Análisis del proceso operativo. Funciones y operaciones

PID_00259440

Sònia Llorens Cervera

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 3 horas

Universitat Oberta de Catalunya

Sònia Llorens Cervera

Doctora Ingeniera industrial y Máster IMEI (Ingeniería Mecánica y Equipamiento Industrial) por la Universitat Politècnica de Catalunya. Tiene amplia experiencia en docencia, investigación y transferencia tecnológica en el sector industrial. Su línea de actividad se centra actualmente en la optimización de la gestión de la RDi y de los procesos de innovación industrial, así como de los proyectos de innovación aplicados a la Economía Circular y la Industria 4.0.

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño general y la cubierta, puede ser copiada, reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste eléctrico, químico, mecánico, óptico, grabación, fotocopia, o cualquier otro, sin la previa autorización escrita de los titulares del copyright.

Índice

Introducción 5

1. Terminología: procesos operativos 11
1.1. Proceso operativo 11
1.2. Contexto 12
1.3. Familia de procesos operativos 13
1.4. Gama de producto 14
1.5. Arquitectura de gama 15
1.5.1. Ejemplo de arquitectura de gama de equipos para el proceso operativo de lavandería 16
1.6. Innovar en procesos operativos 17
1.6.1. Ejemplos de innovación en procesos operativos 18

2. Modelo y representación 21

3. Modelado IDEF (*Integration Definition for Function Modeling*) 24
3.1. Introducción 24
3.2. Metódica 27
3.2.1. Ventajas del uso de la herramienta IDEF como método de representación de sistemas complejos 29
3.2.2. Los diagramas y sus componentes 29

Bibliografía 31

Introducción

Ser competitivos en un mercado globalizado y en un **entorno VUCA** (*Volatility*, *Uncertainty*, *Complexity*, *Ambiguity*) requiere de una gran flexibilidad y capacidad de respuesta rápida frente a los nuevos requerimientos y oportunidades del mercado. Esto lleva a las empresas a buscar nuevos formatos organizativos que les permitan conseguir mayor agilidad en la ejecución del desarrollo, fabricación y comercialización de productos y servicios.

En base a esta necesidad, empresas, universidades, escuelas de negocio y otras entidades de investigación han tenido una actividad muy intensa en los últimos tiempos desarrollando estrategias y herramientas de apoyo para conseguir obtener productos de manera optimizada bajo dos puntos de vista básicos:

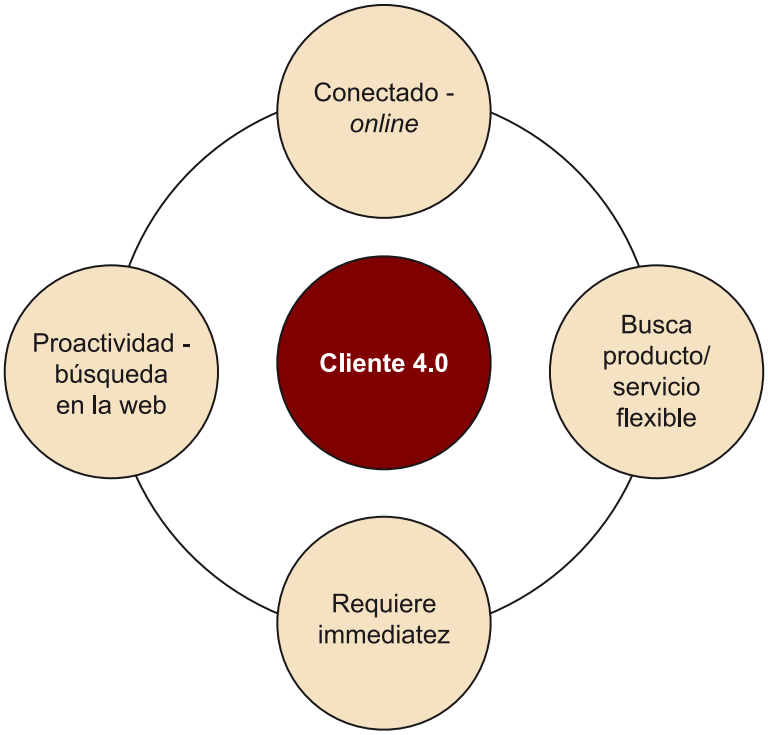
- La **orientación al mercado**: generar una variedad adecuada de producto para llegar a todos los mercados y usuarios posibles (como una forma de "personalización" de los productos para que satisfagan "todas las necesidades" del mercado).
- La **orientación al interior de la empresa**: para gestionar la complejidad y reducir los costes y tiempos de obtención de estos productos.

A su vez, la nueva era digital está transformando la forma en que pensamos, actuamos, nos comunicamos, trabajamos... Así, aparecen en el terreno de juego los **nuevos clientes 4.0**, los cuales son adictos a la conectividad, demandan productos y servicios cada vez con mayores requerimientos de personalización y flexibilidad, son más proactivos en la búsqueda del producto/servicio a través de la red, y pueden acceder a las "conversaciones digitales" donde los usuarios de ese producto/servicio dejan puntuaciones u opiniones en cuanto a la calidad y la profesionalidad del producto: es decir, la decisión del cliente ya no depende de lo que le dice la empresa, sino de lo que se opina externamente sobre su producto. Y, lo que es más, el cliente 4.0 quiere obtener el producto o servicio de forma inmediata.

VUCA

volatility
uncertainty
complexity
ambiguity

Figura 1.



Aparece, pues, la **digitalización del mercado**: ahora las empresas deben adaptarse para cumplir estos nuevos requisitos y para ello deben aprovechar las posibilidades que les ofrece la 4ª revolución industrial, es decir, la industria 4.0.

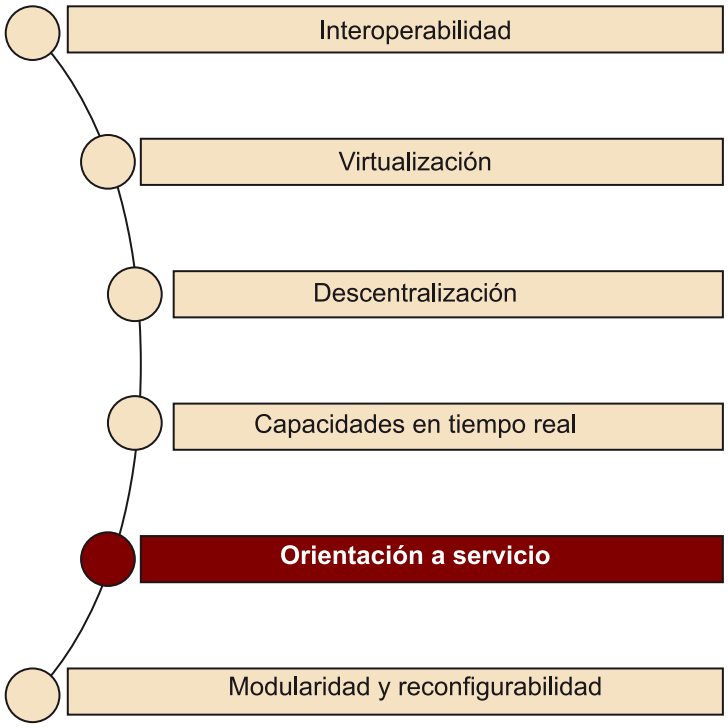
Los **principios básicos en los que se conceptualiza la industria 4.0** se pueden resumir principalmente en:

- **Interoperabilidad:** donde los sistemas ciberfísicos (objetos, máquinas) y las personas conectan a través del *Internet of Things* (IoT) y el *Internet of Services* (IoS).
- **Virtualización:** que permite la monitorización de procesos físicos a través de los sistemas ciberfísicos (*Ciber Physical Systems* – CPS). Así, la adquisición de datos a través de los sensores se conecta con los modelos virtuales de la empresa, y ello permite la simulación de distintos procesos.
- **Descentralización** de los sistemas de control, y posibilidad de tomas de decisiones de los aparatos de forma descentralizada.
- **Capacidades en tiempo real:** para el control de sistemas es esencial poder captar y analizar datos en tiempo real, lo cual permitirá a su vez una respuesta en tiempo real.
- **Orientación a servicio:** la conectividad de las empresas, los sistemas ciberfísicos y las personas a través de IoT abre las posibilidades a nuevos enfoques en el modelo de negocio, donde la tendencia actual se basa en ofrecer soluciones al cliente.
- **Modularidad y reconfigurabilidad:** los sistemas modulares ofrecen flexibilidad para adaptarse a los requerimientos cambiantes del mercado, mediante la extensión y/o cambio de los módulos.

En este material nos vamos a focalizar en esta nueva tendencia empresarial asociada a la **orientación a servicio**, donde se busca permanentemente el **valor añadido** para el cliente, debido a la rápida ***commoditization***[1] (Matthyssens y Vandenbempt, 2008) de los productos, que erosiona la diferenciación de estos en el mercado respecto a sus competidores.

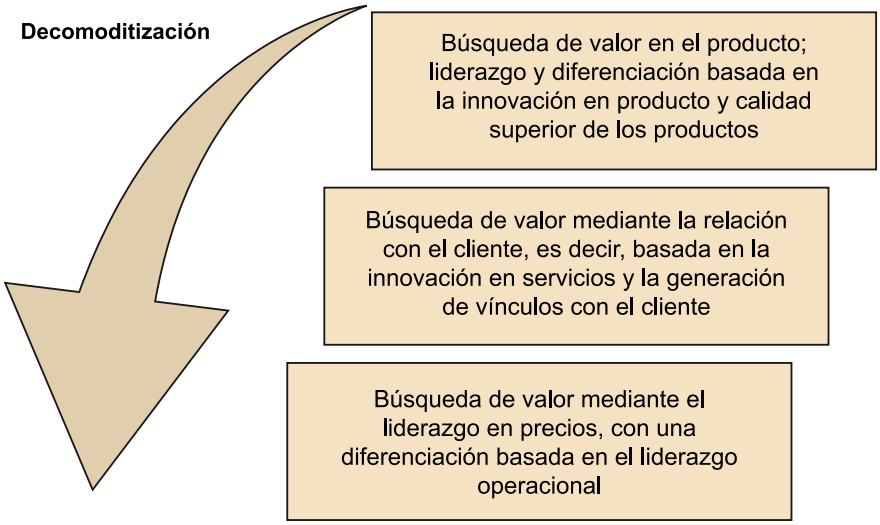
(1)El término equivalente en castellano sería *comoditización*, aunque no existe todavía como término; se refiere a los equipos o productos que tienen valor y lo van perdiendo (o pierden su diferenciación), y se convierten en *commodities*, es decir, en productos no diferenciados en el mercado.

Figura 2.



En base a este hecho se inicia la generación de estrategias de ***de-commoditization***, como por ejemplo:

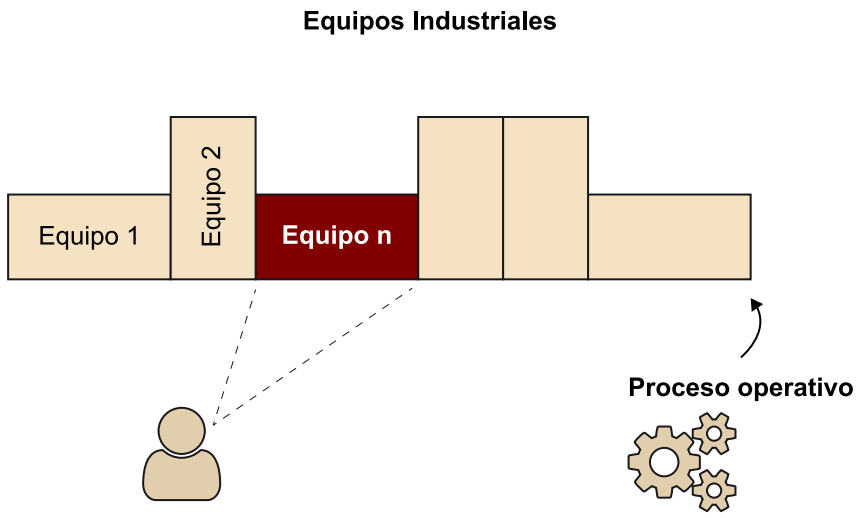
Figura 3.



Esto hace que haya aparecido una **nueva estrategia orientada a ofrecer soluciones en lugar de ofrecer producto**, y que considera el servicio como una vía de generación de confianza y de vínculo a largo plazo con el cliente. Esta nueva orientación implica un cambio cultural y de forma de pensamiento, ya que se pasa de una lógica donde el foco dominante es el equipo que se ofrece, a otra donde se pone el énfasis en la **orientación al cliente y sus procesos**, es decir, se centra en la **comprensión de las necesidades del negocio del cliente**.

Donde se observa un gran potencial de innovación es en las empresas del sector de bienes de equipo industriales, en las cuales se empiezan a detectar propuestas que consideran **trasladar el foco de la busca de valor añadido de la funcionalidad de producto hacia la efectividad de este en el proceso del usuario/cliente final (es decir, en el proceso operativo)**.

Figura 4. El análisis del proceso operativo en el que se insiere el producto que desarrollamos nos permite analizar relaciones de convivencia con otros equipos e innovar en el propio proceso operativo.



Fuente: elaboración propia (Llorens, 2015)

Es entonces cuando aparecen lo que definimos como relaciones de convivencia entre bienes de equipo y, por lo tanto, falta incorporar esta nueva perspectiva de análisis e innovación: la concepción de la estrategia de producto basada en el **análisis de las relaciones de convivencia (ARC)** con otros bienes de equipo, y en la interacción con el **proceso operativo**.

Esta **perspectiva considera la interacción de un bien de equipo con el proceso operativo y el conjunto de equipos que operan**, y que puede variar en función del contexto en el cual opera. Por ejemplo, no es lo mismo diseñar un equipamiento industrial destinado a operar en una fábrica donde no se dispone de instalación neumática que uno que tenga que operar en una fábrica que sí la tiene. Tampoco es lo mismo diseñar un equipamiento destinado a mercados donde el coste de la mano de obra es muy bajo que otro que tenga

que ser instalado y operar en países donde la mano de obra es muy cara (se buscará entonces minimizar la necesidad de operaciones manuales por parte del usuario).

1. Terminología: procesos operativos

Antes de explicar las herramientas para el modelado de procesos, vamos a ahondar un poco más en las definiciones, y veremos algunos ejemplos.

1.1. Proceso operativo

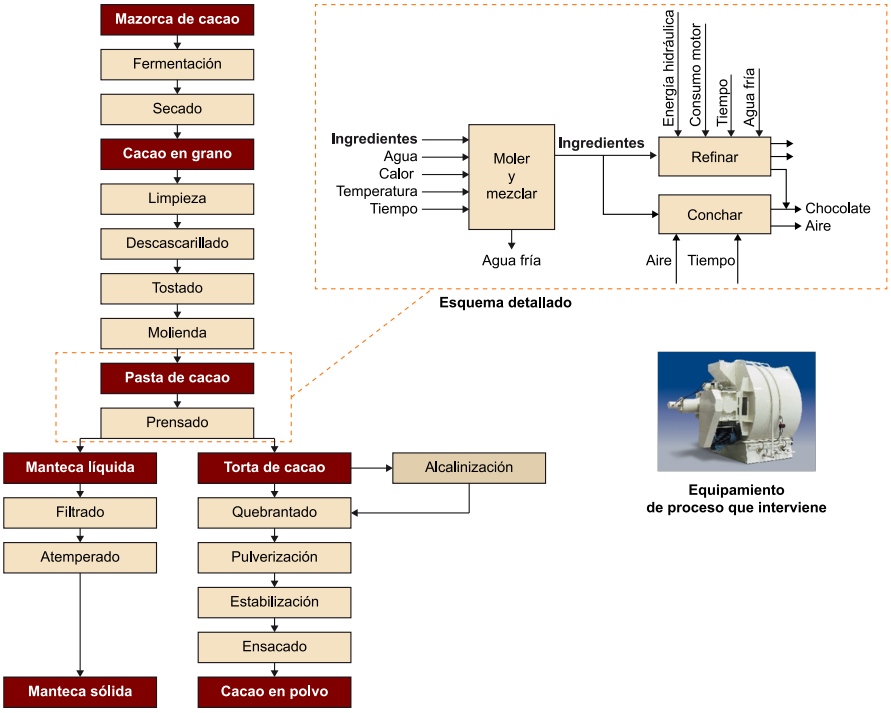
El proceso operativo (*operative process* -Riba et al., 2003-) es el proceso destinado a la fabricación de un producto o la prestación de un servicio donde un determinado equipamiento actúa como operador.

A continuación se muestra un par de ejemplos. Tal y como se ve, podemos emplear diferentes herramientas de representación, según convenga:

a) Ejemplo 1: Proceso en el sector de la lavandería industrial:
- Proceso operativo: lavar ropa.
- Tareas del proceso: introducir ropa en zona de lavado + mojar la ropa + añadir temperatura al agua + añadir jabón + crear acción mecánica + crear acción térmica + enjuagar + extraer el agua + secar la ropa.
  - Para una tarea concreta se le puede dar diversas soluciones, es lo que se llama operación: por ejemplo, la operación para extraer el agua es el centrifugado (1a etapa) y el secado (2a etapa).

b) Ejemplo 2: Proceso en el sector del cacao (figura inferior):
- Subproceso operativo: obtener pasta de chocolate.
- Tareas de este subproceso: introducir ingredientes + moler + mezclar + refinar + conchar.
- Operación para la mezcla: mezclado mediante palas (acción mecánica).

Figura 5. Ejemplo de análisis de un proceso operativo para la fabricación del chocolate



Fuente: elaboración propia (Llorens, 2015)

La descripción de los procesos operativos actuales se complementa con el análisis de los operadores de proceso, es decir los operadores humanos, los operadores técnicos y los flujos, en el cual se considera especialmente relevante el análisis de los operadores técnicos (es decir, las máquinas que intervienen).

1.2. Contexto

El contexto (*context* -Riba et al., 2003-) es el conjunto de factores de entorno que dan forma al proceso operativo, como por ejemplo el tipo de usuario (general, ocasional, profesional), el entorno de utilización (concentrado, disperso, aire libre, interior) y otras circunstancias del proceso (volumen de actividad, nivel de calidad, costes de inversión y operativos, peligros y vandalismo, fiabilidad, etc.).

Los procesos operativos son diferentes en función del contexto en el que se realizan, y tendrán, pues, esquemas diferentes en función del tipo de usuarios, del entorno de utilización, de circunstancias del negocio, de normativas aplicables, etc. Las operaciones (principios de solución de una tarea) también pueden variar en función del contexto.

Tabla 1. Ejemplo

Proceso	Lavandería
Contexto 1	Doméstico (de 4 a 6 kg; 2.000 h.; factor de centrifugado G = 50 ÷ 25; bajo coste; usuario doméstico)

Contexto 2	Autoservicio (de 5 a 8 kg; 15.000 h.; factor de centrifugado G = 100 ÷ 300; monedero; antivandálico; coste moderado; usuario doméstico)
Contexto 3	Industrial, pequeña y mediana instalación (de 8 a 55 kg; > 20.000 h.; factor de centrifugado G = 300 ÷ 400; fiabilidad; usuario profesional)
Contexto 4	Industrial, gran instalación (> 500 kg/h.; > 50.000 h.; fiabilidad; usuario profesional)

Figura 6.

Las variables afectan en el contexto:
por ejemplo, volumen procesado

Lavandería industrial	Lavandería doméstica
1000 kg de ropa/h	4-6 kg de ropa/h

En los procesos industriales, se consideran algunas de las variables habituales que pueden afectar o definir nuevos contextos y procesos operativos:

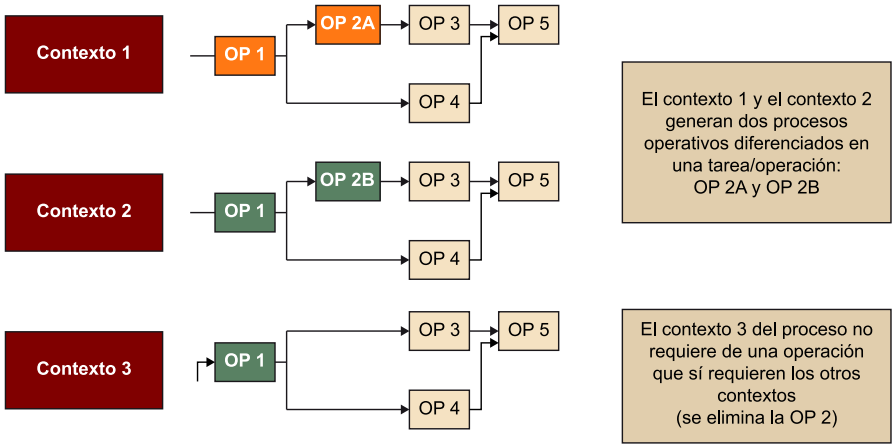
- Volumen de producción
- Tiempo de proceso
- Calidad requerida
- Formato de producto que se genera
- Suministros disponibles en la instalación (agua, electricidad, gas...)
- Mantenimiento
- Condiciones ambientales de entorno (temperatura, humedad, ataque químico...)
- Normativa aplicable y medio ambiente
- Tipo de usuario
- Nivel técnico del usuario final
- País donde se realiza el proceso (contexto socioeconómico y tecnológico)
- Uso privado o colectivo del servicio
- Tipos de preprocesados y posprocesados

1.3. Familia de procesos operativos

La familia de procesos operativos (*operative process family*) es el conjunto de procesos que comparten una parte del proceso (subproceso). Las diferencias entre los procesos operativos suelen derivarse de los diferentes contextos en que operan.

A partir de la información de los procesos operativos, los equipamientos que operan y las formas que toman según los diferentes contextos, se puede generar y describir la arquitectura de la familia de procesos operativos y contextos existente:

Figura 7. Cuadro de procesos operativos generados por los distintos contextos



Fuente: elaboración propia (Llorens, 2015)

Una posibilidad que esto ofrece es la detección y agrupación de procesos comunes a todos los contextos y la generación de ramas de subproceso según contexto: esto permite identificar dónde hay que focalizar los esfuerzos en reglas estructuradoras de diseño que orienten hacia la plataforma de productos y dónde hay que focalizar los esfuerzos para poder ofrecer el servicio en diferentes contextos (máxima variedad de producto, por ejemplo).

1.4. Gama de producto

La gama de producto (*product range* -Riba et al., 2003-) es el conjunto de equipos que pueden operar en una familia de procesos operativos en un ámbito de actividad.

Desde el punto de vista de una empresa que diseña, fabrica y comercializa bienes de equipo industriales y proporciona soluciones al mercado, la gama de producto sería el conjunto de bienes de equipo de esta fabrica (catálogo de la empresa) más todos los bienes de equipo (propios o no) que pueden operar en la familia de procesos operativos.

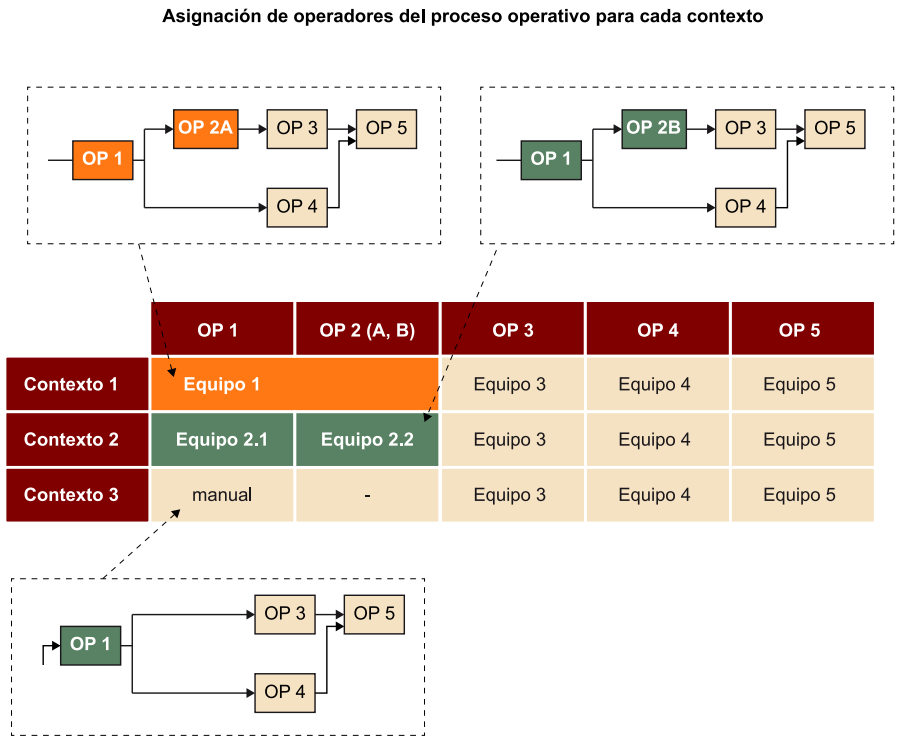
Esta propuesta ofrece a las empresas un nuevo espacio conceptual para detectar vectores de innovación y de competitividad.

1.5. Arquitectura de gama

La arquitectura de gama de bienes de equipo (*range equipment architecture*, *range product architecture* -Riba et al., 2003-) es el conjunto de reglas de estructuración de una gama de máquinas (o productos). Incluye, entre otros, la consideración de la arquitectura de máquinas, la arquitectura de las familias de máquinas y la arquitectura de catálogos de las máquinas que forman la gama.

El establecimiento de la arquitectura de gama de bienes de equipo requiere un enorme trabajo de preparación (buscar y analizar una información no siempre fácilmente disponible) y un esfuerzo de abstracción muy considerable (establecer hipótesis de diseño, inferir comportamientos y evaluar numerosos aspectos de las diferentes máquinas de la gama). Aun así, este concepto permite ampliar el punto de vista y las capacidades competitivas en el diseño, la fabricación y la comercialización de la gama de máquinas en empresas fabricantes de equipamiento que han adquirido cierta madurez.
En la figura 8 se muestra un ejemplo de arquitectura de gama de equipos donde, para distintos contextos del proceso operativo, podemos considerar distintas operaciones y distintos equipos que den solución a las operaciones:

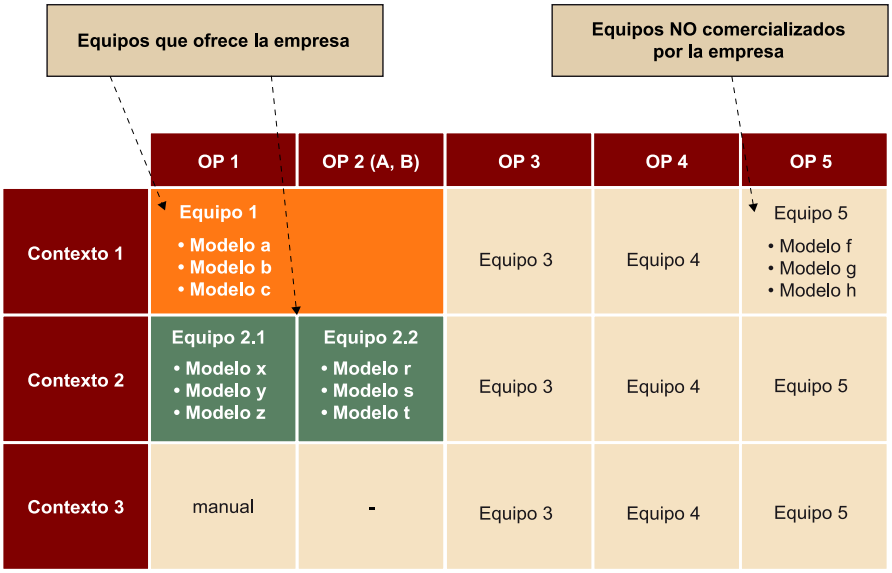
Figura 8. Descripción de la arquitectura de gama existente: cuadro de contextos, operaciones y operadores (tanto humanos como técnicos)



Fuente: elaboración propia (Llorens, 2015)

El esquema global (figura 9) puede incorporar también la dimensión de catálogo (orientado al uso) que ofrece la empresa dentro de este esquema de arquitectura de gama de producto, así como los catálogos de otras empresas que proporcionan los operadores para las operaciones del proceso que la empresa no puede cubrir.

Figura 9. Descripción de la arquitectura de gama existente con el detalle de los catálogos de máquinas de los distintos proveedores del proceso operativo



Fuente: elaboración propia (Llorens, 2015)

1.5.1. Ejemplo de arquitectura de gama de equipos para el proceso operativo de lavandería

Si se analiza el proceso se pueden determinar diferentes actividades a realizar sobre el operando (es decir, la ropa) como son: lavar y enjuagar la ropa, escurrir o extraer el agua de la ropa, secar, extender, planchar y doblar.

Este proceso operativo puede ser considerado en diferentes contextos, como, por ejemplo:

- Contexto doméstico: donde el usuario (con perfil no profesional) procesa de 4 a 6 kg de ropa en cada ciclo del proceso; en este contexto la durabilidad requerida a los equipamientos de proceso ronda las 2.000 horas y uno de los requerimientos mecánicos que caracterizará el diseño de los equipos es que la actividad de centrifugado se realiza a 70-250 G.
- Contexto de autoservicio: donde los usuarios (con perfil no profesional) procesan de 5 a 8 kg de ropa en cada ciclo del proceso; en este contexto la durabilidad requerida a los equipamientos de proceso se sitúa alrededor de las 10.000 horas. Una característica determinante en este contexto es la necesidad de un diseño con sistema antivandálico (a pesar de que, por ejemplo, este punto podría ser fruto de análisis en función del país donde se venden las máquinas).

- Contexto de colectividades OPL (*on premise laundry*, por ejemplo hoteles, hospitales o geriátricos): en este contexto se procesan de 8 a 110 kg de ropa en cada ciclo del proceso y la durabilidad requerida a los equipamientos es de 25.000 horas como mínimo. El usuario tiene perfil profesional.
- Contexto industrial: procesado de más de 500 kg de ropa por hora y durabilidad del equipamiento mayor de 50.000 horas. El usuario tiene perfil profesional.

Finalmente, para cada contexto se pueden determinar los operadores que intervienen en la realización de cada actividad (lavadoras, centrifugadoras, secadoras, equipos de introducción, equipos de planchado y de doblado, operadores manuales, etc.). Este esquema todavía puede ser más detallado una vez se analizan las funciones, los requerimientos y los principios de solución de cada tarea en base a los diferentes contextos que se analizan:

Figura 10. Ejemplo de arquitectura de gama de equipos en el sector de la lavandería (los recuadros resaltados indican la intervención de un equipo)

Arquitectura de gama de equipo (proceso de lavandería)

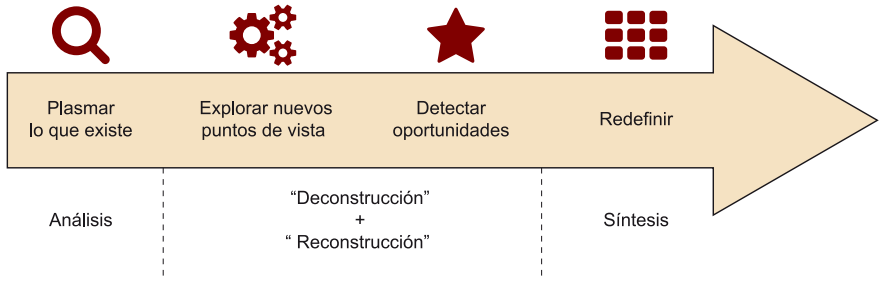
Contextos operativos	Equipos de proceso	Proceso definido por las tareas (operaciones/ funciones)					
		Lavar + aclarar	Escurrir agua	Secar	Extender	Planchar	Plegar
Doméstico 4-6 kg 2.000 horas 70-250 G	Dos máquinas	Lavadora-centrifugadora		Secadora	Manual	Manual, eventual	Manual
	Sistema integrado	Lavadora-centrifugadora-secadora			Manual	Manual, eventual	Manual
Autoservicio 5-8 kg 10.000 horas 100-300 G antivandálico	Dos máquinas	Lavadora-centrifugadora con monedero		Secadora con monedero	Manual	Manual, eventual	Manual
	Sistema apilado	Lavadora-centrifugadora con monedero		Secadora apilada	Manual	Manual, eventual	Manual
Colectividades (OPL) 8-110 kg > 25.000 horas 150-400 G	Tres máquinas	Lavadora-centrifugadora		Secadora	Manual, introductor	Planchadora	Manual, plegadora
Industrial (GI) > 500 kg/hora > 50.000 horas piezas planas	Escurrir con prensa	Túnel de lavador		Prensa	Introductor	Calandra de planchado	Plegador

Fuente: elaboración propia (Llorens, 2015)

1.6. Innovar en procesos operativos

La redefinición de nuevos contextos y el rediseño de la familia de procesos operativos es un proceso que partirá de los resultados de la fase de análisis del estado inicial y que se proyecta posteriormente hacia un proceso de exploración de nuevos puntos de vista y de detección de nuevas oportunidades:

Figura 11. Fases clave de la innovación en procesos operativos: exploración de nuevos puntos de vista y detección de oportunidades de innovación



Fuente: elaboración propia (Llorens, 2015)

En esta fase se vuelve a requerir un grupo multidisciplinario, formado por personas y/o entidades colaboradoras con conocimientos del mercado, del producto, del proceso, etc., así como técnicas para el pensamiento disruptivo e innovador, que son las que permitirán generar nuevos enfoques y nuevos puntos de vista. Algunas técnicas usadas para ello:

- Técnicas de *brainstorming*
- Técnicas de uso de analogía o de innovación transversal
- Técnicas de los seis sombreros
- Técnicas TRIZ
- Técnicas de *visual thinking* (como el mapa del viaje del usuario)

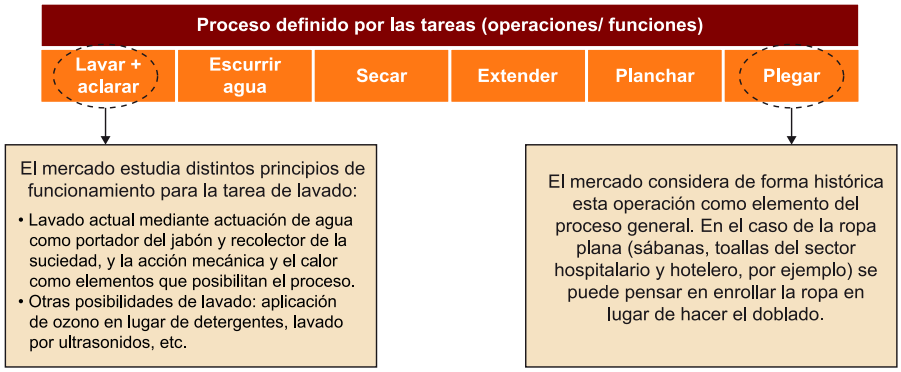
Esta fase será realizada teniendo en cuenta las consideraciones habituales en cualquier proceso de innovación empresarial, como pueden ser:

- Análisis de tecnologías existentes y emergentes (vigilancia tecnológica)
- Estudio de la competencia (*benchmarking*)
- Estudios de mercado (qué piden los clientes)
- Definición de proyectos en el interior de la empresa: capacidades, viabilidad técnica y económica (estudio del ROI)
- Posibles alianzas empresariales
- Etc.

1.6.1. Ejemplos de innovación en procesos operativos

Exploración de nuevos principios de funcionamiento: las tareas u operaciones consideradas para la fabricación de un producto o la prestación de un servicio se basan en determinados principios de funcionamiento: la introducción de un nuevo principio de funcionamiento puede dar lugar a la redefinición del proceso operativo y con él de los operadores humanos y técnicos que han de intervenir. En este caso se podría hablar de innovaciones que pueden generar grandes cambios en el seno de la empresa y hay que analizar en detalle las posibilidades de introducir estos cambios en el mercado y en toda la cadena de valor que quede afectada (*stakeholders* del subproceso modificado y todos los *stakeholders* de los procesos asociados).

Figura 12. Ejemplo de innovación en proceso operativo afectando los principios de funcionamiento en el sector de la lavandería industrial



Fuente: elaboración propia (Llorens, 2015)

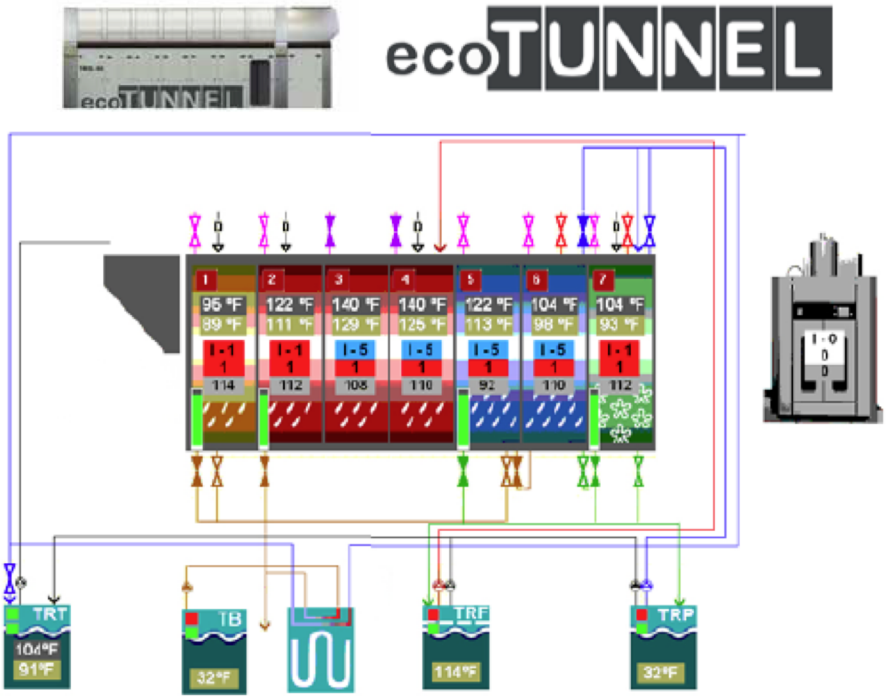
Estrategias hacia procesos interconectados: otras oportunidades de innovación y de busca de valor añadido pueden aparecer en los procesos secundarios asociados al proceso operativo que se ha analizado, como, por ejemplo:

- Gestión de los residuos del proceso: algunos procesos de fabricación de producto o de prestación de servicio pueden generar residuos (mermas de material empleado en la producción, aguas sucias, etc.); la normativa cada vez es más exigente con el tratamiento de estos residuos, por lo cual las empresas realizan esfuerzos para tratarlos, a la vez que en este tratamiento a menudo se han detectado oportunidades de añadir valor a la empresa (por ejemplo, en el sector de la lavandería industrial se pueden reaprovechar algunas aguas de una parte de proceso del enjuagado de ropa para introducirlas en otros procesos).

Figura 13. Catálogo de Girbau Group, en el cual se muestra uno de los equipos de lavado industrial, donde se pueden reutilizar aguas durante el proceso de lavado y donde se gestiona

el agua del desagüe mediante un intercambiador de calor para el precalentado del agua de entrada.

Incorpora las últimas tecnologías en el sistema de control y de recuperación para conseguir los máximos ahorros energéticos, de agua y de productos químicos.



Fuente: Girbau Group. http:// www.girbau.cat/productes-bugaderia/tbs-ecotunnel/TBS-Ecotunnel

- Gestión de los flujos energéticos (por ejemplo, en procesos donde hay que calentar y enfriar el operando del proceso).
- Gestión de los flujos de transporte: muy relacionados con los expertos en operaciones y en logística de las empresas (como, por ejemplo, analizar la posibilidad de añadir estaciones intermedias de almacenamiento en un proceso, o bien analizar el formato de estas estaciones de almacenamiento que ya existan).
- Oportunidades de optimización en los subprocesos de mantenimiento (como, por ejemplo, el lavado de la máquina que fabrica chocolate durante los procesos de mantenimiento de estas).

2. Modelo y representación

Como ya se ha dicho, en un entorno VUCA las empresas buscan innovar permanentemente para poder ofrecer servicios (soluciones) al cliente en lugar de productos. En el sector industrial lo podemos hacer mediante la innovación en el proceso operativo.

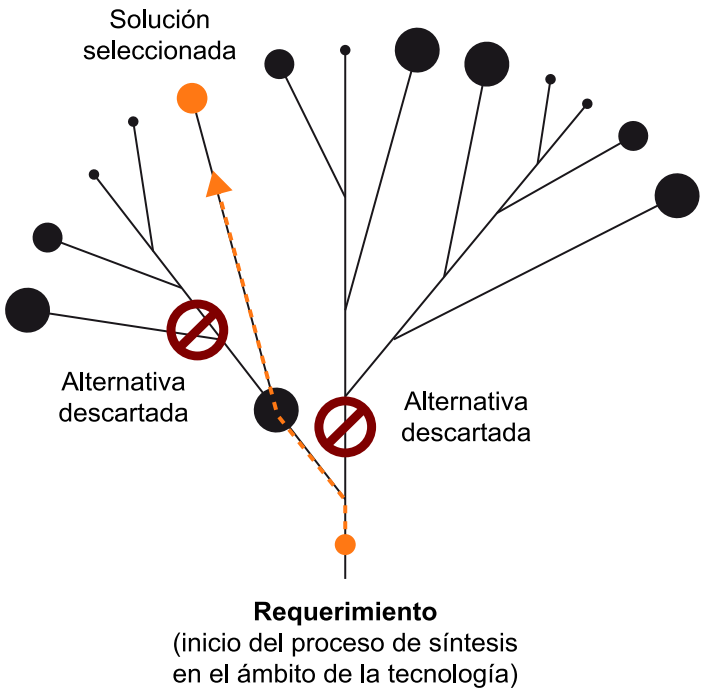
Para poder analizar y redefinir procesos operativos se requiere de un colectivo pluridisciplinar con todas las voces significativas y con suficiente conocimiento que participará en el análisis del proceso: hay que considerar que el colectivo puede estar formato por personas internas a la empresa y también externas; por ejemplo, a menudo las empresas fabricantes de bienes de equipo industrial tienen acuerdos de colaboración con empresas clientes para el testeo de nuevos prototipos, que pueden hacer aportaciones de elevado valor por su gran conocimiento del proceso. Así mismo, en el interior de la empresa pueden ser de interés personas del área directiva, I+D, operaciones, calidad, finanzas, servicio posventa, etc.

Por otro lado será necesario un sistema de representación: la descripción del sistema como las actividades y el proceso puede ser plasmada de diferentes maneras, desde los esquemas más simples (diagrama de flujo o cajas negras), a las representaciones gráficas más complejas mediante el uso del modelado de Hubka y Eder (Hubka y Eder, 1988), herramientas IDEF0 o IDEF3, BPMN o diagramas de actividad mediante SysML[2] , por ejemplo. Las representaciones simples permiten tener la idea general del proceso que se trata, y las descripciones más detalladas permiten llegar a mayor nivel de detalle para analizar las interacciones entre tareas (u operaciones), operandos y operadores.

(2)Este material se complementa con el de Análisis funcional, donde se detalla la metodología de Hubka y Eder.

Por lo general, este tipo de actividad generará un abanico de alternativas y vías de posibles soluciones que acabará resultando arborescente, siendo inviable de tratar (por su complejidad) con sistemas de modelado de procesos que no sean simplificadores y con el nivel de complejidad que sea útil para la toma de decisiones.

Figura 14. Visualización del proceso creativo en el cual se generan alternativas (proceso arborescente) y se selecciona una alternativa para desarrollar



Fuente: elaboración propia (Llorens, 2015)

Así pues, los principales requerimientos de las técnicas de representación de procesos y actividades serán:

- Máxima simplicidad de uso, puesto que se empleará en etapas muy iniciales de análisis estratégico empresarial.
- Que permita modelar las funciones de procesos operativos o actividades.
- Que permita avanzar en el análisis allí donde se considere oportuno, dejando de lado otras partes de proceso que no sean de interés en el sistema considerado (el lector de la representación debe tener una frontera muy definida de la parte a considerar).
- Que permita considerar a la vez el proceso operativo y los equipamientos que intervienen.

Algunas de las herramientas de representación analizadas son:

- Modelado funcional de Hubka y Eder (1988): lo más interesante de este método de representación es que en este sistema representativo se ubica el proceso operativo como centro del análisis, en lugar de las máquinas y otros operadores; esto permite un cambio de enfoque en la búsqueda de valor para el cliente y el ofrecimiento de soluciones en lugar de productos.
- Modelado de flujo: estos diagramas de modelado de comportamiento son muy sencillos y muy extendidos a nivel empresarial, puesto que permiten representar gráficamente de manera muy rápida un flujo de actividades ligadas por una secuencia en el tiempo y por decisiones que traen hacia uno u otro paso siguiente.

- Modelado IDEF (IDEF): es un conjunto de lenguajes de modelado (gráficos o textuales) cada uno de los cuales pone el foco en un aspecto concreto del sistema. En el siguiente apartado expondremos el modelado funcional mediante IDEF0; su principal aportación se basa en la posibilidad de analizar un sistema o proceso complejo a diferentes niveles de complejidad, parándonos o profundizando en las partes que nos interesan, sin perder de vista la visión de conjunto.
- Modelado BPMN (BPMN ORG): esta herramienta permite elaborar un elevado detalle de representación y considerar una secuencia temporal de las actividades; por lo tanto, tendrá que ser empleada una vez ya generadas las soluciones de detalle en el seno de las empresas.
- Modelado SySML (SySML Forum): este conjunto de lenguajes de modelado permite integrar diferentes dominios de análisis que se consideran a lo largo del ciclo de vida de un proyecto (especificación, desarrollo, producción y servicios de apoyo). Así, el diagrama de actividad sería el equivalente al IDEF0. El modelado mediante SySML es muy interesante, tanto en cuanto a las actividades aguas abajo de la fase de análisis de proceso operativo, como incluso a la hora de considerar esta herramienta para realizar un diagrama de actividad del proceso operativo, a pesar de que está bastante orientado a objetos, para ser integrado en sistemas software; por eso puede resultar demasiado complejo en fases de decisión estratégica.

Para la innovación en procesos operativos se recomienda hacer un uso complementario de dos de las posibles herramientas, principalmente el modelado de Hubka y Eder y el lenguaje IDEF0, puesto que ambas permiten poner el foco de análisis sobre el proceso y, además, porque ofrecen la posibilidad de analizar y sintetizar esquemas en el nivel de detalle requerido en cada momento.

3. Modelado IDEF (*Integration Definition for Function Modeling*)

3.1. Introducción

IDEF es un conjunto de estándares desarrollados en los años setenta por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y que permiten modelar sistemas de manera sencilla. En su inicio se enfocó al modelado de sistemas de fabricación asistida por computadora, pero por extensión se ha empleado también a otros sistemas. Uno de los aspectos más significativos de IDEF es que como concepto de modelización va introduciendo gradualmente mayor detalle mediante la estructura del modelo. Entre los estándares más destacados hay:

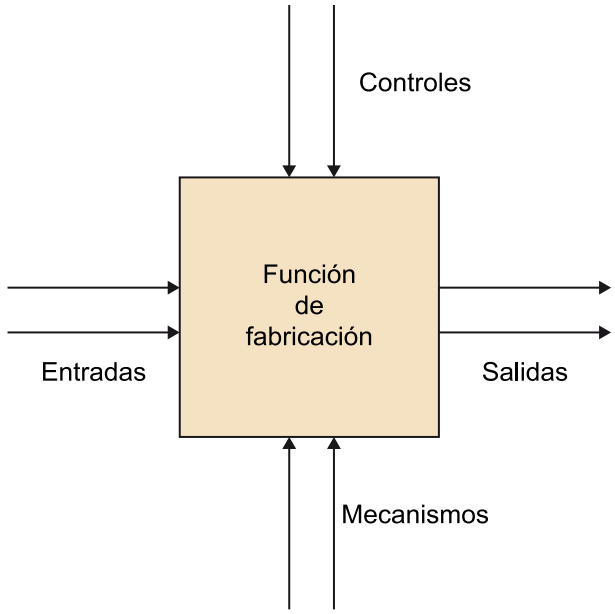
- IDEF0: es un modelo de funciones que se usa para representar funciones, actividades o procesos de un sistema.
- IDEF1: es un modelo de información empleado para representar la estructura y la semántica de la información de un sistema. Existe una versión ampliada, IDEF1X, que permite modelar datos semánticos.
- IDEF2: representa las características de comportamiento de un sistema dinámico.
- IDEF3: se usa para capturar los aspectos de comportamiento de un sistema.
- IDEF4: es un método de apoyo al diseño orientado al producto.

IDEF0 facilita la descripción de sistemas de elevada complejidad, haciendo de guía para la descripción funcional de cada proceso o actividad, considerando esta descripción como una combinación de cinco magnitudes básicas (ver figura inferior) y que se representan gráficamente como:

1) Procesos o actividades
2) Entradas (*inputs*)
3) Controles
4) Mecanismos/recursos para la realización de tareas
5) Salidas (*outputs*) o resultados conseguidos en el proceso (que a su vez pueden ser *inputs* y/o controles de otros procesos relacionados)

Estas magnitudes quedan claramente diferenciadas en el modelado de un sistema, lo cual permite un tratamiento de procesos en aplicaciones de software.

Figura 15. Visualización de una función en IDEF0



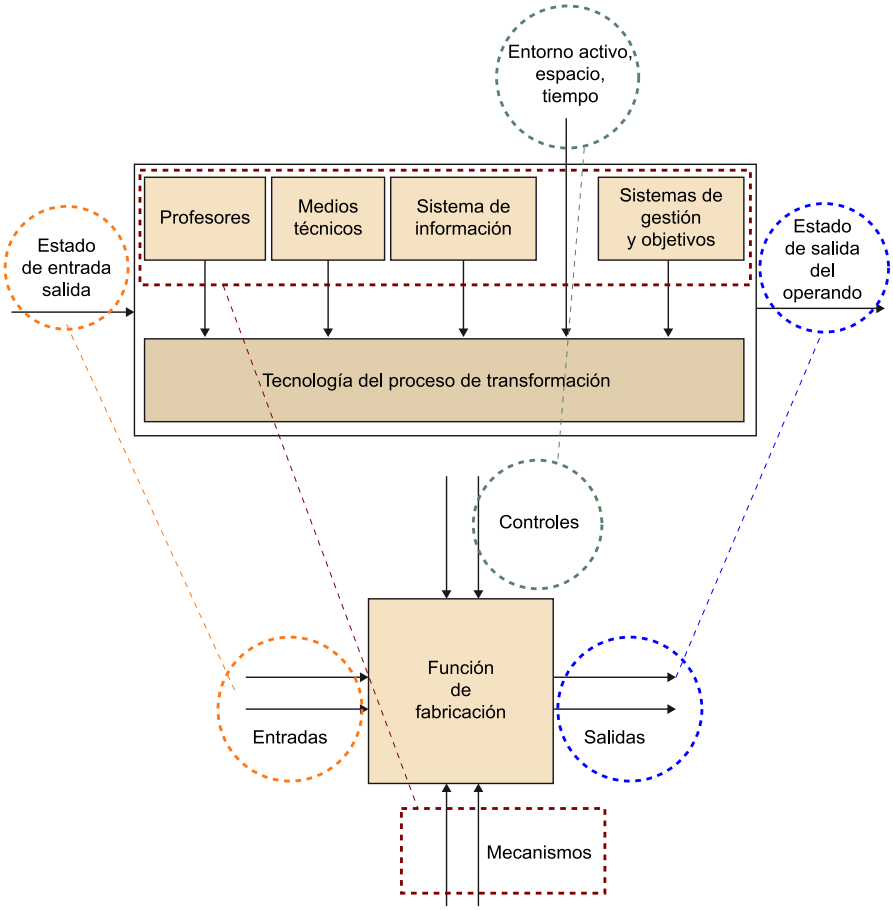
Fuente: http://www.idef.com/idefo-function_modeling_method/

En un proceso de producción, por ejemplo, se podrían tener las siguientes magnitudes:

- ***Inputs***: materia primera que será transformada durante la actividad modelada (barra de acero para transformar en tubo de acero, planos de trabajo).
- **Controles**: designarían las actividades o entidades que influenciarían la manera de trabajar en el proceso; por ejemplo, desempeño de normas de seguridad, respuesta a especificaciones del cliente, ejecución de plazos de proyecto, etc. Así pues, el control marca las restricciones y/u obligaciones y dirige las actividades.
- **Mecanismos**: los mecanismos designarían factores que permitiesen desarrollar las operaciones del proceso: por ejemplo, personas, herramientas, *software*, información, etc.
- ***Outputs***: los *outputs* designarían el resultado de la actividad y podrían ser transmitidos a otras actividades, por ejemplo: corte de cierta longitud del tubo de acero, revisión en el departamento de calidad, etc.

Si buscamos la equivalencia de estos términos con los definidos en la teoría de sistemas de Hubka y Eder (y, en concreto, con el modelado funcional del sistema de transformación), se podrían considerar los *inputs* y los *outputs* equivalentes a los operandos de entrada y de salida del sistema técnico, los mecanismos equivalentes a los operadores definidos por Hubka y Eder y los controles equivalentes al sistema de entorno (ver figura inferior):

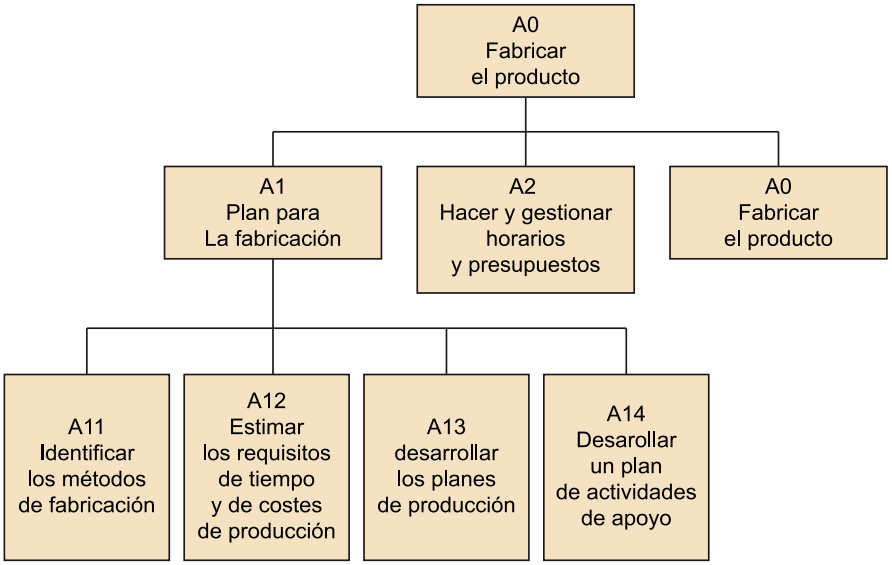
Figura 16. Comparativa del modelado de sistemas de Hubka y Eder versus el modelado de IDEF0



Fuente: elaboración propia (Llorens, 2015)

La manera de proceder en general sería la de representar el modelo más completo de un sistema en el nivel más elevado, y a niveles inferiores este proceso se divide en bloques de actividades. De este modo se realiza una descomposición en niveles jerárquicos de mayor detalle hasta llegar a disponer de datos suficientes para poder analizar y planificar los cambios que se consideren necesarios (ver figura inferior).

Figura 17. Descomposición de funciones en IDEF0

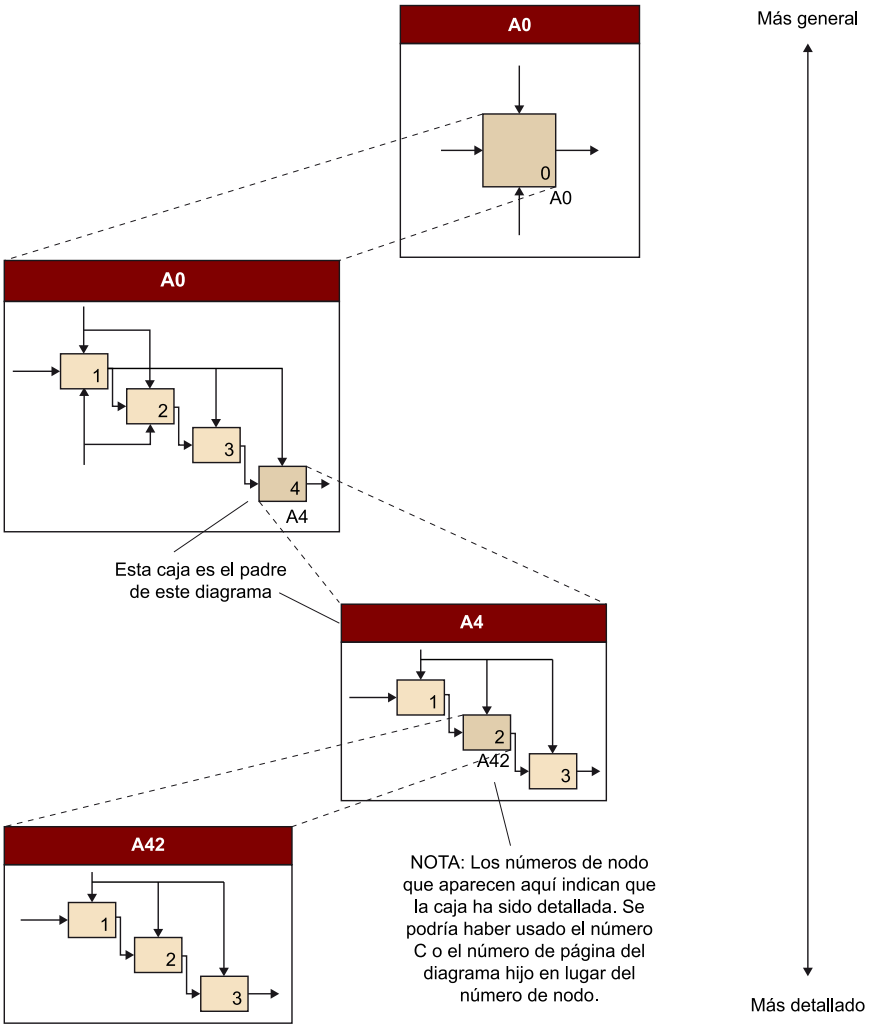


Fuente: http://www.idef.com/idefo-function_modeling_method/

3.2. Metódica

La metódica de IDEF trabaja con una lógica de desglose, pasando del análisis de un proceso global al de sus subprocesos, similar a la lógica de programación por objetos (ver figura inferior):

Figura 18. Descomposición de funciones en IDEF0 mediante diagramas



Fuente: http://www.idef.com/idefo-function_modeling_method/

El diagrama principal o diagrama A0 (rectángulo) contiene la función de alto nivel (*Top-Level*) que se desea modelizar y se descompone (como si se realizara un *zoom*) en sub-diagramas, y así reiteradamente hasta completar la descripción de todos los aspectos y las magnitudes relevantes del proceso.

Las conexiones entre diagramas (o nudos) desglosados se articulan de la siguiente manera:

Tabla 2. Conexiones entre diagramas de IDEF0

Nexo	***Tipo***	***Descripción***
Flecha horizontal unida, en escalera, a otra	Conexión de *inputs*	*Output* a *input* de nudo de nivel inferior; p. ej.: línea de montaje
Flecha vertical descendente	Conexión de control	*Output* a control de nudo de nivel inferior; p. ej.: planos, especificaciones
Flecha ascendente hacia siguiente nudo	*Output* a mecanismo	*Output* a mecanismo de nivel inferior; p. ej.: *setup*, asignación

Flecha ascendente	*Feedback* de control	*Output* a nudo de control de nivel superior; p. ej.: revisiones
Flecha ascendente	*Feedback* de *inputs*	*Output* a *input* de nivel superior; p. ej.: trabajo de reparación

Fuente: http://www.idef.com/idefo-function_modeling_method/

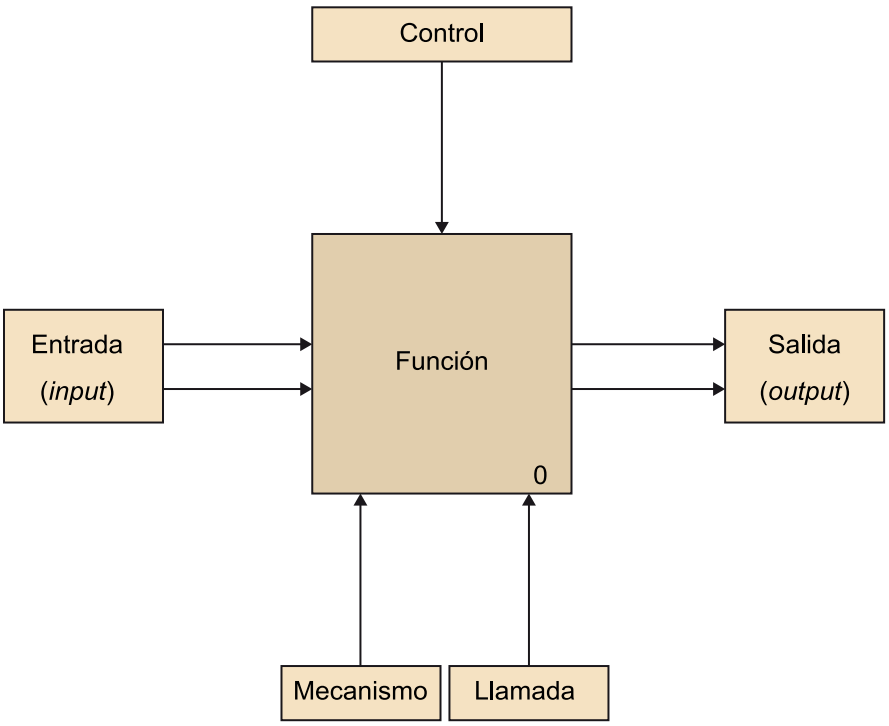
3.2.1. Ventajas del uso de la herramienta IDEF como método de representación de sistemas complejos

La descomposición en niveles jerárquicos facilita la rapidez para determinar el mapa de procesos y posibilita visualizar al nivel más alto las relaciones de cambio con los factores de éxito. Se puede remontar a "contracorriente" el flujo de *inputs* y *outputs*, lo cual permite determinar fácilmente elementos que no aportan valor, detectar limitaciones, cuellos de botella, etc. Por eso se recomienda el uso de esta herramienta cuando:

- Se requiere modelar un proceso que facilite el detalle, la exactitud y la claridad a la descripción.
- Cuando el proceso es de una cierta complejidad y otros métodos descriptivos darían lugar a diagramas más confusos.
- Cuando se quiere modelar una gama de procesos.
- Cuando se dispone del tiempo necesario para modelar el proceso.

3.2.2. Los diagramas y sus componentes

Figura 19. El modelado de sistemas se realiza en IDEF0 usando dos elementos: cajas y flechas.



Fuente: http://www.idef.com/idefo-function_modeling_method/

Cajas: el nombre de la caja siempre tiene que ser un verbo o una frase verbal que sea descriptiva de la función que representa la caja. La forma de la caja siempre es rectangular.

Flechas: las flechas siempre contienen trazos rectos que formen ángulos de 90º (no trazos oblicuos). Las flechas entrantes a la caja por la izquierda son *inputs*, y los *inputs* se transforman o se consumen por la función produciendo *outputs*. Las flechas entrantes a la caja por la parte superior son los controles y especifican las condiciones requeridas por la función para obtener los *outputs* correctos. Las flechas que salen de la caja por la parte derecha son los *outputs* y son datos u objetos producidos por la función. Las flechas conectadas a la parte inferior de la caja representan mecanismos: si la flecha va hacia arriba identifica los medios que apoyan a la ejecución de la función; si la flecha va hacia abajo se trata de una flecha de aviso (las flechas de aviso posibilitan compartir detalles entre modelos o entre partes del mismo modelo); la caja que es avisada ofrecerá más detalles de la caja madre, que es de donde sale la flecha.

Todos los modelos tienen un diagrama A0 representando el nivel más elevado de la función a representar. Esta función se puede descomponer después en diagramas hijos de menor nivel; así, cada diagrama hijo contiene cajas hijas y flechas que proporcionan un detalle adicional sobre la caja padre. Estos otros diagramas hijo se enumeran A1, A2... y si son diagramas hijos de un nivel inferior se enumeran A11, A12, etc.

Bibliografía

Hubka, V.; Eder W. E. (1988). *Theory of technical systems*. Berlín: Springer-Verlag-Berlin Heidelberg.

Llorens Cervera, Sònia (2015). *Bases metodológicas para definir la arquitectura de gama de producto de empresas fabricantes de bienes de equipo industriales*. Tesis doctoral presentada en la Universidad Politécnica de Cataluña.

Matthyssens, P.; Vandenbempt, K. (2008). «Moving from basic offerings to value-added solutions: Strategies, barriers and alignment». *Industrial Marketing Management* (n.º 37, págs. 316-328). Amberes: Elsevier.

Riba, C.; Gomà, J.R.; Llorens, S.; Fenollosa, F.; Coll, J.; Genovese, P. (2003). *Desarrollo de metodología para optimizar la modularización funcional de máquinas en pymes de amplia gama de producto y series cortas en un entorno DFMA*. GAMMA DPI2000-0433-P4-05. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Proyecto de investigación y desarrollo tecnológico.

Webgrafía

BPMN ORG [En línea]. [Fecha de consulta: 12 de marzo de 2015]. <http://www.bpmn.org/>

GIRBAU GROUP, EcoTunnel [En línea]. [Fecha de consulta: 4 de abril de 2014]. <http://www.girbau.cat/productes-bugaderia/tbs-ecotunnel/TBS-Ecotunnel>

IDEF [En línea]. [Fecha de consulta: 5 de agosto de 2014]. <http://www.idef.com>

SySML Forum [En línea]. [Fecha de consulta: 5 de agosto de 2014]. <http://www.sysmlforum.com/>