**SIMPOSIO INTERNACIONAL INDUSTRIA Y ENERGÍA**

**PRONÓSTICO DE LA DEMANDA DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS**

***Housing construction demand forecast***

**Gretel Martínez Curbelo1, Michael Feitó Cespón2, Alberto Medina León3**

1- Gretel Martínez Curbelo. Universidad de Cienfuegos, Cuba. gmartinez@ucf.edu.cu

2- Michael Feitó Cespón. Universidad de Cienfuegos, Cuba. mfeito@ucf.edu.cu

3- Alberto Medina León. Universidad de Matanzas, Cuba. alberto.medina@umcc.cu

**Resumen:**

El objetivo de la investigación consistió en el diseño de un procedimiento que permita pronosticar la demanda de viviendas de la provincia de Cienfuegos a partir de su desglose en viviendas nuevas y acciones constructivas. El estudio demostró la ausencia de un modelo matemático que se ajuste a las condiciones cubanas. El procedimiento propuesto para el pronóstico de la demanda de la construcción de viviendas se basó en la Lógica Difusa. Este incluyó la preparación para el estudio, la construcción del modelo de pronóstico y, el análisis de los resultados. Su aplicación exigió la utilización de herramientas informáticas tales como el MatLab y el software Super Decisions, que utiliza el Proceso Jerárquico de Análisis para ponderar los conductores de la demanda. Finalmente, el procedimiento permitió obtener valores de demanda desagregados en acciones constructivas y nuevas viviendas para la provincia de Cienfuegos y sus respectivos municipios en los años comprendidos entre el 2016 y 2018.

***Abstract:***

*The objective of the research consisted in the design of a procedure to forecast the demand for housing in the province of Cienfuegos based on its breakdown into new housing and construction actions. The study showed the absence of a mathematical model that adjusts to Cuban conditions. The proposed procedure for forecasting housing construction demand was based on Fuzzy Logic. It included the preparation for the study, the construction of the forecast model and the analysis of the results. Its application required the use of computer tools such as MatLab and Super Decisions software, which uses the Hierarchical Analysis Process to weight the demand drivers. Finally, the procedure allowed obtaining disaggregated demand values in construction actions and new housing for the province of Cienfuegos and its respective municipalities in the years between 2016 and 2018.*

**Palabras Clave:**

Demanda de viviendas; Pronóstico; Construcción

***Keywords:***

Housing demand; Forecast; Construction

**1. Introducción**

Desde la Segunda Guerra Mundial en numerosos países del mundo se trazan políticas públicas que intervienen en el mercado de la vivienda impulsando su oferta para las clases sociales con menos recursos. En dependencia de cada país, estas políticas públicas han determinado estructuras habitacionales diversas.

El mercado de la vivienda se encuentra compuesto por factores que determinan la oferta – demanda y responde de manera inmediata a los cambios en la economía general de un país (Akintoye & Skitmore 1994). Los esfuerzos de investigación sobre el modelado y pronóstico de la demanda de construcción son diversos, pero pocos investigadores consideran el impacto de los eventos de la economía global en el modelado de la demanda de construcción (Jiang & Liu, 2011). Dada su importancia, no es sorprendente que se hayan dedicado esfuerzos para entender mejor la demanda, los factores que influyen en su comportamiento y la forma y los modelos más adecuados para su estudio y predicción.

La demanda de viviendas depende significativamente de conductores o variables, donde se encuentra con mayor relevancia las correspondientes al ritmo de crecimiento de la economía, a la intensidad del proceso de creación de nuevos hogares, al nivel de precios reales de la vivienda, a las expectativas de revalorización y a los tipos de interés.

Al analizar los modelos de demanda de vivienda se aprecia que a pesar de distinguirse en ellos elementos como el nivel de desagregación, variables explicativas, formulación dinámica y número de ecuaciones estimadas, se pueden agrupar por los fines que persiguen en su utilización. Es el caso de aquellos donde se valora la influencia que ejercen diferentes variables económicas en las demandas (Dubin & McFadden, 1984; Jean & Molina, 1994; Lozano Serna, Patiño Galindo, Gómez Cabrera, & Torres, 2018), se modelan teóricamente el proceder de los individuos encontrados simultáneamente a las decisiones de movilidad residencial y elección de tenencia de vivienda (Bayer, Mcmillan, Murphy, & Timmins, 2016; Gobillon & Le Blanc, 2002; Goodman, 2002) y un tercer grupo con variados propósitos, pero que tratan la incertidumbre de los datos a partir de herramientas difusas (Azcona, 2014; Reyes Vintimilla, 2015).

De igual forma, se evidencia que los modelos econométricos son los más utilizados en estos tipos de estudio, por lo que su aplicación requiriere de una muestra suficientemente amplia e informativa (Durán, 2004). Los modelos econométricos tradicionales que estudian el comportamiento de la demanda de las viviendas presentan incertidumbre que puede estar dada por informaciones incompletas, imprecisa, no totalmente confiable, contraria, o deficiente que generan dificultades en la valoración (Stumpf González & Torres Formoso, 2006).

El desarrollo habitacional de Cuba ha transcurrido por diferentes etapas con diversas características que respaldan la presencia de brechas en la obtención de una solución a la problemática de la vivienda. Sus políticas públicas están dirigidas al incentivo de la vivienda en propiedad, por encima de la rentada debido a que, en las condiciones económicas actuales, no dispone de un parque de vivienda con fines de arrendamiento y las que se utilizan con este propósito son propiedades privadas muy costosas, por lo que se hace insustentable para los cubanos vivir en una renta.

De ahí que en un país donde las necesidades de materiales de construcción son elevadas, se impone movilizar todas las fuerzas productivas posibles en aras de alcanzar las metas sociales. La producción de materiales para la construcción, no puede mantenerse sustentado en la producción industrial nacional, sino que requiere el aprovechamiento ordenado y creciente de las potencialidades de los territorios para garantizar los diferentes elementos tradicionales y ampliar sus capacidades a la mayoría de los rubros de alto empleo, que puedan aportar no solo al balance nacional, sino que, sobre todo, cubran las necesidades de cada territorio.

Ante esta necesidad se impone el estudio de la demanda de la vivienda y es por ello que la presente investigación se centra en diseñar un modelo para el pronóstico de la demanda de construcción y reparación de viviendas en Cienfuegos. El modelo propuesto a partir de la generación de escenarios y ante la falta de datos estadísticamente confiables es capaz de predecir la construcción de viviendas nuevas y acciones constructivas de la provincia y sus respectivos municipios.

El diseño del modelo en una primera fase se encuentra orientado a la generación de escenarios fundamentados en sistemas de inferencia difusa (FIS), donde se utiliza el conocimiento de los expertos para suplir la falta de información estadísticamente confiable, permitiendo que las valoraciones de los expertos se traduzcan a valores numéricos. En la segunda fase le proporcional al modelo un carácter multinivel al desagregar la demanda provincial obtenida en demandas provinciales.

**2. Metodología**

En la presente investigación la demanda de viviendas se valora como la demanda de construcción de una nueva vivienda y la realización de acciones constructivas. Al referirse a acciones constructivas se tienen en cuenta la rehabilitación, conservación y ampliación de una vivienda ya existente.

Una recopilación de la información de las variables que intervienen en la demanda de viviendas en la provincia de Cienfuegos (Martel Montalvo & Martínez Díaz, 2018) revela una la existencia de datos inciertos. Esta incertidumbre ser encuentra referida en la aleatoriedad de los parámetros del modelo (Amin, Zhang, & Akhtar, 2017; Langroodi & Amiri, 2016) , y en la falta de información (incertidumbre epistémica) (Alamdar, Rabbani, & Heydari, 2018; Tosarkani & Amin, 2018; Wu, Zhang, Pun, & Lin, 2020), de ahí la necesidad de utilizar modelos matemáticos ligados a conceptos de incertidumbres resultados de alguna deficiencia en la información (Azcona, 2014) y de involucrar la experiencia de los expertos implicados con el tema en estudio.

En la presente investigación se utiliza para el diseño del modelo cuatro sistemas de inferencia difusa (FIS), los que son fácil de usar, no requieren grandes bases de datos, su programación e utilización no es complicada y se basa en el conocimiento de los expertos.

Para el posterior pronóstico de la demanda de vivienda se hace necesario una desagregación de la demanda a distintos niveles (provincia y municipios), por ello se utiliza el Proceso Jerárquico de Análisis (AHP). Este permite la construcción de un modelo jerárquico y organizar la información respecto de un problema de decisión, descomponerla y analizarla por partes, visualizar los efectos de cambios en los niveles y sintetizar (Saaty, Rogers, & Pell, 1988).

El modelo objeto de estudio se muestra a continuación:



**Figura 1.** Modelo objeto de estudio de la investigación. **Fuente:** Elaboración propia

**Sistemas de inferencia difusa para diseño del modelo**

El sistema de inferencia difusa (FIS) se identifica como un modelo difuso utilizado para modelar aspectos cualitativos del conocimiento humano sin análisis cuantitativos precisos (Petrović et al., 2014; Pourjavad & Shahin, 2018). El conocimiento impreciso se modela eficazmente mediante el uso de valores lingüísticos y grados de pertenencia a la teoría de conjuntos difusos (Oscullo & Gallardo, 2020).

El modelo propuesto por Mamdani & Assilian (1999) construye las reglas sobre cuatro fases: fuzzificación, conocimiento base, motor de inferencia y defuzzificación. La primera fase transforma los inputs en variables lingüísticas. El conocimiento base incluye, por un lado, un conjunto de definiciones fuzzy, y por otro, el conjunto de reglas del tipo IF-THEN. El motor de inferencia realiza el proceso de aprendizaje entre las reglas y las entradas (Muncharaz, 2020). La defuzzificación decodifica las variables lingüísticas en una variable de salida.

Para el diseño del modelo de la presente investigación se utilizan como conductores de la demanda: el crecimiento poblacional (CP), los ingresos (I), las políticas públicas (PP), el crecimiento del turismo (CT), el estado del fondo habitacional (FH), el efecto de los desastres naturales (DN), las nuevas viviendas (NV) y las acciones constructivas (AC); previamente determinados en Martel Montalvo & Martínez Díaz (2018) que justifica el sistema conformado por cuatro FIS como se muestra en la figura 2 a continuación:

|  |  |
| --- | --- |
| a | b |
| c | d |

**Figura 2.** Diseño de los FIS para cada uno de los conductores de la demanda a) FIS Crecimiento poblacional; b) FIS Crecimiento del turismo; c) FIS Estado del fondo habitacional; d) FIS Efecto de los desastres naturales. **Fuente:** Elaboración propia.

### **Definición de las variables de entrada y de salida**

El proceso de parametrización consiste en la transformación de datos medidos a un valor lingüístico en el lenguaje de la lógica difusa con la utilización de funciones de membrecía de las variables lingüísticas para calcular el grado de pertenencia (Janarthanan, Balamurali, Annapoorani, & Vimala, 2020).

Las formas de las funciones de pertenencia comúnmente utilizadas son: la función Triangular, Trapezoidal, Gaussiana, Sigmoidal y Generalizada de Bell. Estas se seleccionan de forma tal que se adquiera una apropiada correspondencia entre las entradas y salida de un sistema (Medina Hurtado & Paniagua Gómez, 2008). Las funciones lineal triangular y lineal trapezoidal se aplican generalmente en la mayoría de los estudios (Chen, 2009; Pourjavad & Shahin, 2018).

Para determinar las funciones de membresía se utilizan métodos de elicitación y posteriormente el grupo de expertos establece para las variables sus valores lingüísticos, parámetros y el universo del discurso.

###  **Elicitación de las funciones de membresía**

Desde la posición de Olvera, Hernández, Fernández, & Bautista (2016); Pourjavad & Mayorga (2019) no existen reglas para definir las funciones de pertenencia y se establecen basado en conocimientos de expertos, así como en datos e información extraído de evaluaciones anteriores y documentación existente (Bai et al., 2016; Chandima Ratnayake, 2014). Sin embargo, existen métodos que se utilizan para guiar a los expertos a encontrar las funciones de pertenencia más adecuadas.

Determinar el valor de la función de pertenencia, no es una ciencia exacta (Cunningham & Parker, 2006). Las funciones de pertenencia según la forma en que se hayan construido se clasifican en dos grupos: métodos directos e indirectos. Autores como Bilgiç & Türkşen, (2000) identifican dentro seis métodos directos. Dentro de los métodos directos se encuentran: estimación puntual, calificación directa, estimación de intervalo, ejemplificación de la función de pertenencia, calificación inversa y estimación por pares.

Para la presente investigación se utiliza el método de clasificación directa. Este se basa en la idea de que la falta de claridad resulta de la incapacidad de un individuo para asignar definitivamente un elemento a una categoría (Sanghi, 2006). Este método se puede mejorar haciendo las preguntas a varios usuarios, en lugar de al mismo usuario varias veces. La función de pertenencia se construye en base a la frecuencia de respuestas particulares (Chameau & Santamarina, 1987).

La aplicación del método revela que los gráficos obtenidos presentan similitud con la función triangular y trapezoidal, por lo que las funciones de pertenencia de las variables para cada conjunto difuso quedan construidas (ver Figura 3) como se muestra a contunuación:

|  |  |
| --- | --- |
| a | b |
| c | d |

**Figura 3.** Gráficos de la elicitación de las variables a) Crecimiento poblacional, b) Estado del fondo habitacional, c) Efecto de desastres naturales para acciones constructivas, d) Efecto de desastres naturales para nuevas viviendas. Fuente: Elaboración propia

### **Parametrización de las variables**

Los valores mínimos y máximos de las variables se determinan a partir de los valores actuales según el comportamiento de las variables de entrada y la demanda. Sobre la base de esta información se contruyen las funciones de membrecía para cada conjunto difuso (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Información de la variables de los modelos difusos.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Variables** | **Tipo de Variable** | **Función** | **Valores Lingüísticos** | **Parámetros de los Valores** | **Universo del discurso** |
| **Crecimiento Poblacional** | Entrada | Triangular | Bajo | [mín.; mín.; mín+3\*(máx.-mín.) /8] | [mín.; máx.] |
| Medio | [mín.+(máx.-mín.) /8; mín.+4\*(máx.-mín.) /8; máx.-(máx.-mín.) /8] |
| Alto | [máx.-3\*(máx.-mín.) /8; máx.; máx.] |
| **Ingresos** | Entrada | Triangular | Bajo | [mín./2; mín./2; mín./2+3\*(máx.-mín./2) /8] | [mín./2; máx.] |
| Medio | [mín./2+(máx.-mín./2) /8; mín./2+4\*(máx.-mín./2) /8; máx.-(máx.-mín./2) /8] |
| Alto | [máx.-3\*(máx.-mín./2) /8; máx.; máx.] |
| **Políticas Públicas** | Entrada | Triangular | Insuficiente | [0; 0; 3\*máx./8] | [0; máx.] |
| Adecuado | [máx./8; máx./2; máx.-máx./8] |
| Suficiente | [máx.-3\*máx./8; máx.; máx.] |
| **Crecimiento del Turismo** | Entrada | Triangular | Bajo | [mín.; mín.; mín.+3\*(máx.-mín.) /8] | [0; máx.] |
| Medio | [mín.+(máx.-mín.) /8; mín.+4\*(máx.-mín.) /8; máx.-(máx.-mín.) /8] |
| Alto | [máx.-3\*(máx.-mín.) /8; máx.; máx.] |
| **Fondo Habitacional** | Entrada | Triangular | Malo | [mín.; mín.; mín.+3\*(máx.-mín.) /8] | [mín.; máx.] |
| Regular | [mín.+(máx.-mín.) /8; mín.+4\*(máx.-mín.) /8; máx.-(máx.-mín.) /8] |
| Bueno | [máx.-3\*(máx.-mín.) /8; máx.; máx.] |
| **Viviendas Afectadas por Desastres Naturales** | Entrada | Triangular | Bajo | [0; 0; 3\*máx./8] | [0; máx.] |
| Medio | [máx./8; máx./2; máx.-máx./8] |
| Alto | [máx.-3\*máx./8; máx.; máx.] |
| **Acciones Constructivas** | Salida | Triangular | Bajo | [mín.; mín.; mín.+3\*(máx./2-mín.) /8] | [mín.; máx.] |
| Medio | [mín.+(máx./2-mín.) /8; mín.+4\*(máx./2-mín.) /8; mín.+7\*(máx./2-mín.) /8] |
| Alto | [mín.+5\*(máx./2-mín.) /8; máx./2; máx./2] |
| Excepcional | [máx./2+ (máx./2-mín); máx.; máx.] |
| **Nuevas Viviendas** | Salida | Triangular | Bajo | [mín.; mín.; mín.+3\*(máx./2-mín.) /8] | [mín.; máx.] |
| Medio | [mín.+(máx./2-mín.) /8; mín.+4\*(máx./2-mín.) /8; mín.+7\*(máx./2-mín.) /8] |
| Alto | [mín.+5\*(máx./2-mín.) /8; máx./2; máx./2] |
| Excepcional | [máx./2+ (máx./2-mín.); máx.; máx.] |

**Fuente:** Elaboración propia

Para el caso donde se involucra la variable Desastres naturales se crea un valor lingüístico excepcional a las variables Acciones constructivas y nuevas viviendas, dado que esta variable de entrada provoca que exista en determinados años o períodos un pico en la demanda de viviendas.

**2.2.8 Demanda de vivienda**

Puesto que todos los conductores no ejercen la misma influencia en la demanda de la provincia mediante el desarrollo del Proceso de Jerarquía Analítica (AHP)(Saaty, 1980) se determinan las demandas provinciales y municipales (ver figura de 2.8). Para ello se le pide a la dirección del grupo provincial del programa hacer la evaluación en la misma escala de Saaty (Saaty et al., 1988) y establecer así el peso de cada conductor para el pronóstico provincial (ver ecuación 1).

$D\_{p}=\sum\_{i=1}^{n}W\_{ci}\*D\_{ci}$ Ecuación 1 Donde:

$D\_{p}$: Demanda provincial

$W\_{ci}$: Ponderación de los i conductores en la influencia de la demanda.

$D\_{ci}$: Demandas provinciales de los i conductores

**Figura 4.** Determinación de los diferentes niveles de la demanda para un FIS. **Fuente:** Elaboración propia

Con la demanda de los municipios se procede de forma similar debido a que los municipios presentan diferentes características del fondo habitacional e influencia del turismo. El análisis se basa en ponderar los municipios a partir de su incidencia en el comportamiento de la demanda provincial. Otro nivel de ponderación está dado por la relevancia de los conductores, obteniéndose así la demanda de cada uno de ellos (ver Ecuación 2). Vale destacar que el comportamiento de los FIS no es el mismo todos los años, de ahí que impere la necesidad de realizar todos los años las ponderaciones correspondientes en función del comportamiento de los conductores.

$Dj=PMj\*\sum\_{i=1}^{n}Qij\*Wci\*Dci ∀j$ Ecuación 2

Donde:

$Dj$: Demanda del municipio j

$PMj$: Ponderación de los j municipios según su comportamiento en la demanda, j va desde 1 hasta m.

$Qij$: Ponderación de los j municipios según la incidencia de los i conductores.

Las ponderaciones para cada uno de los cálculos de demanda se obtienen del trabajo con expertos a partir de comparaciones pareadas utilizando la escala de Saaty. Los análisis se realizan para establecer las demandas de acciones constructivas y nuevas viviendas.

**3. Resultados y discusión**

La investigación diseña un modelo para el pronóstico de la demanda de construcción y reparación de viviendas del Programa Local de Producción y Ventas de Materiales de Construcción, para su aplicación se toma la provincia de Cienfuegos como caso de estudio.

**Entrada de datos del modelo**

Los valores de las variables identificadas en el sistema se buscan en diferentes bases de datos consultadas en el desarrollo de la investigación. El crecimiento poblacional se determina a través de la diferencia de los valores anuales de la densidad poblacional, teniendo en cuenta las variaciones positivas o negativas publicadas por la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI) (2020) de los últimos 15 años. El ingreso anual se determina a través la ecuación siguiente:

$\frac{\begin{array}{c}S\_{PM}\*12 meses+I\_{C}ONAT\end{array}}{PR}+ \frac{VAR }{PR}$ Ecuación 3

Dónde:

SPM: salario promedio mensual declarado en los Censo de Población y Vivienda y los anuarios publicados por la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI)

ICONAT: ingresos de los contribuyentes a la Oficina Nacional Administración Tributaria (ONAT)

VAR: valor anual de las remesas obtenido a partir de un estimado según valores publicados por el banco.

PR: población residente en la provincia correspondiente al período obtenidos de las publicaciones anuales de la ONEI.

Las Políticas Públicas, se componen por los créditos que ofrecen los bancos y los subsidios, que en el caso de Cuba son las propuestas de ayuda social impulsadas por el gobierno cubano para la construcción, rehabilitación y remodelación de viviendas. En ambos datos las cifras se obtienen a partir de valores proporcionados por el Banco Popular de Ahorro (BPA) y el Banco de Crédito (BANDEC). Las cifras comienzan a partir del 2012 porque desde este año es que se establece esta nueva modalidad de política. Por ello el valor más bajo es cero, representando los años en los que no se aplican estas políticas y el más alto corresponde a la mayor cantidad de políticas otorgadas.

El crecimiento del turismo responde a la cantidad de habitaciones destinadas al arrendamiento para el sector proporcionada por la ONAT. En la investigación este conductor toma el máximo valor en la cantidad de casa en arrendamiento al cierre del 2016, mientras que el mínimo es cero debido a la carencia de un registro de datos antes del año 2014.

El fondo habitacional está clasificado por tipologías según los materiales predominantes empleados en las paredes, techos y cubiertas. Por lo que a partir de estas clasificaciones se toman los valores del conductor. Las viviendas en mal estado se toman de la suma de todas las viviendas en mal estado de las cuatro tipologías, las clasificadas de regular en las tipologías tres y las restantes del grupo cuatro, mientras que para la obtención de los valores de estado técnico bueno se suman las viviendas de las tipologías uno, dos y tres en buen estado técnico constructivo. Esta información la proporciona la Dirección provincial de vivienda (DPV).

Las viviendas afectadas por desastres naturales es otro conductor de la demanda, su valor mínimo se toma como cero, o sea, se valora la inexistencia de desastres naturales y el máximo representa la cantidad máxima de afectaciones provocadas. En el caso de la provincia corresponde el mayor valor al ciclón Dennis en julio de 2005, tormenta más devastadora en el periodo 2000-2017 según datos emitidos por DPV.

Las viviendas nuevas (NV) corresponden a la terminación de nuevas construcciones; y las acciones constructivas (AC), contienen la rehabilitación, conservación y ampliación. Ambas se determinan a partir de la cantidad de proyectos aprobados para la construcción en el período de 2015-2017, para el que existe una base de datos. A estas variables se les agrega una categoría que le es otorgada cuando interviene la variable lingüística de entrada viviendas afectadas por desastres naturales que provoca que exista en determinados años o períodos un auge en la construcción de NV y la realización de AC. Para el caso se seleccionan valores de 900 proyectos aprobados para NV y 5 000 para AC que corresponde al doble del rango de las variables cuando no ocurre ninguna eventualidad climatológica de alto impacto. Los parámetros de las variables expresadas a través de los conjuntos difusos se muestran en la Tabla 2 a continuación:

**Tabla 2.** Variables lingüísticas de entrada del sistema

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Variables lingüísticas de entrada** | **Universo del discurso** | **Variable Base** | **Valores lingüísticos** |
| **Crecimiento poblacional** | [-2342 2562] | Diferencia de densidad poblacional (habitantes/km2) | Alto [723 2562 2562]Medio [-1729 110 1949]Bajo [-2342 -2342 -503] |
| **Ingresos** | [439.3 1859] | Ingresos en pesos | Bajo [439.3 439.3 971.5]Medio [616.7 1149 1681] Alto [1326 1859 1859] |
| **Políticas públicas** | [0 2189807.4] | Representan subsidios y los créditos otorgados por el banco en pesos | Insuficiente [0 0 821177.8]Adecuado [273725.9 1094903.7 1916081.4]Suficiente [1368629.594 2189807.4 2189807.4] |
| **Crecimiento turismo** | [0, 268] | Cantidad de casa en arrendamiento | Bajo [0 0 100.5]Medio [33.5 134 234.5]Alto [167.5 268 268] |
| **Estado del fondo habitacional** | [25275 42741] | Estado del fondo habitacional | Bueno [25275 25275 31824.75]Regular [27458.25 34008 40557.75]Malo [36191.25 42741 42741] |
| **Viviendas afectadas por desastres naturales** | [0 15556] | Se tiene en cuenta la cantidad de afectaciones por ocurrencia de eventos meteorológicos | Bajo [0 0 5834]Medio [1944.5 7778 13611.5]Alto [9723 15556 15556] |
| **Acciones Constructivas** |  [1586 2500]  | Se contabilizan a partir de las licencias de construcción otorgadas para la rehabilitación, remodelación y ampliación de viviendas. | Bajo [1586 1586 1928.75]Medio [1700.25 2043 2385.75]Alto [2157.25 2500 2500]   |
| **Nuevas viviendas** | [306 450] | Se contabilizan a partir de las licencias de construcción otorgadas para la construcción de viviendas nuevas | Bajo [306 306 360]Medio [324 378 432]Alto [396 450 450] |
| **Acciones Constructivas****(cuando se combinan con los desastres naturales)** |  [1586 5000] | Se contabilizan a partir de las licencias de construcción otorgadas para la rehabilitación, remodelación y ampliación de viviendas. | Bajo [1586 1586 1928.75]Medio [1700.25 2043 2385.75]Alto [2157.25 2500 2842.75]Excepcional [2614.25 5000 5000] |
| **Nuevas viviendas****(cuando se combinan con los desastres naturales)** | [306 900] | Se contabilizan a partir de las licencias de construcción otorgadas para la construcción de viviendas nuevas | Bajo [306 306 360]Medio [324 378 432]Alto [396 450 504]Excepcional [468 900 900] |

**Fuente:** Elaboración propia

**Obtención de la demanda provincial**

Para relacionar el comportamiento de las variables de entrada y las de salida en cada uno de los sistemas se utilizan las reglas que describen el comportamiento de sus posibles combinaciones. Con el método de defuzzificación del Centroide se transforma la salida difusa en un número real. Este paso se desarrolla dentro de la ejecución del modelo en el software MatLab por lo que no es visible dentro del proceso. Los resultados de la defuzzificación arrojan los valores de demanda estimados (ver Tabla 6) para cada sistema.

**Tabla 3:** Valores estimados arrojados para la demanda de cada sistema.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Años | FIS 1. Demanda del crecimiento poblacional | FIS 2. Demanda del crecimiento del turismo | FIS 3. Demanda del fondo habitacional | FIS 4. Demanda de las viviendas afectadas por desastres naturales |
| AC | VN | AC | VN | AC | VN | AC | VN |
| 2016 | 2201 | 372 | 2117 | 327 | 2201 | 372 | 2360 | 426 |
| 2017 | 2183 | 373 | 2365 | 345 | 2183 | 370 | 56 | 383 |
| 2018 | 2367 | 378 | 2367 | 372 | 2043 | 378 | 3293 | 603 |

Con la aplicación de las ecuaciones 1 y 2 con las que se determinan las demandas provinciales y sus desagregaciones en los municipios se obtienen los pronósticos para los años 2016, 2017 y 2018. A partir del trabajo con expertos se determinan los pesos que son utilizado en las ecuaciones. De forma similar se procede con los municipios, pero se le agrega la ponderación de cada uno según su influencia en la demanda $PMj$ (ver tablas de las ponderaciones).

La demanda provincial se desagrega a los municipios al no poder utilizar los valores de los conductores a nivel municipal o ante la falta de la información. Tal es el caso de las remesas cuyos valores municipales se desconocen; y los aportes de los Trabajadores por Cuenta Propia (TCP) no refleja con sus contribuciones a la ONAT los verdaderos aportes al municipio cuando se trabaja fuera del mismo.

**Tabla 4.** Resultados de la demanda provincial

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  Demanda Provincial AC

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Categorías | Prioridades | Orden |
| FIS -1 | 6.9 % | 4 |
| FIS -2 |  25.8 % | 2 |
| FIS -3 |  56.4 % | 1 |
| FIS- 4  |  10.9 % | 3 |

a | Ponderación de Demanda Provincial NV

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Categorías | Prioridades | Orden |
| FIS -1 | 5.9 % | 4 |
| FIS -2 |  53.1 % | 1 |
| FIS -3 |  28.2 % | 2 |
| FIS- 4  |  12.8 % | 3 |

b |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de Goepel (2018)

Al analizar los resultados obtenidos en ponderación de la demanda provincial se evidencia que para el caso de las acciones constructivas el conductor que más influye es el crecimiento del turismo, esto se debe fundamentalmente a que un alto arribo de turistas estimula las acciones constructivas para el arriendo de viviendas con tales fines. En segundo lugar, se encuentra el estado del fondo habitacional; Cienfuegos se caracteriza por un fondo habitacional renovado en algunos lugares por el paso de eventos climatológicos, mientras que otros por su estado demandan de acciones constructivas. Por último, se encuentran la influencia de los desastres naturales y el fondo habitacional. La primera tiene una marcada influencia, del total de eventos registrados en el país, la mayoría han tenido cierto nivel de afectación en el territorio que van desde mínimas producto de lluvias no tan intensas, pero atípicas, hasta grandes eventos destructivos por fuertes vientos, lluvias intensas y aumento de marea. El crecimiento poblacional es un elemento que, aunque se mantiene con una tendencia leve a su disminución (Oficina Nacional de Estadística e Información, 2020) también genera cambios en las viviendas ante la inexistencia de nuevas construcciones.

Las nuevas viviendas arrojan resultados semejantes. Los dos primeros conductores se invierten con ponderaciones similares. El estado del fondo habitacional genera más nuevas viviendas, las viviendas en muy mal estado llevan demolición y la construcción de una nueva, siendo más frecuente construir una casa nueva por este motivo que para arrendarla. Los desastres naturales provocan daños graves al fondo habitacional, llevando en la mayoría de los casos a afectaciones totales de las viviendas, por lo que para este caso su peso aumenta con respecto al crecimiento poblacional.

Los pronósticos de demanda provincial obtenidos a partir del análisis anterior para los años 2016, 2017 y 2018, resultados de la aplicación de la ecuación 1 se muestra en las Figura 5 siguientes:

|  |  |
| --- | --- |
| a | b |

**Figura 5.** Valores de demanda de vivienda para los años 2015, 2016 y 2017. a) Demanda para nuevas viviendas; b) Demanda para acciones constructivas

Las demandas municipales se obtienen de forma similar a la provincial. Se establecen tres grupos de municipios teniendo en cuenta sus características. El primer grupo corresponde al municipio de Cienfuegos, por ser municipio cabecera, presenta un mayor número de población residente que alcanza los 177 958 personas (Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI), 2020), la influencia del turismo es superior al resto por concentrase los principales atractivos en esta zona y posee además mayor desarrollo económico. Cumanayagua es el segundo grupo, este municipio posee el segundo mayor número de habitantes en la provincia 48 301 personas (ONEI 2020), sus características geográficas lo diferencian del resto al presentar mayor extensión y zonas montañosas que provoca una mayor incidencia de los efectos climatológicos, este municipio posee además un desarrollo industrial elevado y a él pertenecen las demás atracciones turísticas de la provincia. El tercer grupo lo componen el resto de los municipios, los que, presentan densidad poblacional similar, estado del fondo habitacional sin grandes diferencias y cuya incidencia del turismo no es directa.

En el caso de los municipios se analizan el peso de cada uno en la demanda y la influencia de cada conductor en el territorio (ver tabla 5 y 6). En este caso se puede apreciar cómo por grupo de municipios las influencias de los conductores y los pesos que representan en la demanda provincial cambian según sea el caso.

**Tabla 5.** Ponderación de Demanda municipal para AC

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Grupos de municipios | Pesos de los municipios | Pesos de los conductores en los municipios |
| FIS-1 | FIS-2 | FIS-3 | FIS-4 |
| Grupo-1 | 50.1 % | 9.5 % | 56.5 % | 35.4 % | 8.8 % |
| Grupo-2 | 29.6 % | 5.7 % | 41.6 % | 44.6 % | 8.1 % |
| Grupo-3 | 20.3 % | 8.2 % | 21.6 % | 62.8 % | 7.4 % |

Fuente: Elaboración propia a partir de Goepel (2018)

**Tabla 6.** Ponderación de Demanda municipal para NV

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Grupos de municipios | Pesos de los municipios | Pesos de los conductores en los municipios |
| FIS-1 | FIS-2 | FIS-3 | FIS-4 |
| Grupo-1 | 50.1 % | 8.8 % | 30.4 % | 50.6 % | 10.2 % |
| Grupo-2 | 29.6 % | 7.3 % | 21.3 % | 55.1 % | 16.3 % |
| Grupo-3 | 20.3 % | 11.4 % | 12 % | 61.2 % | 15.4 % |

Fuente: Elaboración propia a partir de Goepel (2018)

A partir de la desagregación de la demanda y la determinación de los respectivos pesos se obtienen los estimados municipales para los años 2016, 2017 y 2018, los resultados se muestran en la tabla 7 que se muestra a continuación:

**Tabla 7.** Resultado de los estimados municipales.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Grupo 1** | **Grupo 2** | **Grupo 3** |
|  | Acciones Constructivas | Nuevas viviendas | Acciones Constructivas | Nuevas viviendas | Acciones Constructivas | Nuevas viviendas |
| **2016** | 307 | 53 | 208 | 29 | 162 | 18 |
| **2017** | 337 | 54 | 224 | 29 | 171 | 18 |
| **2018** | 374 | 54 | 243 | 29 | 182 | 18 |

Fuente: **Elaboración propia**

**Discusión**

La revisión bibliográfica de los modelos que estudian el pronóstico de la demanda de viviendas permite establecer que ninguno se ajusta a las características del caso de estudio. Los modelos que usualmente estudian esta variable son econométricos que utilizan métodos cuantitativos basados en estadística (Reyes Vintimilla, 2015), programación dinámica (Bayer et al., 2016), así como la inteligencia artificial (Ng et al., 2008). Estos métodos a partir de una amplia y precisa información determinan fundamentalmente la dinámica de los individuos encontrados ante las decisiones de movilidad residencial y elección de tenencia de vivienda. Solamente en dos investigaciones se hace un análisis de la demanda a partir de las variables que fundamentalmente intervienen en temas relacionados con la vivienda.

Por otra parte, se encuentran estudios de modelos híbridos con algoritmos difusos (Azadeh et al., 2012) cuyos objetivos además de centrarse en los correspondientes a las investigaciones (en su mayoría semejantes a los econométricos) buscan resolver la falta de información estadística necesaria.

Los modelos encontrados en la literatura para la predicción de la demanda se basan en su mayoría en la obtención de muestras con altos volúmenes de información y utilizan para ello la econometría, mientras que el modelo planteado a partir de la lógica difusa plantea escenarios que permiten utilizar el conocimiento de los expertos (ante la falta de información confiable y precisa) sobre la base de la creación de cuatros FIS capaces de predecir la demanda de viviendas. Un elemento que aporta el estudio es el carácter multinivel del modelo, el mismo es capaz de desagregar la demanda provincial en las respectivas demandas municipales.

En la presente investigación ante la falta de datos lo suficientemente precisos y abundante se presenta un modelo que se basa en la matemática difusa. Su objetivo es pronosticar la demanda de viviendas desde el punto de vista de la cantidad de casa nuevas necesarias a construir y las acciones constructivas necesarias de acometer en el fondo habitacional, elemento que lo distingue del resto, ya que dicho razonamiento solo se trabajan en la investigación de Becerra, De, & Luis Suárez (2015). Para ello, se basa en la influencia de variables utilizadas en estudios econométricos realizados con anterioridad y que influyen en el objeto de estudio.

La lógica difusa presenta baja complejidad computacional y les permite a los sistemas traducir la opinión del grupo de expertos en forma de valores numéricos. La utilización del AHP afianza la experticia de los expertos involucrados en la toma de decisiones.

El pronóstico de viviendas se realiza sobre la base de los cuatros escenarios que se proponen. Estos de trabajan de forma integrada y ponderada pues, la omisión de uno de ellos puede provocar que ante un cambio de las condiciones (eventualidad de un suceso climatológico no pronosticado o un cambio brusco en la economía) no se tengan en cuentas los cambios que estos eventos puedan provocar en la demanda.

La desagregación de la demanda de acciones constructivas provincial a nivel de los municipios evidencia que el municipio de Cienfuegos es el que más influye en la demanda provincial, se debe esto principalmente a su condición de municipio cabecera. Cumanayagua es el segundo municipio de mayor influencia, este pertenece al programa de la montaña por lo que la política de la vivienda es priorizada y su extensión es mayor a la del resto de los municipios con una densidad poblacional superior. En cuanto a la influencia de los conductores por municipios se observa que el turismo solo ocupa el primer lugar en Cienfuegos, en el resto en estado del fondo habitacional representa el principal factor a tener en cuenta.

En el análisis de las demandas municipales de las nuevas viviendas el estado del fondo habitacional es el conductor que más influye para todos los municipios, seguido del crecimiento del turismo que presenta mayor incidencia en Cienfuegos y Cumanayagua, no siendo así para el resto de los municipios donde la afectación de los desastres naturales ocupa el segundo lugar, esto se debe a que en los dos primeros municipios se encuentran las principales atracciones turísticas de la provincia mientras que el resto de los municipios se benefician del turismo a partir de la población que trabaja en estos lugares y no reside en ellos.

El resultado logrado con la desagregación de la demanda en los municipios permite en primer lugar, hacer una diferenciación entre el comportamiento de las acciones constructivas y nuevas viviendas en cada uno de los municipios de acuerdo a sus características y establecer un pronóstico diferenciado de las demandas.

El pronóstico final de la demanda de nuevas viviendas y acciones constructivas les permite a los actores del PLPVMC planificar la producción, distribución y comercialización de materiales de construcción que satisfaga la demanda y contribuya con el mejoramiento del fondo habitacional teniendo en cuenta las características de los municipios y trazando estrategias donde en algún momento se pueda priorizar algún municipios por encima de otro a partir de criterios que se manejan dentro del trabajo del gobierno.

**4. Conclusiones**

La investigación propone un modelo de pronóstico de demanda de viviendas desarrollado en dos etapas. La primera etapa del trabajo se distingue por la utilización de FIS para la generación de escenarios a partir de la existencia de parámetros inciertos en la que se utiliza el conocimiento de los expertos para suplir la carencia de información estadísticamente confiable. La novedad del modelo radica en su carácter multinivel que se desarrolla en la segunda etapa donde se desagrega la demanda provincial a nivel municipal.

La influencia que ejercen los sistemas en la demanda de cada uno de los municipios corrobora que solo en Cienfuegos y Cumanayagua el turismo presenta una incidencia directa. Sin embargo, el estado del fondo habitacional es un conductor representativo en todos los municipios de la provincia, tanto para el pronóstico de la demanda de acciones constructivas como de las nuevas viviendas.

A partir de la aplicación del modelo se determinaron las demandas de acciones constructivas y nuevas viviendas para la provincia de Cienfuegos y sus respectivos municipios en los años 2016, 2017 y 2018. Este resultado les facilita a los decisores del PLPVMC determinar las necesidades de producción de materiales de construcción y sus respectivas distribuciones en la provincia con el fin de satisfacer la demanda de viviendas.

**5. Referencias bibliográficas**

Adamuz Peña, M. de las M., & González Tejeda, L. (2016). Demanda de vivienda de los hogares en México. *El Trimestre Económico*, *83*(330), 311–337. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20430/ete.v83i330.201

Akintoye, A., & Skitmore, M. (1994). Models of UK private sector quarterly construction demand. *Construction Management and Economics*, *12*(1), 3–13. https://doi.org/10.1080/01446199400000002

Alamdar, S. F., Rabbani, M., & Heydari, J. (2018). Pricing, collection, and effort decisions with coordination contracts in a fuzzy, three-level closed-loop supply chain. *Expert Systems with Applications*, *104*, 261–276. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.03.029

Amin, S. H., Zhang, G., & Akhtar, P. (2017). Effects of uncertainty on a tire closed-loop supply chain network. *Expert Systems with Applications*, *73*, 82–91. https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.12.024

Azadeh, A., Ziaei, B., & Moghaddam, M. (2012). A hybrid fuzzy regression-fuzzy cognitive map algorithm for forecasting and optimization of housing market fluctuations. *Expert Systems with Applications*, *39*(1), 298–315. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.07.020

Azcona, J. P. (2014). Modelo Fuzzy de determinación del valor unitario de edificación destinada a vivienda con fines catastrales. *CT: Catastro*, *82*, 7–34. https://doi.org/https://doi.org/10.3846/tede.2019.7456

Bai, X., Liu, M., Wang, T., Chen, Z., Wang, P., & Zhang, Y. (2016). Feature based fuzzy inference system for segmentation of low-contrast infrared ship images. *Applied Soft Computing*, *46*, 128–142. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.05.004

Barrios García, J. A., & Rodríguez Hernández, J. E. (2004). User Cost Changes, Unemployment and Home-ownership: Evidence from Spain. *Urban Studies*, *41*(3), 563–578. https://doi.org/10.1080/0042098042000178681

Bayer, P., Mcmillan, R., Murphy, A., & Timmins, C. (2016). A Dynamic model of demand for houses and neighborhoods. *Econométrica*, *84*(3), 893–942. https://doi.org/https://doi.org/10.3982/ECTA10170

Becerra, M., De, L., & Luis Suárez, J. J. (2015). *Modelo de previsión de demanda de vivienda nueva*. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2769860

Bilgiç, T., & Türkşen, I. B. (2000). Measurement of Membership Functions: Theoretical and Empirical Work. In *Fundamentals of Fuzzy Sets* (Vol. 7). https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4429-6\_4

Bonilla, C., Harolit, D., & Castellanos, D. (2010). *Determinantes del precio de las viviendas: Un análisis econométrico para Colombia.* (Universidad Industrial de Santander). http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/26905/1/136219.pdf

Buñay Gavidia, C. J., & Sánchez Granda, N. C. (2016). Análisis de la demanda de vivienda y su relación con el ingreso familiar de los habitantes de la provincia de Chimborazo Cantón Riobamba durante el año 2014. *Repositorio Digital UNACH*. http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/1524

Cadena Minnota, F. J., Ramos Chalén, M. E., & Pazmiño Medina, M. I. (2010). Los determinantes de la demanda de vivienda en las ciudades de Guayaquil, Quito y Cuenca: Un análisis multinomial. *Pdfs.Semanticscholar.Org*. https://pdfs.semanticscholar.org/d153/df808724b4050a11ddeeae47cf6f65000faa.pdf

Chameau, J. L., & Santamarina, J. C. (1987). Membership functions I: Comparing methods of measurement. *International Journal of Approximate Reasoning*, *1*(3), 287–301. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0888-613X(87)80003-8

Chandima Ratnayake, R. M. (2014). Application of a fuzzy inference system for functional failure risk rank estimation: RBM of rotating equipment and instrumentation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *29*, 216–224. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2014.03.002

Chen, C. M. (2009). A fuzzy-based decision-support model for rebuy procurement. *International Journal of Production Economics*, *122*(2), 714–724. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.06.037

Clavijo, S., Janna, M., & Muñoz, S. (2005). La vivienda en Colombia: sus determinantes socioeconómicos y financieros. *Revista Desarrollo y Sociedad*, (55), 101–165. https://doi.org/10.13043/dys.55.3

Colmenares Lacruz, G. A., & Gil Ruiz, A. A. (2010). Pronóstico del déficit de viviendas en el estado Mérida, Venezuela mediante redes neuronales artificiales. *Economía*, *XXXV*(29), 109–140. https://www.redalyc.org/html/1956/195617995006/

Colom Andrés, M. C., & Molés Machí, M. C. (2003). Movilidad, tenencia y demanda de vivienda en España. In *Documentos de trabajo: Serie EC ( Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas )*. Retrieved from Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas (IVIE) website: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=909055

Cunningham, J., & Parker, L. (2006). Determining the Best Way to Process Community Opinions to Construct an Optimal Membership Function in a Fuzzy Database System. *Proceedings of the 2006 ACM SE Conference*, 632–637.

Delgado, G. B., & Delgado, J. B. (2014). Metodología para la implementacion de sistemas difusos tipo MAMDANI en lenguaje de programación de propósito general. *Congreso Internacional En Ingeniería Electrónica*, 318–323. http://depi.itchihuahua.edu.mx/display/memorias\_electro/MemoriaElectro2014

Dubin, J. A., & McFadden, D. L. (1984). An Econometric Analysis of Residential Electric Appliance Holdings and Consumption. *Econométrica*, *52*(2), 345. https://doi.org/https://doi.org/10.2307/1911493

Durán, C. (2004). Evaluación microeconométrica de las políticas públicas de empleo: aspectos metodológicos. *Hacienda Pública Española*, (3), 107–133. https://ideas.repec.org/a/hpe/journl/y2004v170i3p107-133.html

Egebo, T., Richardson, P., & Lienert, L. (1990). A model of housing investment for the major OECD economies. *Economic Studies*, *14*, 151–188. http://www.oecd.org/eco/outlook/34306425.pdf

Ermisch, J. F., Findlay, J., & Gibb, K. (1996). The Price Elasticity of Housing Demand in Britain: Issues of Sample Selection. *Journal of Housing Economics*, *5*(1), 64–86. https://doi.org/10.1006/JHEC.1996.0004

Fontenla, M., & González, F. (2009). Housing demand in Mexico. *Journal of Housing Economics*, *18*(1), 1–12. https://doi.org/10.1016/J.JHE.2008.08.001

Gobillon, L., & Le Blanc, D. (2002). *The Impact of Borrowing Constraints on Mobility and Tenure Choice*.http://crest.science/RePEc/wpstorage/2002-28.pdf

Goodman, A. C. (1995). A Dynamic Equilibrium Model of Housing Demand and Mobility with Transactions Costs. *Journal of Housing Economics*, *4*(4), 307–327. https://doi.org/https://doi.org/10.1006/jhec.1995.1015

Goodman, A. C. (2002). Estimating Equilibrium Housing Demand for “Stayers.” *Journal of Urban Economics*, *51*(1), 1–24. https://doi.org/10.1006/JUEC.2001.2234

Heckman, J. J. (1979). Sample Selection Bias as a Specification Error. *Econometrica*, *47*(1), 153. https://doi.org/10.2307/1912352

Henderson, J. V., & Ioannides, Y. M. A Model of Housing Tenure Choice. , 73 The American Economic Review § (1983).

Ioannides, Y. M., & Kan, K. (1996). Structural estimation of residential mobility and housing ternure choice. *Journal of Regional Science*, *36*(3), 335–363. https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.1996.tb01107.x

Janarthanan, R., Balamurali, R., Annapoorani, A., & Vimala, V. (2020). Prediction of rainfall using fuzzy logic. *Material Today:Proceedings*, 1–6. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.179

Jean, M., & Molina, A. (1994). Un análisis empírico de la tenencia y demanda de vivienda en Andalucía. *Investigaciones Económicas*, *XVIII*(1), 143–164. https://www.fundacionsepi.es/investigacion/revistas/paperArchive/Ene1994/v18i1a6.pdf

Jiang, H., & Liu, C. (2011). Forecasting construction demand: a vector error correction model with dummy variables. *Construction Management and Economics*, *29*(9), 969–979. https://doi.org/10.1080/01446193.2011.611522

Kenny, G. (1999). Modelling the demand and supply sides of the housing market: evidence from Ireland. *Economic Modelling*, *16*(3), 389–409. https://doi.org/10.1016/S0264-9993(99)00007-3

Langroodi, R. R. P., & Amiri, M. (2016). A system dynamics modeling approach for a multi-level, multi-product, multi-region supply chain under demand uncertainty. *Expert Systems with Applications*, *51*, 231–244. https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.12.043

Lee, L.-F. F., & Trost, R. P. (1977). Estimation of some limited dependent variable models with application to housing demand. *Journal of Econometrics*, *8*(3), 357–382. https://doi.org/10.1016/0304-4076(78)90052-0

Linneman, P. (1985). An economic analysis of the homeownership decision. *Journal of Urban Economics*, *17*(2), 230–246. https://doi.org/10.1016/0094-1190(85)90048-8

López, C., Aguayo, E., & Exposito, P. (1998). *Comportamiento de los precios de la vivienda en las regiones españolas: Principales determinantes*. https://www.researchgate.net/publication/4811015

Lozano Serna, S., Patiño Galindo, I., Gómez Cabrera, A., & Torres, A. (2018). Identificación de factores que generan diferencias de tiempo y costos en proyectos de construcción en Colombia. *Ingeniería y Ciencia*, *14*(27), 117–151. http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v14n27/1794-9165-ince-14-27-00117.pdf

Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1999). An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Human-Computer Studies*, *51*(2), 135–147. https://doi.org/https://doi.org/10.1006/ijhc.1973.0303

Martel Montalvo, M., & Martínez Díaz, A. (2018). *Pronóstico colaborativo de la demanda de vivienda para la gestión del Programa Local de Producción y Venta de Materiales de la Construcción*. Universidad de Cienfuegos.

Medina Hurtado, S., & Paniagua Gómez, G. (2008). Modelo de inferencia difuso para estudio de crédito. *Dyna*, *75*(154), 215–229.

Müller, D. (2006). Stock dynamics for forecasting material flows—Case study for housing in The Netherlands. *Ecological Economics*, *59*(1), 142–156. https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2005.09.025

Muncharaz, J. O. (2020). Hybrid fuzzy neural network versus backpropagation neural network: An application to predict the Ibex-35 index stock. *Finance, Markets and Valuation*, *6*(1), 85–98. https://doi.org/https://doi.org/10.46505/ALEP9985

Ng, T., Skitmore, M., & Wong, K. F. (2008). Using genetic algorithms and linear regression analysis for private housing demand forecast. *Building and Environment*, *43*(6), 1171–1184. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2007.02.017

Oficina Nacional de Estadística e Información, (ONEI). (2020). *Anuario Estadístico 2019. Cienfuegos*. Cienfuegos.

Olvera, M. Á., Hernández, J. C., Fernández, L. S., & Bautista, I. H. (2016). Air quality assessment using a weighted Fuzzy Inference System. *Ecological Informatics*, *33*, 57–74. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.04.005

Ortiz Galindo, N. A. (2014). Demanda de vivienda nueva no vis en las tres principales ciudades de Colombia. *Dimensión Empresarial*, *11*(1), 33. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15665/rde.v11i1.159

Oscullo, J. A., & Gallardo, C. F. (2020). Residue Method Evaluation for the Location of PSS with Sliding Mode Control and Fuzzy for Power Electromechanical Oscillation Damping Control. *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, *8*(1), 24–31.

Petrović, D., Tanasijević, M., Milić, V., Lilić, N., Stojadinović, S., & Svrkota, I. (2014). Risk assessment model of mining equipment failure based on fuzzy logic. *Expert Systems with Applications*, *14*(18), 8157–8164. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.06.042

Pourjavad, E., & Mayorga, R. V. (2019). A comparative study and measuring performance of manufacturing systems with Mamdani fuzzy inference system. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *30*, 1085–1097. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10845-017-1307-5

Pourjavad, E., & Shahin, A. (2018). The Application of Mamdani Fuzzy Inference System in Evaluating Green Supply Chain Management Performance. *International Journal of Fuzzy Systems*, *20*, 901–912. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40815-017-0378-y

Rapaport, C. (1997). Housing Demand and Community Choice: An Empirical Analysis. *Journal of Urban Economics*, *42*(2), 243–260. https://doi.org/10.1006/JUEC.1996.2023

Reyes Vintimilla, P. A. (2015). Análisis económico de la industria de la construcción residencial y su impacto en la generación de empleo en el Cantón Cuenca, periodo: 2001 - 2012. *Economista*. Retrieved from http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4485

Rivera León, G. J. (2015). *Análisis de flujos dinámicos de materiales aplicado a la proyección de demanda de materiales de construcción en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín.

Rodríguez Hernández, J. E. (2006). *Análisis de las decisiones de tenencia y demanda de vivienda en España*. Retrieved from https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/9849

Rodríguez Hernández, J. E., & Barrios García, J. A. (2007). Estimación microeconométrica de la tenencia y demanda de vivienda en España según la localización. *Estudios de Economía Aplicada*, *25*(1), 323–324. Retrieved from https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2328048

Rosen, H. S. (1979). Housing decisions and the U.S. income tax: An econometric analysis. *Journal of Public Economics*, *11*(11), 1–23. https://doi.org/10.1016/0047-2727(79)90042-2

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation* (M.-H. Ed., Ed.).

Saaty, T. L., Rogers, P., & Pell, R. (1988). Portfolio selection through hierarchies. *Journal of Porfolio Management*, 16–21.

Sanghi, S. (2006). Determining the Membership Values to Optimize Retrieval in a Fuzzy Relational Database. *Proceedings of the 44th Annual Southeast Regional Conference*, 537–542.

Stumpf González, M. A., & Torres Formoso, C. (2006). Mass appraisal with genetic fuzzy rule‐based systems. *Property Management*, *24*(1), 20–30. https://doi.org/10.1108/02637470610643092

Tosarkani, B. M., & Amin, S. H. (2018). A possibilistic solution to configure a battery closed-loop supply chain: multi-objective approach. *Expert Systems with Applications*, *92*, 12–26. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.09.039

Wu, C., Zhang, Y., Pun, H., & Lin, C. (2020). Construction of partner selection criteria in sustainable supply chains: A systematic optimization model. *Expert Systems with Applications*, *185*, 113–643. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113643