

# Modelo genérico preliminar para la estimación de costos de construcción y montaje en la rehabilitación de edificaciones del Centro Histórico de La Habana

**Karen Sanabria**

## Resumen

En etapas iniciales de estudios de inversiones, la disminución de los errores de estimación de costos constituye mundialmente un asunto no resuelto. Se requiere de modelos de estimación eficaces cada vez más efectivos con la precisión de parámetros potencialmente determinantes y de una estructura óptima que los relacione. La inexistencia de registros sistematizados sobre inversiones ejecutadas, dificulta aún más la realización de análisis causales por métodos eminentemente cuantitativos. El artículo aborda la metodología seguida para el diseño preliminar de un modelo genérico para la estimación de costos de construcción y montaje en la rehabilitación de edificaciones en un contexto singular, el Centro Histórico de La Habana. La utilización de métodos cualicuantitativos, comunes en prospectiva predictiva, permitió la identificación de seis parámetros potencialmente determinantes y de una estructura preliminar multiplicativa, que coinciden con los de otros estudios basados solo en métodos cuantitativos. A diferencia de ellos, los resultados inducen a la combinación de parámetros cualitativos. El diseño de modelos de estimación de costos no solo depende de las características del objeto de estimación y de sus requerimientos, sino también de materiales y métodos. Los métodos utilizados podrían ser válidos en circunstancias similares en lo que respecta a los materiales disponibles.

Palabras clave: modelos de estimación, costos de rehabilitación de edificaciones, prospectiva predictiva.

## Abstract

In the first stages of investment studies, the reduction of errors in cost estimates are worldwide an unsolved matter. Effective and more efficient estimating models are required, with a better precision of potentially determinant parameters, together with an optimum structure to relate them. The lack of systematized registers over historical investments makes more difficult the carrying out of the analysis by quantitative methods. The article approaches the methodology used for the design of a generic model to estimate the construction and assembly costs for building rehabilitations in a singular context, the Historical Centre of Havana. The use of quali-quantitative methods to common forecasting prospective allowed the identification of six determinant drivers and a multiplicative structure that share other studies which are based only on qualitative parameters. However, the results lead to the combination of qualitative parameters. Costs estimating models design will not only depend on the characteristics of the estimating object and their requirements, but also of materials and methods. Those used in this study would be right methodological solutions for other cases, in similar situations about materials.

Key words: estimating models, building rehabilitation costs, forecast prospective.



Obras inducidas que encarecen costos de edificación y aún más en rehabilitación. Foto Karen Sanabria, 2005.

## INTRODUCCIÓN

La toma de decisiones de inversión en edificaciones resulta un problema de alta complejidad, en el que influyen factores relativos a los objetos (sobre los que se decide), a los sujetos (decisores) y a los procesos (procedimientos seguidos, materiales y métodos utilizados). La selección de la mejor opción precisa de un nivel de inmediatez tal, que de no atenderse convenientemente podría resultar contraproducente, principalmente cuando se trata de edificaciones de valor patrimonial, por lo que se requiere de conocimientos científicos e instrumentos técnicos y legales específicos, especialmente referidos a los costos, de manera que se pueda contar rápidamente con estimados por magnitud global, cada vez más precisos. [1]

Una encuesta realizada, como parte de la investigación doctoral de la autora, [2] a inversionistas residentes, presupuestistas y jefes de las Unidades Básicas de Inversión de la Dirección de Inversiones de la Oficina del Historiador de Ciudad de La Habana, entidad cubana con mayor experiencia en procesos de inversiones en rehabilitación de edificaciones, dio como resultado que una de las cuatro primeras causas de la diferencia entre costos reales y estimados en rehabilitaciones en el Centro Histórico de La Habana lo constituye la inexistencia de normativas, regulaciones o metodologías para la estimación de costos.

**KAREN SANABRIA ORTEGA.** Arquitecta, Profesora Auxiliar, Jefa del Departamento de Diseño, Facultad de Arquitectura, ISPJAE.

E-mail: karen@arquitectura.cujae.edu.cu,

Recibido: junio 2011

Aprobado: septiembre 2011

El Perfeccionamiento de las Regulaciones Complementarias del Proceso Inversionista, [3] instrumento legal puesto en vigor en 1998 con el objetivo de elevar la eficiencia y lograr un mejor ordenamiento de la actividad, no incluye precisiones relativas a modelos de estimación de costos.

Los materiales y métodos utilizados en la práctica no constituyen soluciones eficaces. Las estimaciones se realizan de manera festinada en dependencia de los conocimientos y habilidades de los estimadores, generalmente siguiendo procedimientos propios de niveles posteriores (prefactibilidad o factibilidad) [4] y consumiendo varios días. Los costos, generalmente subestimados, no pueden ser corroborados o corregidos por los decisores finales y son asumidos como válidos.

Las investigaciones científicas y técnicas realizadas en ese sentido en Cuba han sido escasas. El modelo propuesto por Rodríguez (1997), [4] dirigido a la rehabilitación con fines de alojamiento hotelero y basado en el costo unitario

medio de hoteles de nueva construcción y en el costo de reposición de los elementos constructivos, constituía el primero y único diseñado para el mismo objeto y campo de investigación. Aunque resultó eficaz, en tanto permitió la obtención de estimados con un Error Medio Absoluto (EMA) del 22,5 %, considerado aceptable según la literatura, [5,6] el modelo data de doce años y para su realización no se pudo contar con resultados de investigaciones similares que permitieran validar la selección de variables de influencia potencial, ni con datos sobre rehabilitaciones ejecutadas en el mismo contexto espacial y funcional.

Más recientemente se desarrolló otro trabajo [7] que no se tuvo en cuenta entre otras razones, por tratarse de obras escolares de nueva construcción, y porque tuvo como una de las principales referencias metodológicas, el mismo método español [8] que se toma como punto de partida en este caso.

El aumento de la experiencia cubana en estudios de futuro, de las posibilidades de acceso a resultados científicos a través de Internet, unidos a la existencia de instalaciones de alojamiento hotelero en explotación como resultado de rehabilitaciones y a los pronósticos de crecimiento de la demanda potencial de este tipo de inversiones para los próximos años, enfatizaban la pertinencia de maximizar la exactitud de los estimados de costos, a partir de la actualización y el perfeccionamiento de modelos para la realización de estimaciones en el primer nivel de los estudios de preinversión.

En la investigación desarrollada por la autora, se diseña y valida un modelo para la estimación de costos de construcción y montaje en la rehabilitación de edificaciones del Centro Histórico de La Habana con fines de alojamiento hotelero, es decir, un modelo específico, con el que se obtuvo un EMA del 7 % + 2 %, siendo este modelo eficaz y más efectivo que el de Rodríguez (1997). El propósito de este artículo es mostrar la metodología seguida para la obtención preliminar del modelo genérico contextualizado (para el Centro Histórico de La Habana, aplicable a cualquier tipo de edificación atendiendo al uso propuesto), que permitió el diseño y validación de uno específico. Es decir, precisar los fundamentos, materiales y métodos utilizados para la identificación de parámetros potencialmente determinantes

a incluir en el modelo y una estructura preliminar que las relacione de una manera objetiva, en aras de una primera valoración conceptual y algorítmica.

#### *GENERALIDADES SOBRE EL DISEÑO Y LA VALIDACIÓN DE MODELOS DE ESTIMACIÓN*

Los modelos de estimación son sistemas que representan relaciones causales. Su diseño requiere de la toma de decisiones relativa a los métodos de estimación, es decir, al orden, a la secuencia y al procedimiento.

Los métodos algorítmicos son considerados más ventajosos por su objetividad, la replicabilidad de sus resultados y porque permiten una mejor comprensión del método de estimación, a pesar de depender de datos subjetivos y de la necesidad de "calibración" o actualización de proyectos anteriores con el uso de técnicas de regresión lineal, para intentar reflejar el escenario actual. Se basan en modelos matemáticos, que permiten la determinación de estimados de costos como una función de las principales variables y específicamente de los parámetros que constituirán factores de costo, es decir, de los determinantes. Dependen no solo de la selección de los **parámetros**, sino también de la **estructura** del modelo, en lo que respecta a la sofisticación matemática, y de los **índices o coeficientes** utilizados por parámetros.

Los modelos matemáticos deben mostrar claramente lo que se estima; y los costos que incluyen; ser fieles a los costos reales actualizados de proyectos similares; permitir que el estimador comprenda las causas de los resultados; de fácil utilización; estables, que pequeñas diferencias en los datos de entrada genere pequeñas diferencias en los costos estimados; significativos, abarcadores, que cubran los costos que el estimador necesite determinar; utilizar parámetros que puedan ser suficientemente conocidos antes de que el diseño haya sido completado, es decir, debe tener carácter prospectivo, y evitar que un mismo parámetro se considere más de una vez. Refiriéndose a la estructura, consideran que un mismo modelo puede no ser válido para estimar el costo de proyectos diferentes en cuanto al uso, por tanto, habría que realizar un análisis independiente para cada uso para el que se quiera estimar el costo. Los más ampliamente utilizados en estimaciones de costos han sido los lineales aditivos, multiplicativos y los que incluyen potencias. [9]

Esto no se puede decidir a priori, sino únicamente a partir del análisis de los parámetros cuantitativos que constituyan los principales factores de costos y del modelo que resulte de los gráficos de dispersión.

El diseño de un modelo de estimación se considera insuficiente si no es validado adecuadamente. [9-12] Algunos modelos solo permiten validar componentes o módulos del modelo de manera individual, o validar el modelo completo parcialmente atendiendo a tipos de validación (conceptual, algorítmica, funcional y de códigos informáticos). [13]

En el gremio cubano de las ciencias técnicas prima el criterio de que un modelo no es válido hasta tanto no se realice la validación funcional. Esta solo es posible para modelos específicos, por lo que en este artículo solo se abordan validaciones conceptuales y, en cierta medida, algorítmicas.

*ANTECEDENTES METODOLÓGICOS ENFOCADOS A COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE EN EDIFICACIONES*

En lo que respecta a los modelos de estimación de Costos de Construcción y Montaje (CCM) en edificaciones, el modelo genérico en el ámbito internacional, que expone la Norma DIN 276 (1993), [14] retomada tal cual por la ISO 9836 (1998) [15] consiste en la multiplicación del área total construida por un costo unitario de referencia.

Partiendo de esta generalidad, diferentes autores han arribado a resultados dirigidos a aumentar la precisión de los estimados, a partir del perfeccionamiento o adecuación de este modelo, al explicitar en él parámetros determinantes del costo y al precisar índices por parámetros a partir de la actualización sistemática de registros históricos de inversiones similares ejecutadas con anterioridad. Algunos han propuesto modelos para la estimación de costos [16-18] o sistemas integrados para evaluar alternativas de diseño, estimación de costos y planificación del trabajo; [19] otros han evaluado la exactitud de diferentes modelos de estimación de costos en función del peso relativo de las variables [12] y se han determinado índices técnico-económicos en función de partidas de costos. [20]

De manera general, los materiales utilizados en los estudios de casos se refieren, esencialmente, a registros sobre inmuebles residenciales de nueva planta. En menor medida, a oficinas u obras educacionales y prácticamente en ningún caso a alojamientos hoteleros, ni a rehabilitaciones. En lo relativo a los métodos para la determinación de parámetros determinantes, en la mayoría de los casos [8,18, 21-30] se han utilizado técnicas de regresión estadística (lineal o múltiple) aunque en la última década estas han sido sustituidas por algoritmos genéticos, redes neuronales u otras, propias de la inteligencia artificial. [12,19,31, 32]

En cuanto a la práctica de la estimación, se consideraron relevantes cinco trabajos: un documento técnico, [8] que constituye la propuesta metodológica de una aplicación informática y cuatro aplicaciones propiamente, ampliamente utilizadas en los países de procedencia. [27-30] Estas aplicaciones, constituyen herramientas para estimar costos por magnitud global y, a excepción del documento técnico, también para obtener presupuestos detallados en niveles posteriores de la etapa de preinversión. En estos cinco trabajos se incluyen diferentes tipos de intervenciones como la rehabilitación con cambio de uso y, también, diferentes tipos de edificaciones en función de sus usos, entre ellos el alojamiento hotelero.

Los modelos referidos en los trabajos antes mencionados, al igual que el genérico, que contemplan la norma, responden a métodos algorítmicos y a estructuras multiplicativas, las más frecuentes en la estimación de costos de producción o transformación de edificaciones.

Entre los 22 trabajos que refieren parámetros de influencia, fueron identificados 39 para obras de nueva planta y 43 para intervención en edificaciones existentes. En el nivel de Identificación de Oportunidades solo es posible conocer con precisión datos relativos a 21 en el primer caso y 25 para el segundo, los que se muestran en la Tabla 1).

En la mayoría de los trabajos mencionados los argumentos tenidos en cuenta para su determinación, responden a contextos físicos y sociales específicos. Por esa razón, los parámetros a incluir en el modelo deberán ser contextualizados para cada estudio de Casos que se pretenda realizar.

A pesar de que los trabajos consultados fueron realizados en fechas diferentes, la cantidad de parámetros considerados determinantes en los Costos unitarios de Construcción y Montaje (CuCM) e incluidos en modelos de estimación no experimentó variaciones significativas en el tiempo, siendo la cantidad media igual a cinco. [2] Los incluidos más frecuentemente en los modelos de estimación consultados y los más citados como determinantes [23, 24, 26, 31, 33, 35] han sido: el **costo unitario de referencia** para el uso a insertar, la **calidad** deseada, la **capacidad** del inmueble, la **ubicación** geográfica del inmueble y la **obsolescencia física** del inmueble.

En ninguno de los trabajos orientados a la práctica de la estimación se exponen los procedimientos o argumentos tenidos en cuenta para la determinación de los índices por parámetros de los modelos. Las variaciones porcentuales entre atributos diferentes para un mismo parámetro, susceptibles de ser determinadas a partir de los índices publicados para contextos específicos, solo podrían ser utilizadas como referentes teóricos.

En todos los modelos propuestos se insiste en la necesidad de actualización de los estimados en función de los precios del mercado. Para ello se utilizan con frecuencia fórmulas polinómicas [8, 20, 34-36] en función de los precios del petróleo, el cemento, los materiales siderúrgicos, los cerámicos y la madera, así como en función del precio de la mano de obra.

Las tendencias actuales relativas a métodos y modelos de estimación, sintetizadas a partir del análisis bibliográfico, y el hecho de que entre los parámetros determinantes más citados se incluyan parámetros cualitativos, inducen a pensar que un modelo genérico para rehabilitación de edificaciones debería incluir no solo un Costo unitario de referencia y el Área total Construida (ATC) de la edificación, como plantea la norma, sino también parámetros cualitativos determinantes de los CCM.

De esta manera, la estructura de un modelo genérico para la estimación de CCM en rehabilitación de edificaciones, aplicable a cualquier contexto y uso, debería tener la forma siguiente:

$$CCMe = CuCMrX P1 X P2X... X PnXATC \quad \dots(1)$$

Siendo:

*CCMe*: Costo de construcción y montaje estimado (UM).

*CuCMr*: Costo unitario de construcción y montaje de referencia para rehabilitaciones en el contexto seleccionado, en función del uso deseado (UM/m<sup>2</sup>).

*ATC*: Área total construida (m<sup>2</sup>).

*P1, P2, ..., Pn*: Índices por atributos de los coeficientes considerados parámetros cualitativos determinantes).

Tabla 1. Parámetros de influencia potencial en los costos de construcción y montaje

Nombre de la UA	VARIABLES	Cantidad de parámetros	Nombre de los parámetros	Veces citados	Veces consideradas determinante*
Propuesta de proyecto	Tipo de instalación	8	Costo (unitarios de referencia) (**)	<b>25</b>	<b>4</b>
			Tipo de intervención	<b>4</b>	<b>3</b>
			Uso propuesto	<b>10</b>	<b>5</b>
			Calidad de servicios, tecnologías y acabados (**)	<b>16</b>	<b>10</b>
			Forma (esquema planimétrico)	2	2
			Capacidades (cantidad de unidades) (**)	<b>8</b>	<b>4</b>
			Tamaño (dimensiones, áreas, relaciones y volumen)	<b>31</b>	<b>9</b>
			Altura (cantidad de niveles de piso)	<b>9</b>	<b>3</b>
Sitio y entorno inmediato	Lote	7	Relieve	<b>5</b>	1
			Suelo	<b>5</b>	1
			Localización	<b>5</b>	1
			Forma (**)	2	0
			Tamaño (**)	3	1
			Potencialidad constructiva de ubicación y entorno (**)	<b>4</b>	2
			Preexistencia	1	1
	Edificaciones colindantes e infraestructura	3	Asociación	3	2
			Estado técnico-constructivo de edificaciones (**)	2	0
			Infraestructura urbana de vías y redes técnicas	<b>4</b>	1
	Edificaciones existentes	9	Época de construcción (**)	<b>4</b>	1
			Usos (**)	2	1
			Esquemas planimétricos (**)	4	0
			Códigos formales (**)	1	0
			Tamaño (**)	<b>4</b>	3
			Sistema y elementos constructivos (**)	<b>4</b>	2
			Estado técnico de elementos constructivos (**)	3	1
			Valores culturales	2	0
	Restricciones a las transformaciones (**)	<b>4</b>	0		
Externas y de mercado	Cotexto económico	4	Fecha probable de inversión	<b>6</b>	<b>3</b>
			Nivel socioeconómico de la zona geográfica	<b>8</b>	<b>5</b>
			Políticas y normativa	1	0
			Nivel de actividad económica	<b>7</b>	3
Actores, relaciones y gestión	Actores	1	Cliente-inversionista	3	0
4	6	32		6*	2*

## Nota

(\*) Se refiere a los promedios.

(\*\*) Parámetros que resultaron variables en el caso de Estudio. La fecha de inversión podría ser homogenizada mediante la actualización de precios. El tipo de inversión propuesta fue definido desde el inicio de la investigación. El Costo unitario de referencia sería por cada uso propuesto. Otros parámetros de la UA Propuesta de Proyecto fueron considerados por la variable Edificaciones existentes. El resto se comporta de manera similar en el Caso de Estudio.

Entre los Pn se consideran al menos los tres parámetros determinantes mayormente citados considerados relevantes en el ámbito internacional: la calidad deseada, la ubicación de la edificación existente y su obsolescencia física. En la medida en que el CuCMr sea más específico en relación con cada uno de los parámetros cualitativos, estos últimos deberían ser excluidos del modelo, para evitar la redundancia de variables. Esta estructura no excluye su utilización en obras de nueva planta. En ese caso el costo de referencia deberá corresponder a obras de nueva planta para el uso deseado y se podría prescindir del parámetro obsolescencia física o considerar un coeficiente igual a la unidad.

#### *MATERIALES Y MÉTODOS PARA EL DISEÑO DEL MODELO GENÉRICO CONTEXTUALIZADO*

La propuesta de modelo genérico para el contexto seleccionado se basó en el análisis de la variabilidad en el contexto de los parámetros de influencia potencial en los CCM en la rehabilitación de edificaciones; en la identificación, por métodos cualicuantitativos, de los parámetros potencialmente determinantes, a incluir en el modelo; y en una formulación genérica, que reflejara la manera en que estos se relacionan con la variable dependiente CCM.

El caso se conformó a partir de la acotación sobre el tipo de intervención y el contexto objetos de estudio. Para su definición se tuvieron en cuenta las posibles unidades físicas, psicoperceptuales o funcionales a considerar a partir de la homogeneidad o heterogeneidad del territorio.

El Centro Histórico de La Habana (CHH), presenta condiciones extremas de obsolescencia física y valores culturales a conservar, características morfológicas relativamente similares en todo el conjunto urbano-arquitectónico, experiencia en la práctica de inversiones en rehabilitación a partir de la cual poder identificar los parámetros determinantes en los CCM y gran cantidad de edificaciones propuestas para ser rehabilitadas en el próximo quinquenio. En ese sentido, constituía el contexto más favorable para la conformación del estudio de Caso.

Se analizó el comportamiento de los parámetros de influencia potencial, que pudieran ser conocidos en el nivel de Identificación de Oportunidades, expuestos en la Tabla 1, con el propósito de discriminar variaciones o no en el Caso. Para ello fueron aplicados métodos analítico-sintéticos y organolépticos, a partir de información publicada por el Plan Maestro y de resultados de investigaciones doctorales, así como de la observación de la autora.

La identificación de los parámetros potencialmente determinantes se realizó a partir del análisis del comportamiento en sistema de los parámetros de influencia en los CCM, con variabilidad potencial en el Centro Histórico de La Habana, y de la variable dependiente CCM. El mismo se basó en las relaciones de influencia/dependencia entre todos los parámetros.

Utilizando el Método de Expertos Delphi se conformó un panel de expertos atendiendo a su grado de competencia [37] (alto en el 92,3 % de los casos) y se recogieron criterios sobre

las posibles relaciones de influencia/dependencia entre parámetros, que fueron reflejados en trece matrices de doble entrada [2]. Una vez obtenido cierto consenso (del 75 %), verificado a través de la comparación entre la matriz moda y la matriz mediana, se analizó la correlación múltiple entre los quince parámetros y la variable dependiente de manera automatizada, utilizando para ello el programa informático Matriz de Impacto Cruzado-Metodología Aplicada a una Clasificación (MIC-MAC), [38] por su probada confiabilidad en análisis estructural de sistemas y estudios prospectivos, [39, 40] y por la facilidad de visualización e interpretación de los resultados. La simulación automatizada en el MIC-MAC se realizó considerando seis iteraciones (cantidad aconsejable por los autores del programa para la cantidad de parámetros a correlacionar en esta investigación). Para la determinación de las relaciones de influencia/dependencia potenciales, se consideró un valor medio de influencia potencial, es decir,  $P = 2$ .

La identificación de los parámetros determinantes en los CCM, se realizó a partir del análisis de mapas de posicionamiento, los que permiten conocer la función de cada una de las variables en el comportamiento del sistema.

La elección de los parámetros determinantes que debían ser incluidos en el modelo se realizó teniendo en cuenta solo los de mayor influencia en los CCM y no solo en el comportamiento del sistema, identificados a partir de los gráficos de influencias directa y directa potencial, que muestran las influencias de todos entre sí, directamente o a través de las influencias de terceros.

La determinación de una estructura preliminar (válida conceptualmente, pero que podría variar para un modelo específico en función del uso propuesto para la edificación) se basó en el análisis de la manera en que tienen lugar las principales relaciones entre parámetros que varían en el caso de estudio y entre ellos y la variable dependiente.

#### *RESULTADOS*

De los veinticinco parámetros de influencia potencial en los CCM y que pueden ser conocidos en el nivel de Identificación de Oportunidades, solo quince (la mayoría cualitativos) podrían ser considerados de influencia en el CHH. De ellos, el 75 % pertenecientes a la Unidad de Análisis "Sitio y entorno inmediato" y solo el 25 %, a "Propuesta de proyecto", como se muestra en la propia tabla 1.

Se consideró que la accesibilidad al sitio, no dependía únicamente de la ubicación del lote en la manzana, sino también de su ubicación en función del entorno inmediato, por lo que el análisis fue realizado a partir de la combinación de ambos factores y en ese sentido se propuso una clasificación atendiendo a los tipos de ubicación general, como se muestra en la figura 1.

De los elementos correlacionados se ubicaron en la diagonal principal (la de mayor influencia/dependencia en el sistema) la variable dependiente, CCM, y diez de los parámetros de influencia potencial, siete de ellos cualitativos, como se muestra en la figura 2.

De los diez parámetros de influencia potencial, mediana o altamente influyentes en el sistema y escasa o medianamente



Figura 1. Ubicación general del lote, en función del entorno inmediato y de su localización en la manzana.

dependientes del resto, solo seis mostraban influencia directa en los CCM y debían ser incluidos en el modelo genérico contextualizado para el Centro Histórico de La Habana, como se muestra en la figura 3. Estos fueron: el costo unitario de construcción y montaje de referencia, el área total construida, los niveles de calidad deseados de servicios, tecnologías y acabados, la ubicación general del lote, el estado técnico-constructivo de las edificaciones existentes y las restricciones a las transformaciones expresadas por medio de los grados de protección.

Estos resultados determinaron que se mantuviera el criterio de seguir un método algorítmico e híbrido, basado en registros históricos y en valores hedónicos por parámetros potencialmente determinantes de los CCM en el contexto y, por tanto, un modelo con una estructura multiplicativa, por ser la que más objetivamente refleja la manera en que se relacionan los parámetros entre sí y con la variable dependiente.

Un modelo genérico contextualizado para el Centro Histórico de La Habana para un uso deseado (CHH-u), podría tener la forma:

$$CCMe(CHH-u) = CuCMr(CHH-u) \times Cca \times Xcug \times Cec \times Cgp \times ATC \dots (2)$$

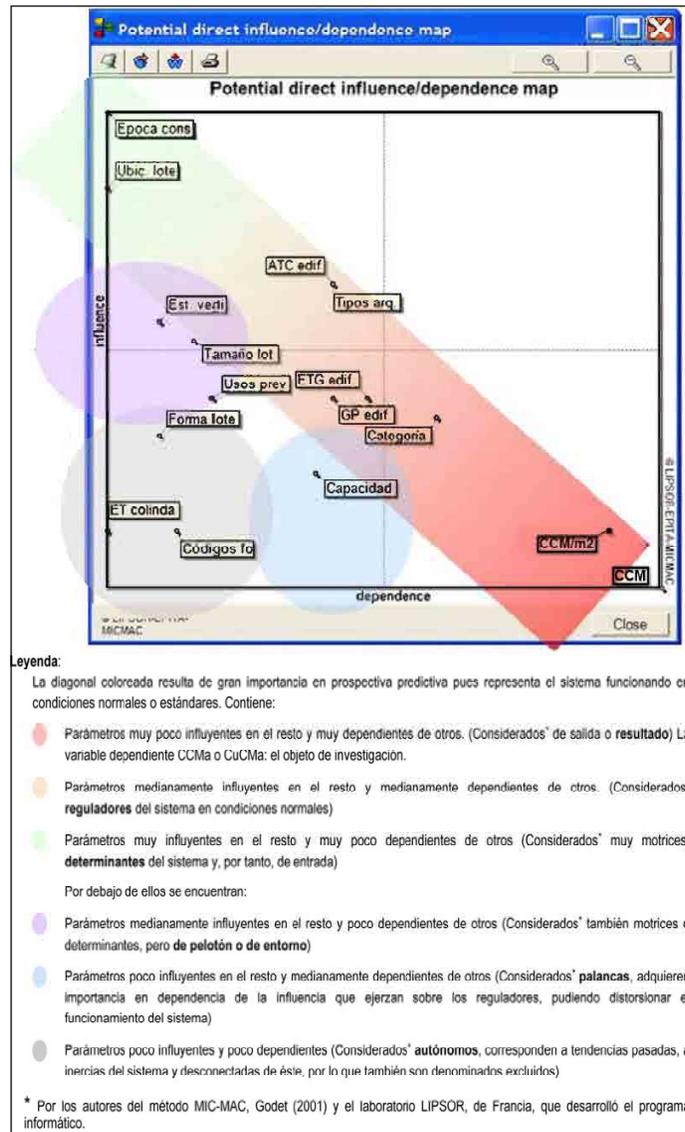


Figura 2. Mapa de posicionamiento en función de las relaciones de influencia-dependencia directa potencial obtenidas con el programa informático MIC-MAC.

donde:

$CCMe(CHH-u)$ : Costo de construcción y montaje estimado de rehabilitaciones en el Centro Histórico de La Habana para el uso deseado, expresado en unidades monetarias (UM).

$CuCMr(CHH-u)$ : Costo unitario de construcción y montaje de referencia de rehabilitaciones en el CHH, para el uso deseado, expresado en (UM/m<sup>2</sup>).

$Cca$ : Coeficiente de calidad de servicios, tecnologías y acabados (en dependencia del uso).

$Cug$ : Coeficiente de ubicación general (a partir de la clasificación propuesta en figura 3).

$Cec$ : Coeficiente de estado técnico-constructivo (según Plan Maestro).

$Cgp$ : Coeficiente de grado de protección (según Ley de Monumentos, 1977).

$ATC$ : Área total construida de la edificación a rehabilitar (m<sup>2</sup>).

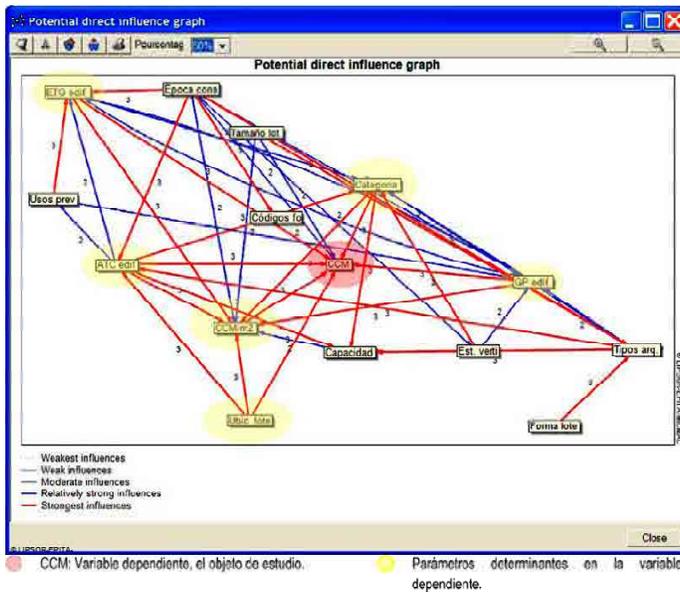


Figura 3. Gráfico de influencia directa potencial entre parámetros e identificación de los determinantes.

La influencia/dependencia de más del 50 % de los parámetros en el comportamiento del sistema, que resultó de la correlación múltiple, constituye una muestra de que las principales relaciones entre parámetros variables en el caso de estudio tienen lugar precisamente como sistema y no de manera bilateral de algunas de ellas con la variable dependiente. En ese sentido, la variación de los atributos de algunas modifica a otras, y todas a la vez al CCM. Siendo consecuentes con este resultado un modelo más objetivo sería:

$$CCMe(CHH-u) = CuCMr(CHH-u) \times Ccp \times ATC \quad \dots(3)$$

donde:

*Ccp*: Coeficiente por combinación de los parámetros calidad de servicios, tecnologías y acabados, ubicación general, estado técnico-constructivo y grado de protección.

### DISCUSIÓN

La no variabilidad en el Caso de estudio de algunos parámetros de influencia potencial corroboró la necesidad de la realización de estudios contextualizados geográfica y espacialmente, así como la necesidad de caracterizar los estudios utilizados como referencias para que los resultados puedan ser comparados y discutidos.

El predominio de parámetros cualitativos (7 de 10) en las diagonales principales de los mapas de posicionamiento demostró que los modelos genéricos contextualizados de estimación deben incluir no solo un Costo unitario de referencia y el Área total construida (ATC), sino también parámetros cualitativos que pueden modificar significativamente las relaciones entre ellos y el CCM.

Las ventajas gráficas del MIC-MAC fueron corroboradas en los gráficos de influencia directa, permitiendo una mayor precisión de los parámetros y la identificación de los cuatro parámetros cualitativos determinantes.

A excepción del grado de protección, los otros cinco parámetros determinantes coincidieron con los utilizados en modelos descritos en la literatura consultada. [4,8, 27-30] Este resultado evidencia, de una parte, las potencialidades de los métodos cualicuantitativos, similares e incluso superiores en algunos aspectos a los únicamente cuantitativos; de otra, lo conscientes que son los expertos cubanos de la importancia que tienen las restricciones a las transformaciones en los costos de la conservación del patrimonio.

La realización de una validación conceptual o algorítmica del modelo sería posible solo una vez diseñado un modelo específico a partir del que se presenta. A modo de valoración preliminar se podría considerar conceptualmente válido por el grado de exactitud con el que representa al sistema en estudio, lo realista de la simplificación y lo creíble de los postulados, premisas de Dee (1995), [13] corroboradas mediante la comparación con los resultados de la síntesis bibliográfica, y algorítmicamente acertado, en tanto la expresión matemática del modelo representa el modelo conceptual.

El modelo en cualquiera de las variantes formuladas, podría ser válido en principio, no solo para la rehabilitación de edificaciones del CHH, sino también para otros contextos del país. Sin embargo, es posible que se obtenga una mayor precisión si se realiza un análisis particularizado de la variabilidad de los parámetros restantes que aparecen en la tabla 1, que no presentaron variaciones en el caso analizado), lo que permitiría la identificación de otros parámetros potencialmente determinantes a añadir al modelo, como pudiera ser la pendiente del relieve, por solo citar uno, aunque este parámetro podría estar incluido en el CuCMr si existieran inversiones similares, para el uso deseado en el contexto que sea objeto de análisis.

Para la estimación de costos de producción de edificaciones, es decir, para obras de nueva planta el modelo podría ser simplificado, excluyendo el Coeficiente de estado técnico-constructivo (Cec) y el de grado de protección (Cgp), en caso de contar con un Costo unitario de referencia específico para el uso deseado en obras de nueva planta. En caso de contar con un CuCMr para rehabilitaciones, se podría utilizar la expresión completa, sin la simplificación, pero considerando el valor de Cec para estado técnico constructivo Bueno y Cgp, IV o al menos igual a la unidad (1,00).

Los costos totales o los unitarios de referencia deberán ser actualizados a los precios del mercado para el momento previsto de ejecución de la inversión.

### CONCLUSIONES

La eficacia de un modelo específico comienza con el diseño de uno genérico contextualizado, aún cuando no haya sido precisado el uso de la edificación, a partir de la identificación de los parámetros potencialmente determinantes del costo para el contexto en cuestión, que podrían ser conocidos en el nivel de estudio para el que se diseña el modelo, así como con la selección de la estructura conceptual y algorítmicamente óptima, que represente de la manera más objetiva la forma en que estos parámetros se relacionan entre sí y con la variable dependiente Costo.

El diseño de modelos de estimación de costos dependerá no solo de las características del objeto de estimación y de los requerimientos del estimado que se desea obtener, sino también de los materiales y los métodos utilizados para la elaboración de la propuesta. En ese sentido, el uso de métodos cualicuantitativos podría ser tan eficaz o más que los únicamente cuantitativos, principalmente en estudios de casos en los que no se pueda contar con registros históricos sistematizados relativos a inversiones ejecutadas.

Para la determinación de los parámetros determinantes a incluir en el modelo, puede resultar de gran utilidad, el de Expertos Delphi y el Análisis estructural de sistemas a partir del análisis de correlaciones múltiples entre la mayor cantidad de parámetros de influencia potencial en el contexto y la identificación de los que influyen directamente en la variable dependiente Costo de construcción y montaje.

La identificación de parámetros cualitativos, potencialmente determinantes de los costos de construcción y montaje, y su inclusión de manera explícita en el modelo propuesto, podría contribuir a una mayor exactitud de los estimados en tanto permiten una mayor precisión y comprensión de los principales factores causales de los costos.

Atendiendo al nivel de generalidad del modelo contextualizado, al comportamiento de las variables en sistema y a la correspondencia entre este resultado y las tendencias identificadas en la bibliografía, se podría considerar acertado el uso de una estructura multiplicativa y de la representación de los parámetros cualitativos como una combinación de los mismos.

Si bien el modelo, aunque flexible para otros contextos no sería aplicable tal cual, la metodología seguida para su diseño sí sería aplicable a otros contextos.

#### AGRADECIMIENTOS

La autora agradece el financiamiento otorgado por la Unión Europea (Proyecto Alfa-Metauniversidad, 2005-2008), la Asociación Universitaria Internacional de Posgrado (Beca AUIP, convocatoria 2008) y la Agencia Española de Cooperación Iberoamericana para el Desarrollo, del Ministerio de Asuntos Exteriores de España (Beca MAE-AECI, convocatoria 2008-2009), así como a la ETSA de la Universidad de Sevilla, y la EUAT y la ETSA de la Universidad Politécnica de Madrid, para la realización de estancias predoctorales, que permitieron la realización de gran parte de la investigación.

#### REFERENCIAS

1. SANABRIA, KAREN. "Economía de la Conservación del Patrimonio en el Currículo de Arquitectura y Urbanismo". *Arquitectura y Urbanismo*, vol. XXI, nº. 1, La Habana, Facultad de Arquitectura, ISPJAE, 2010, p. 64-75. ISSN: 0258-591X.
2. SANABRIA, KAREN. "Modelo matemático para la estimación de costos de construcción y montaje en rehabilitación de edificaciones". Tutor: Dra. Arq. Idamnis Monteagudo Rodríguez. Tesis presentada al acto de predefensa en opción al grado de Doctor en Ciencias Técnicas. Facultad de Arquitectura, ISPJAE, Octubre de 2009.

3. MINISTERIO DE ECONOMÍA Y PLANIFICACIÓN (MEP). La Habana, Resolución No. 157 "Perfeccionamiento de las Regulaciones Complementarias del Proceso Inversionista". 1998.
4. RODRÍGUEZ, VILMA. "Viabilidad técnica de inversiones para rehabilitación de edificios con fines de alojamiento hotelero (en el nivel de identificación de oportunidades) Aplicaciones para edificios de la zona turística 'T1' del Centro Histórico de La Habana". Tesis presentada en opción al título de Doctora en Ciencias Técnicas. Facultad de Arquitectura, ISPJAE, 1997.
5. MEANS, R. S. Company Inc. *Unit Price Estimating Methods*. EEUU, Utha, 1993.
6. SALOM, JOSÉ. "Los precios en la construcción en la actual coyuntura económica cubana". Conferencia impartida en el evento Economía y Precios de la Construcción. Ministerio de la Construcción. La Habana, 1995. (Documento en fotocopia).
7. DOMÍNGUEZ, JACQUELINE. "Metodología para la estimación de costos de obra escolares en Preinversión". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Facultad de Arquitectura, junio de 2011. Tutor: Dra. Ing. Alicia Alvarez-Buiya.
8. SNTSC-DGAV-CM: "Método para la determinación de los costes de referencia de edificación". Servicio de Normativa Técnica, Supervisión y Control, Dirección General de Arquitectura y Vivienda, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Comunidad de Madrid. 2007. Documento [[en línea]. <<http://www.bdcn.es/utilidades>>, [consultado en enero de 2008 y su actualización de 2008 en febrero de 2009..
9. LEUNG, HARENTON y FAN, ZHANG. *Software Cost Estimation*. China, Ed. s/r, 2008.
10. BARRALES, LUIS; PEÑA, IVÁN Y FERNÁNDEZ, PEDRO. "Validación de modelos, un enfoque aplicado". *Agricultura Técnica*, vol. 64, nº. 1. Chillán, 2004.
11. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. ONU-FAO. Caracterización de Peligros de patógenos en los alimentos y el agua. Organización Mundial de la Salud, Directrices. Serie de evaluación de Riesgos Biológicos. Roma, 2004. Documento [en línea] <<http://www.fao.org/docrep/009/y4666s/y4666s00.htm>>, [consultado en 2009].
12. AN, S-H., Kim, G-H., y KANG, K-I. "A Case-Based Reasoning Cost Estimating Model Using Experience by Analytic Hierarchy Process". *Building and Environment*, nº. 42, 2007, p. 2573-2579. Documento (en línea). [consultado en 2009]. <<http://www.sciencedirect.com, www.elsevier.com>>
13. DEE, D. P. "A Pragmatic Approach to Model Validation". *Quantitative Skill Assessment of Coastal Ocean Models*. D. R. Lynch and A. M. Davies (eds). Washington, DC: AGU. 1995, p. 1-13.
14. DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN): *DIN 276 Kosten im Hochbau* (Costos de Edificaciones), Beuth, Berlín, 1993.

15. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION (ISO): ISO 9836 Costos de edificación. 1998. Documento [en línea]. [consultado en 2009]. <<http://www.aenor.org>>.
16. MOSELHI, M.; HEGAZY, T. and FAZIO, P. "In DBID: Analogy-Based DSS for Bidding Construction." *Journal of Construction Engineering Management*, vol. 119, nº. 3, ASCE, 1993.
17. KIM, G-H.; YOON, J-E.; AN, S-H.; CHO, H-H. AND KANG, K-I. "Neural Network Model Incorporating a Genetic Algorithm in Estimating Construction Costs". *Building and Environment*, vol. 39, 2004. p. 1333-1340. Documento [en línea]. [consultado en 2009]. <<http://www.sciencedirect.com>, [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)>.
18. WHEATON, W.C., y SIMONTON, W. E. "The Secular and Cyclic Behaviour of 'True' Construction Costs". In: Proceedings, 21st American Real Estate Society Conference, RES, California, Santa Fe, 2005.
19. MOHAMED, A. & CELIK, T. *Knowledge Based-System for Alternative Design, Cost Estimating and Scheduling*. Knowledge-Based System, nº.15, 2002, p.177-188. Documento [en línea]. [consultado en 2009]. < <http://www.sciencedirect.com>, [www.elsevier.com/locate/knosys](http://www.elsevier.com/locate/knosys)>.
20. PUC SÁNCHEZ, E. y PECH PÉREZ, J. "Método de estimación paramétrica de costos en construcción de viviendas de interés social". *Ingeniería*, vol. 12, nº.1, 2008, p. 51-59., Documento [en línea][consultado en 2009]. < <http://www.sciencedirect.com>, [www.elsevier.com/locate/knosys](http://www.elsevier.com/locate/knosys)>.
21. THALMANN, P. "A Low-Cost Construction Price Index Based on Building Functions". Proc., 15<sup>th</sup> Int. Cost Engineering Congress, ICEC, Rotterdam, The Netherlands, 1998.
22. DISSANAYAKA, S. M. AND KUMARASWAMY, M. M. "Evaluation of Factors Affecting Time and Cost Performance in Hong Kong Building Project". *Engineering Construction Architect Management*, vol. 6, nº. 3, 1999. p. 287-298. Documento [en línea]. [consultado en 2009] < <http://www.sciencedirect.com>, [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)> .
23. PICKEN, D. H., and ILOZOR, B. D. "Height and Construction Costs of Buildings in Hong Kong". *Construction Management Economic*. vol. 21, nº. 2, 2003, p. 107-111. Documento [en línea]. [consultado en 2009]. <<http://www.sciencedirect.com>, [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)> ,
24. SKITMORE, R. M., and NG, S. T. *Forecast Models for Actual Construction Time and Cost*. *Building Environmental*, vol. 3, nº. 8, 2003, p. 1075-1083. Documento [en línea]. [consultado en 2009]. <<http://www.sciencedirect.com>, [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)> .
25. LOVE, P. E. D.; TSE, R.Y.C. And EDWARDS, D. J. "Time-Cost Relationships in Australian Building Construction Projects". *Journal of Construction Engineering Management*, vol. 131, nº. 2, 2005, p. 187-194. Documento [en línea], [consultado en 2009]. <<http://www.sciencedirect.com>, [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)>
26. STOY, CH. y SCHALCHER, H-R. "Residential Building Projects: Building Cost Indicators and Drivers". *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 133, nº. 2, 2007, p. 139-145. Documento [en línea]. [consultado en 2009]. <<http://www.sciencedirect.com>, [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)>
27. BUILDING-COST. Software técnico para la estimación de costos de edificaciones. EEUU, 2009.
28. CALCULATOR. Software Técnico para la estimación de costos de edificaciones. BCIS-UK, 2009.
29. COSTWEB. Software Técnico para la estimación de costos de edificaciones. Australia, 2009.
30. CYPE. Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción. España, CYPE Ingenieros, S.A. 2009. Documento [en línea]. [consultado en 2009]. <<http://www.cype.com>>.
31. EMSLEY, M. E.; LOWE, D. J.; DUFF, A. R.; HARDING, A., and HICKSON, A. "Data Modeling and the Application of a Neural Network Approach to the Prediction of Total Construction Costs". *Construction Engineering Management*, vol. 128, nº. 1, 2002, p. 465-472. Documento [en línea]. [consultado en 2009]. <<http://www.sciencedirect.com>, [www.elsevier.com/locate/ijproman](http://www.elsevier.com/locate/ijproman)>.
32. ATTALLA, M. AND HEGAZY, T. "Predicting Cost Deviation in Reconstruction Projects: Artificial Neural Networks Versus Regression". *Journal of Construction Engineering Management*, vol. 129, nº. 4, 2003, p. 405-411. Documento [en línea], [consultado en 2009]. <<http://www.sciencedirect.com>, [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)>.
33. DE COS, MANUEL. *Teoría General del Proyecto*. vol. I, Madrid, Dirección de Proyectos/ Project Management. Síntesis, 1995.
34. RAMÍREZ DE ARELLANO AGUDO, ANTONIO: *Aspectos económicos de la recuperación de edificios*. Universidad de Sevilla, Sevilla. Secretariado de Publicaciones. 2000.
35. ELHAG TMS, BOUSSABAIN AH & BALLAL TMA. "Critical Determinants of Construction Tendering Costs: Quantity Surveyors-Standpoint". *International Journal of Project Management*, nº. 23, 2005, p. 538-545. Documento [en línea]. [consultado en 2009]. <<http://www.sciencedirect.com>, [www.elsevier.com/locate/ijproman](http://www.elsevier.com/locate/ijproman)>.
36. DE LAS CUEVAS, JUAN. 500 años de construcciones en Cuba. Madrid, D.V. Chavín, Ibiza, 2001, cita a Salom, J.
37. CAMPISTROUS, LUIS y RIZO, CELIA. *El Criterio de expertos como método en la investigación educativa*. Documento preliminar. Versión 3. Instituto Superior de Cultura Física Manuel Fajardo, 2006.
38. LIPSOR-EPITA. *MIC-MAC. Identification of Keys Variables*. Software. Francia, s/f.
39. GODET, MICHEL. *La caja de herramientas de la prospectiva estratégica*. Cuarta edición, España. 2000. Documento [en línea], [consultado en 2007]. < <http://www.prospektiker.es>>.
40. CAZANAVE, JOISELÉN. "Pautas metodológicas para el diseño de espacios de intercambio social accesibles por adultos mayores". Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.Tutor: Dr. Arq. Rubén A. Bancroft. Facultad de Arquitectura, ISPJAE, 2007.