

# Estimating building construction costs: analysis of the process-based budget model (POP Model)

## La estimación de costes de obras de edificación: análisis del modelo de presupuestación por procesos (modelo POP)

M. Victoria Montes \*, R. Falcón <sup>1</sup>\*, A. Ramírez \*

\* Universidad de Sevilla, Sevilla. ESPAÑA

Fecha de Recepción: 10/10/2015  
Fecha de Aceptación: 17/03/2016  
PAG 17-25

### Abstract

*The recent economic crisis suffered by the Spanish construction sector has brought to light its excessive vulnerability to fluctuations in the real estate market. Overcoming this situation requires to innovate the sector in order to increase its efficiency. A large amount of researches in Spain focus on the improvement of the environmental efficiency of construction works, but only a few of them deal with its economic efficiency. The current study arises from the importance of the latter in order to achieve a comprehensive sustainability in construction. We introduce a process-based budget model, the POP model, whose most significant strength is the direct inclusion of all costs incurred at the building production site. In this way, process-based estimates expose with transparency and accuracy the real nature of the projected works, contributing to improve their economic management.*

*Keywords: Cost estimate, production process, construction site, budget model, economic efficiency in construction*

### Resumen

La reciente crisis económica experimentada por el sector de la construcción Español ha puesto de manifiesto su excesiva vulnerabilidad ante los vaivenes del mercado inmobiliario. La superación de esta situación pasa por la innovación del mismo en aras de incrementar su eficiencia. Numerosas investigaciones en España centran sus esfuerzos en la búsqueda de la mejora de la eficiencia ambiental de la edificación, si bien son aún escasas las que abordan la búsqueda de su eficiencia económica. De la consideración de la importancia de ésta como garante básico de su sostenibilidad, surge la presente investigación. En ella se presenta un modelo de presupuestación de obras basado en procesos productivos, el modelo POP, cuya principal fortaleza estriba en la imputación directa de todos los costes generados en el centro de producción. Así, la estimación de costes por procesos refleja con transparencia y rigor la realidad de las obras proyectadas, contribuyendo a mejorar su gestión económica.

**Palabras clave:** Estimación de costes, proceso productivo, obra de edificación, modelo de presupuestación, eficiencia económica en la edificación

## 1. Introducción

En Economía, la *eficiencia técnica* se define como la ratio entre resultados obtenidos y costes soportados (Farrell, 1957). Así, una unidad de producción se dice *eficiente técnicamente* si obtiene resultados óptimos a partir de unos determinados costes iniciales o bien si es capaz de minimizar dichos costes para alcanzar un resultado fijado de antemano. Si la producción se distribuye en el mercado acorde a su demanda, alcanzando un beneficio máximo por ello, se dice que su *eficacia de distribución* es óptima. La *eficiencia económica* se define entonces como el producto de la eficiencia técnica por la eficiencia de distribución.

En España, la profunda crisis que atraviesa el sector de la construcción desde 2008 ha puesto de manifiesto su vulnerabilidad ante los vaivenes del mercado inmobiliario, dando lugar a una escasa eficiencia de distribución y al deterioro de su eficiencia económica. Para solventar esta situación se han buscado soluciones que mejoren la

competitividad y robustez del sector, destacando aquéllas que versan sobre optimización ambiental y eficiencia energética (Pacheco, 2009; Aranda y Zabalza, 2010; León et al., 2010; Ruíz y Romero, 2011; Travenzan y Harmsen, 2013; Villoria et al., 2013; Cuchí et al., 2014; Villoria, 2014). La correspondiente investigación en materia de sostenibilidad y eficiencia económica aún se encuentra desarrollada sin embargo de forma muy puntual (Montes et al., 2011; García-Erviti et al., 2015) si es comparada a nivel internacional (Badea et al., 2010; Appleby, 2012; Carson y Abbot, 2012; Slaughter, 2013; Ibrahim et al., 2014).

Centrado en los costes de producción, el presente artículo apunta justamente a la mejora de la eficiencia económica del sector de la construcción en España, país donde existen tradicionalmente grandes desviaciones entre presupuestos de obras y costes reales (Bustos, 2014; Cordero, 2014). Esta falta de precisión en las estimaciones se debe a una falta de correspondencia con el modelo productivo real. Los principales agentes perjudicados son los constructores y promotores que han de soportar los costes de las obras sin informaciones preliminares fiables en base a las que poder adoptar decisiones. Para solventar este problema, la presente investigación analiza, mejora y optimiza el denominado *modelo de Presupuestación de Obras por Procesos (POP)* (Montes, 2007). Fundamentado en unos presupuestos basados en procesos productivos, dicho modelo es capaz de simular y adaptarse a la realidad de cada obra. Habiéndose implementado con éxito en obras de edificación de distinta

<sup>1</sup> Autor de Correspondencia:

Profesor Contratado Doctor Interino. Departamento de Matemática Aplicada I. Universidad de Sevilla. Avenida Reina Mercedes, nº 4 A  
41012 - Sevilla (España).  
E-mail: [rafalgan@us.es](mailto:rafalgan@us.es)



tipología (Toresano, 2011; Márquez, 2012; Mesa, 2012; Montes et al., 2012; Ponce, 2012; Vázquez, 2012; Villar, 2012; Montes et al., 2014), llega el momento de presentarlo oficialmente como una alternativa transparente, eficaz y consistente a la hora de mejorar la eficiencia económica en edificación.

La estructura del trabajo es la siguiente: Como alternativa al modelo de unidades de obra, el modelo POP se presenta en la Sección 2 como un modelo integral, abierto y accesible, capaz de estandarizar los procedimientos y lenguajes en materia de presupuestación de obras. Su estructura jerárquica de procesos y costes se muestran en las Secciones 3 y 4, respectivamente. El procedimiento requerido para elaborar un presupuesto por procesos haciendo uso de una versión optimizada del modelo es detallado en la Sección 5, mientras que un caso de estudio es expuesto en la Sección 6.

## 2. Modelos de presupuestación

En función del detalle proporcionado en la estimación de costes esperados en la ejecución de obras existen dos clases de modelos de presupuestación: los *modelos de predimensionado* y los *modelos detallados*. Los primeros proporcionan una estimación rápida y aproximada del coste de las obras en fases preliminares del ciclo de vida de la edificación, mientras que los segundos estiman con detalle los costes de cada proceso. El modelo POP se engloba en estos últimos.

El modelo detallado por antonomasia en España es el denominado *modelo de unidades de obra* (Ramírez-de-Arellano, 1998). Dicha unidad de obra se define como el “conjunto de recursos (*materiales, maquinaria o mano de obra*) necesarios para construir un todo indivisible que queda integrado en una obra y que constituye la parte más pequeña en que se considera dividida la misma en un presupuesto”. La correspondiente estructura de costes generados en el centro de producción distingue entre *Costes Directos de Ejecución* (CDE), integrados mediante la aplicación del precio de un componente a la cantidad con que éste participa en el coste, y *Costes Indirectos de Ejecución* (CIE), incorporados mediante la aplicación de un valor relativo respecto a otro de referencia. Si bien este modelo ha permitido establecer una estabilidad económica entre los distintos agentes en la edificación, la crisis del sector establecida desde 2008 ha hecho que deban replantearse algunos de sus fundamentos. Por ejemplo, dado que los CIE engloban la mayoría de costes generados por la implantación, funcionamiento y desmantelamiento del centro de producción, resulta que costes tan importantes como los derivados del salario del jefe de obra, las grúas o las casetas provisionales de obra aparecen diluidos en el presupuesto en forma de un porcentaje que no representa adecuadamente su generación. No son costes proporcionales al volumen de obra producido sino costes fijos. La falta de transparencia en su estimación dificulta gestionar sus cambios durante el desarrollo de las obras, lo cual es especialmente problemático en obras de recuperación de edificaciones existentes en las que estos alcanzan elevados porcentajes en relación a los CDE (Ramírez-de-Arellano, 2000). Por su parte, el tratamiento de los CDE adolece de un exceso de homogenización derivado de un uso generalizado de precios de bases de costes estandarizadas que desvirtúa lo que realmente acontece en

cada obra. Así, se considera por ejemplo que todos los metros cuadrados de un tipo de forjado cuestan igual, cuando en realidad su coste varía en función de la configuración de los huecos del mismo, sus elementos de contorno, su emplazamiento, los medios empleados para su ejecución y el rendimiento de la mano de obra, entre otros.

En contraposición al modelo anterior es posible apostar por una visión integral del producto edificación resultante como producto único (Carvajal, 1992). Esta visión es la que ofrece justamente el modelo POP, el cual considera la edificación como un único producto resultante de un sistema productivo complejo compuesto por numerosos procesos productivos interrelacionados ordenadamente según las necesidades específicas de cada intervención. Para entender sus características generales conviene englobar dicho modelo en el marco de metodologías que vienen desarrollándose a nivel internacional a la hora de presupuestar costes en edificación. En primer lugar, la metodología ABC (*Activity-Based Costing*) identifica, clasifica y jerarquiza cada acción vinculada al centro de producción, influyente en sus costes (Woo, 2001; Yuan, 2011). Se consigue así un mayor control, transparencia y ajuste en la contabilidad de los costes por parte de las entidades constructoras, pues los mismos pasan a ser gestionados en cada momento atendiendo al nivel jerárquico en el que ha sido clasificado el correspondiente proceso al que se encuentra asociado. En segundo lugar, la metodología PBC (*Process-Based Costing*) analiza los costes asociados a cada acción que interviene en la obra para transformar unos determinados componentes de entrada (edificación preexistente, recursos, residuos y subproductos) en componentes de salida o resultados (Gyoh, 1999; Pulaski, 2005; Nguyen, 2010). Este hecho posibilita conectar los presupuestos con la planificación de obra. El modelo POP permite integrar estas dos metodologías de forma natural aunando sus ventajas. El hecho de que ambas metodologías hayan sido tratadas en España únicamente de forma básica (Catalá y Yepes, 1999; Caveró et al., 2003) aporta un factor novedoso al modelo que nos ocupa.

Una de sus principales fortalezas es la no distinción entre costes directos e indirectos, siendo imputados de forma directa todos los costes en el presupuesto. Susceptible de ser aplicado en todo tipo de obras es en las obras de recuperación donde se hacen especialmente evidentes sus ventajas debido a que los costes del centro de producción son más elevados que los costes de producción propiamente dichos y a que se producen un mayor número de cambios en obra atendiendo a los nuevos hallazgos que se van produciendo durante su ejecución. La visión que propone es además la misma que comparten las empresas constructoras a la hora de estimar sus costes. Más aún, frente a una gran atomización de modelos sin conexión propios de cada empresa, el modelo POP se presenta como una alternativa abierta y accesible, capaz de estandarizar procedimientos, favorecer el intercambio de información entre diferentes agentes y obras, y optimizar la formación de los técnicos del sector.



### 3. La estimación de costes por procesos productivos

El modelo POP se sustenta en la estimación a medida de los costes de cada obra a partir de la forma en la que éstos se generan en el centro de producción, esto es, a partir de sus procesos productivos generadores, denominados *procesos de ejecución* (PE), y de los componentes en los que estos se desagregan, denominados *procesos básicos* (PB). La eficacia de los presupuestos depende de la correcta delimitación de fronteras entre dichos procesos. En concreto, los PE constituyen el conjunto de actividades vinculadas al centro

de producción que transforman los componentes de entrada en resultados (Figura 1). Su unidad de medida es la *unidad de proceso* (*u*). Por su parte, los PB están constituidos por los componentes de entrada y salida, exceptuando el producto edificación propiamente dicho. Se distingue entre *componentes exógenos* y *endógenos*. Los primeros tienen su origen o destino fuera del centro de producción, tales como recursos provenientes de mercados de suministro, subproductos destinados a su comercialización exterior y residuos que han de valorizarse para ser incorporados a la obra. Sus unidades de medida se corresponden con las del Sistema Métrico Internacional.

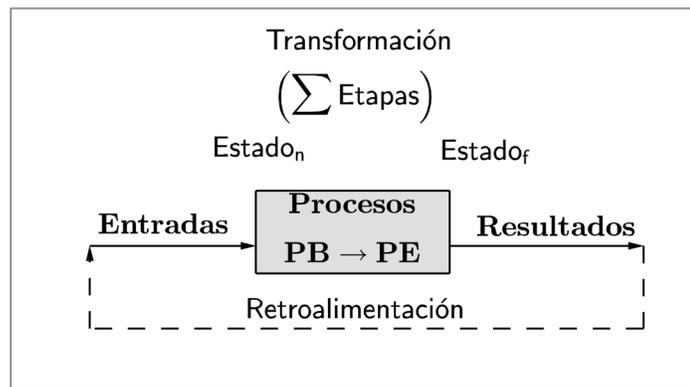


Figura 1. Sistema productivo obra de edificación

Todo proceso queda recogido, codificado y ordenado jerárquicamente atendiendo a su naturaleza en un par de mapas de procesos que posibiliten un intercambio transparente de información entre los diferentes agentes del sector. Así, los PE y PB se codifican a partir de sendos *Sistemas de Clasificación de Procesos de Ejecución* (SCPE) y *Básicos* (SCPB), respectivamente (Montes, 2016b; Montes, 2016a). Ambos sistemas distribuyen sus correspondientes procesos en tres niveles: PE<sub>1</sub>, PE<sub>2</sub> y PE<sub>3</sub> para el SCPE; PB<sub>1</sub>, PB<sub>2</sub> y PB<sub>3</sub> para el SCPB. La incorporación de cualquier proceso queda garantizada en ambos casos mediante una terna de procesos genéricos que aparece en cada nivel: *procesos mixtos, especiales y varios*. A modo de ejemplo se presenta en la Tabla 1 el primer nivel de ambos sistemas. La codificación elegida es numérica con vistas a favorecer la informatización e internacionalización del modelo. Específicamente, el código de cada PE se forma añadiendo un par de dígitos al código del proceso de nivel inmediatamente superior al que pertenecen. Así, por ejemplo, se tienen los códigos:

- PE<sub>1</sub>: 01 Centros de producción.
- PE<sub>2</sub>: 0100 Construcciones complementarias.
- PE<sub>3</sub>: 010030 Casetas prefabricadas.

El código de cada PB es análogo si bien comienza con un asterisco para diferenciarse claramente de los códigos de PE:

- PB<sub>1</sub>: \*00 Recursos humanos.
- PB<sub>2</sub>: \*0045 Técnicos.
- PB<sub>3</sub>: \*004510 Jefes de obra.

Además de los tres niveles estandarizados anteriores, los mapas de procesos se desagregan en un cuarto nivel adicional (PE<sub>4</sub> y PB<sub>4</sub>) que ha de ser definido expresamente por el presupuestador en cada obra.

- Ejemplo PE<sub>4</sub>: 0100300001 u Montaje de casetas provisionales de obra.
- Ejemplo PB<sub>4</sub>: \*0045100001 mes Jefe de obra.

Tabla 1. SCPE y SCPB de nivel 1

| SCPE (PE <sub>i</sub> ) |  | SCPB (PB <sub>i</sub> ) |                             |
|-------------------------|--|-------------------------|-----------------------------|
| Código                  | Concepto                                     | Código                  | Concepto                    |
| 01                      | Centros de producción                        | *00                     | Recursos humanos            |
| 02                      | Actuaciones preparatorias                    | *10                     | Recursos materiales         |
| 03                      | Recuperaciones                               | *20                     | Maquinaria                  |
| 04                      | Demoliciones y desmontados                   | *30                     | Recursos auxiliares         |
| 05                      | Acondicionamientos de terrenos               | *40                     | Agua y recursos energéticos |
| 06                      | Cimentaciones                                | *50                     | Suelo                       |
| 08                      | Saneamientos                                 | *60                     | Recursos informacionales    |
| 10                      | Estructuras                                  | *65                     | Residuos y subproductos     |
| 12                      | Cerramientos                                 | *70                     | Procesos mixtos             |
| 15                      | Cubiertas                                    | *80                     | Procesos especiales         |
| 18                      | Paredes interiores                           | *90                     | Varios                      |
| 20                      | Instalaciones de climatización               |                         |                             |
| 22                      | Instalaciones de electricidad                |                         |                             |
| 24                      | Instalaciones de fontanería                  |                         |                             |
| 26                      | Instalaciones de gases y licuados            |                         |                             |
| 28                      | Instalaciones de protección contra incendios |                         |                             |
| 30                      | Instalaciones de control y seguridad         |                         |                             |
| 32                      | Instalaciones de telecomunicaciones          |                         |                             |
| 34                      | Instalaciones de transporte                  |                         |                             |
| 36                      | Instalaciones solares                        |                         |                             |
| 38                      | Instalaciones de retirada de residuos        |                         |                             |
| 39                      | Otras instalaciones                          |                         |                             |
| 40                      | Carpinterías                                 |                         |                             |
| 45                      | Revestimientos                               |                         |                             |
| 48                      | Amueblamientos                               |                         |                             |
| 50                      | Trabajos exteriores                          |                         |                             |
| 55                      | Operaciones de mantenimiento                 |                         |                             |
| 60                      | Actuaciones finales                          |                         |                             |
| 65                      | Gestión de residuos y subproductos           |                         |                             |
| 70                      | Procesos mixtos                              |                         |                             |
| 80                      | Procesos especiales                          |                         |                             |
| 90                      | Varios                                       |                         |                             |

## 4. Estructura de costes del modelo POP

En el modelo POP, los costes generados en los centros de producción se ordenan jerárquicamente en relación a los procesos productivos a los que están asociados (Figura 2). Todos ellos se imputan por vía directa con su correspondiente signo, donde los costes positivos representan

los gastos derivados de la ejecución de la obra, mientras que los negativos representan los ingresos del agente constructor. La ausencia de costes indirectos proporciona una estimación rigurosa y transparente acorde a la realidad que facilita el control de omisiones y repeticiones.



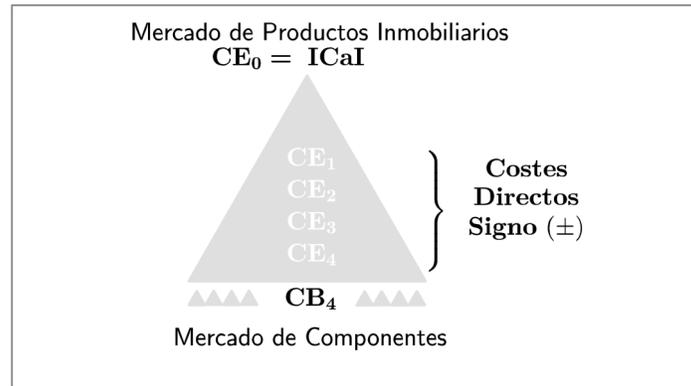


Figura 2. Estructura de Costes del Modelo POP

En la base de la estructura aparecen los *Costes Básicos de Nivel 4* (CB<sub>4</sub>) correspondientes a los PB<sub>4</sub>. Representando los costes de los componentes de entrada o salida de las obras, estos costes se ven influenciados por las características de sus mercados de origen o destino, respectivamente, tales como precios y condiciones de suministro o retirada. Dichos costes se incorporan a su vez en los costes correspondientes a los procesos de ejecución de menor nivel en los que intervienen: los *Costes de Ejecución de Nivel 4* (CE<sub>4</sub>). Si bien dicha incorporación es directa (CB<sub>4</sub> → CE<sub>4</sub>) para componentes exógenos, en el caso de tratar con

componentes endógenos sus costes básicos se integran previamente en otros CB<sub>4</sub> antes de su incorporación final a su correspondiente CE<sub>4</sub> (CB<sub>4</sub> → CB<sub>4</sub> → ... → CE<sub>4</sub>). Véase la Tabla 2 como ejemplo.

Los restantes costes de ejecución se obtienen de la inclusión sucesiva de los costes del nivel inmediatamente inferior, CE<sub>4</sub> → CE<sub>3</sub> → CE<sub>2</sub> → CE<sub>1</sub> → CE<sub>0</sub>, donde los costes de nivel cero corresponden al coste total vinculado a la producción de obra y equivalen, por tanto, al *Importe de Contrata antes de Impuestos* (ICaI) de las obras, objeto final del presupuesto.

Tabla 2. Secuencia de Incorporación de CB<sub>4</sub> en CE<sub>4</sub>

| Integración  | CB <sub>4</sub>   | CB <sub>4</sub>   | CB <sub>4</sub>   | CE <sub>4</sub>  |
|--|---|---|---|--|
| CB <sub>4</sub> → CE <sub>4</sub>  |   |   | *1020200001<br><i>mu Ladrillo perforado</i>                           | 1210000001<br><i>u Ejecución cerramiento</i>             |
| CB <sub>4</sub> → CE <sub>4</sub>  |   |   | *5020270500<br><i>u Teja árabe recuperada para comercializar</i>      | 0150500500<br><i>u Venta de tejas árabes recuperadas</i> |
| CB <sub>4</sub> → CE <sub>4</sub>  |   |   | *5010050500<br><i>m<sup>3</sup> Residuo de hormigón</i>               | 0150500001<br><i>u Retirada de residuos de hormigón</i>  |
| CB <sub>4</sub> → CB <sub>4</sub> →<br>CB <sub>4</sub> → CE <sub>4</sub> | *1016050001<br><i>t Cemento</i>   | *7001100001<br><i>u Fabricación mortero M4 in situ</i>                | *5020160001<br><i>m<sup>3</sup> Mortero M4 fabricado in situ</i>      | 1210000001<br><i>u Ejecución cerramiento</i>             |
| CB <sub>4</sub> → CB <sub>4</sub> →<br>CB <sub>4</sub> → CE <sub>4</sub> | *0005100001<br><i>h Peón especial</i>   | *7004700001<br><i>u Desmontaje teja árabe para reutilizar in situ</i> | *5020270100<br><i>u Teja árabe recuperada para reutilizar in situ</i> | 1520200001<br><i>u Ejecución cubierta</i>                |
| CB <sub>4</sub> → CB <sub>4</sub> →<br>CB <sub>4</sub> → CE <sub>4</sub> | *5010050001<br><i>m<sup>3</sup> Residuo de hormigón para reciclar in situ</i> | *7001500001<br><i>u Reciclaje de residuos de hormigón in situ</i>     | *5020160005<br><i>m<sup>3</sup> Mortero reciclado in situ</i>         | 1210000001<br><i>u Ejecución cerramiento</i>             |

## 5. Elaboración del presupuesto por procesos

En la elaboración del presupuesto por procesos mediante el modelo POP se lleva a cabo en primer lugar un análisis integral del sistema. La documentación de proyecto, las características del emplazamiento de la obra, las prescripciones de la normativa de aplicación, la situación de los mercados de componentes, las estipulaciones contractuales, entre otras, son algunas de las fuentes a considerar. El siguiente paso es identificar, delimitar y codificar el conjunto de procesos de ejecución  $PE_n$  de menor nivel a partir de la planificación, organización y programación de las obras. Seguidamente se analizan y codifican los procesos básicos  $PB_n$  de menor nivel que son necesarios para la implementación de cada proceso de ejecución. En ambos casos, la codificación correspondiente permite determinar cuáles son los procesos de niveles superiores que engloban estos procesos de menor nivel. Posteriormente, ambos mapas de procesos se fusionan configurando el presupuesto por procesos propiamente dicho, incorporándose el mapa de procesos de ejecución a los primeros cuatro niveles del mismo y desagregándose los PE en un quinto nivel de procesos correspondiente a los PB, quedando así el presupuesto por procesos desagregado en cinco niveles:  $PE_1 \rightarrow PE_2 \rightarrow PE_3 \rightarrow PE_4 \rightarrow PB_4$ . Adicionalmente, el presupuesto se complementa con unas fichas donde se pormenorizan los procesos de menor nivel. Estas fichas fusionan en un mismo documento el contenido tradicional de los precios descompuestos y de los pliegos de condiciones. Parámetros como el consumo teórico de componentes, las pérdidas y la cantidad de componente necesaria una vez consideradas las pérdidas aparecen detalladas en las mismas. En el caso de las fichas de los  $PB_4$  de componentes endógenos figura además su descomposición en componentes básicos integrantes.

Tras la división y estructuración de la obra en procesos se procede al tratamiento económico ascendente de los mismos mediante la sucesiva implementación de tres operaciones presupuestarias básicas que permiten estimar el requerido coste total de ejecución. En concreto, fijado un proceso productivo  $P_n$  de nivel  $n$ , ya sea de ejecución o básico, se define

- La operación de *cuantificación* (Fórmula 1), que determina la *cantidad*  $Q(P_n)$  con la que el proceso  $P_n$  participa en la obra y su *coste unitario*  $C(P_n)$ .

$$Q(P_n), C(P_n) \quad (1)$$

- La operación de *integración* (Fórmula 2), que permite obtener el *coste complejo*  $CC$  del proceso  $P_n$ , esto es, el coste total de todas sus unidades.

$$CC(P_n) = Q(P_n) \cdot C(P_n) \quad (2)$$

- La operación ascendente de *agregación* (Fórmula 3), que permite la obtención de los costes unitarios de cada proceso  $P_{n-1}$  de nivel  $n - 1$  mediante la suma de los costes complejos del conjunto  $\{P_{n,1}, \dots, P_{n,m}\}$  de sus procesos componentes de nivel  $n$ .

$$C(P_{n-1}) = \sum_{i=1}^m CC(P_{n,i}) \quad (3)$$

Como primer paso, el presupuesto por procesos comienza con la cuantificación de todos los procesos básicos  $PB_n$ . El cálculo de su coste (Fórmula 4) viene dado a partir de la correspondiente cuantificación, integración y agregación del conjunto de sus componentes básicos  $\{PB_{4,1}, \dots, PB_{4,m}\}$ , multiplicando el valor resultante por un *factor de repercusión* ( $F_R$ ) obtenido como la inversa de la medición del proceso básico objeto de análisis en la unidad de medida de su componente resultante. Cada cálculo se detalla en su correspondiente ficha de proceso.

$$CC(PB_4) = \sum_{i=1}^m CC(PB_{4,i}) \cdot F_R \quad (4)$$

La presupuestación obtenida no es una mera estimación estática de los costes esperados de la ejecución de obras proyectadas, sino que posibilita el análisis comparativo de distintas alternativas de planificación, organización y programación de las mismas y la elección posterior del denominado *presupuesto óptimo* (Fórmula 5) que permita obtener el producto edificación con el mínimo coste total.

$$Presupuesto_{\text{óptimo}} (POP_{\text{óptimo}}) \rightarrow Eficiencia_{\text{máx}} = Resultados / Coste_{\text{mín}} \quad (5)$$

Siendo:

- $Presupuesto_{\text{óptimo}}$ , el presupuesto correspondiente al  $POP_{\text{óptimo}}$ .
- $Eficiencia_{\text{máx}}$ , el nivel de eficiencia económica del  $Presupuesto_{\text{óptimo}}$ .
- $Coste_{\text{mín}}$ , correspondiente al ICaI del  $Presupuesto_{\text{óptimo}}$ .

## 6. Caso de estudio

Atendiendo a la metodología propuesta por Yin (1986), profundizamos a continuación en la compresión del modelo POP mediante la aplicación del mismo a un caso de estudio. Ilustrado en la Tabla 3, nuestro caso de estudio se centra en la estimación de los costes esperados del centro de producción de una obra real de nueva planta de carácter residencial de 203 viviendas de protección oficial, localizada en un solar de 7.862 m<sup>2</sup> en Sevilla (España). Para la estimación de dichos costes se parte, en primer lugar, del análisis exhaustivo de toda la información disponible relacionada con la obra objeto de estudio (documentación del proyecto, contrato de adjudicación, entre otras fuentes) y de los medios de los que dispone la empresa constructora responsable de su realización. A partir de dicho análisis, se procede seguidamente a planificar las actuaciones que se van a llevar a cabo para el montaje, mantenimiento y desmontaje del centro de producción. Esta planificación se concreta en la identificación y caracterización de los procesos de ejecución de nivel 4 ( $PE_4$ ) específicos de la obra, tal como el proceso 0100001005 u *Montaje provisional de cerramiento de obra con panel de malla galvanizada con soportes prefabricados* concerniente al vallado perimetral de la obra.



Tabla 3. Estimación de Costes del Centro de Producción del Caso de Estudio

| PRESUPUESTO POR PROCESOS |          |   |            |                  |              |
|--------------------------|----------|---|------------|------------------|--------------|
| IDENTIFICACIÓN           |          |   | ESTIMACIÓN |                  |              |
| Código                   | u        | Proceso   | Q          | C                | CC           |
| <b>01</b>                | <b>u</b> | <b>CENTROS DE PRODUCCIÓN</b>  | 1,00       | 1.276.699,00     | 1.276.699,00 |
| <b>0100</b>              | <b>u</b> | <b>CONSTRUCCIONES COMPLEMENTARIAS</b>   | 1,00       | 13.585,00        | 13.585,00    |
| <b>010000</b>            | <b>u</b> | <b>CERRAMIENTOS</b>   | 1,00       | 5.420,00         | 5.420,00     |
| 0100001005               | u        | MONTAJE PROVISIONAL CERRAM. OBRA, PANEL MALLA GALV. SOPORT. PREFABR.  | 1,00       | 5.420,00         | 5.420,00     |
|                          |          | Proceso de montaje cerramiento provisional de obra, realizado con postes cada 3 m de perfiles tubulares galvanizados de 50 mm de diámetro interior, panel rígido de malla galvanizada y piezas para alojamiento de postes, incluido mantenimiento y posterior desmontaje, así como ayudas de albañilería. |            |                  |              |
|                          |          | Estado inicial: La parcela se encuentra desbrozada y limpia.  |            |                  |              |
|                          |          | Fase 1: Transporte y descarga de material en la obra.   |            |                  |              |
|                          |          | Fase 2: Reparto de éste por todo el perímetro del centro de producción.   |            |                  |              |
|                          |          | Fase 3: Montaje del panel de malla galvanizada sobre las piezas de alojamiento.   |            |                  |              |
|                          |          | Fase 4: Atado de dos perfiles tubulares mediante alambre.   |            |                  |              |
|                          |          | Fase 5: Tareas de mantenimiento periódico durante toda la obra.   |            |                  |              |
|                          |          | Fase 6: Desmontaje del panel de malla galvanizada sobre las piezas de alojamiento.  |            |                  |              |
|                          |          | Fase 7: Carga de material en el camión.   |            |                  |              |
|                          |          | Fase 8: Transporte de vuelta al almacén.  |            |                  |              |
|                          |          | Estado final: La parcela vuelve a su estado inicial una vez finalizada la obra.   |            |                  |              |
| *000510100<br>1          | h        | Trabajo de peón   | 80,00      | 17,00            | 1.360,00     |
| *102510100<br>1          | u        | Piedra para introducir el poste de la malla   | 100,0<br>0 | 4,00             | 400,00       |
| *102550100<br>1          | u        | Malla electrosoldada 3,00 x 2,00 m  | 300,0<br>0 | 11,72            | 3.516,00     |
| *201010100<br>1          | h        | Transporte de camión con pluma  | 6,00       | 24,00            | 144,00       |
| <b>010020</b>            | <b>u</b> | <b>ACONDICIONAMIENTO DE LOCALES</b>   | 1,00       | 1.896,50         | 1.896,50     |
| 0100201005               | u        | ADAPTACIÓN PROVISIONAL LOCAL OFICINAS   | 1,00       | 743,70           | 743,70       |
| 0100201010               | u        | ADAPTACIÓN PROVISIONAL LOCAL ASEOS  | 1,00       | 420,30           | 420,30       |
| 0100201015               | u        | ADAPTACIÓN PROVISIONAL LOCAL VESTUARIO Y COMEDOR  | 1,00       | 732,50           | 732,50       |
| 0100201020               | u        | ADAPTACIÓN PROVISIONAL LOCAL PRIMEROS AUXILIOS  | 1,00       | 648,25           | 648,25       |
| <b>010030</b>            | <b>u</b> | <b>CASSETAS PREFABRICADAS</b>   | 1,00       | 6.036,00         | 6.036,00     |
| 0100301005               | u        | MONTAJE PROVISIONAL CASETA MODULADA ENSAMBLABLE PARA OFICINAS   | 1,00       | 2.424,00         | 2.424,00     |
| 0100301020               | u        | MONTAJE PROVISIONAL CASETA VESTUARIO Y COMEDOR  | 1,00       | 611,00           | 611,00       |
| 0100301025               | u        | MONTAJE PROVISIONAL CASETA ASEOS  | 1,00       | 552,00           | 683,00       |
| 0100301030               | u        | MONTAJE PROVISIONAL CASETA PRIMEROS AUXILIOS  | 1,00       | 516,00           | 647,00       |
| 0100301035               | u        | MONTAJE PROVISIONAL CASETA ALMACÉN  | 1,00       | 1.671,00         | 1.671,00     |
| <b>010040</b>            | <b>u</b> | <b>NUEVAS CONSTRUCCIONES</b>  | 1,00       | 48,00            | 48,00        |
| 0100401005               | u        | CONSTRUCCIÓN PROVISIONAL LOCAL CUB. 2 AGUAS CERR. LADRILLO  | 1,00       | 48,00            | 48,00        |
| <b>010050</b>            | <b>u</b> | <b>ACCESOS Y ACONDICIONAMIENTO DE ESPACIOS EXTERIORES</b>   | 1,00       | 184,50           | 184,50       |
| 0100501005               | u        | ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO PARA LA IMPLANTACION DEL CP   | 1,00       | 184,50           | 184,50       |
| <b>0108</b>              | <b>u</b> | <b>ALCANTARILLADOS</b>  | 1,00       | 307,50           | 307,50       |
| <b>0122</b>              | <b>u</b> | <b>INSTALACIONES DE ELECTRICIDAD</b>  | 1,00       | 8.136,00         | 8.136,00     |
| <b>0124</b>              | <b>u</b> | <b>INSTALACIONES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA</b>  | 1,00       | 4.198,50         | 4.198,50     |
| <b>0128</b>              | <b>u</b> | <b>INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS</b>   | 1,00       | 1.916,00         | 1.916,00     |
| <b>0132</b>              | <b>u</b> | <b>INSTALACIONES DE TELECOMUNICACIONES</b>  | 1,00       | 4.975,00         | 4.975,00     |
| <b>0148</b>              | <b>u</b> | <b>AMUEBLAMIENTOS Y SEÑALIZACIONES</b>  | 1,00       | 10.991,5<br>0    | 10.991,50    |
| <b>0150</b>              | <b>u</b> | <b>ACTUACIONES BÁSICAS</b>  | 1,00       | 1.232.58<br>9,50 | 1.232.589,50 |



A continuación, se estructura el presupuesto por procesos mediante la elaboración de su correspondiente mapa de procesos, colgándose los PE<sub>4</sub> identificados de sus correspondientes procesos PE<sub>3</sub>, PE<sub>2</sub> y PE<sub>1</sub> del Sistema de Clasificación de Procesos de Ejecución, siendo este último el proceso 01 u Centros de producción. Por el extremo opuesto, los PE<sub>4</sub> del presupuesto se desagregan en sus componentes, los denominados procesos básicos de nivel 4 (PB<sub>4</sub>), tales como \*0005101001 h Trabajo de peón o \*1025501001 u Malla electrosoldada 3,00x2,00 m. Por motivos, de extensión tan solo se detalla en la Tabla 3 la descomposición de algunos de estos procesos; el análisis pormenorizado de este caso de estudio puede consultarse en la Tesis de Maestría de Juan Francisco Márquez Santana (2012).

Una vez estructurado el presupuesto por procesos se procede al tratamiento económico del mismo mediante las operaciones de cuantificación, integración y agregación de sus diferentes procesos componentes, partiendo de su menor nivel de desagregación, el de los PB<sub>4</sub> hasta llegar en sentido ascendente a la cuantificación e integración (Fórmula 6) del proceso 01 u Centros de producción.

$$CC(01) = Q(01) \cdot C(01) = 1,00 \text{ u} \cdot 1.276.699,00 \text{ €/u} = 1.276.699,00 \text{ €} \quad (6)$$

Siendo:

- *CC(01)*, el coste complejo del proceso 01. En nuestro caso de estudio este coste coincide con el coste total objeto de estimación, el cual asciende a 1.276.699,00 €.
- *Q(01)*, la cantidad con la que el proceso 01 participa en la obra. En el caso de estudio se cuantifica una unidad de proceso.
- *C(01)*, el coste unitario del proceso 01. Este coste se calcula a partir de la cuantificación, integración y agregación de los costes de sus procesos componentes, siguiendo la secuencia PB<sub>4</sub> → PE<sub>4</sub> → PE<sub>3</sub> → PE<sub>2</sub> → PE<sub>1</sub>.

En el análisis formal del presupuesto por procesos del caso de estudio cabe destacar que las tres primeras columnas proporcionan la información cualitativa de los procesos integrantes del mismo. Así, la primera columna incorpora sus códigos relativos al SCPE y al SCPB, según corresponda; la segunda columna especifica su unidad de medida y la tercera su denominación. Por su parte, las tres últimas columnas son las que proporcionan la información cuantitativa de cada proceso: su cantidad *Q* en su correspondiente unidad de medida, su coste unitario *C* expresado en euros/unidad de medida y su coste complejo *CC* en euros, respectivamente.

## 8. Referencias

- Appleby P. (2012)**, Integrated sustainable designs of buildings, p. 440, Reino Unido: Taylor and Francis.
- Aranda A., Zabalza I. (2010)**, Eficiencia energética en instalaciones y equipamiento de edificios, p. 222, Zaragoza: Prensas universitarias de Zaragoza.
- Badea C., Bob C., Iures L. (2010)**, Waste Materials Used For Building Construction. En Kallel, A., Hassairi, A., Bulucea, C. A., Mastorakis, N. (Ed.), Advances in Energy Planning, Environmental Education and Renewable Energie Sources (pp. 54-59). Kantau, Tunisia: WSEA Press.
- Bustos O. (2014)**, Factores latentes de la desviación de presupuestos en proyectos de arquitectura. Un análisis empírico (Tesis Doctoral). Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Carson C., Abbott M. (2012)**, A review of productivity analysis of the New Zealand construction industry. Construction Economics and Building, 12(3): 1-15, DOI: <http://dx.doi.org/10.5130/AJCEB.v12i3.2584>.
- Carvajal E. (1992)**, Uniproducto o Multiproducto, p. 158, Sevilla: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla y Las Palmas.
- Catalá J., Yepes V. (1999)**, Aplicación del sistema de costes ABC en la gestión de proyectos y obras. Forum Calidad, 102: 42-47.

Finalmente, tras el pormenorizado análisis del presente caso de estudio se constata que la información económica relativa al montaje, mantenimiento y desmontaje del centro de producción queda recogida de forma cien por cien transparente en el presupuesto, facilitando su conocimiento y control por parte de los agentes del sector de la construcción participantes en su ejecución. Además, se confirma que, a diferencia de la homogenización de costes de los modelos tradicionales, el modelo POP posibilita la redacción de presupuestos a medida para cada obra en aras de maximizar la precisión y fiabilidad de sus estimaciones, posibilitando a los distintos agentes adoptar las mejores decisiones en relación a cada obra de edificación a partir de la información proporcionada por los mismos.

## 7. Conclusiones y líneas de I+D+i derivadas

En el presente artículo se ha presentado el modelo POP de Presupuestación de Obras por Procesos como una herramienta alternativa destinada a enriquecer la oferta de modelos de presupuestación existente. Dicho modelo posibilita la realización de estimaciones de costes integrales y personalizadas, ajustadas a la forma en que realmente se construye, donde todos los costes vinculados con el centro de producción de las obras, a excepción de los impuestos, se imputan por vía directa. Con transparencia y rigor, el modelo facilita la gestión económica de las obras a lo largo de su desarrollo, permite identificar en todo momento el origen de la información y pone de manifiesto las posibles omisiones o repeticiones de costes que puedan producirse con vistas a su corrección. Asimismo, su versatilidad posibilita su uso en las distintas fases de la obra de edificación, si bien la información por él arrojada será más fiable cuanto mayor sea su proximidad a la realidad de las obras, tal y como ocurre en la redacción de presupuestos en fase de ejecución por parte del agente constructor para su seguimiento y control. Como trabajo futuro cabe destacar el desarrollo de un modelo integral de gestión de obras de edificación basado en procesos productivos y la elaboración de un plan de transferencia al tejido productivo que permita disponer e implementar el modelo POP por parte de los agentes del sector, contribuyendo así al incremento efectivo de la eficiencia económica de la edificación a lo largo de su ciclo de vida.



- Cavero J. A., González, J. F., Sansalvador, M. E. (2003)**, Modelo presupuestario basado en las actividades: Aplicación en las empresas constructoras y promotoras inmobiliarias. Partida Doble, 148: 58-69.
- Cordero D. (2014)**, 3 de febrero "Cuando el Sobrecoste Forma Parte del Plan". El País, 34-35. [http://sociedad.elpais.com/sociedad/2014/02/03/actualidad/1391459849\\_523014.html](http://sociedad.elpais.com/sociedad/2014/02/03/actualidad/1391459849_523014.html).
- Cuchí A., Sweatman P., van Toledo G. (2014)**, Informe GTR 2014: Estrategia para la rehabilitación. Claves para la transformación del sector de la edificación en España. Madrid: GBCE y Fundación CONAMA.
- Farrell M. J. (1957)**, The Measurement of Productive Efficiency. Journal of the Royal Statistical Society, Series A, 120: 253-281.
- García-Erviti F., Armengot-Paradinas J., Ramírez-Pacheco G. (2015)**, El análisis del coste del ciclo de vida como herramienta para la evaluación económica de la edificación sostenible. Estado de la cuestión. Informes de la Construcción, 67(537), e056, p.8.
- Gyoh L. E. (1999)**, Design-Management and Planning for Photovoltaic Cladding Systems within the UK Construction Industry (Tesis Doctoral). Sheffield: The University of Sheffield.
- Ibrahim D. E., Eldaly H. T., Abdel Halim A. S. (2014)**, Construction cost reduction procedures for the national housing Project in Egypt. Journal of International Academic Research for Multidisciplinarity, 2(5): 56-71.
- León A. L., Muñoz S., León J., Bustamante P. (2010)**, Monitorización de variables medioambientales y energéticas en la construcción de viviendas protegidas: Edificio Cros-Pirotecnia en Sevilla. Informes de la Construcción, 62(519): 67-82, DOI: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.09.045>.
- Márquez J. F. (2012)**, Estimación de costes por procesos productivos. Aplicación al centro de producción de obra de 203 viviendas VPO (Tesis de Maestría). Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Mesa A. (2012)**, Estimación de costes por procesos productivos, aplicada a los procesos de infraestructura de una obra de 203 viviendas de VPO (Tesis de Maestría). Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Montes M. V. (2007)**, Nuevo Modelo de Presupuestación de Obras Basado en Procesos Productivos" (Tesis Doctoral). Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Montes M. V. (2016a)**, Sistema de Clasificación de Procesos Básicos (SCPB). Classification System of Basic Processes, p. 15, Sevilla: DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3517.2883>.
- Montes M. V. (2016b)**, Sistema de Clasificación de Procesos de Ejecución (SCPE). Classification System for Execution Processes, p. 30, Sevilla: DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3779.4322>.
- Montes M. V., Falcón R. M., Ramírez-de-Arellano A. (2014)**, Estimating Building Construction Costs by Production Processes. The Open Construction and Building Technology Journal, 8: 171-181. DOI: <http://dx.doi.org/10.2174/1874836801408010171>.
- Montes M. V., Monterde D., Villoria P. (2011)**, Approach to the Use of Global Indicators for the Assessment of the Environmental Level of Construction Products. The Open Construction and Building Technology Journal, 5(2): 141-148, DOI: <http://dx.doi.org/10.2174/1874836801105010141>.
- Montes M. V., Ramírez-de-Arellano A., Villar R., Molina M. A. (2012)**, PRECOST-POP4. Programa de estimación de costes de obras por procesos productivos (Software registrado). Registro Territorial de la Propiedad Intelectual de Andalucía, número de asiento registral 04/2012/19221.
- Nguyen H. V. (2010)**, Process-Based Cost Modeling to Support Target Value Design. (Tesis Doctoral). Berkeley: University of California.
- Pacheco M. N. (2009)**, Eficiencia energética de los edificios: repercusión medioambiental. Revista de Direitos e Garantias Fundamentais, 5: 101-119.
- Ponce M. E. (2012)**, Estimación de costes por procesos productivos. Aplicación a los procesos de estructuras y cubiertas de obra de 203 viviendas de VPO. (Tesis de Maestría). Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Pulaski M. H. (2005)**, The alignment of sustainability and constructability: A continuous value enhancement process (Tesis Doctoral). State College: The Pennsylvania State University.
- Ramírez-de-Arellano A. (1998)**, Presupuestación de obras, p. 413, Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- Ramírez-de-Arellano A. (2000)**, Aspectos Económicos de la Recuperación de Edificios, p. 148, Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- Ruiz M. C., Romero E. (2011)**, Energy saving in the conventional design of a Spanish house using thermal simulation. Energy and buildings, 43(11): 3226-3235, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.08.022>.
- Slaughter S. (2013)**, Scenario Analysis to Assess the Economic Efficiency of High Performance Building Strategies. Built Environment Coalition. Technical paper #10010413, p. 23.
- Torezano J. (2011)**, Análisis y Presupuesto por Procesos del Centro de Producción en Obras de Restauración en el Casco Histórico (Tesis de Maestría). Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Travanzan J. Y., Harmsen R. (2013)**, Policy analysis for energy efficiency in the built environment in Spain. Energy Policy, 61: 317-326, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.096>.
- Vázquez L. (2012)**, Análisis y Presupuesto por Proceso de las Obras de Adecuación de Local Privativo en Centro Comercial (Tesis de Maestría). Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Villar R. (2013)**, Implementación de la gestión selectiva de la Prevención de Riesgos Laborales en el programa informático PreCostPOP4. (Tesis de Maestría). Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Villoria P. (2014)**, Sistema de gestión de residuos de construcción y demolición en obras de edificación residencial. Buenas prácticas en la ejecución de obra (Tesis Doctoral). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Villoria P., del Río M., San-Antonio A., Porras-Amores C. (2013)**, Best practice measures assessment for construction and demolition waste management in building constructions. Resources, Conservation and Recycling, 75: pp. 52-62.
- Woo K. (2001)**, Activity-based costing and its application to lean construction. En 9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Singapur: National University of Singapore.
- Yin R. K. (2014)**, Case Study Research: Design and Methods (5ª ed.), p. 219, Los Ángeles: Sage.
- Yuan F. (2011)**, Applying activity-based costing approach for construction logistics cost analysis. Construction Innovation, 11(3): 259-281.

