

ORGANIZACIONES VIRTUALES Y REDES NEURONALES. ALGUNAS SIMILITUDES*

MARÍA DEL MAR CRIADO FERNÁNDEZ

Doctora en Ingeniería de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid; profesora titular del Grupo de Ingeniería de Organización. E. T. S. I. Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid.
mcriado@gjo.etsit.upm.es

JOSÉ LUIS ARROYO BARRIGÜETE

Ingeniero Industrial y Licenciado en Estadística por la Universidad Carlos III de Madrid; investigador del Departamento de Organización de Empresas de la Universidad Complutense de Madrid.
jlarroyo@ccee.ucm.es

JOSÉ IGNACIO LÓPEZ SÁNCHEZ

Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales por la Universidad Complutense de Madrid; profesor titular del Departamento de Organización de Empresas de la Universidad Complutense de Madrid.
jilopez@ccee.ucm.es

Fecha de recepción: 24-01-2005

Fecha de aceptación: 19-09-2005

ABSTRACT

Though there is a plethora of studies that describe the main characteristics and operation of virtual organizations, there is still a lack of mathematical quantitative models that reflect the behavior of these organizations. In this regard, this article is aimed at discussing the existing similarities in the operation of virtual organizations and neuronal networks (SOM's or Self-Organizing Maps). The purpose is to provide the basis to propose this type of statistical technique as a tool for formulating virtual organization models. It poses a series of plausibility arguments, but

a rigorous verification of this proposal will be the subject of further research studies.

KEY WORDS

Virtual organizations, SOM networks, Kohonen's maps.

Jel rating: C45; O30

Colciencias rating: B

RESUMEN

Aunque existen numerosos trabajos que identifican sus principales características y modo de funcionamiento, el estudio de las organizaciones virtuales adolece de una carencia de

* Los autores agradecen a la Fundación Rafael del Pino la financiación concedida para el desarrollo de esta investigación.

modelos matemáticos que reflejen su comportamiento de un modo cuantitativo. En este sentido, a lo largo del presente trabajo se tratará de poner de manifiesto las similitudes existentes entre el funcionamiento de las organizaciones virtuales y el de las redes neuronales (SOM, *Self Organizing Maps*). El objetivo es sentar las bases para proponer este tipo de técnica estadística como herramienta para la formulación de modelos sobre

organizaciones virtuales. Se plantearán una serie de argumentos de plausibilidad, dejando a investigaciones posteriores la verificación rigurosa de esta propuesta.

PALABRAS CLAVE

Organización virtual, redes SOM, mapas de Kohonen.

Clasificación: JEL: C45; O30

Clasificación Colciencias: B

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las tecnologías de la información y las comunicaciones ha posibilitado que las organizaciones evolucionen hacia estructuras cada vez más distribuidas. En este contexto surge la denominada organización virtual (en adelante OV), que Orero y Criado⁹ caracterizan como una organización que carece de algunas características (normalmente estructurales) de la organización real, pero que sin embargo funciona como una organización real para el observador externo. Es preciso indicar que la OV no es en realidad una nueva forma organizativa, sino que es más adecuado considerar la «virtualidad» como una característica organizativa de formas estructurales ya existentes.

Si bien la literatura teórica identifica cuáles son las principales características de este tipo de organización, apenas se han realizado intentos de formular modelos matemáticos que reflejen su comportamiento. Por ejemplo, existen trabajos que vinculan las organizaciones virtuales con los sistemas caóticos, aunque sin proponer en realidad ningún modelo formal que sustente dicha hipótesis. En este sentido, en el presente trabajo se propondrá el uso de redes neuronales autoorganizadas como técnica de modelización.

Este tipo de redes, denominadas SOM (*Self Organizing Maps*) o mapas autoorganizativos de Kohonen, presentan un funcionamiento que coincide en gran medida con el de las organizaciones virtuales. Es decir, dentro de una red SOM, el proceso de especialización neuronal es muy similar al proceso autoorganizativo que se produce en el seno de las OV

para adaptarse a una oportunidad específica.

A lo largo del presente trabajo, y a modo de argumento de plausibilidad, se pondrán de manifiesto las similitudes existentes entre las OV y las redes SOM. El objetivo es abrir el camino para que, investigaciones posteriores, confirmen o refuten la viabilidad de emplear este tipo de técnica estadística para la elaboración de modelos de funcionamiento de las OV.

2. ORGANIZACIONES VIRTUALES Y REDES NEURONALES: CONCEPTOS BÁSICOS

En este apartado se expondrán brevemente la definición y aspectos básicos de ambos conceptos, lo que servirá de base para la posterior exposición de similitudes y semejanzas.

2.1 ¿Qué es una organización virtual?

Criado³ la define como «una red temporal y reconfigurable de cooperación (horizontal y/o vertical) entre organizaciones legalmente independientes y geográficamente dispersas que persigue un servicio o producto sobre la base de una comprensión conjunta del negocio. Las organizaciones participantes en la OV cooperan espontáneamente, combinando y coordinando sus capacidades distintivas de forma coherente con el objetivo de aportar diferenciación y valor en el mercado, y obtener así ventaja competitiva. Esta habilidad o característica se llama virtualidad, y una OV puede poseer dicha habilidad en mayor o menor medida.

Actuando de esta forma, la OV se presenta a terceros como una única uni-

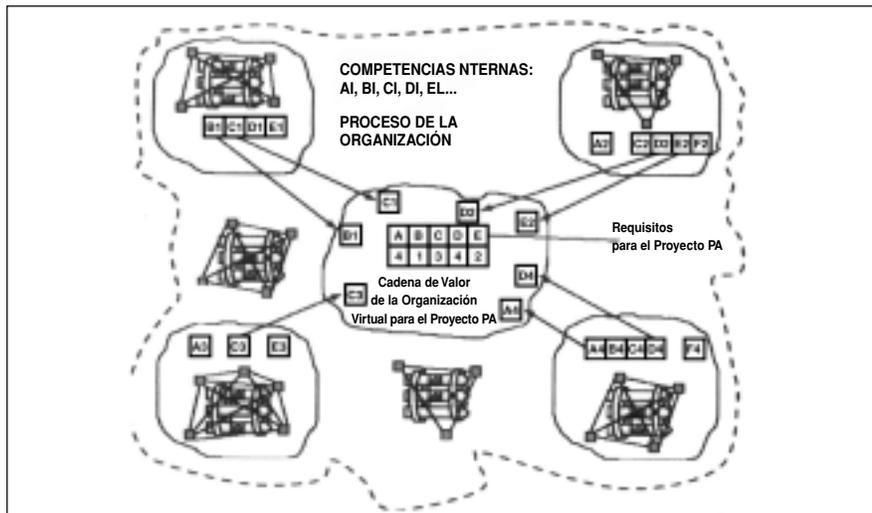
dad organizativa, aunque prescinde de una administración o gestión centralizada (jerarquía o integración vertical) gracias a las relaciones basadas en la confianza y a la utilización de Sistemas de Información Interorganizacionales (SIIO) / Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) avanzadas, para coordinar los procesos interorganizacionales de la organización virtual, que permiten su configuración, gestión y desarrollo. Su ciclo de vida termina cuando el propósito perseguido se alcanza o la OV se vuelve ineficaz».

Desde un punto de vista conceptual, el funcionamiento de una OV es relativamente sencillo. Diferentes organizaciones, vinculadas entre sí mediante los adecuados sistemas de información interorganizacionales (SIIO), combinan y coordinan temporalmente sus competencias propias a fin de ofrecer una serie de productos y servicios que no podrían proporcionar de manera individual.

Dicho mecanismo de funcionamiento podría esquematizarse del siguiente modo:

1. La OV está formada por una red temporal y reconfigurable de organizaciones independientes y geográficamente dispersas. Cada una de ellas cuenta con una serie de capacidades distintivas.
2. Ante una nueva oportunidad de negocio, se evalúan las capacidades de cada uno de los participantes, seleccionando aquellos que mejor pueden desarrollar el proyecto. De este modo se configura una cadena de valor en la que distintas organizaciones aportan las diferentes etapas de dicha cadena.
3. Una vez que el proyecto ha finalizado y se presenta una nueva oportunidad, la red se reconfigura. Por tanto, las organizaciones participantes son distintas en cada caso.

Figura 1: Esquema de una organización virtual.



Fuente: Fischer *et al.* (1996)

2.2 ¿Qué es una red neuronal tipo SOM?

El espectacular desarrollo de las redes neuronales ha hecho que empiecen a ser aplicadas en el ámbito de las ciencias sociales como alternativa o complemento a otras técnicas estadísticas.⁴ Los mapas de Kohonen, propuestos por Teuvo Kohonen (ver por ejemplo, 5, 6 y 7), son un tipo particular de red neuronal empleado para múltiples aplicaciones: desde la agrupación y visualización de datos,⁸ hasta la compresión de imágenes.¹¹ Estas redes se basan en el aprendizaje no supervisado, ya que se sirven solamente las entradas sin sus correspondientes salidas,⁷ motivo por el que se habla de redes autoorganizadas. Es decir, la red se adapta al problema concreto que tiene que afrontar, de manera similar a como ocurre en el cerebro.

Habitualmente estas redes presentan una estructura bidimensional,² y es posible distinguir dos variantes diferentes:

- LVQ (learning vector quantization).
- TPM o SOM (topologic preserving map, o self organizing map).

Nos centraremos, en este trabajo, en la variante SOM, ya que sus propiedades resultan más adecuadas para la presente investigación.

A su vez, y puesto que el entrenamiento de las redes SOM está basado en lo que se denomina «aprendizaje competitivo», es posible distinguir dos planteamientos diferentes: competición dura (sólo la neurona ganadora actualiza sus pesos) y competición blanda (la neurona ganadora actualiza sus pesos, aunque sus

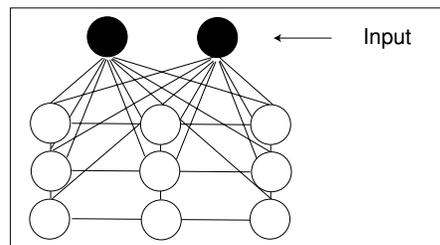
vecinas también lo hacen en menor porcentaje). Es este último tipo de competición el que nos interesa a efectos de este trabajo.

El funcionamiento de este tipo de red se basa en tratar de establecer una correspondencia entre los datos de entrada y un espacio bidimensional de salida.

Para ello se emplea el siguiente procedimiento. En primer lugar se presenta a la entrada una información en forma de vector de n componentes. Las m neuronas que forman la capa de salida reciben la información a través de conexiones hacia delante con pesos w_{ij} y también a través de las conexiones laterales con el resto de las neuronas de la capa de salida. Se evalúa cuál es la neurona cuyo vector de pesos está más próximo al dato de entrada y, una vez encontrada la vencedora, su peso se actualiza, actualizándose también los de las neuronas vecinas.

La Figura 2 muestra el caso particular de una red SOM con un input de dimensión 2 ($n=2$) y 9 neuronas ($m=9$).

Figura 2: Esquema de una red SOM.



Fuente: Elaboración propia.

De manera algo más formal, el mecanismo de funcionamiento puede esquematizarse en los siguientes pasos (Kohonen, 1997):

1. Inicializar los pesos de las neuronas de la capa de salida (asignar a los pesos valores pequeños aleatorios).
2. Presentar una nueva entrada.
3. Propagar el patrón de entrada hasta la red.
4. Seleccionar la neurona ganadora. Para ello se evalúa la distancia entre el peso de cada neurona y el vector de datos, de modo que la ganadora sea aquella que presente una menor distancia d . Aunque hay otras posibilidades, habitualmente se emplea la distancia euclídea para esta evaluación:

$$d_j = \sum_{i=1}^n \left[(x_i - w_{ij})^2 \right]^{1/2} \quad Eq.(1)$$

5. Actualizar los pesos de la neurona ganadora y sus vecinas. Esta actualización se efectúa habitualmente mediante el siguiente procedimiento:

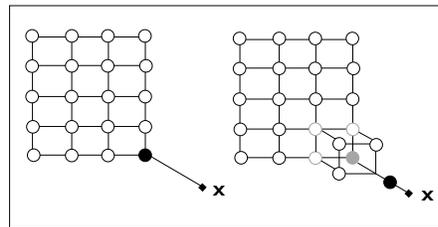
$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + a(t) \cdot \gamma(t) \cdot [x_i - w_{ij}(t)]$$

$$\gamma(t) = \exp\left\{-0.5 \cdot \left[r_{ij} / \sigma(t) \right]^2\right\} \quad Eq.(2)$$

Donde $a(t)$ es la velocidad de disminución del aprendizaje, r_{ij} es la distancia respecto a la neurona ganadora y $\sigma(t)$ es el radio de vecindad considerado, que típicamente disminuirá con el tiempo.

En la Figura 3 se muestra el proceso de aprendizaje descrito. Como puede apreciarse, la neurona ganadora (en negro) actualiza su vector de pesos, y las vecinas también lo hacen, aunque en menor medida.

Figura 3: Actualización de pesos en una red SOM en condiciones de competencia blanda.



Fuente: Elaboración propia.

6. Volver al paso 2.

El resultado final, tras el proceso de aprendizaje, es una red especializada por zonas, de modo que grupos de neuronas próximos están entrenadas para actuar ante determinado tipo de entradas.

3. SIMILITUDES ENTRE LAS OVY LAS REDES SOM

De todo lo expuesto hasta el momento se deduce que existen varias similitudes entre las OV y las redes SOM. La más relevante afecta a cómo funcionan y cómo se desarrolla su ciclo de vida, sin embargo hay otra serie de semejanzas relativas a otra serie de aspectos como tamaño, reconfigurabilidad, etc. Enseguida se exponen brevemente.

3.1 Funcionamiento y operación

A continuación, y con base en el proceso de funcionamiento descrito en los apartados anteriores, se establecerán

los paralelismos que existen entre ambos sistemas.

Etapa 1. Inicialización

Es posible identificar los pesos iniciales de cada una de las neuronas de una red SOM con las competencias de cada una de las organizaciones participantes en una OV. Al igual que distintas neuronas tendrán diferentes vectores de pesos, distintas empresas tendrán diferentes capacidades internas.

Etapa 2. Selección

Ante un nuevo dato de entrada (una nueva oportunidad de negocio) la red evalúa cuál es la neurona cuyo peso es más próximo al dato. En el tipo de redes SOM que se han analizado, las neuronas vecinas influyen también en este proceso, de modo que se produce una cooperación de varias neuronas para lograr activarse. Esto es equivalente a decir que ante un nuevo proyecto, la OV analiza qué empresas poseen las características más adecuadas para atender la necesidad, de modo que varias empresas cooperan para atender de forma óptima a los requerimientos específicos del proyecto.

Etapa 3. Operación y aprendizaje

La neurona ganadora y sus vecinas, que han cooperado en su activación, actualizan sus pesos, aproximándolos a los valores del dato de entrada. Lo mismo ocurre en las OV, pues a medida que una empresa desarrolle con frecuencia una determinada actividad, aprenderá más sobre la misma, de modo que ante futuras demandas similares, tendrá una mayor probabilidad de ser seleccionada para participar en el proyecto.

Etapa 4. Reconfiguración

Ante un nuevo dato de entrada, se vuelve a evaluar cuál es la neurona más próxima, de modo que otro grupo diferente de células puede activarse. En términos de OV, ante un nuevo proyecto, son otras empresas diferentes las que se encargarán de proporcionar el producto o servicio.

3.2 Otras características comunes

Además de las similitudes que acaban de describirse en el mecanismo de funcionamiento y que tienen un carácter general, hay otras semejanzas entre las que destacan las siguientes.

1. Independencia bajo una identidad conjunta. Las empresas participantes en la OV, al igual que las neuronas de la red SOM, son entidades independientes aunque vinculadas entre sí.

2. Red no jerarquizada. En la OV la participación es igualitaria, y al igual que en las redes SOM, se da un proceso de autoorganización.

3. Compartición de riesgos. Las empresas participantes en una OV aceptan destinos interdependientes. Del mismo modo, la bondad de una red SOM se evalúa en términos de su funcionamiento global ante datos de entrada diferentes. En ambos casos lo relevante es el funcionamiento global del sistema, no el comportamiento individual de alguno de sus componentes.

4. Basada en el cliente. El objetivo de la OV es atender de la mejor forma posible los requerimientos del cliente, ajustando su funcionamiento a los mismos. Las redes SOM se autoorganizan del mismo modo, adaptando sus pesos en función de los datos de entrada.

5. *Proceso de selección natural.* Los participantes cambian en cada caso concreto, de modo que se selecciona a aquellos más aptos para cada dato/proyecto particular. Aquellas empresas que carezcan de competencias adecuadas acabarán abandonando la OV al no participar en ningún proyecto. Del mismo modo, algunas neuronas pueden no ser entrenadas debido a que su vector de pesos está muy distanciado de cualquier entrada.

6. *Adaptabilidad.* Como consecuencia del punto anterior, tras un período suficientemente largo, la OV estará constituida por empresas cuyas competencias sean especialmente adecuadas para satisfacer las demandas de sus clientes. Análogamente, los pesos de las neuronas en los mapas SOM proporcionan una buena aproximación al espacio de entrada.

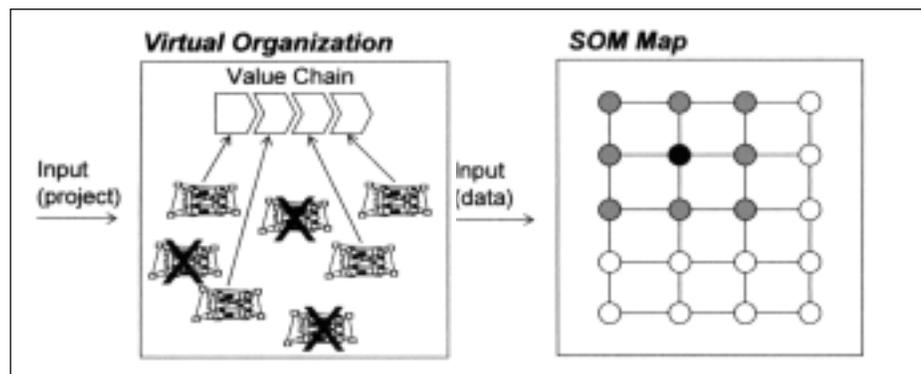
7. *Densidad de capacidades y capacidades distintivas.* En línea con el punto anterior, tras un período suficientemente largo de funcionamiento, la «bolsa» de competencias de las empresas participantes en la OV vendrá condicionada por el tipo de pro-

yectos que desarrolla. De este modo, algunas capacidades serán mucho más frecuentes que otras debido a una mayor demanda de las mismas. Análogamente, los mapas SOM reflejarán variaciones en las estadísticas de la distribución de entrada: regiones en el espacio de entrada cuyos vectores tienen altas probabilidades de ocurrencia, son mapeados en grandes dominios del espacio de salida, por lo que contarán con una mejor resolución que regiones de las cuales sus patrones ejemplo tienen pocas probabilidades de ocurrencia.

8. *Tamaño.* Cuanto mayor sea el número de empresas participantes en la OV, mejor adaptación podrá lograrse, aunque mayor será la complejidad de coordinación. En las redes SOM ocurre exactamente lo mismo, ya que cuanto mayor sea el número de neuronas, mejor aproximación podrá ofrecerse a cambio de un mayor costo computacional y de aprendizaje.

A modo de resumen, la Figura 4 muestra un esquema del funcionamiento de ambos sistemas. Como puede observarse, ante un determi-

Figura 4: Comparación del esquema de funcionamiento de las OV y las redes SOM.



Fuente: Elaboración propia.

nado input sólo algunos elementos entran en juego (se activan), cooperando entre ellos para lograr el resultado deseado.

4. CONCLUSIONES

Como conclusión de este trabajo se pueden derivar las diversas similitudes entre el esquema de funcionamiento de una organización virtual y el proceso de aprendizaje de las redes SOM. La exposición realizada realmente no constituye una prueba de que sea posible modelizar OV mediante redes SOM, pero pone de manifiesto la convergencia entre ambos conceptos, lo que puede ser la hipótesis de partida para analizar la posibilidad de dicha modelización.

La principal limitación del presente estudio es que se trata de una exposición comparativa puramente teórica, que pone de manifiesto las similitudes pero no propone un modelo a contrastar. En este sentido, y como líneas de investigación abiertas, se está trabajando en elaborar el modelo y validar desde un punto de vista empírico la viabilidad de esta posible modelización. Para ello la simulación numérica es especialmente adecuada para las primeras etapas de la investigación, ya que este tipo de técnica permitiría analizar la viabilidad de la propuesta evitando la dificultad que supone la obtención de datos reales.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. C. Amerijckx; M. Verleysen; P. Thisen y J. Legat, «Image Compression by Self-Organized Kohonen». IEEE Transactions on neural networks, Vol. 9, No. 3, 1998, pp. 503-507.
2. J. M. Campanario, «Using Neural Networks to Study Networks of Sci-

entific Journals». *Scientometrics*, Vol. 33, No. 1, 1995, pp. 23-40.

3. M. Criado, «Caracterización de modelos de cooperación entre organizaciones como base para la obtención de estructuras flexibles y competitivas» Tesis Doctoral no publicada. E.T.S.I.Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, 2000.
4. K. B. DeTienne; D. H. DeTienne; S. A. Joshi, «Neural networks as statistical tools for business researchers», *Organizational Research Methods*, Vol. 6, No. 2, 2003, pp. 236-265.
5. K. Fischer; J. P. Muller; I. Heimig; A. W. Scheer, «Intelligent Agents in Virtual Enterprises». *Proceedings of the 1st International Conference on «The practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology» (PAAM'96)*, Londres, 1996, pp.205 - 223.
6. T. Kohonen, «The Self-Organizing Map». *Proceedings of the IEEE*, Vol.78, No 9, 1990, pp. 1464-1480.
7. T. Kohonen, «Self-Organizing Maps: Optimization Approaches» in T. Kohonen; K. Mäkisara; O. Simula y J. Kangas (Eds.). *Artificial Neural Networks*, Elsevier Science Publishers B.V, North Holland, Amsterdam, 1991, pp. 981-990.
8. T. Kohonen, *Self-Organizing Maps*. Springer Verlag, Berlin, 1997.
9. J. Ong y S. S. Raza, «Data Mining Using Self-Organizing Kohonen maps: A Technique for Effective Data Clustering & Visualisation». *International Conference on Artificial Intelligence (IC-AI'99)*, June 28-July 1 1999, Las Vegas.
10. A. Orero y M. Criado, «Virtualidad y Organización Virtual». *ISFAM 98*, 1998. 

SECCIÓN: EL CASO DEL TRIMESTRE

En cada una de las entregas de la revista incluimos un caso seleccionado de los mejores presentados por los estudiantes de posgrado de la Universidad Icesi en el trimestre anterior. Incluimos además comentarios acerca del caso presentados por profesores.

La base de datos «Casos Facultad de Ciencias Económicas y Administración, Universidad Icesi», está disponible a profesores de las facultades de administración del país y el exterior.

Son de nuestro interés los comentarios sobre el uso que hagan de este caso

El editor