Diseño de operaciones globales de fabricación: Estudio empírico ayudado por herramientas de simulación

Sandra Martínez-Miguélez — Ingeniera en Organización Industrial
Ander Errasti-Opacua — Dr. Ingeniero Industrial
Mikel Arcelus-Alonso — Dr. Ingeniero Industrial

TECNUN. UNIVERSIDAD DE NAVARRA. Dpto. de Organización Industrial.
Paseo Manuel Lardizábal, 13 - 20018 San Sebastián. Tfno: 943 219 877. smartinez@tecnun.es

Recibido: 15/06/2011 • Aceptado: 05/07/2011
DOI: http://dx.doi.org/10.6036/4505

MANUFACTURING GLOBAL OPERATIONS DESIGN: AN EMPIRICAL STUDY AIDED BY SIMULATION TOOLS

ABSTRACT

• The need to compete in a global economy has forced companies to internationalize their operations. The design and configuration of purchasing, manufacturing, supplying and distributing global operations become a key strategy to align operations strategy with business strategy.The operations strategy formulation must respond to manufacturing location facility, supply strategy, facility strategic role in the global network design, integration or fragmentation of productive and logistic operations, and suppliers and distribution network design in order to carry out the internationalization process in a successful and reliable way.

This paper focuses on one of the most complex decisions such as the supply strategy. The authors based on a case study developed with a manufacturer of electric generators for the wind sector, they propose a methodology supported on the use of simulation tools such as DGRAI and discrete event simulation to solve the supply strategy problem.

The method and proposed techniques utilization allow increasing sales due to the implementation speed and a better service quality to strategic customers.

• Keywords: global operations, ramp up process, simulation techniques, supply chain.

RESUMEN

La necesidad de competir en una economía globalizada ha obligado a las empresas industriales a internacionalizar sus operaciones productivas y logísticas. El diseño y la configuración de operaciones de compras, aprovisionamiento, fabricación y distribución globales se convierten en un aspecto clave para alinear la estrategia de operaciones a la estrategia de negocio empresarial.

La formulación de la estrategia de operaciones debe dar respuesta a la localización de la planta productiva, la estrategia de suministro, el rol estratégico de la planta en el diseño de la red global, el diseño de las operaciones productivas y logísticas, y el diseño de la red de proveedores y de distribución con el fin de llevar a cabo el proceso de internacionalización con más fiabilidad y éxito.

Este artículo se centra en una de las decisiones más complejas como es la estrategia de suministro. Los autores basados en un caso de estudio desarrollado con un fabricante de generadores eléctricos para el sector eólico, proponen una metodología que se sustenta en el uso de herramientas de simulación tales como DGRAI y la simulación de eventos discretos para dar respuesta a la estrategia de suministro.

El uso del método y las técnicas propuestas permite aumentar las ventas por una rapidez en la puesta en marcha así como una mejor calidad de servicio a los clientes estratégicos.

Palabras clave: operaciones globales, proceso de rampa, técnicas de simulación, estrategia de suministro.

1. INTRODUCCIÓN

El fenómeno de la globalización se ha visto incrementado en los últimos años por la ampliación de la Unión Europea a nuevos países del Este de Europa, así como la apertura a la economía de mercado de países asiáticos como, por ejemplo, China. A lo largo de los últimos años han adquirido creciente relevancia los procesos de fragmentación de los procesos productivos y de multilocalización de las actividades. Las empresas se internacionalizan, cada vez en mayor medida, a través de su integración en cadenas de valor que se extienden por encima de las fronteras nacionales. Como consecuencia, lo que se intercambia a escala internacional son tareas, más que bienes. Estos cambios repercuten sobre las economías que experimentan los procesos de multilocalización y afectan también a las empresas y a sus estrategias de proyección internacional.

Por un lado, de acuerdo con Ferdows [1] y Farrell [2], hay cuatro razones principales que explican este fenómeno:

- **Deslocalización:** acceso a producción en países de bajo coste a través de plantas propias o compartidas.
- **Entrada en nuevos mercados:** las compañías sitúan unidades productivas cerca de nuevos mercados con el objetivo de expandir la demanda y evitar o reducir tanto las barreras arancelarias y los impuestos, como el coste logístico de transporte que conlleva suministrar a estos mercados desde la planta matriz.
- **Desagregar la cadena de valor:** diseñar y producir las diferentes actividades de ingeniería, compras y producción de la cadena de valor en la localización más adecuada en términos de coste, calidad y servicio.
- **Crear nuevo producto y mercado:** identificar nuevos mercados con nuevos productos/procesos más allá de las actividades tradicionales que se llevan a cabo en la compañía.

Por otro lado, diferentes autores han identificado razones complementarias para comenzar dicho proceso de internacionalización, las cuales son:

- **Diversificación del riesgo** para compensar pérdidas temporales que suceden en algunas regiones con las ganancias de otras [3-4].
- **Conseguir economías de escala** en sus actividades productivas, de I+D, distribución y compras entre otras, lo que permite una reducción en costes [5].
- **Capitalizar las grandes inversiones y compensar el ciclo de vida** reducido de los productos con la homogeneidad relativa de los mercados [4-6].
- **Adquirir prestigio**, continuar creciendo globalmente y ganar competitividad [4].

Además, dentro de los procesos de internacionalización pueden distinguirse cuatro etapas o fases de transformación que son [7]: exportación puntual, exportación con agentes independientes y/o exportación con delegaciones comerciales propias, implantación de una unidad productiva compartida (*Joint Venture*) e implantación de unidades productivas propias.

Cada una de estas etapas requiere un cambio en la configuración de plantas y almacenes, así como de la organización de la empresa. Por lo tanto, la internacionalización de las redes de producción implica la realización de las actividades de la cadena de valor (es decir, de ingeniería, compras, fabricación y distribución) de una manera desagregada fuera de sus zonas geográficas y mercados habituales, lo que requiere una mayor coordinación para conseguir niveles aceptables de calidad, flexibilidad y coste. Concretamente, la etapa en la cual hay que realizar implantaciones productivas en el exterior, es un tema que se está convirtiendo en relevante dentro de la ciencia de la gestión de operaciones [1-7-8]. No obstante, para poder abordar dicho problema, las técnicas de simulación se están posicionando como unas herramientas muy útiles a la hora de poder representar diferentes escenarios y así facilitar la toma de decisiones sobre cuál es la mejor opción a llevar a cabo en la situación real, por tanto, además de reducir el tiempo de puesta en marcha, también mejora el rendimiento de los nuevos sistemas [9-10].

Sin embargo, el proceso de diseño de estas redes productivas y de cómo llevar a cabo la integración tanto de los sistemas productivos fragmentados, no han sido estudiados en profundidad.

Por lo tanto, la estructura de este artículo se basa en un primer apartado introductorio, luego un segundo apartado donde se exponen una serie de conceptos relacionados con las operaciones globales que confluyen en el modelo desarrollado y las herramientas de simulación propuestas, posteriormente un tercero donde se muestra el estudio de caso realizado con un fabricante de generadores eléctricos para el sector eólico con el fin de demostrar la eficacia de dichas técnicas y se termina con un cuarto apartado de conclusiones.

2. MÉTODO GLOBOPE Y TÉCNICAS ASOCIADAS

La estrategia de Operaciones tiene que estar alineada con la estrategia de Negocio [11] entendiendo como estrategia de Negocio el posicionamiento de los productos en el mercado, mientras que la estrategia de Operaciones hace referencia a las operaciones productivas y logísticas que se llevan a cabo dentro de una compañía. En este contexto, las decisiones estratégicas de operaciones y los proyectos de reingeniería asociados que se llevan a cabo a corto y medio plazo en las empresas, sirven para aumentar la ventaja competitiva de la cadena de suministro.

Dentro de la estrategia de Operaciones, las cinco decisiones a las que hay que dar respuesta en la configuración de la nueva red productiva en un proceso de internacionalización son: la localización de la planta productiva, la estrategia de suministro, el rol estratégico de la planta en el diseño de la red global, el diseño de las operaciones productivas y logísticas,

y el diseño de la red de proveedores y de distribución. De estas cinco decisiones, el artículo se centra en a la estrategia de suministro.

Existen cuatro posibles estrategias de suministro básicas de cumplimiento de pedido en función de P y D, siendo P el tiempo que se necesita para planificar, comprar, fabricar y entregar un producto; y D el tiempo que los clientes están dispuestos a esperar a que el pedido se complete [12]:

- *Ingeniería contra Pedido (Engineer to Order, ETO) – (D>>P).*
- *Fabricación bajo Pedido (Make to Order, MTO) – (D>P).*
- *Montaje bajo pedido (Assemble to Order, ATO) – (D<P)*
- *Fabricación contra inventario (Make to stock, MTS)* o también llamado *Build to Forecast (BTF)* – (D=0).

Sin embargo en entornos internacionales existe el problema de que el sistema productivo está fragmentado o es un sistema multiplanta, y en consecuencia, la red de proveedores está compuesta tanto por proveedores locales o nacionales y proveedores globales como por diferentes plantas productivas, en ambos casos se necesita una coordinación de control de calidad y de largos plazos de entrega. Además, a esto hay que unir que como resultado de las posibles nuevas configuraciones, las funciones internas tales como la ingeniería, compras, fabricación y también los proveedores externos, tienen que coordinar tanto sus puntos de decisión como de acción para garantizar el buen funcionamiento del sistema productivo.

Para llevar a cabo el proceso de producción y desarrollo de redes, el concepto de *Digital Factory* y las herramientas relacionadas, tales como las técnicas de simulación, podrían ser apropiadas para planificar y poner a prueba las diferentes configuraciones con el fin de reducir el tiempo de puesta en marcha y de llegada al mercado [9] (ver Fig. 1).

Las técnicas de simulación han sido utilizadas en la industria durante muchos años, pero el aumento de la potencia de los ordenadores ha expandido el alcance de las herramientas de simulación, así como su uso en las empresas más pequeñas. Una definición de simulación por ordenador puede ser la siguiente: "Es una buena práctica de construcción de modelos para representar los sistemas existentes o sistemas futuros hipotéticos, y de experimentar con estos modelos para explicar el comportamiento del sistema, además de mejorar el rendimiento o el diseño de nuevos sistemas cono actuaciones deseables" [10]. La simulación por ordenador es una técnica que utiliza el ordenador para modelar un sistema real, especialmente cuando los sistemas son demasiado complejos para modelar

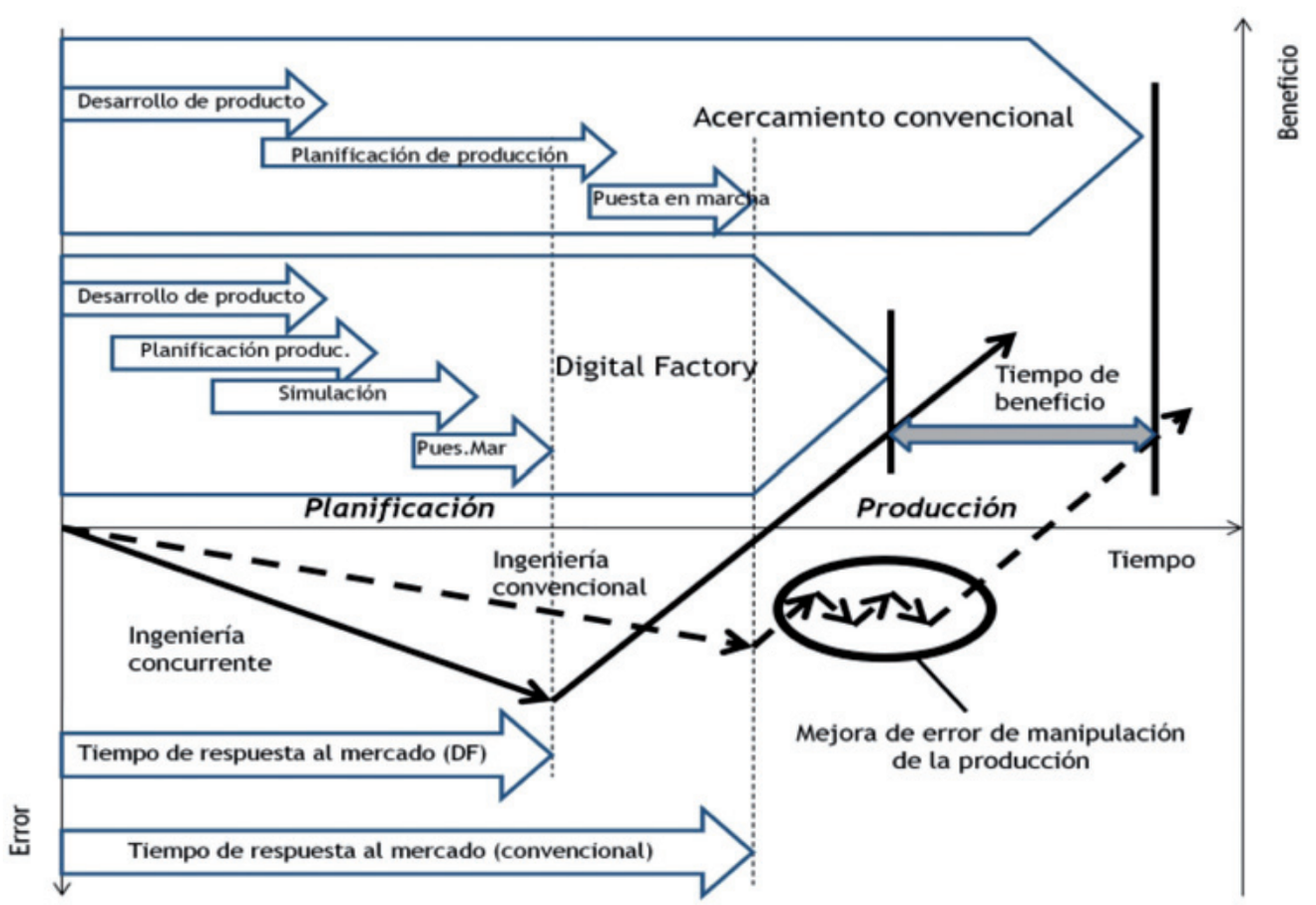

Fig. 1: Digital Factory – beneficio y esfuerzo (adaptada de [9])

directamente con ecuaciones matemáticas sin perturbar o inferir con el sistema real [13]. Además, es importante señalar que la simulación es una herramienta muy potente debido a los valores y beneficios que proporciona, entre los que caben destacar [14]:

- Facilita la comprensión de las variaciones, incertidumbres e interdependencias de los procesos.
- Permite testear muchas alternativas y dar soluciones de una manera rápida y sencilla, por lo que reduce el número de cambios en el sistema final.
- Los modelos pueden ser desarrollados con poco riesgo.
- Las animaciones hacen que dichas herramientas sean buenas para ayudar a "vender" la mejor solución.

Existen varias técnicas de simulación, sin embargo, la simulación por Eventos Discretos es la más utilizada [15]. Esta técnica es una herramienta de análisis que se difunde rápidamente en el ambiente empresarial, comprobando su utilidad para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la planificación de la producción y los inventarios, y con el diseño de los sistemas de producción y sus cadenas de suministro. El concepto de sistema de evento discreto tiene por finalidad identificar a sistemas en los que los eventos que cambian el estado del mismo ocurren en instantes espaciados en el tiempo, a diferencia de los sistemas cuyo estado puede cambiar continuamente en el tiempo (como la posición de un vehículo en movimiento). Aunque aparentemente simples, los sistemas de eventos discretos, modelan muchos de los fenómenos que enfrentan los responsables de la administración de los procesos productivos en una empresa [16]. Los investigadores en el desarrollo del caso de investigación presentado utilizan el software *AnyLogic* 6.5.0.

Por otro lado, entre las diferentes herramientas de simulación, la herramienta DGRAI es útil para planificar y poner a prueba los centros de decisión de los sistemas de planificación y programación. Este sistema contiene por un lado la decisión de planificar, comprar, hacer y/o entregar en los diferentes agentes de la cadena de suministro y por otro, tanto el impacto que causa en la entrega al cliente como los problemas de coordinación de la estrategia de suministro que se decide simular [17-18]. Esta simulación permite la coordinación de los puntos de decisión y acción para asegurar el funcionamiento adecuado del sistema de fabricación y suministro [8].

Por consiguiente, tanto la técnica DGRAI que permite la coordinación entre los agentes de la cadena de suministro como la simulación de eventos discretos ayudan a dar una respuesta a la estrategia de suministro en un entorno que es altamente dinámico y volátil, sobre todo cuando una compañía intenta entrar en un nuevo mercado estableciendo una planta productiva. Esto conlleva aumentar las ventas por una rapidez en la puesta en marcha (evitar retrasos en el proceso de rampa en tiempo y volumen), evitar pérdidas de producción [19] y mejorar la calidad del servicio de entrega a los clientes estratégicos. (Fig.2)

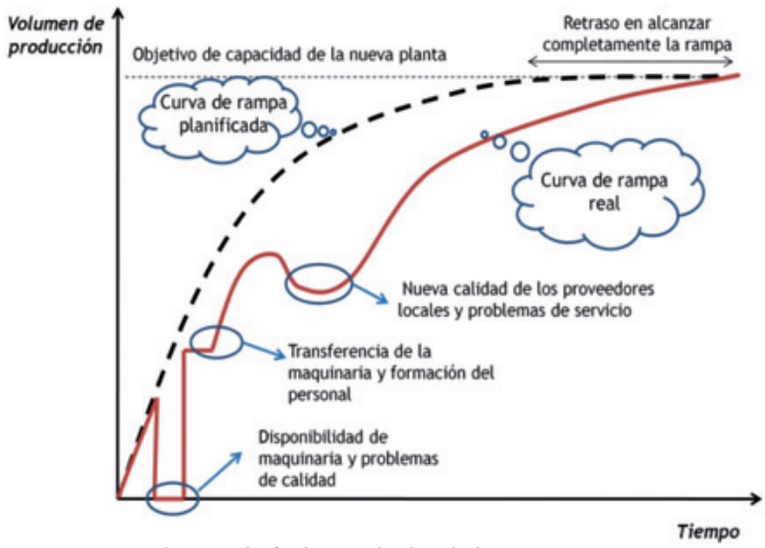

Fig. 2: Curva de rampa planificada y actual (adaptada de [19])

El concepto de rampa o arranque de una planta productiva describe el período caracterizado por la experimentación y las mejoras de los productos y procesos [20] que en sentido estricto se inicia con la primera unidad producida y termina cuando el volumen de producción previsto es alcanzado [21]. Sin embargo, con el fin de gestionar el proceso de rampa con un alto grado de precisión, en primer lugar es necesaria una fase de planificación, en la que se debe comenzar por el diseño del producto, posteriormente con el proceso y por último la red de cadena de suministro [22-23] (ver Fig. 3).

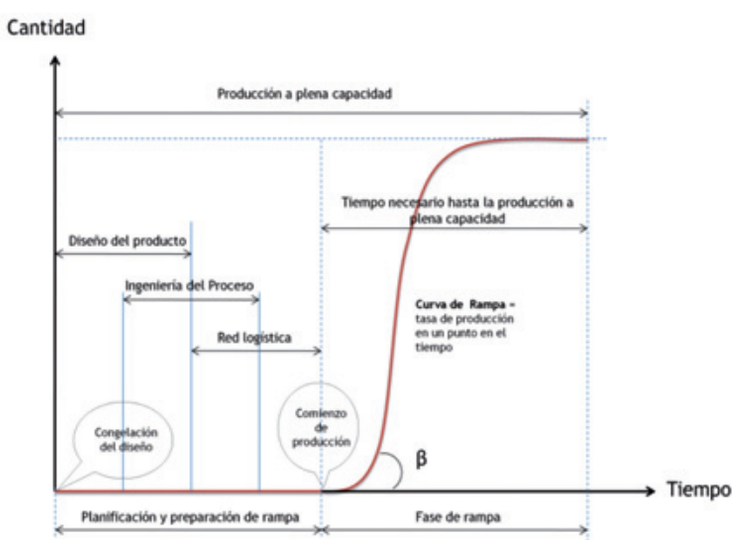

Fig. 3: Actual curva de rampa (diseño/proceso/red logística y ejecución), (adaptada de [22])

En este punto, es necesario presentar el modelo **GlobOpe** (***Glob**alización de **Ope**raciones*) que es un marco que se

ha creado para facilitar el diseño de operaciones en redes de fabricación internacionales, además en cada una de sus etapas se identifican y se desarrollan un conjunto de herramientas y/o metodologías (entre las que destacan las herramientas de simulación) que pueden ayudar a la hora de la aplicación de dichas operaciones [8]. Ese modelo tiene en cuenta la posición de la unidad de negocio en la cadena de valor y establece las etapas que deberían ayudar a crear valor. Dicho modelo está divido en cuatro etapas principales: análisis, formulación, desarrollo y revisión.

En el caso de investigación que se muestra en este artículo, los autores se centran más en la etapa de análisis puesto que la decisión de la estrategia de suministro a considerar es previa a la puesta en marcha y una correcta decisión impacta tanto en la eficacia como en el tiempo de puesta en marcha o rampa.

Como se ha comentado, la etapa de análisis se utiliza para analizar los factores y elegir el contenido de la estrategia de operaciones. Por tanto, en dicha etapa, los procesos de operaciones se revisan y cuando se llega al punto de estudiar la estrategia de suministro, DGRAI y las técnicas de simulación de modelado por Eventos Discretos se utilizan. En consecuencia, el análisis contribuye a la definición o la formulación del proceso de rampa de la nueva unidad productiva y posteriormente, se establece la etapa de desarrollo o implantación del proceso. La Figura 4 muestra de manera muy esquemática el marco GlobOpe.

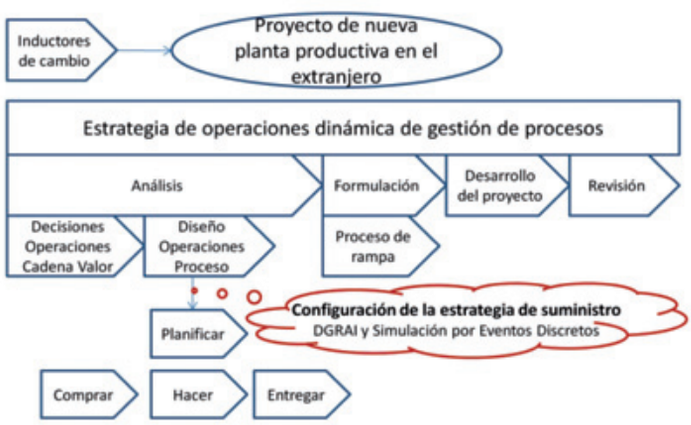

Fig. 4: Representación esquemática del modelo GLOBOPE (figura propia)

3. CASO DE INVESTIGACIÓN

El estudio de la literatura revela que las técnicas de simulación pueden ayudar a configurar la estrategia de suministro en el diseño de la red internacional de fabricación [9]. La metodología de investigación utilizada es la Investigación-Acción o Investigación Activa, también conocida como *Action Research* que se define como un proceso participativo relacionado con el desarrollo de conocimiento práctico, cuyo objetivo es reunir la acción y la reflexión, es decir, la teoría y la práctica para proponer soluciones de interés para las personas [24]. La *Investigación Activa* es una variación de *Estudio de Caso*, con la diferencia de que en esta metodología tanto el cliente como el investigador participan activamente y de manera comprometida en el desarrollo del proyecto para dar solución a un problema determinado del negocio [25].

El objetivo de la fase de experimentación es verificar la utilidad del modelo GlobOpe y las técnicas de simulación asociadas (simulación de eventos discretos y DGRAI) en un caso empresarial.

La empresa participante se dedica al diseño y fabricación de generadores eléctricos para el sector eólico. El generador es una de las partes principales de las que consta un aerogenerador (ver Fig.5).

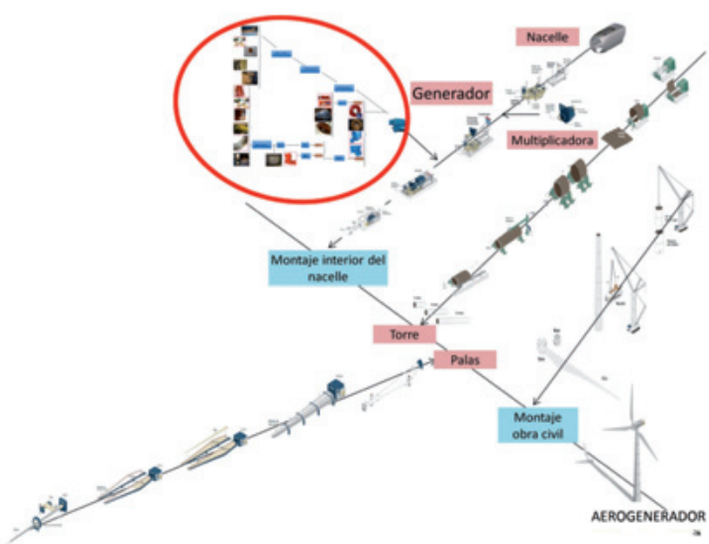

Fig. 5: Mapa de flujo de un aerogenerador (figura propia)

La compañía tiene una planta productiva en el norte de España. La estrategia global de negocio para penetrar en nuevos mercados requiere el rediseño de su sistema productivo. Además, la necesidad de rapidez de respuesta a clientes estratégicos en América del Norte requiere de una implantación productiva en dicha zona.

Para crecer en ventas y minorar el riesgo de inversión de la nueva planta productiva, la empresa se plantea fragmentar el proceso productivo actual. Los procesos productivos de cabecera (el apilado y el bobinado) se mantienen en España y los procesos finales (el equilibrado y el montaje) se implantan en la nueva zona realizando una industrialización de la gama de generadores de manera secuencial hasta conseguir fabricar todos los generadores a suministrar a América del Norte.

En un sistema productivo fragmentado o multiplanta, donde la red de proveedores está compuesta tanto por proveedores locales o nacionales y proveedores globales como por diferentes plantas productivas, ambos necesitan de una coordinación de control de calidad y de largos plazos de

entrega. Por lo tanto, el problema con el que los investigadores y los responsables de la empresa se encuentran es que ni la Cadena de Suministro Relámpago ni los principios de Just in Time son aplicables en profundidad, y la brecha que se genera entre el tiempo de entrega al cliente y el tiempo de la cadena de suministro conlleva la necesidad de fabricar, comprar y suministrar bajo pronóstico. Además, también es necesario fijar un Punto de Penetración del Pedido (*Order Penetration Point*, OPP) y múltiples Puntos de Desacople de Pedido (*Order Decoupling Points*, ODP) para asegurar el servicio al cliente.

El ODP es definido como el punto desde donde aguas abajo se trabajará contra demanda o contra pedido, y aguas arriba de ese punto contra previsiones de venta o contra stock. El OPP, es otro concepto relacionado con el anterior, que servirá para ubicar el punto a partir del cual se trabaja contra pedido. Muchas veces el OPP es llamado Punto de Desacople del Pedido del Cliente (*Customer Oder Docoupling Point*, CODP) para resaltar la importancia que tiene este pedido. Sin embargo, los conceptos no son iguales, ya que en el flujo de materiales puede haber varios CODP, pero sólo un OPP. Por tanto determinar dónde está el OPP se puede considerar una decisión dentro de la estrategia de suministro, ya que supone un impacto en el rendimiento de la cadena de suministro en términos de servicio y coste.

Para dicho proceso de fabricación fragmentado y multilocalizado es necesario definir la estrategia de suministro. La definición de dicha estrategia de suministro supone dar respuesta a: ¿qué partes del proceso productivo se realizarán bajo pedido y cuáles contra stock? ¿Dónde estarán los ODP y los OPPs? ¿Cuál será el plazo de respuesta al cliente y el nivel de Servicio para una demanda dada? ¿Cuáles serán los niveles de stock medios para dimensionar los almacenes?

Ante ello se vislumbra que la solución puede ser por un lado que la planta de Estados Unidos monte los generadores bajo pedido, por ese motivo es necesario que haya un inventario estratégico de subconjuntos previos a fabricación en Estados Unidos, los cuales se reponen en base a pronósticos por parte de la planta de España. Entonces, el OPP del sistema es el inventario de subconjuntos. Por otro lado, la planta española también tiene que establecer un inventario estratégico pero esta vez de partes críticas (cobre y chapa) previos a fabricación en España que reponen bajo pronóstico. En este caso aquí aparece un ODP de la compañía en el almacenamiento de las partes críticas para asegurar la fabricación de la primera fase del generador cuando sea necesario. Así, para cubrir la diferencia que existe entre el tiempo de entrega al cliente y el tiempo de la cadena de suministro se necesita una fabricación bajo pedido, tomas de decisiones a nivel de compras y suministro y la implementación de múltiples ODP y OPP a lo largo de la cadena de suministro.

Sin embargo, dentro de esta solución surgen varios factores a tener en cuenta:

- La coordinación necesaria entre los agentes del sistema a la hora de la planificación y programación de la producción es muy compleja.
- Alternativas a valorar en términos de: patrón de demanda, incertidumbre de compras y aprovisionamiento, stock

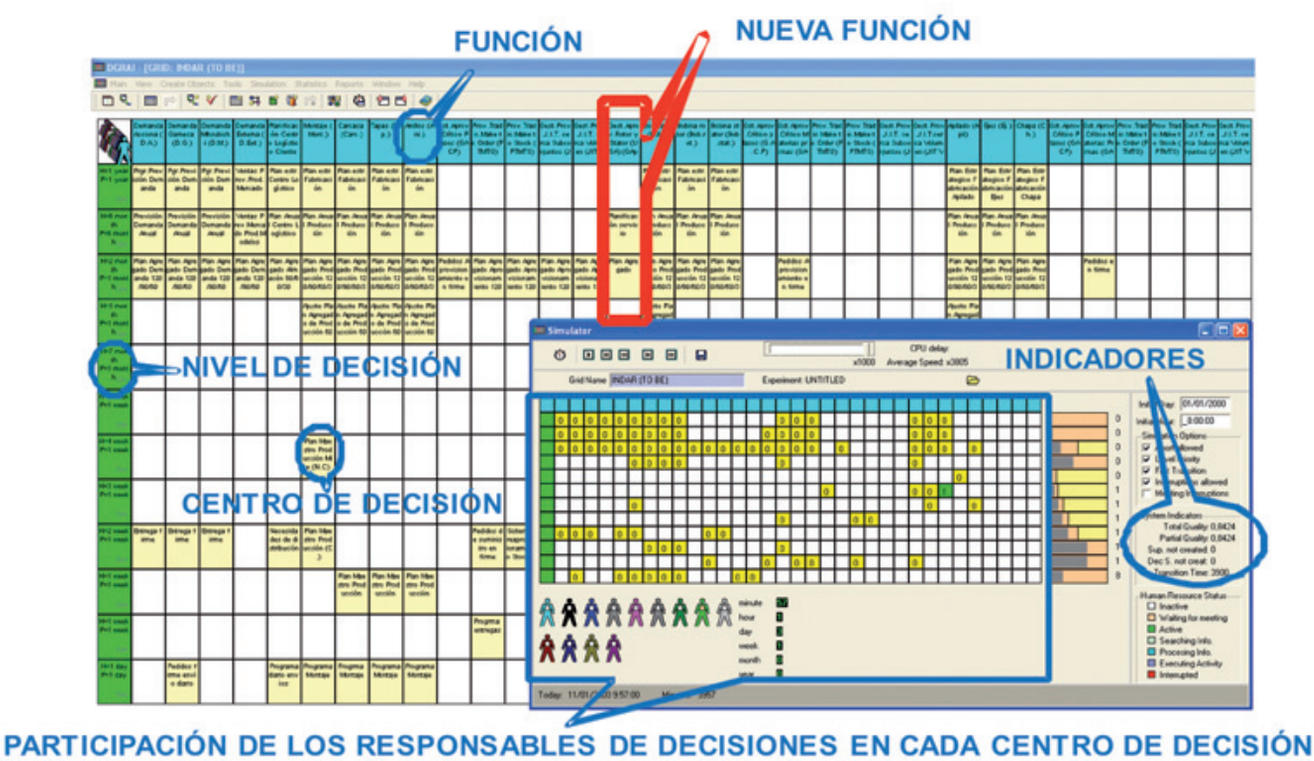

Fig. 6: Simulación en DGRAI (TO BE) (figura propia, obtenida de la simulación)

estratégico de subconjuntos y partes fijas, tiempo de respuesta de suministro y stock máximo y mínimo.

Para dar solución a los problemas anteriores, en primer lugar los investigadores monitorizan el sistema decisional (AS IS, TO BE) de la planificación y programación de la producción a través del programa de software DGRAI lo que sirve para poner de relieve los problemas relacionados con la coordinación de decisiones (ver Fig. 6).

En segundo lugar, los posibles patrones de demanda y la incertidumbre de suministro se simulan mediante simulación de Eventos Discretos para poder fijar el inventario estratégico de subconjuntos en Estados Unidos y partes críticas en España. Los investigadores utilizan la herramienta AnyLogic 6.5.0, que es un software matemático desarrollado por XJ Tecnologías (ver Fig. 7).

Fig. 7: Simulación del caso con AnyLogic 6.5.0 (propia, obtenida de la simulación)

Los responsables de la compañía primeramente establecen diferentes características de demanda (con intermitencia, con tendencia, con irregularidad y con volatilidad) y de aprovisionamiento (cumplimiento en plazo y en cantidad). Los resultados de estos primeros experimentos sirvieron para focalizar los próximos, puesto que, por ejemplo, las características de demanda simuladas no se ajustaban del todo a la realidad, ya que los pedidos que registran estos tipos de fabricantes son regulares o con picos de demanda puntuales, por lo que en base a previsiones de demanda se coge como valores una demanda de 173 generadores y un pico de 50 generadores. A esto se une el hecho de que se había obviado el tiempo de reaprovisionamiento de stock de subconjuntos el cual se vio que era una de las cuestiones críticas a analizar puesto que de esta decisión depende el mayor o menor tiempo de respuesta que se le ofrece al cliente.

Los dos tiempos de reaprovisionamiento de stock de subconjuntos previos a la fabricación en Estados Unidos para garantizar el suministro al cliente que se barajan son S+8 o S+12 (entendiendo "S" como semana en curso y "S+8" o "S+12" la semana de entrega a partir de la semana en curso). Se sabe que el tiempo de tránsito desde España hasta la planta de América del Norte de los contenedores tiene una duración de seis semanas. La cuestión es determinar si se necesita disponer de stock previo a la fabricación en España o no. El tiempo de fabricación con stock es de unas dos o tres semanas; sin embargo, si no se tiene stock en el almacén este tiempo de fabricación es de seis semanas. En la Figura 8 se aprecia de manera esquemática que el tiempo de respuesta desde que el cliente hace un pedido hasta que lo recibe es o bien de catorce semanas con stock en el almacén de la planta de España o de dieciocho semanas sin stock en dicho almacén.

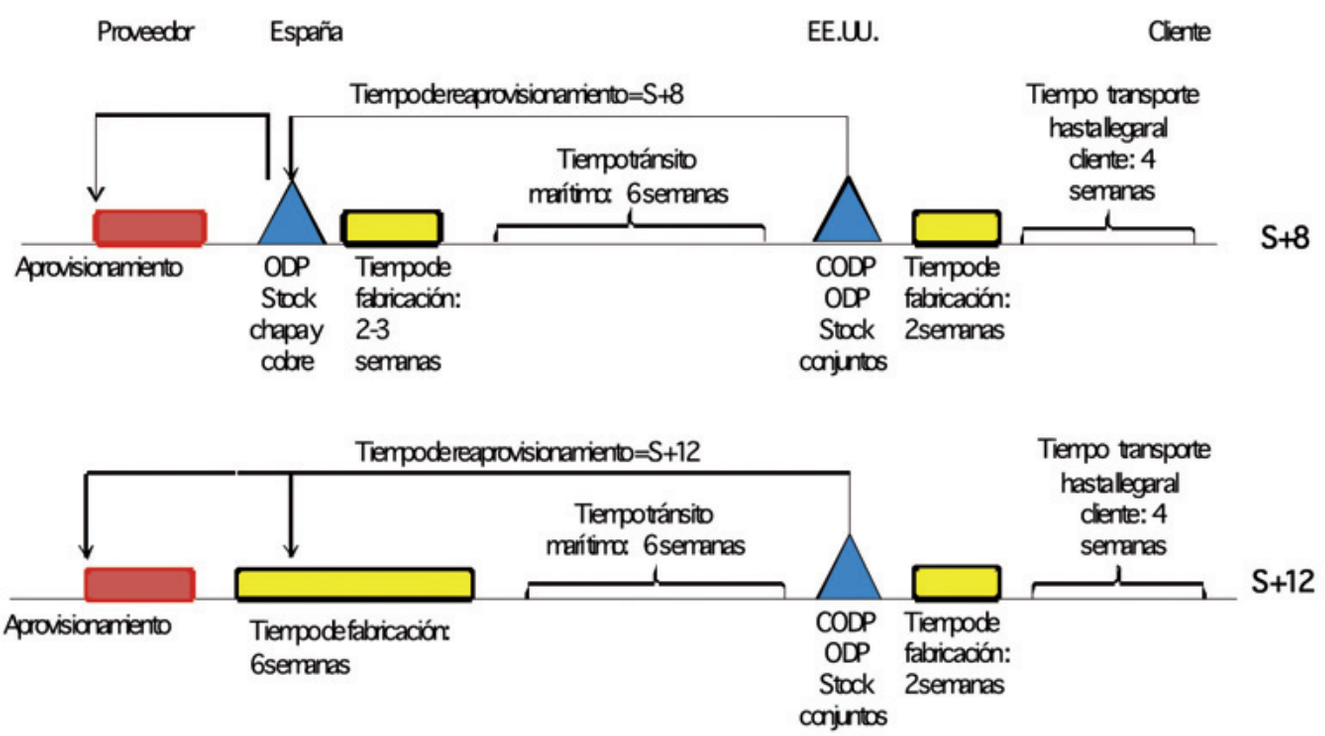

Fig. 8: Esquema tiempo de respuesta (figura propia)

	Exp. 1 (S+8)	Exp. 2 (S+12)	Exp. 3 (S+8)	Exp. 4 (S+12)
Demanda	Regular	Regular	Regular+pelotazo	Regular+pelotazo
Aprovisamiento	S+8	S+12	S+8	S+12
Nº empujes	3	5	3	5
Nº envios	21	22	27	28
Stock medio simulado conjuntos	20	20	21	20
Stock máximo simulado conjuntos	25	25	25	24
Stock mínimo simulado conjuntos	15	15	15	15
Stock medio parte crítica (chapa)	11.632,05	------	15.877,36	-----
Stock medio parte crítica (cobre)	2.430	------	3.316,604	-----

Tabla 1: Resumen de los datos de los cuatro experimentos realizados

Teniendo en cuenta todas las premisas anteriormente señaladas, se realizan los experimentos cuyos resultados en términos de envíos iniciales o empujes, envíos totales y stock medio, mínimo y máximo de subconjuntos previos a fabricación en Estados Unidos y partes críticas previas a fabricación en España, se muestran en la siguiente tabla resumen (Tabla 1).

Una vez interpretados los datos y discutidos con los responsables de la empresa se llegan a las siguientes decisiones:

- El tiempo de respuesta al cliente se considera una importante ventaja competitiva, por tanto se asume suministrarle en 6 semanas y establecer un reaprovisionamiento del stock de conjuntos a la semana S+8 para garantizar dicho suministro.
- Los picos de demanda se suministran de 10% en 10% a partir de la semana S+8.
- No es viable una producción de más de 10 unidades semanales para cada tipo de generador.
- El stock máximo y mínimo permitido que existe en la planta estadounidense es de 25 y 15 respectivamente.
- Se necesitan dar 3 empujes iniciales para poder mantener el almacén de la planta americana entre el stock máximo y mínimo indicados, puesto que si no existe una rotura de stock (ver Fig. 9).

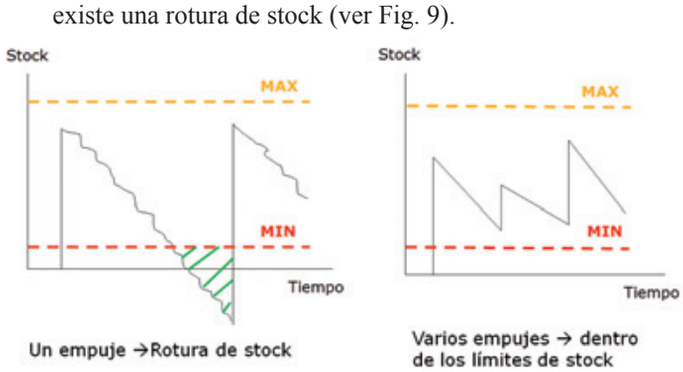

Fig. 9: Diferencia entre un empuje y varios (figura propia)

4. CONCLUSIONES

Después del estudio de la literatura sobre las operaciones globales y la participación en el caso de investigación, las conclusiones (de las más generales a las más concretas) obtenidas por parte de los investigadores han sido:

1. En el diseño inicial de las operaciones productivas y logísticas se deben considerar las siguientes propiedades a nivel de red:
   a. **Adaptabilidad a los cambios en las demandas del producto:** manejo de los requisitos que pueden cambiar, como son los volúmenes de producto. Por lo tanto, el diseño propuesto tendría la capacidad de ajustar las necesidades futuras a un coste razonable, coordinando las decisiones de los diferentes agentes de la cadena de suministro.
   b. **Flexibilidad a la variación de las demandas del producto:** manejo de una variedad de requerimientos que pueden cambiar el mix de productos. Por lo tanto, el diseño propuesto debe tener la capacidad de llevar a cabo restricciones causadas por el aumento de la información y la complejidad del flujo de materiales relacionados con el aumento del mix de productos.
   c. **Operatividad de contingencia:** los posibles planes de contingencia necesitan cubrir la incertidumbre de suministro. Debido al gran impacto que se puede ocasionar, esto permitirá enfrentar los imprevistos, incluso si la probabilidad de ocurrencia de estos eventos no es alta.
2. El análisis de la estrategia de suministro, para garantizar la Política de Servicio, en sistemas productivos fragmentados y multiplanta se vuelve más complejo debido a plazos más largos, la gestión de los diferentes inventarios y los múltiples ODP existentes a lo largo de toda la cadena logística.

3. Las técnicas de simulación, utilizadas con un enfoque estructurado, ayudan a aumentar la efectividad de la configuración de la estrategia de suministro haciendo que se aumenten las ventas en los clientes estratégicos por la reducción conseguida en la puesta en marcha de la nueva planta.
4. El equipo multidisciplinar involucrado en el proyecto de investigación ha valorado como muy útil el modelo GlobOpe y las técnicas asociadas para ayudar a afrontar el diseño y la configuración de las operaciones en redes de fabricación internacionales.
5. A pesar de vivir en la era de la tecnología y de que las técnicas de simulación son unas herramientas que llevan en el mercado empresarial desde hace muchos años, a los investigadores les supuso mucho esfuerzo el convencer a los responsables de la empresa de que aplicar dichas técnicas podrían ayudar en las tomas de decisiones del proyecto. Por tanto, la actitud de los responsables de la compañía se puede decir que pasó de ser una actitud con ciertas reservas a una totalmente positiva una vez que se les mostraron las simulaciones y los resultados obtenidos.
6. La técnica DGRAI permitió resaltar ciertos problemas de coordinación entre departamentos, ver la saturación que presentaba uno de los directores de operaciones y en consecuencia ver la necesidad de contratar a una persona más para poder repartir tareas.
7. La simulación con AnyLogic facilitó la visualización de los diferentes escenarios propuestos por los responsables de la compañía y ayudó a ratificar las decisiones tomadas.
8. La decisión tomada respecto a suministrar al cliente a 6 semanas y reaprovisionamiento del CODP a la semana S+8 fue uno de los asuntos más discutidos puesto que al comienzo del proyecto reaprovisionar a la semana S+12 era lo más intuitivo ya que el principal pensamiento de los responsables era evitar tener un stock en la planta española; pero no se daban cuenta del retraso que eso causa en el tiempo de respuesta y en consecuencia de la falta competitiva que les ocasiona. En definitiva, la lección aprendida es que no siempre las decisiones intuitivas son las acertadas.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] Ferdows K. "Making the Most of Foreign Factories". Harvard Business Review, March-April, 1997. p.73-88.
[2] Farrell D. Offshoring. Understanding the Emerging Global Labor Market. Mckinsey Global Institute, Harvard Business School Press, 2006, ISBN: 978-14-221-1007-2.
[3] Thompson A, Strickland, AJ. Strategic Management: Concepts and Cases. New York: Mc Graw-Hill Irwin, 2004, ISBN: 978-0256237382.
[4] Jarillo JC, Martínez J. Estrategia Internacional. Más allá de la exportación. Madrid: Mc Graw Hill, 1991, ISBN: 978-84-761-5672-8.
[5] Deresky H. International Management: Managing Across Boarders and Cultures. 3ª edición. New Jersey: Prentice Hall Inc, 2000, ISBN: 978-01-360-9867-6.
[6] Yip GS, Bink AJM. Managing Global Customers an Integrated approach. New York: Oxford University Press, 2007, ISBN: 978-0199229833. http://dx.doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199229833.001.0001
[7] Johansson, J.; Vahlne, J. E. "The Mechanism of Internationalisation", International Marketing Review, 1977. Vol. 7.
[8] Errasti A. International Manufacturing Networks: Global Operations Design and Management. San Sebastián, Spain: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 2011, ISBN: 978-84-457-3181-9.
[9] Spath D, Potinecke T. "Virtual product development – Digital Factory based methodology for SMEs". CIRP Journal of Manufacturing Systems , 2005, Vol. 34-6. p.539-548.
[10] Khoshnevis B. Discrete Systems Simulation. Singapore: McGraw-Hill Inc. 1994. p.337, ISBN: 978-00-783-3302-6.
[11] Monczka RM, Handfield RB, Guinipero LC, Patterson JL. Purchasing and Supply Chain Management, 4ª edición. South-Western Cengage Learning, USA, 2009, ISBN: 978-1-4080-1744-9.
[12] Simchi Levi D, Kaminsky P, Simchi Levi E. Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Cases. USA: Mac Graw Hill, 2000, ISBN: 0-07-249256-2.
[13] Banks J, Carson JS, Nelson, BL. Discrete-Event System Simulation. 5ª edición. United States: Prentice Hall, 2010. p.640, ISBN: 978-0131446793.
[14] Zare Mehrjerdi Y. "Six-Sigma: methodology, tools and its future", Assembly Automation, 2011. Vol. 31-1. p.79-88.
[15] Jahangirian M, Eldabi T, Naseer A, et al. "Simulation in manufacturing and business: A review". European Journal of Operational Research EJOP, 2010. Vol. 203. p.1–13. http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2009.06.004
[16] Guash A, Piera MA, Figueras J. Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios, Barcelona: Ediciones UPC, 2002, ISBN: 84-8301-704-0.
[17] Poler R, Lario FC, Doumeingts G. DMDS Computers in Industry, 2002. Vol. 49. p175-193. http://dx.doi.org/10.1016/S0166-3615(02)00083-0
[18] Poler R, Lario FC. "Simulation using the Dynamic Model of Decision Systems", International IEPM, Quebec IEEE Press. 2001. p.1004-1012.
[19] Abele E, Meyer, T, Näher U., Strube G, Sykes R. Global production: a handbook for strategy and implementation. Heidelberg, Germany: Springer, 2008, ISBN: 978-3540716525.
[20] Terwisch C, Bohn R. "Learning and process improvement during production ramp up". International Journal of Production Economics, 2001. Vol. 70-1.
[21] T-Systems .White paper ramp up management. Accomplishing full production volume in-time, in-quality and in-cost, 2010.
[22] Kurtila P, Shaw M, Helo P. "Model Factory concept-Enabler for quick manufacturing capacity ramp up", 2010.
[23] Sheffi Y. La empresa robusta, Madrid: Lidl, 2006, ISBN: 9788488717542.
[24] Reason P, Bradbury H. The Sage Handbook of Action Research: Participative Inquiry and Practice, 2ª edición, Los Angeles: Sage Publications, 2008, ISBN: 978-1412920292.
[25] Schein EH. Process Consultation Revisited, Building the Helping Relationship. Addison-Wesley, Reading, MA., 1999, ISBN: 978-0201345964.