzo de pesca, y  $r$ ,  $s$ ,  $K$ ,  $L$ ,  $c$ ,  $p$ ,  $q$ ,  $k$ ,  $\alpha$  y  $\beta$  son coeficientes positivos, cada uno de ellos con una significación bioeconómica.

Una vez hallados los puntos fijos o soluciones de equilibrio del sistema, se calculan los polinomios característicos de la matriz Jacobiana del campo vectorial asociada a cada punto. Estos polinomios, una vez asignados valores a algunos parámetros conocidos, resultan ser funciones de las variables  $\alpha$  y  $\beta$ . En cuanto a la estabilidad, nos interesa saber cuándo son atractivas las soluciones de equilibrio. Nuestro objetivo por tanto, es determinar bajo qué condiciones sobre  $\alpha$  y  $\beta$  los polinomios característicos van a tener raíces de tipo estable, es decir, con parte real negativa. Si somos capaces de determinar la región del plano  $\alpha - \beta$  para la cual existe estabilidad, seremos capaces de decir dónde están las superficies de bifurcación del sistema, es decir, las fronteras donde se producen cambios en las propiedades dinámicas del mismo que afecten a su estructura topológica (a saber, cambios en el número o estabilidad de los puntos fijos, órbitas cerradas, etc...).

### 2.4 Una aproximación de la teoría del caos al Marketing

Fco. Javier Landa, Francisco Velasco,  
María Sancho  
Facultad de Económicas  
Universidad de Sevilla  
velasco@cica.es

El desarrollo del método científico en Marketing, conlleva de manera permanente y reiterada a considerar el tratamiento de la disciplina desde una óptica más dinámica que estática. Modelizar desde una perspectiva no dinámica, supone simplificar la realidad del entorno y del mercado, no ya por el modelo en sí mismo, lo que es lógico y aceptable, sino por no contemplar en éste su evolución en el tiempo.

La línea de investigación que estamos desarrollando, parte de estudiar todos los modelos que conforman la disciplina científica denominada Marketing, desde una óptica dinámica para determinar en que momento o circunstancia esos modelos pueden presentar trayectorias hacia el caos parcial o total. De esta manera intentamos prever situaciones en las que los entornos y/o los diferentes mercados podrían llegar a presentar un posible “no orden”, que no un desorden.

Los estudios de los modelos dinámicos de demanda han sido los que han originado la línea de investigación. La hipótesis de partida se configura de la siguiente manera:

A corto plazo y en entornos considerados como estables, la función dinámica de demanda puede presentar tendencias no previstas, para según que valores adopten los parámetros que la definen, y que en su caso, pueden ser consideradas y analizadas, esas tendencias, desde una perspectiva de caos limitado o total.

Los parámetros de ajuste en este tipo de funciones recogen la respuesta que dan los diferentes elementos del entorno, así como la propia respuesta de los consumidores.

Estudiar las funciones dinámicas de demanda desde la teoría del caos supone conocer esas funciones de manera más amplia de lo que se venía realizando hasta ahora. No es

un enfoque que sustituya a otros, sino que complementa a los ya existentes.

No obstante, es necesario considerar que no siempre el estudio de un posible comportamiento caótico sólo puede ser tratado cuando se produce la respuesta del mercado, o lo que es lo mismo, sería interesante poder conocer si el comportamiento del consumidor antes de iniciar su posible proceso de compra, responde a un presumible comportamiento calificado como caótico.

Lo anterior implica que nuestro interés se centra, en este momento, en investigar cuando se produce lo que podemos llamar el “comportamiento extraño del consumidor” y estudiarlo, no a través del reflejo que ese comportamiento tiene en las funciones de demanda sino a través de lo que podríamos denominar “funciones de pensamiento”. Se trata de analizar si el comportamiento extraño, el comportamiento no previsto, tiene su origen en que ya el propio pensamiento del consumidor es, a veces, caótico.

Para ello nos centramos en los aspectos psicológicos del mismo. La idea es trabajar con las funciones de pensamiento que recojan las variables y los parámetros que conforman o inciden en el proceso de toma de decisiones del consumidor.

Se trata de adoptar un nuevo enfoque, de conseguir una mejor aproximación al fenómeno complejo del comportamiento del consumidor y de evaluar si las propiedades de la dinámica no lineal son aplicables a dicho comportamiento.

Los modelos que recojan el comportamiento dinámico del consumidor deben considerar lo siguiente:

- Funciones cuantitativas, que traten aspectos cualitativos, puesto que consideramos más importante entender por qué los consumidores desean comprar un producto, que saber cuantos efectivamente lo van a comprar.

- Funciones continuas, reflejo del propio proceso de pensamiento de los consumidores.

## 2.5 El modelo político/económico de Kazuyuki Sasakura: Un estudio cualitativo

Jose Maria Alba, Elena Olmedo,  
Francisco Velasco  
Facultad de Económicas, Univ. Sevilla  
{jomalbar,olmedo,velasco}@cica.es

El modelo de Sasakura supone un intento de relacionar el ciclo económico con el ciclo político, basándose en tres hipótesis: 1) el gobierno puede intervenir en la evolución económica por medio de la política fiscal para mantenerse en el poder, 2) que el gobierno, como el resto de los agentes económicos, actúa racionalmente (esto es, maximizando su beneficio) y 3) que la popularidad del gobierno depende, en gran medida, de las condiciones económicas del país. Además se considera la influencia de los grupos de presión sobre el gasto público. En definitiva, el ciclo político entra como una fuerza externa que actúa sobre el sistema periódico, generando una dinámica periódica, de período igual al de la fuerza externa. Los avances en el estudio de sistemas no lineales así como el descubrimiento de la propiedad de dependencia sensible a las condiciones iniciales, abre la posibilidad del surgimiento de una dinámica compleja en este tipo de modelización no lineal.

Para estudiar su dinámica se realiza, en primer lugar, un estudio del sistema en un caso particular en el que puede considerarse un oscilador lineal forzado aplicando la metodología de las secciones de Poincaré y se comprueba la existencia de distintos tipos de dinámica según la relación entre la frecuencia del término forzado y la frecuencia intrínseca del sistema. En segundo lugar, para estudiar el sistema general, en el que el sistema puede considerarse un oscilador no lineal forzado, se utiliza el teorema del promedio y su relación con las bifurcaciones, que nos garantiza, a grandes rasgos, la misma dinámica en el sistema original que en el

promedio asociado, al igual que las mismas bifurcaciones. Como paso inicial estudiaremos los puntos fijos del sistema asociado (que serán órbitas del sistema original) y su estabilidad (que será del mismo tipo que la de la órbita del sistema original).

## 2.6 Análisis de modelos semicualitativos mediante simulaciones cuantitativas. Aplicación a sistemas socioeconómicos

Juan Antonio Ortega, Rafael M. Gasca,  
Miguel Toro  
*Dpto. Lenguajes y Sistemas  
Informáticos  
Universidad de Sevilla*  
{gasca,jaortega,mtoro}@lsi.us.es

En ciencia e ingeniería, el conocimiento sobre los sistemas dinámicos, puede ser cuantitativo, cualitativo o semicualitativo. Todo este conocimiento debe ser tenido en cuenta cuando estos sistemas se estudian. En este trabajo se estudian sistemas dinámicos con conocimiento cualitativo. Este conocimiento cualitativo puede estar compuesto de: operadores cualitativos, funciones de banda, etiquetas cualitativas y funciones continuas cualitativas.

Se propone una nueva metodología para estudiar los modelos semicualitativos de los sistemas dinámicos. También se describe un formalismo para incorporar información cualitativa a estos modelos. La metodología propuesta permite estudiar todos los estados de un sistema dinámico, es decir, tanto el estacionario como el transitorio. También permite obtener los patrones de comportamiento de los sistemas dinámicos semicualitativos.

La principal idea de la metodología es: un modelo semicualitativo se transforma en una familia de modelos cuantitativos. Cada uno de estos modelos tiene un comportamiento cuantitativo diferente, si bien entre sí pueden responder a similares comportamientos cualitativos.

De manera esquemática, la metodología propuesta transforma un modelo semicualitativo en una familia de modelos cuantitativos. La simulación de cada modelo cuantitativo genera una trayectoria en el espacio de fase. Se obtiene una base de datos con estos comportamientos cuantitativos. Se propone un lenguaje que permita realizar consultas sobre las propiedades cualitativas de esta base de datos de trayectorias. Este lenguaje también permite clasificar los diferentes comportamientos cualitativos del modelo. Esta clasificación nos ayuda a describir el comportamiento semicualitativo de un sistema mediante un sistema de reglas jerárquicas obtenidas aplicando algoritmos genéticos.

La metodología se ha aplicado a un modelo semicualitativo de crecimiento logístico con retraso. En particular, estos modelos aparecen en procesos naturales y en sistemas

sociales y socio-tecnológicos. Por ejemplo, en la evolución de las bacterias, en la extracción de minerales, en el crecimiento de la población, en desarrollos económicos, etc. Los resultados obtenidos con esta metodología concuerdan con otros aparecidos en la bibliografía, que han sido obtenidos por medio de razonamientos matemáticos.

## 2.7 Una herramienta para obtener un sistema jerárquico de reglas cualitativas a partir de datos cuantitativos

José Riquelme, Jesús Aguilar, Miguel Toro

Depto. de Lenguajes y Sistemas Informáticos

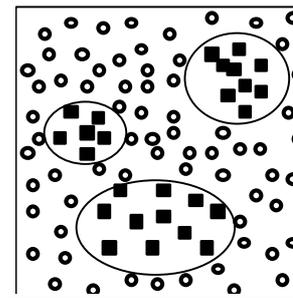
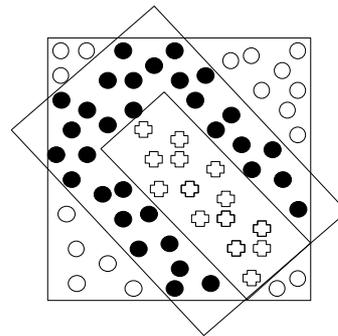
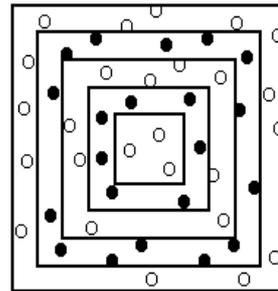
Universidad de Sevilla

{riquelme,aguilar,mtoro}@lsi.us.es

Este trabajo describe un sistema de aprendizaje supervisado basado en reglas con tres representaciones geométricas diferentes. La idea inicial es utilizar el concepto de lista de decisión para generar un conjunto jerárquico de reglas. La jerarquía consiste en que un ejemplo será clasificado

por la  $i$ -ésima regla sólo si no satisface las condiciones de las  $i-1$  reglas precedentes. Este concepto tiene de ventaja con respecto a los sistemas como el C4.5, el poder encontrar clasificadores con un menor número de reglas para la misma tasa de error. En la figura se pueden ver tres ejemplos en dos dimensiones de datos que con un clasificador jerárquico el número de reglas necesarias sería significativamente menor.

La principal aportación de nuestro sistema es que utilizando un algoritmo evolutivo y con una adecuada codificación de los individuos podemos representar regiones del espacio de datos a clasificar mediante tres aproximaciones geométricas distintas: hiperrectángulos con los lados paralelos a los ejes, hiperrectángulos rotados e hiperelipses.



El sistema consiste en un ciclo de iteraciones cada una de las cuales busca una regla. Esta búsqueda es realizada por un algoritmo genético en el cual cada individuo representa una región. La búsqueda debe minimizar una función que maximice el número de puntos correctamente cubiertos por la regla, minimizando los posibles puntos cubiertos erróneamente. Una vez encontrada una regla, los puntos que esta cubre (incluyendo los erróneos) son eliminados de la base de datos de entrenamiento y el proceso continua con la búsqueda de la siguiente regla. El proceso termina cuando no hay puntos en la base de datos o su número es insignificante.

Con muy ligeros cambios en el significado de la codificación de un individuo podemos obtener distintas formas geométricas, así dos valores por dimensión entendidos como un intervalo daría lugar a un hiperortodr. Si estos dos valores lo entendemos como la coordenada del centro y la longitud del eje de una elipse, obtenemos una hiperelipse. Por último, si añadimos un valor más que sea un ángulo de giro por cada coordenada tendremos hiperrectángulos o hiperelipses giradas.

Las pruebas realizadas tanto con bases de datos creadas ex-profeso como con bases de datos del UCI Repository validan la metodología propuesta, pues siempre se han conseguido mejorar los resultados obtenidos con clasificadores como el C4.5, sobre todo en la reducción del número de reglas necesarias para determinada tasa de error. Esto hace que la interpretación cualitativa de los resultados sea mucho más simple con esta herramienta.

## **2.8 Aplicaciones de técnicas cualitativas en las ciencias del management**

Núria Agell, C. Ansotegui,  
Xavi Rovira, Josep Sayeras  
ESADE-URL  
Av. Pedralbes, 62, 08034 Barcelona  
{agell,ansotegui,rovira,sayeras}@esade.es

El trabajo que se presenta, se encuentra situado en un proyecto más amplio en el cual se pretenden utilizar técnicas propias del Razonamiento Cualitativo en entornos relacionados con las ciencias del management. El objetivo es desarrollar herramientas capaces de ser utilizadas en situaciones en las que aparecen simultáneamente datos numéricos y datos en forma de descripciones cualitativas. Inicialmente se considera que las variables toman valores en espacios cualitativos de órdenes de magnitud.

La frecuente falta de información cuantitativa (o la falta de precisión) y en ocasiones también el “exceso” de información cuantitativa, junto con el hecho de que es posible en ciertas ocasiones llegar a conclusiones significativas a partir de un razonamiento puramente cualitativo, ponen de manifiesto la importancia de representaciones y técnicas cualitativas en diversos dominios científicos y técnicos.

Precisamente en entornos relacionados con las ciencias del management, existen muchos modelos cuantitativos para la toma de decisiones, pero en ocasiones no se pueden utilizar estos modelos, ya que no todas las variables implicadas pueden expresarse de forma cualitativa.

En este trabajo se presentan dos aplicaciones, la primera en el ámbito del marketing y la segunda en el de las finanzas. Ambas aplicaciones se encuentran en la fase inicial de descripción del problema y de definición de las relaciones y operadores cualitativos.

### **APLICACIÓN 1: La fijación de precios en el mercado.**

En concreto se plantea el problema de la fijación del precio de un producto en un mercado con producto diferenciado. El objetivo es predecir cuál sería el precio óptimo de un bien cualquiera en un momento futuro del tiempo, tomando como herramienta básica técnicas del razonamiento cualitativo.

Aunque existen modelos teóricos tales como el modelo de Cournot o el de Stackelberg,

éstos parten de premisas excesivamente rígidas para ser aplicados sin ningún tipo de modificación o adecuación en entornos reales. Se ha pensado en la utilización de técnicas cualitativas ya que el problema a nivel operacional no tiene una metodología prefijada y en la mayoría de los casos los modelos teóricos no ajustan con la precisión requerida.

Los principales motivos que nos llevan al planteamiento de una aproximación cualitativa son los siguientes:

- Alguna de las variables de entrada puede ser cualitativa, la valoración de las acciones de marketing, la percepción del producto,....
- Existen relaciones binarias cualitativas entre variables: las relaciones entre las acciones de marketing y el volumen de ventas,...
- Por último, no es necesario que las salidas sean numéricas, nos proponemos obtener resultados como “incrementar mucho”, ... “incrementar poco”, “decrementar bastante”....

Actualmente se trabaja en el diseño de un operador cualitativo  $\Psi$  con imágenes en {NG, NM, NP, 0, PP, PM, PG} que sugiera la tendencia que debe seguir el precio del bien a partir de los valores cualitativos de las variables.

## **APLICACIÓN 2: Establecimiento del rating empresarial**

En esta segunda aplicación pretendemos aproximar el riesgo de crédito de una empresa mediante técnicas de razonamiento cualitativo.

Las empresas para financiarse se endeudan. Tienen dos posibilidades, endeudarse con un banco o en el mercado. Para endeudarse en el mercado emiten deuda, en forma de obligaciones o bonos. El problema para el inversor es tener un conocimiento a priori de la capacidad de la empresa para devolver la deuda. El inversor pedirá mayor o menor rentabilidad en función de cuánto riesgo tenga la emisión. A mayor riesgo exigirá

más rentabilidad. Para tomar buenas decisiones de inversión es necesario medir con precisión el riesgo de la emisión considerada.

El problema del riesgo de crédito es la medición exacta de la probabilidad de impago, ya que ésta varía a lo largo del tiempo en función de las condiciones de entorno en las que se mueve la empresa y de las decisiones que la empresa tome. Por tanto, es fundamental a la hora de tomar decisiones “cualificar - cuantificar” el riesgo de impago de la empresa. La cuantificación del riesgo de crédito es difícil, por no decir imposible. Lo más que se ha hecho en el mercado es “cualificar” la calidad de crédito de la empresa.

Hay dos empresas especializadas en esta tarea: Moody's y Standard & Poor (S&P). Tanto Moody's como S&P categorizan las empresas según su calidad de crédito asignándoles lo que se denomina en el ámbito financiero un “rating”.

Los procesos y métodos que siguen S&P y Moody's para asignar un rating son complejos y resultan de una parte de análisis cualitativo (la experiencia del analista) y una parte de análisis cuantitativo (basado en ratios financieros de la empresa). Se utilizan, además de los datos de la Empresa, previsiones de crecimiento de la industria, posición competitiva de la Empresa, cambio tecnológico, el entorno macroeconómico del País.....

Nuestra propuesta es replicar los ratings utilizando información pública de las empresas y su entorno a partir de técnicas no numéricas. Más concretamente, partiendo del balance, la cuenta de resultados y la cotización de la empresa, el país y sector donde opera queremos llegar a la calificación (rating) dada por Moody's mediante técnicas de razonamiento cualitativo, y que además tenga en cuenta no sólo los valores cualitativos de cada una de las variables, sino también el signo de su influencia en la variable objetivo y el nivel (fuerza) de influencia en la calidad de crédito de la empresa.

### 3 Jornadas de trabajo sobre Razonamiento con Intervalos

Estas Jornadas nacen con la intención de acercar dos grupos de investigadores españoles que trabajan con intervalos. En particular, los grupos IAC (Intervalos Aplicados a Control) y ARCA (Automatización del Razonamiento Cualitativo y Aprendizaje). Los temas de los grupos ARCA e IAC son conexos en algunos aspectos principalmente en los temas relacionados con la utilización de los Intervalos en el Razonamiento Cualitativo. Además se abordará la utilización de intervalos en los campos del Razonamiento Temporal y Espacial.

Se pretende que estas Jornadas sirvan para discutir sobre la posible aplicación industrial de estos temas. En concreto, se pretende estudiar su aplicación al control y diagnóstico de sistemas. Además, estas Jornadas deben promover la discusión sobre los trabajos que se presenten, cuyos temas centrales tratarán sobre Intervalos, Control y Razonamiento.

Los trabajos que se presentaron en estas Jornadas se agruparon y distribuyeron en las siguientes sesiones:

- Sesión: Razonamiento y simulación de sistemas dinámicos con información Intervalar
  1. Utilización de información intervalar en la simulación semicualitativa  
Rafael M. Gasca (Univ. de Sevilla)
  2. Metodología semicualitativa para razonar sobre sistemas dinámicos  
Juan Antonio Ortega (Univ. Sevilla)
  3. Análisis de un modelo dinámico con conocimiento intervalar  
Francisco Velasco (Univ. de Sevilla)
  4. Una implementación para la resolución de sistemas de restricciones con conocimiento intervalar  
(Univ. de Huelva)

- Sesión: Análisis, Diagnosis y Control
  5. Generación de envolventes con error limitado usando análisis intervalar modal  
Louise Travé-Massuyès (LAAS-CNRS Francia)
  6. Aplicaciones del análisis intervalar a sistemas y control. Presentación del grupo de intervalos modales  
Josep Vehí (Univ. de Girona)
  7. Estrategias de detección de fallos con modelos intervalares para sistemas realimentados  
Joseba Quevedo y Teresa Escobet (Univ. Politecnica de Catalunya)
  8. Extensión del CA-EN a procesos con múltiples entradas. Aplicación a una turbina de gas  
Joseba Quevedo, Sebastian Tornil y Teresa Escobet (Univ. Politecnica de Catalunya)  
Louise Travé-Massuyès (LAAS-CNRS)
  9. Generación de agentes artificiales en la supervisión de procesos  
Pere Ponsa, Andreu Catalá (Univ. Politècnica de Catalunya)
- Sesión. Razonamiento Temporal y Espacial con Intervalos. La utilización de información intervalar en Razonamiento Espacial Cualitativo  
Tere Escrig (Univ. de Castellón)

Los trabajos de la primera sesión de estas jornadas eran en contenido similar a los expuestos en las Jornadas sobre sistemas Socioeconómicos, anteriormente expuestos, por lo que no se ha incluido un resumen de los mismos a continuación. Del resto de los trabajos en las otras sesiones se expone a continuación un resumen de algunos de ellos, ya que otros fueron abordados mas bien como foros de debate, conducidos por los autores que aparecen junto a los trabajos. En cualquier caso, a continuación se expone el resumen de algunos de ellos.

### 3.1 Estrategias de detección de fallos con modelos intervalares para sistemas realimentados

Joseba Quevedo, Teresa Escobet  
Univ. Politecnica de Catalunya

Este trabajo compara diferentes estrategias basadas en modelos para la detección de fallos en sistemas dinámicos con realimentación. En sistemas que operan en ciclos cerrados con un controlador, el problema principal para el descubrimiento de los fallos está en que el controlador intenta compensar los fallos, manteniendo el sistema en un estado seguro. Por esta razón, la manifestación del fallo puede ser bastante transitoria o incluso inobservable.

Este trabajo demuestra que todos los residuales que pueden construirse con las diferentes variables diferentes en el ciclo no tienen idéntica sensibilidad a los fallos. Cada residual es obtenido computando la diferencia entre el valor observado de una variable y su valor previsto en el modelo. Su sensibilidad también depende de las diferentes estrategias que se usan por realizar la predicción basada en el modelo durante el tiempo, y cómo se acopla con la detección de la discrepancia en en cada instante de tiempo.

La detección de fallos basada en el modelo usa un modelo con comportamiento normal del sistema y la adquisición en-línea de valores de variables para generar las diferencias (o residuos) entre los previstos y los valores reales, como una indicación de algún mal funcionamiento. En nuestro trabajo, sólo los fallos en los subsistemas son considerados si la redundancia física del sistema de control (R, S y T) nos permite asumir que el sistema del control es seguro.

Seis estrategias diferentes para la generación residual en sistemas basados en modelos con ciclos han sido presentados y los resultados muestran la mejora obtenida con estas técnicas.

### 3.2 Extensión del CA-EN a procesos con múltiples entradas. Aplicación a una turbina de gas

Joseba Quevedo, Sebastian Tornil,  
Teresa Escobet  
Univ. Politecnica de Catalunya

Louise Travé-Massuyès  
LAAS-CNRS Francia

El trabajo presenta, en una primera etapa, la metodología utilizada para la determinación de modelos de detección de fallos aplicados a un proceso concreto: una turbina de gas. Y en una segunda etapa se muestra la utilización de estos modelos en el campo de la detección de fallos de la turbina. El trabajo realizado forma parte del proyecto Europeo ESPRIT nº 27548.

Las etapas seguidas en la identificación del modelo han sido:

- a) Selección de la estructura: Se han utilizando para ello técnicas teóricas basadas en el estudio de leyes físicas con las cuales se han podido establecer las relaciones entre las variables de interés; y técnicas empíricas como la correlación cruzada entre variables para determinar el retardo puro y el criterio de minimización del error cuadrado utilizado para seleccionar la estructura del modelo.
- b) Estimación del modelo: Utilizándose para ello los algoritmos de estimación clásicos como mínimos cuadrados. La particularidad de los modelos con los que se está trabajando es que los parámetros son intervalos de valores, por lo tanto los modelos propuestos son capaces de absorber las imprecisiones del sistema, la incertidumbre de los parámetros, las dinámicas no lineales, ... Se ha presentado una técnica para expandir los valores nominales de los parámetros a intervalos.
- c) Validación: La simulación del modelo obtenido genera unas envolventes, en esta etapa se comprueba si el modelo es lo suficientemente bueno en función de

una especificaciones dadas: el sistema presenta fallo (el valor real está fuera de la envolvente) o no (el valor real se encuentra dentro de la envolvente de predicción), si no se satisfacen los requerimientos del modelo debe repetirse la primera etapa.

Se han mostrado los modelos obtenidos en el estudio del subsistema de inyección de gas, observándose que modelos sencillos como: relaciones estáticas y modelos de primer orden con una o varias entradas podían representar el comportamiento de los distintos componentes del sistema estudiado. Además, se ha mostrado como utilizando la estrategia de Ca-En (sistema de supervisión basado en modelos) los resultados obtenidos con los distintos modelos hacen posible aislar y diagnosticar fallos en los distintos componentes.

### 3.3 Generación de agentes artificiales en la supervisión de procesos

Pere Ponsa, Andreu Catalá  
Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial  
Escola Universitària Politècnica de Vilanova i la Geltrú  
{pponsa, andreu}@esaii.upc.es

La ponencia presentada ofrece una metodología de trabajo para la generación de agentes artificiales capaces de controlar sistemas dinámicos.

El problema se divide en dos partes. La primera es el diseño de agentes y la segunda es su implementación y puesta en funcionamiento. La finalidad de esta generación es establecer un marco que permita el estudio de pautas de comportamiento humanas aplicadas a la supervisión de procesos. Ésta generación está incluida dentro de un entorno de programación que, además, también permite modelar diversos sistemas dinámicos, realizar test a usuarios y extraer datos.

## 4 Conclusiones

En este artículo se ha presentado de manera resumida algunos de los trabajos de investigación entorno a la aplicación de conocimiento cualitativo a los sistemas socioeconómicos y su relación con los intervalos.

El contenido del presente artículo intenta acercar al lector a algunas de las líneas de trabajo actuales en el campo del conocimiento cualitativo y su aplicación a sistemas reales.

El resultado que aquí se expone es un resumen de los trabajos presentados en las dos últimas Jornadas celebradas durante este año por el colectivo de investigadores agrupados en ARCA (Automatización del Razonamiento Cualitativo y Aprendizaje). En concreto las «**Jornadas de Trabajo sobre Metodologías Cualitativas Aplicadas a los Sistemas Socioeconómicos**» y las «**Jornadas de Trabajo sobre Razonamiento con Intervalos**».

Estos eventos han servido a su vez para relacionar al colectivo ARCA con otro grupo español, IAC (Intervalos Aplicados a Control). Algunos de los objetivos de investigación de ambos grupos son próximos entre sí, por lo que, se han planteado en el futuro nuevas reuniones, donde se continúe la cooperación.

Finalmente los autores de este artículo quisiéramos dar las gracias a los participantes en ambas Jornadas, por suministrarnos los resúmenes de las exposiciones que realizaron.