

# PRODUCCION AJUSTADA Y EFICIENCIA EMPRESARIAL. ANALISIS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Luis Eugenio Carretero Díaz  
Pablo García Estévez

## 1. INTRODUCCION

### 1.1. Presentación del Trabajo

El desarrollo y paulatina incorporación de las nuevas formas de dirección de la producción basadas en la aplicación de las prácticas japonesas tales como los sistemas de fabricación “*Just in Time*”, los sistemas de Gestión para la Calidad Total, el desarrollo de nuevos productos a través de la aplicación de técnicas de Ingeniería Simultánea, y las nuevas formas de orientar y gestionar la relación con proveedores (a través de la gestión integral de la cadena de suministros), han impulsando un cambio de paradigma o, cuando menos, una renovación sustancial en cuanto a la forma de entender, diseñar, implantar y sostener la estrategia de fabricación u operaciones de las organizaciones empresariales.

En el área de dirección de la producción y de las operaciones, se conoce con el nombre de “Sistema de Producción Ajustada”, aunque también se utilizan otras denominaciones, tales como Sistema de Producción *Lean*, o también Sistema de Producción JIT, a una nueva filosofía u orientación para el diseño, funcionamiento y control del subsistema productivo de la empresa, que fue desarrollado en Japón a partir de los estudios realizados en las empresas de automoción (inicialmente en Toyota). Después de más de dos décadas de elaboración en las empresas de dicho país, el modelo se traslada por fin a occidente en los años ochenta, en primer lugar a los fabricantes de los Estados Unidos y después a toda Europa Occidental.

La esencia del nuevo paradigma, u orientación para las operaciones de la empresa, se contrapone directamente con la concepción tradicional, más generalmente aceptada, que defiende que las empresas no pueden conseguir resultados favorables en más de uno a la vez, de los objetivos característicos de la función de fabricación: objetivos convencionales de coste o eficiencia, flexibilidad, calidad y plazos de entrega.

En otras palabras, el avance en cada uno de los objetivos anteriormente mencionados sólo es posible gracias a la puesta en práctica de un conjunto de decisiones o políticas de fabricación específicas, es decir, que existen ciertas incompatibilidades o *trade-offs* característicos entre los objetivos de fabricación, las estrategias de producción y las políticas que los sustentan.

Sin embargo, sobre la base de la experiencia de los fabricantes japoneses, pero también de algunos productores occidentales que han sabido incorporar los procedimientos de la producción ajustada, se ha podido observar que algunas empresas tienden a alcanzar simultáneamente, niveles no sólo aceptables, sino en muchos casos superiores a los de sus competidores, en todos los objetivos de fabricación. Dichos resultados se obtienen, precisamente, gracias a la aplicación de determinadas políticas que se enmarcan dentro del nuevo paradigma de la producción ajustada.

En dichas empresas parece que no resulta de aplicación el modelo de incompatibilidades entre las estrategias y objetivos de producción y las políticas de fabricación que las desarrollan. Son los que se conocen en la literatura con la denominación de fabricantes de clase mundial, o “*World-class*”

*Manufacturers*” (Schonberger, 1986). Sin embargo, no parece haber todavía evidencias suficientes sobre la superioridad o no de esta posición y la polémica sigue abierta.

## 1.2. Objetivos del Trabajo

El propósito de nuestro trabajo se enmarca precisamente dentro de dicha controversia ya que pretende determinar si es posible identificar diferencias significativas en términos de resultados, y en varias dimensiones a la vez, entre las empresas españolas del sector de componentes de automoción, población pionera y destacada en la aplicación de la producción ajustada, en función del grado de utilización de dichas técnicas.

Para ello se va a utilizar un análisis mixto que combina el tratamiento estadístico convencional con la técnica de redes neuronales artificiales (RNA), técnicas que aventajan a las llamadas técnicas paramétricas por su mayor flexibilidad y ausencia de supuestos a priori.

El trabajo se organizará de la siguiente manera. En la sección segunda se presentan los principios básicos del sistema de producción ajustada, con especial referencia a su despliegue operativo y las formas de medición de resultados. La sección tercera se dedica a presentar las características básicas de las RNA y su posible aplicación al campo económico. En la sección cuarta se recoge la aplicación de las RNA al análisis de los datos de una muestra de empresas del sector de automoción de España y Portugal y el trabajo se cierra con una síntesis, a modo de conclusiones alcanzadas y los resultados obtenidos.

## 2. EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN AJUSTADA

Para delimitar el concepto y fundamentos de la producción ajustada, dos son las tendencias que es posible observar en la literatura. Por un lado, están aquellos autores que definen el sistema lean por sus componentes (Schonberger, 1986; Krafcik, 1988; Womack, Jones y Roos, 1992; Gunn, 1991; Jones, 1992; Schroeder, 1992; Cusumano, 1994; entre otros). Estos autores se limitan a elaborar una lista en la que aparecen aquellas herramientas y técnicas necesarias para poder considerar la existencia de un sistema de carácter ajustado.

Por otro lado, se encuentran aquellos otros autores que tratan de extraer los principios básicos que identifican la búsqueda de una actuación ajustada (Bosenberg y Metzen, 1993; Barker, 1994; Hayes y Pisano, 1994; Levy, 1997; McDuffie y Helper, 1997; entre otros). Su objetivo no es únicamente delimitar las herramientas a incorporar, sino plantear una lógica de comportamiento a establecer en el sistema de producción.

En nuestro caso, debido a que el objetivo de su delimitación es su posterior aplicación al ámbito general del sistema de producción, nos centraremos principalmente en la segunda tendencia. Sin embargo, consideramos que una adecuada aproximación a la definición de los principios básicos del sistema debe realizarse tomando también como elemento de apoyo los elementos que lo configuran. Por este motivo, identificaremos en primer lugar aquellos principios o fundamentos que aparecen de forma común en la literatura como necesarios a la aplicación del sistema de producción ajustado, pasando posteriormente a identificar los elementos en los que se sustenta su aplicación práctica.

Desafortunadamente, la concepción lean no ha sido planteada bajo un mismo criterio por los diferentes autores, estableciendo cada uno de ellos sus propias ideas sobre los aspectos relevantes del sistema de producción ajustada. Jones (1992) diferencia como principios básicos los siguientes: (1) transferir el mayor número de tareas y responsabilidades que añaden valor a los niveles operativos, (2) detectar rápidamente problemas y defectos, tratando de eliminar las causas a fin de que no vuelvan a ocurrir, (3) establecer sistemas de información que permitan responder rápidamente a cualquier

contingencia, (4) configurar equipos de trabajo con personas formadas y (5) generar una actitud proactiva frente a los problemas y cierta corresponsabilidad empresa-empleado.

Por su parte, Smeds (1994) incluye los siguientes principios del sistema de producción ajustado: (1) la integración de las actividades de producción en unidades autónomas a lo largo del proceso, (2) dotar de una elevada flexibilidad que permita reducir los tiempos de producción, (3) establecer grupos de trabajadores con múltiples habilidades y alto nivel de autorregulación, (4) generación de células de fabricación y (5) establecimiento de un sistema de suministro justo a tiempo. Sin embargo, reconocen posteriormente que una aplicación de estos principios al conjunto de la empresa precisa el desarrollo hacia una mayor coordinación de cada unidad del proceso con el resto de la cadena de suministro, así como hacia una mayor simplificación de sus estructuras.

Womack y Jones (1996) por su parte, establecen cinco principios fundamentales del pensamiento lean que deben ser definidos de manera secuencial: (1) especificar la forma en que se crea valor, siempre considerada en función del cliente final; el valor es lo que el cliente desea, (2) identificar todos los pasos necesarios para diseñar y fabricar los productos a lo largo de todo el sistema de valor con el fin de resaltar todo aquello que no crea más que despilfarro, (3) concebir el producto o familia de productos a lo largo de todo el proceso como un flujo continuo, ignorando las tradicionales divisiones en funciones y departamentos, (4) incorporar un sistema de producción de arrastre, o tipo *pull* en lugar del tradicional sistema de empuje o *push*, de forma que se produzca aquello que el cliente solicita y (5) buscar de forma constante la perfección.

En su conjunto, en todas las aproximaciones anteriormente señaladas se encuentran ciertas limitaciones, entre otras:

- Confunden lo que nosotros consideramos como los fundamentos básicos del sistema *lean* con las herramientas y técnicas necesarias para llevarlo a cabo.
- En otras ocasiones confunden los fundamentos básicos con los resultados que se obtienen con su implantación, considerando éstos como un fundamento en sí mismo.
- Ciertos planteamientos tan solo son válidos para definir una actuación ajustada en el ámbito de la producción física, pero difícilmente pueden utilizarse para aplicar esos criterios a otras funciones diferentes, por ejemplo la logística o las operaciones de servicio.
- Ninguno de los autores anteriores es capaz de aportar una visión suficientemente global de los fundamentos básicos del sistema de comportamiento ajustado, limitándose a mezclarlos con los otros aspectos - herramientas o resultados - o a señalar alguno de ellos en especial, sin buscar una visión más amplia.

Como puede apreciarse, a la hora de implantar estas metodologías, no puede seguirse un modelo determinado puesto que éste no ha sido definido en toda su amplitud. Consideramos, por tanto, la necesidad de establecer un conjunto de principios que nos permitan alcanzar el objetivo de clasificar las empresas en función de la proximidad de su actuación o comportamiento del sistema de operaciones a los principios de la producción lean. Tales principios aparecen recogidos en el siguiente apartado.

## 2.1. Elementos Básicos del Sistema

De esta forma, consideramos que los aspectos básicos que configuran los puntos de apoyo o Principios Fundamentales de este sistema de producción son Simplicidad, (2) Flexibilidad, (3) Coordinación y (4) Implicación del personal (Carretero y Delgado, 2000).

La esencia del sistema lo constituye su carácter integral, así como también la búsqueda de una continua reducción del tiempo necesario para finalizar la cadena de transformación “materias primas – fabricación - productos terminados”. Este objetivo puede conseguirse porque el sistema ajustado pretende combinar las ventajas de la producción flexible (artesana y en lotes) y de la producción en masa, ya que asume la existencia de un personal con múltiples habilidades y conocimientos, la línea de ensamblaje y la estandarización del trabajo (Krafcik, 1988); pero al mismo tiempo evita los altos costes de la primera y la rigidez de la última (Womack y otros, 1992). A fin de encontrar el adecuado equilibrio, la empresa debe plantear su sistema de producción mediante la integración de todas las bases o principios que soportan el sistema ajustado: simplicidad, flexibilidad, coordinación e implicación o compromiso de los recursos humanos.

El modelo teórico de comportamiento propuesto, en base a la búsqueda y aplicación de los cuatro principios fundamentales al ámbito de la actuación productiva, se concreta a nivel práctico en una organización cualquiera, con la aplicación de un conjunto de políticas estructurales y de infraestructura del sistema de producción, que de acuerdo con los autores anteriormente mencionados, Womack y otros 1992, Jones (1992), Barker (1994), Hayes y Pisano (1994), Smeds (1994), Womack y Jones (1996), Levy (1997), McDuffie y Helper (1997), Standard y Davis (1999) y Feld (2001) podemos agrupar en lo relativo al funcionamiento interno de las unidades de producción en torno a cinco dimensiones: (1) Flujo de Fabricación, (2) Control de Procesos, (3) Logística Interna, (4) Organización y Cultura y finalmente (5) Métricas para los nuevos procesos.

Consideramos que las diferentes técnicas incluidas en estas cinco dimensiones relativas a las políticas de funcionamiento y control del sistema de operaciones se fundamentan claramente en cada uno de los cuatro principios anteriores, integran aspectos que tradicionalmente se suelen considerar por separado en las políticas de comportamiento más tradicionales (tal vez ahí resida su valor) y se encuentran en la base de los comportamientos de las empresas mas competitivas de nuestra época.

Dichas políticas se deberían considerar como la parte mas visible del sistema en relación con su comportamiento operativo, pero serían a su vez un componente mas de un sistema de mayor amplitud que integraría a las relaciones de suministro externo, la interconexión con los clientes, el proceso de diseño de nuevos productos y procesos y finalmente la comunicación con el resto de los componentes y áreas de la organización a través de la estrategia de operaciones.

Dentro de cada una de estas cinco dimensiones podemos encontrar las conocidas técnicas que están siendo aplicadas por las empresas manufactureras en su intento por cambiar sus planteamientos de producción convencional hacia los nuevos enfoques de la producción ajustada. El problema es que junto con la dificultad de su identificación, los fabricantes se enfrentan a verdaderos problemas de aplicación por su mencionado carácter integral y por los cambios que se requieren la mayoría de las veces a nivel de cultura y valores organizativos.

## 2.2 El Modelo de Análisis

Con el fin de conocer y medir el grado de aplicación de las distintas técnicas de la Producción Ajustada en el ámbito de la industria de automoción en la península ibérica se ha procedido a realizar una encuesta anónima a través de Internet a las empresas suministradoras de componentes de automoción de primer nivel, en España y Portugal (Guía Autorrevista 2003-04). En total se identificaron unos 350 fabricantes a los que se les envió un cuestionario en el que se pretendía conocer no solo su dominio y aplicación practica de las técnicas de producción ajustada, sino el tipo de relación de suministro que mantenían con los fabricantes, los criterios de selección aplicados por éstos así como también algunas cuestiones adicionales relacionadas con sus prioridades competitivas, eficiencia y posición relativa en los principales objetivos del sistema de producción .

En conjunto el cuestionario se componía de cuatro partes, la última de las cuales hacía referencia precisamente a cada una de las cinco dimensiones del modelo de producción ajustada antes comentadas, que de cara a su contestación simplificamos en cinco ítems cada una que de algún modo pusieran de manifiesto el grado de aplicación de las distintas técnicas.

El cuestionario fue finalmente contestado por 39 empresas, aunque hubo que eliminar algunos por estar incompletos. En concreto se realiza el análisis con tan solo 31 contestaciones válidas, que de acuerdo con los datos contestados por las empresas participantes arrojaría el siguiente perfil:

- Tamaño medio: 344 empleados
- Facturación anual: 58 millones de euros
- Valor añadido por empleado: 86.000 euros
- Crecimiento de la facturación últimos dos años: 0,2485% (prácticamente nada)
- Crecimiento del valor añadido por empleado mismo periodo: 1,8034% (casi ocho veces superior al crecimiento de la facturación en el mismo periodo)

Prácticamente todas las empresas que contestaron trabajan con casi todos los fabricantes europeos y practican una estrategia de provisión no exclusiva. El rango de productos ofrecidos es muy variable y abarca casi todo el panorama de componentes posible, desde vidrios de seguridad a sistemas eléctricos, pasando por asientos, amortiguadores, etc. De la valoración sobre las diferentes dimensiones en las que se subdividían las prácticas de producción ajustada se puede desprender que se trata de hecho de productores muy ajustados, o que utilizan intensamente las distintas técnicas. La puntuación total media obtenida es de 95,32 puntos sobre un total de 125 (el rango de valores oscilaba entre 53 y 123), es decir, un Notable alto en términos académicos: generalmente son empresas de referencia dentro de su sector.

La cuestión ahora es ¿realmente están obteniendo estos fabricantes mejores resultados que sus competidores dentro del sector, gracias a la aplicación de las técnicas de la producción ajustada? Trataremos de contestar a esta pregunta en las siguientes secciones del trabajo.

### 3. REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Las Redes Neuronales son un conjunto de algoritmos matemáticos que encuentran las relaciones no lineales entre conjuntos de datos, basándose en la forma de funcionamiento de las neuronas de los mamíferos superiores. Suelen ser utilizadas como herramientas para la predicción de tendencias y como clasificadoras de conjuntos de datos. Básicamente, se pueden dividir en dos grandes familias: las Redes Neuronales Supervisadas y las Autoorganizadas. Las primeras son las más utilizadas y se basan en el aprendizaje que el algoritmo realiza a través de los errores que comete cuando se la entrena. En este trabajo vamos a utilizar la segunda familia, las redes neuronales autoorganizadas

Las Redes Neuronales Autoorganizadas (RNA) son de la familia de las redes competitivas y como en éstas, se componen de dos capas: la capa de entrada y la de salida. Todas las neuronas de la capa de entrada están conectas a cada una de las neuronas de la capa de salida mediante un vector de pesos. Cada una de estas neuronas de la capa de salida calcula la similitud entre el vector de entrada y su propio vector de pesos sinápticos. La neurona de la capa de salida con el vector de pesos más parecido al de entrada, se declara neurona “ganadora” y modificará su vector de pesos para acercarse,

aún más, al vector de entrada que le ha hecho ganadora. De este modo, si se vuelve a repetir ese vector de entrada, la misma neurona responderá como ganadora y seguirá acercándose un poco más a ese vector de entrada.

Teuvo Kohonen (1982) introduce en las redes competitivas la función de vecindad creando los Mapas de rasgos autoorganizados o SOFM (Self-Organizing Feature Maps) consistente en la definición del entorno alrededor de la neurona ganadora durante la fase de aprendizaje, donde se actualizan tanto los pesos de la neurona ganadora como los pesos de las neuronas pertenecientes a la vecindad.

La vecindad está en función de la distancia entre la neurona ganadora y sus vecinas; y la distancia se define como la zona bidimensional existente alrededor de cada neurona. De esta manera, en el modelo de SOFM se logra que las neuronas próximas sintonicen con patrones similares, quedando reflejada, sobre el mapa, una cierta imagen del orden topológico presente en el conjunto de datos que conforman las entradas. Kohonen (1989)

Lo que hacen los SOFM es una tarea de clasificación, ya que la neurona de salida activada ante una entrada, representa la clase a la que pertenece dicha información de entrada. Además, como ante otra entrada parecida se activa la misma neurona de salida, u otra cercana a la anterior, debido a la semejanza entre las clases, se garantiza que las neuronas topológicamente próximas sean sensibles a entradas físicamente similares.

Un conjunto de datos que no se le conozca un orden predeterminado, se puede clasificar, ordenar, mediante una red SOFM.

Durante el proceso de aprendizaje se van presentando diferentes patrones de entrada y cada uno de ellos va identificando con una neurona ganadora y su vecindad. Al tiempo que aumenta el número de patrones de entrada presentados, disminuye el tamaño de la vecindad. Podemos diferenciar el proceso de aprendizaje en dos fases:

1. La ordenación: donde se identifican las neuronas ganadoras y su vecindad.
2. El ajuste fino: donde se especializan las neuronas ganadoras. En esta fase el radio de la vecindad es igual a 1, reduciéndola a la neurona ganadora.

En un primer momento, los pesos,  $W_{ik}$ , que unen la capa de entrada con la capa de salida son aleatorios. Al presentar un patrón de entrada,  $X(t)$ , cada neurona de la capa de salida calcula su similitud entre los pesos sinápticos y el vector de entrada mediante la distancia euclídea.

$$d = \sqrt{\sum_{k=1}^N (W_{ik} - X_k)^2}$$

Donde  $W_{ik}$  es el peso que une la neurona  $i$ -ésima de la capa de salida con la neurona  $k$  de la capa de entrada y  $X_k$  es el vector  $k$ -ésimo de la capa de entrada. Se determina la neurona ganadora,  $g^*$ , como la que muestra la menor distancia al patrón de entrada y se procede a la actualización de los pesos de ésta y sus vecinas mediante un algoritmo en función de la distancia de la neurona a la vencedora. Como hemos apuntado antes, cada iteración de la fase de aprendizaje tiene como consecuencia la reducción generalizada de las distancias hasta llegar a un punto donde sólo se actualiza la neurona ganadora. Para el cálculo de la vecindad se utilizan funciones del tipo Escalón o del tipo Sombrero Mejicano (Kohonen, 1997).

Cuanto mayor es el número de patrones iguales presentados, más neuronas se especializan en ese patrón. El número de neuronas que se especializan en reconocer un patrón de entrada depende de la probabilidad de aparición de este patrón. De este modo, el mapa resultante aproxima la forma de la función de densidad de probabilidad del espacio sensorial. La cantidad de neuronas concentradas en una región muestran la mayor probabilidad de aparición de ese tipo de patrones.

Los mapas autoorganizados han sido utilizados desde comienzos de la década de los 80 y se han adaptado rápidamente en la ingeniería y otros campos de conocimiento. Algunas de sus aplicaciones se detallan en Self-organizing Maps. (Kohonen, 1997). En tanto que en Visual Explorations in Finance (Deboeck y Kohonen, 2000) se profundiza en el análisis exploratorio de los datos, en el “data mining”, y en una perspectiva global de los métodos tradicionales de clasificación (cluster) y visualización de los datos, que se particulariza para el análisis de los mercados financieros y para la detección de estructuras subyacentes en los datos económicos.

En Serrano-Cinca y Martín Del Brio (1994) se propone un modelo híbrido que combina el modelo neuronal de mapas autoorganizados de Kohonen con otros modelos estadísticos y neuronales que obtienen una puntuación o “Z-store”. Una vez creado el mapa autoorganizado se superpone la puntuación obtenida por la empresa, según el análisis discriminante o el perceptrón multicapa. El modelo, más allá del tradicional análisis discriminante Z de Altman, proporciona información sobre las características financieras más destacadas de la empresa analizada así como el tipo de empresa a la que se asemeja.

#### 4. PRODUCCIÓN AJUSTADA Y EFICIENCIA OPERATIVA EN LAS EMPRESAS DE AUTOMOCIÓN

Para realizar este trabajo se ha entrenado una red neuronal del tipo autoorganizado con una topología hexagonal, dispuesta en un mapa de 5×5 neuronas. Para su entrenamiento se ha utilizado 9 variables:

1. Crecimiento de la facturación (Crec\_Fact)
2. Crecimiento del valor añadido (Crec\_Va)
3. Crecimiento del valor añadido por empleado (Crec\_Va/Emp)
4. Variación de existencias (Varia\_Exist)
5. Mejora de la rotación (Mejora\_Rot)
6. Posición en costes (Pos\_Costes)
7. Posición en calidad (Pos\_Calidad)
8. Posición en flexibilidad (Pos\_Flexib)
9. Posición en entrega (Pos\_Entrega)

El primer análisis realizado consiste en la disgregación de las variables en mapas autoorganizados individuales (Figura 1) que representan la distribución de densidad de la misma. Gracias a estos mapas podemos observar una cierta correlación entre el Crecimiento de la Facturación el Crecimiento del Valor Añadido y el Crecimiento del Valor Añadido por empleado. También se puede observar correlación entre la Posición en calidad y la Posición en flexibilidad.

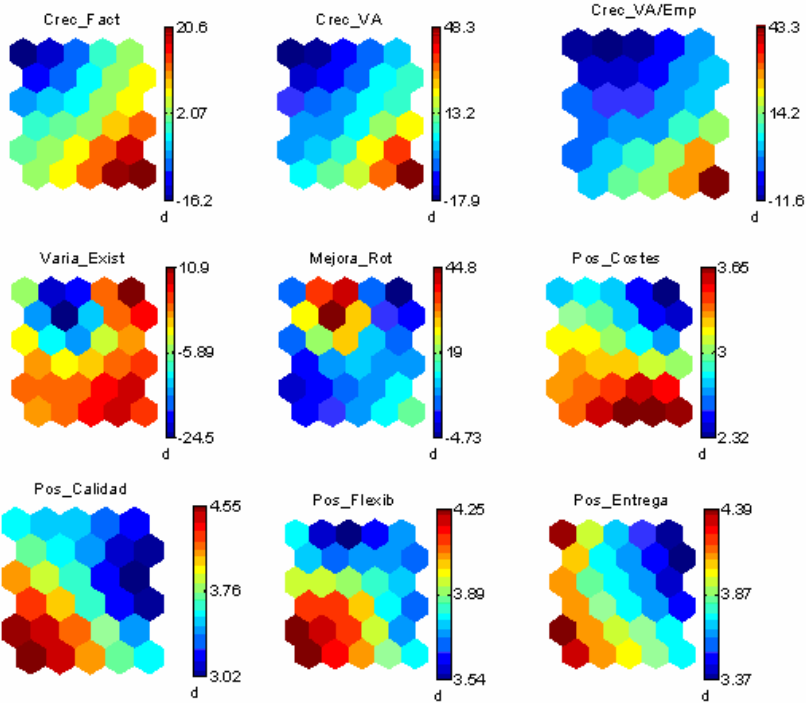


Fig. 1

Utilizando técnicas de lógica borrosa, la red neuronal establece hasta seis grupos diferenciados (Figura 2), cada uno de los cuales contiene a las empresas que presentan el mismo patrón de comportamiento.

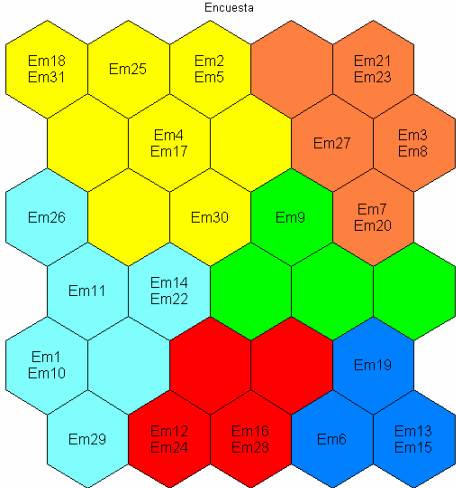


Fig. 2



Las características que definen a cada grupo se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1**

nombre	color	Crec Fact	Crec VA	Crec VA/Emp	Varia_Exist	Mejora Rot	Ctes	Calidad	Flexibi	Entrega
1	Amarillo	bajo	bajo	bajo	Bajo	medio	bajo-medio	medio	bajo-medio	medio-alto
2	naranja	medio	bajo-medio	bajo	alto	bajo	bajo	bajo-medio	bajo	bajo
3	azul claro	medio	bajo-medio	bajo	medio-alto	bajo	medio-alto	alto	alto	medio-alto
4	rojo	medio	bajo-medio	medio	medio-alto	bajo	alto	medio-alto	medio	medio
5	verde	medio	medio	bajo-medio	medio-alto	medio	medio	bajo	medio	bajo
6	azul oscuro	alto	alto	alto	alto	medio	alto	medio	medio	medio

En la tabla siguiente se muestra la distribución de los grupos, donde la columna 1 nos indica el nivel de puntuación total en la escala de puntuación Lean y las siguientes el número de empresas que hay en cada grupo para cada nivel de puntuación. Así, por ejemplo, en el nivel de 50 a 60 hay una empresa en el grupo 1 y otra en el grupo 2. Aunque es menos evidente, la tabla 2 muestra que existe también cierta correspondencia entre la puntuación lean y la pertenencia a un grupo u otro dentro de la clasificación neuronal.

**Tabla 2**

Lean 2 Grupos	1	2	3	4	5	6	Total
50 a 60	1	1	0	0	0	0	2
61 a 70	0	0	0	0	0	0	0
71 a 80	1	0	1	0	0	0	2
81 a 90	1	3	2	1	0	0	7
91 a 100	1	1	2	0	0	2	6
101 a 110	3	2	1	2	1	1	10
111 a 125	1	0	1	1	0	1	4
Total	8	7	7	4	1	4	31

Finalmente en la Tabla 3, se muestra la distribución de empresas en cada uno de los grupos anteriores.

**Tabla 3**

Grupo	Color	Empresas	Total de empresas
1	Amarillo	2, 4, 5, 17, 18, 25, 30 y 31	8
2	naranja	3, 7, 8, 20, 21, 23 y 27	7
3	azul claro	1, 10, 11, 14, 22, 26 y 29	7
4	rojo	9	1
5	verde	12, 16, 24 y 28	4
6	azul oscuro	6, 13, 15 y 19	4

Con la misma base datos utilizada más arriba, hemos entrenado otra red neuronal autoorganizada, forzando a tener la misma topología utilizada: es decir, hexagonal con 5x5 celdas. En este caso las variables son cada una de las dimensiones del modelo de valoración de técnicas:

- Flujo de Fabricación
- Organización y Cultura
- Logística Interna
- Métricas
- Control de Procesos

También se realiza un primer análisis de las variables de la base de datos, (Figura 3) y se puede observar que hay una evidente correlación entre Flujo, Logística y Métricas pareciendo ser más fuerte entre estas dos últimas.

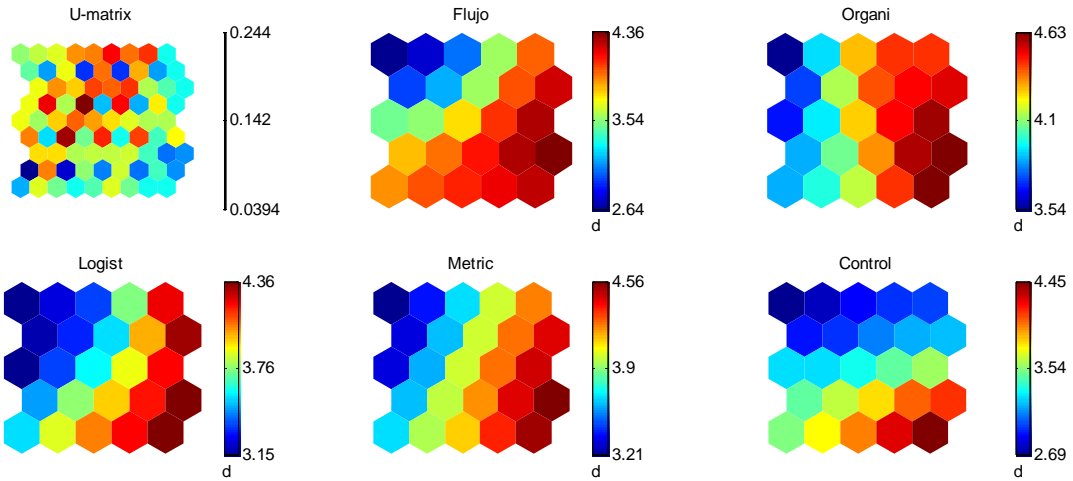


Fig. 3

Con estos datos la red neuronal ha encontrado finalmente siete grupos de empresas (Figura 4) con las siguientes características:

Tabla 4

Grupo	Color	Flujo	Organización	Logística	Métrica	Control
1	Cyan	Bajo	Medio Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
2	Red	Medio	Alto	Medio Bajo	Medio	Bajo
3	Dark Blue	Alto	Alto	Medio Alto	Medio Alto	Bajo
4	Blue	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio Bajo
5	Light Green	Medio	Medio Bajo	Medio Bajo	Medio Bajo	Medio Bajo
6	Dark Red	Alto	Medio	Medio	Medio	Medio
7	Yellow	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto

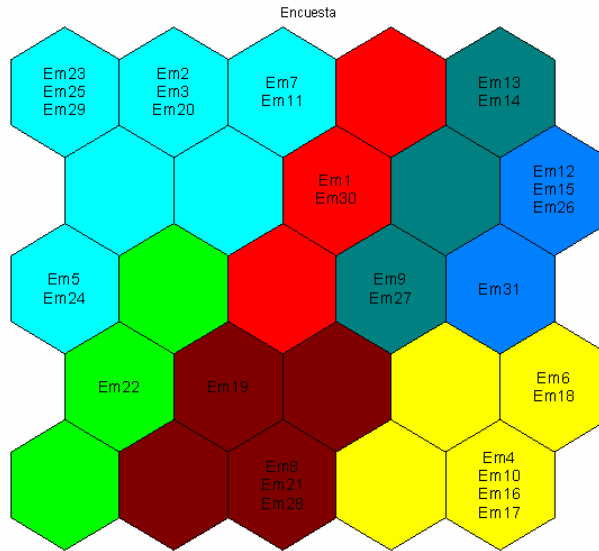


Fig. 4

Situamos las empresas en cada grupo dispuesto por la red y nos queda la siguiente distribución (Tabla 5)

Tabla 5

Grupo	Color	Empresas	Total de empresas
1	Cyan	2 3 5 7 11 20 23 24 25 y 29	10
2	Red	1 y 30	2
3	Dark Blue	9 13 14 y 27	4
4	Blue	12 15 26 y 31	4
5	Green	22	1
6	Dark Red	8 19 21 y 28	4
7	Yellow	4 6 10 16 17 y 18	6

Tal como se puede apreciar visualmente mediante la comparación entre las figuras 2 y 4, o bien mediante la información contenida en las tablas 3 y 5 anteriores, la red neuronal clasifica en los mejores y peores grupos tanto en relación con los resultados como en la aplicación de las técnicas de producción ajustada mas o menos a las mismas empresas, aunque por supuesto con excepciones. En concreto, para realizar más fácilmente este análisis proponemos simplificar los clusters obtenidos en tres categorías tan solo, tanto en relación con los resultados como en la utilización de técnicas.

Por ejemplo, tomemos por un lado las categorías de resultados de a tabla 3 correspondientes a los grupos 4 (color rojo) y 6 (azul oscuro). Dichos grupos representarían el colectivo de empresas que mejores resultados cosechan en las nueve dimensiones. Llamaremos a este grupo arbitrariamente grupo alfa ( $\alpha$ ). Este grupo estará pues compuesto por las empresas numeradas como 6, 12, 13, 15, 16, 19, 24

y 28 de las observaciones de la muestra (ocho empresas en total). Nótese también que se trata de dos grupos muy cercanos topográficamente tal como se puede ver en la figura 2. De la misma manera podríamos denominar grupo  $\beta$  al formado por las empresas de los grupos 3 y 5 (azul claro y verde) de clasificación y grupo  $\gamma$ , el grupo de peor performance, al conformado por los grupos 1 y 2 de la tabla 3 (amarillo y naranja). Este último como se puede ver es el más numeroso.

Volvamos ahora a la figura 4 y su tabla 5 correspondiente, donde la red neuronal realiza la clasificación relacionada con las prácticas de producción ajustada. Volvemos también a realizar el mismo tipo de análisis pero esta vez sobre el conjunto de cinco dimensiones de la tabla 4.

El primer grupo de practicantes, grupo  $\alpha'$  (alfa prima) estaría integrado por las empresas de los grupos 4 y 7 de la tabla 4 (azul y amarillo), es decir, por las empresas 4, 6, 10, 12, 15, 16, 17, 26 y 31 (nueve empresas en total). Después tendríamos el segundo grupo por aplicación de técnicas, el grupo  $\beta'$ , que agrupa a las categorías 2, 3 y 6 del conjunto (justo la parte media de la figura 4) con las empresas correspondientes que se aprecian en el centro de la figura 4. Y finalmente el grupo  $\gamma'$  con el resto de componentes del análisis (grupos 1 y 5 de la figura).

Cruzando las dos clasificaciones se puede apreciar como los mejores en cuanto a resultados (los  $\alpha$  de la tabla 3), están siempre incluidos en un grupo de categoría superior ( $\alpha'$  o  $\beta'$ ) de la segunda clasificación (figura 4 y tabla 5). El contrario no es cierto, es decir los mas practicantes de las técnicas lean no se corresponden con los que cosechan mejores resultados. Todo ello conduce a una reflexión que podemos resumir de la manera que aparece en el siguiente apartado.

## 5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

De acuerdo con los apartados anteriores podemos concluir nuestro trabajo de la manera siguiente. En primer lugar queremos destacar la utilidad que para el ámbito del análisis, esto es, la medición y explicación de la diferencia entre resultados de las empresas pueden aportar los instrumentos conocidos como Redes Neuronales Artificiales (RNA), en concreto las autoorganizadas, como método de análisis capaz de identificar categorías y relaciones mas allá de los planteamientos mas sencillos de carácter lineal y/o bidimensional. Las redes en nuestro caso aportan la novedad de mantener toda la riqueza informativa de la muestra y la consideración simultánea de un mayor número de dimensiones.

Conviene resaltar la ventaja de este instrumento frente a otras técnicas reductoras de la dimensión así como su flexibilidad, ya que si se presenta un nuevo caso a considerar la red lo clasifica automáticamente en su grupo de referencia, diferenciando aun mas este grupo del resto. Por otra parte, y aunque no se ha realizado en el estudio, sería posible observar la evolución en el tiempo de los componentes de un grupo o el de una empresa en particular en el caso que se tuviera información para ello.

Pero tal vez lo mas interesante o destacable del análisis que ha puesto de manifiesto el trabajo realizado es la constatación de la hipótesis principal relativa a la correspondencia entre mejores prácticas y resultados, o si se quiere la expresión inversa: correspondencia entre resultado y mejores prácticas, tal como se deduce del párrafo final del apartado anterior.

Esto quiere decir (una vez mas) que por aplicar un conjunto de técnicas no tienes garantizado un resultado (como empresa o agente del mercado), pero que la aplicación de estas técnicas si que se convierte en un calificador (*qualifier*) importante (Hill, 1994). Para obtener buenos resultados no solo tienes que ser lean, tiene que haber algo mas. Ese algo puede ser el resto del modelo de producción ajustada, que no se contempla en nuestro estudio por su limitación, u otras causas relacionadas con las circunstancias particulares de la empresa, su estrategia o la situación especial del sector. En todo caso lo que si ha servido el análisis es para poner de manifiesto que los que no aplican el modelo raramente

consiguen resultados por encima de la media (o por decirlo aun mas claro, obtienen los peores resultados del conjunto). Estos resultados nos animan a seguir por este mismo camino y completar dicho análisis con nuevas dimensiones y sectores.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- BARKER, R. (1994): "The Design of Lean Manufacturing Systems using Time-based Analysis", *International Journal of Operations and Production Management*, Vol 14, nº 4, (349-360).
- BÖSENBERG, D. y METZEN, H. (1993): *Lean Management: Vorsprung durch schlanke Konzepte*, Verlag Moderne Industrie, Landsberg, 3ª ed.
- CARRETERO DIAZ, L.E. y DELGADO ESTIRADO, L.M. (2000): "Logística Ajustada: Un análisis estratégico del sector de componentes de automoción en España", *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa (CEDE)*, Vol 7 (419-440).
- CUSUMANO, M. (1994): "The Limits of Lean", *Sloan Management Review*, summer, (27-32).
- DEBOECK, G Y KOHONEN, T. (2000) "*Visual Explorations in Finance with Self-Organizing Maps*". Springer Finance, Berlin.
- FELD, W. (2001): "*Lean Manufacturing. Tools, Techniques, and How to use Them*", St Lucie Press, Boca Raton.
- GUNN, T.G. (1991): *Manufacturing. Total Quality, CIM, Just-In-Time*, McGraw-Hill, Nueva York.
- HAYES, R.; PISANO, G. (1994): "Beyond World-Class: The New Manufacturing Strategy", *Harvard Business Review*, January-February, (77-86).
- JONES, D. (1992): "Beyond the Toyota Production System: the era of lean production", en Voss, C. ed., "*Manufacturing Strategy. Process and Content*", Chapman and Hall, Londres, (189-210).
- KOHONEN T. (1982) "Self-organized formation of topologically correct feature maps". *Biological Cybernetics* , vol 43. (59-69)
- KOHONEN, T. (1989) "*Self-Organization and Associative Memory*". Springer Verlag. Berlin.
- KOHONEN, T. (1997) "*Self-organizing maps*" Springer, Berlin.
- KRAFCIK, J. (1988): "Triumph of the Lean Production System", *Sloan Management Review*, Fall, (41-52).
- LEVY, D. (1997): "Lean Production in an International Supply Chain", *Sloan Management Review*, winter, (94-102).
- McDUFFIE, J.; HELPER, S. (1997): "Creating Lean Production: Diffusing Lean Production Through the Supply Chain", *California Management Review*, vol. 39, nº 4, summer, (118-151).
- SCHROEDER, R.G. (1992): *Administración de Operaciones: Toma de Decisiones en la Función de Operaciones*, McGraw-Hill, México.
- SERRANO-CINCA C, MARTIN DEL BRIO, B (1993) "Predicción de la quiebra bancaria mediante empleo de las redes neuronales artificiales". *Revista Española de Financiación y Contabilidad*. Vol. XXII nº 74, (153-176).
- SMEDS, R. (1994): "Managing Change Toward Lean Enterprise", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 14, nº 3 (66-82).
- STANDARD, C. y DAVIS, D. (1999) : "*Running Today's Factory. A Proven Strategy for Lean Manufacturing*". Hanser Gardner Pub., Cincinnati.
- VESANTO, J. HIMBERG, J. ALHONIEMI, E Y PARHANKANGAS, J (2000) "*Som Toolbox for Matlab 5*" Libella Oly. Espoo 2000
- WOMACK, J.; JONES, D. (1994): "From Lean Production to the Lean Enterprise", *Harvard Business Review*, March-April, (93-103).
- WOMACK J.; JONES, D. (1996): "*Lean Thinking. Banish Waste and Create Wealth in your Corporation*", Simon and Schuster, Nueva York.
- WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. (1992): *La Maquina que Cambio el Mundo*, McGraw-Hill, Madrid. [vo. (1990): *The Machine that Changed the World*, Macmillan Publishing, New York].