



**UNIVERSIDAD DE MATANZAS “CAMILO CIENFUEGOS”**

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

---

**PLANEACIÓN COLABORATIVA DE LA DEMANDA DE  
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN BAJO INCERTIDUMBRE**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL GRADO CIENTÍFICO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS TÉCNICAS**

**Autora:**

**MSc. Ing. Gretel Martínez Curbelo  
Universidad de Cienfuegos (UCf), Cuba**

**Matanzas, Cuba**

**-2022-**



**UNIVERSIDAD DE MATANZAS “CAMILO CIENFUEGOS”**

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

---

**PLANEACIÓN COLABORATIVA DE LA DEMANDA DE  
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN BAJO INCERTIDUMBRE**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL GRADO CIENTÍFICO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS TÉCNICAS**

**Autora:**

**MSc. Ing. Gretel Martínez Curbelo  
Universidad de Cienfuegos (UCf), Cuba**

**Tutores:**

**Dr.C. Michael Feitó Cespón  
Universidad de Cienfuegos (UCf), Cuba**

**Dr.C. Alberto Medina León  
Universidad de Matanzas (UMCC), Cuba**

**Matanzas, Cuba**

**-2022-**

## DEDICATORIA

Dedico este logro a mi mayor tesoro, la persona que todos los días me da fuerzas para continuar el camino de la vida y ser alguien mejor cada día: **mi hija**.

## AGRADECIMIENTOS

**A mi esposo y mi hija** por ser personas tan especiales en mi vida, que me impulsan cada día a esforzarme por lograr mis metas; por apoyarme y darme fuerzas en todos los momentos y hacer que este sueño se hiciera realidad.

**A mis padres** por su cariño, dedicación, ejemplo, apoyo incondicional, valores y educación inculcada, por convertirme en la persona que soy.

**A mis hermanas**, por el apoyo y el amor que siempre me da y estar siempre para mí.

**A mis tutores** que fueron mis profesores y amigos, mil gracias por confiar en mí, por brindarme un espacio de su tiempo y por compartir conmigo su valioso conocimiento y experiencia. Sin ustedes no se hubiese logrado este resultado.

**A mi familia**, que siempre están al pendiente y presentes en los momentos importantes de mi vida.

**A todos mis amigos**, por su contribución con la investigación y su apoyo incondicional.

**A mis compañeros de trabajo** del Departamento de Ingeniería Industrial de la UCf, los **alumnos** que contribuyeron con esta investigación y a la Universidad de Cienfuegos por su apoyo.

**A los directivos y trabajadores del gobierno provincial de Cienfuegos** por la oportunidad, el y la experiencia compartida, en especial a **Roberto Castro Martínez** por su apoyo, compromiso y dedicación con la investigación.

# SÍNTESIS

El estudio de la demanda de viviendas es un tema que cada día gana interés debido al incremento del déficit habitacional a nivel mundial y sobre todo en América Latina y el Caribe. Cuba no está ajena al patrón de la región e implementa políticas que beneficien el fondo habitacional del país. Por ello, la dirección del país impulsa hacia una gestión más eficiente de las empresas implicadas y exige la necesidad de integración con un mejor uso de los recursos. La cadena de suministro de materiales de la construcción no responde ni eficaz ni eficientemente a las necesidades que plantean las políticas públicas para la construcción de viviendas y mejora del fondo habitacional en Cuba y particularmente en Cienfuegos, de ahí que el **problema científico** a resolver en la investigación que sustenta la presente tesis doctoral se sintetiza en la insuficiente integración entre los actores de la CS de materiales de construcción, así como una inadecuada previsión de la demanda y manejo de la incertidumbre dificulta al Programa Local de Producción y Ventas de Materiales de la Construcción (PLPVMC) establecer una planificación realista y enfocada a la demanda. En consecuencia, el **objetivo general** consiste en desarrollar un herramental metodológico que permita la planificación colaborativa de la demanda de producción de materiales de construcción en condiciones de incertidumbre epistémica para el PLPVMC.

Los **principales resultados** de la investigación se resumen en el diseño de un instrumento metodológico que permite determinar y caracterizar las variables que influyen en la demanda de nuevas viviendas, un modelo que permite optimizar los flujos en la CS de materiales de construcción en función de los objetivos del PLPVMC y un procedimiento que conduce el flujo informativo a través del proceso de toma de decisiones de forma colaborativa. Se consiguió probar la utilidad práctica de los modelos y el procedimiento propuesto, en el caso de estudio para las cadenas de suministro del PLPVMC. La confección de herramientas integradas, garantizó la solución del problema de investigación a través de los modelos presentados, lo que posibilita su utilización en otras cadenas que cumplan con los supuestos de los modelos.

# ÍNDICE GENERAL

SÍNTESIS.....	8
INTRODUCCIÓN.....	
Capítulo 1 . Marco teórico referencial y referencial de la investigación.....	8
1.1. Gestión de las cadenas de suministro de la construcción .....	8
1.1.1. Características de la gestión de las cadenas de suministro de la construcción.....	9
1.1.2. Particularidades de la construcción de viviendas en Cuba.....	10
1.2. Gestión colaborativa de las cadenas de suministros. Avances en Cuba .....	14
1.2.1. Integración y colaboración en Cuba .....	16
1.3. Incertidumbre en las cadenas de suministro.....	19
1.4. Pronóstico de demanda de viviendas .....	25
1.4.1. Factores que influyen en la demanda de viviendas .....	27
1.4.2. Modelos de pronósticos de viviendas.....	28
1.5. Modelos de planificación de las cadenas de suministro de la construcción .....	35
1.6. Conclusiones.....	40
Capítulo 2 . Modelos para la planeación colaborativa de la cadena de suministro de materiales de construcción de viviendas .....	42
1.1. Descripción del marco de trabajo para el diseño del modelo de pronóstico.....	43
1.1.1. Caracterización y determinación de los factores que inciden en la construcción de viviendas en la provincia de Cienfuegos.....	43
1.1.2. Formación del equipo de trabajo.....	44
1.1.3. Determinación de las variables que influyen en la demanda de viviendas .....	44
1.1.4. Reducción del número de variables y reclasificación .....	45
1.1.5. Características de las variables.....	49
1.1.6. Relación entre las variables que intervienen en la demanda de construcción y reparación de viviendas en las provincias.....	50
1.2. Determinación de los FIS para modelar el pronóstico de la demanda de construcción de viviendas y acciones constructivas.....	52
1.3. Diseño del modelo de pronóstico de demanda de construcción de nuevas viviendas y acciones constructivas (MPD) .....	54
1.4. Planificación de la producción y los flujos materiales en la CS.....	56
1.4.1. Descripción del problema de planeación de flujos materiales en la CS de materiales de construcción.....	56
1.4.2. Formulación del MPPF .....	57

1.4.3. Análisis de incertidumbre en el modelo MPPF .....	63
1.5. Procedimiento para la planeación colaborativa de la demanda de materiales de construcción .....	67
2.6 Conclusiones parciales del capítulo.....	74
Capítulo 3 . Caso de estudio: Planificación colaborativa de la demanda de construcción y reparación de viviendas en la provincia de Cienfuegos.....	76
3.1 Caracterización del Programa local de producción y ventas de materiales de construcción .....	76
3.1.1 Caracterización de la CS del PLPVMC .....	77
Principales deficiencias detectadas en la gestión de las CS del PLPVMC.....	80
3.2 Determinación de la demanda de nuevas viviendas y acciones constructivas .....	81
3.2.1 Cálculo de la demanda provincial de nuevas viviendas y acciones constructivas.	83
3.2.2 Cálculo de la demanda municipal de nuevas viviendas y acciones constructivas.	85
3.3. Aplicación del modelo de planificación de la producción y los flujos materiales (MPPF) en la CS de materiales de construcción. ....	87
3.3.1. Ponderación de las Demandas para el modelo.....	87
3.3.2. Datos de entrada al MPPF .....	88
3.3.3. Resultados del MPPF .....	89
3.4. Análisis de incertidumbre en el modelo de MPPF.....	91
3.4.1. Análisis de incertidumbre en el parámetro capacidad .....	91
3.1.1 Análisis de la incertidumbre en el parámetro de demanda.....	93
3.5. Procedimientos de solución para el MDPPF .....	93
3.6. Conclusiones parciales del capítulo .....	97
CONCLUSIONES GENERALES .....	98
RECOMENDACIONES.....	100
BIBLIOGRAFÍA .....	
ANEXOS.....	

## LISTADO DE SIGLAS

<b>A</b>	AC	Acciones constructivas
	AHP	Proceso de Jerarquías Analíticas
	AMR	Tasa de mutación adaptativa
	ANFIS	Sistema de inferencia neuro difuso adaptativo
	ANN	Redes Neuronales Artificiales
	ANP	Proceso de redes analíticas
<b>B</b>	BANDEC	Banco de Crédito y comercio
	BOM	Listado de materiales
	BPA	Banco Popular de Ahorro
<b>C</b>	CAM	Consejos de administraciones municipal
	CAP	Consejo de administración provincial
	CBH	Célula Básica Habitacional
	CS	Cadenas de suministros
<b>D</b>	DEMATEL	Laboratorio de prueba y evaluación de toma de decisiones
<b>E</b>	EPMC	Empresa Provincial de Mantenimiento y Construcción
<b>F</b>	FIS	Sistemas de Inferencia Difusa
<b>G</b>	GA	Modelo de Algoritmos Genéticos
	GCS	Gestión de las cadenas de suministros
	GTS	Teoría del sistema gris
<b>I</b>	IA	Inteligencia artificial
<b>L</b>	LRA	Análisis de regresión lineal
<b>M</b>	MAE	Media del error absoluto
	MAPE	Media del porcentaje absoluto del error
	MCO	Mínimos Cuadrados Ordinarios
	MDPPF	Modelo Difuso de Planificación de la Producción y los Flujos
	MICONS	Ministerio de la construcción
	MINCIN	Ministerio de Comercio Interior
	MPD	Modelo de Pronóstico de la Demanda
	MPPF	Modelo de Planificación de la Producción y los Flujos
	MRA	Análisis de regresión múltiple
	<b>N</b>	NV
<b>O</b>	ONAT	Oficina Nacional de Administración Tributaria
	ONEI	Oficina Nacional de Estadística e Información
	ONU	Organización de Naciones Unidas
<b>P</b>	PLPVMC	Programa Local de Producción y Ventas de Materiales de Construcción
<b>R</b>	RMSE	Error medio cuadrático
<b>S</b>	SCOR	Modelo de referencia de operaciones de la cadena de suministro
	SEM	Modelo de ecuaciones estructurales
	SR	Señal de rastreo
<b>T</b>	TCP	Trabajadores por Cuenta Propia
	TOPSIS	Técnica de preferencia de orden por similitud con la solución ideal



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Representación del diseño de la investigación.....	7
<b>Figura 1.1.</b> Hilo conductor de la investigación .....	8
<b>Figura 2.1.</b> Marco de trabajo para el pronóstico colaborativo de la demanda de viviendas.....	44
<b>Figura 2.2.</b> Representación gráfica de las relaciones mutuas entre las variables. ....	42
<b>Figura 2.3.</b> Representación de las relaciones entre las variables y su intensidad.....	50
<b>Figura 2.4.</b> Relaciones existentes entre la variable Crecimiento Poblacional y el resto. ....	51
<b>Figura 2.5.</b> Relación entre las variables Crecimiento del turismo, Fondo habitacional y Desastres naturales con el resto.....	53
<b>Figura 2.6.</b> Diseño de los FIS para cada uno de los conductores de la demanda.....	44
<b>Figura 2.7.</b> Determinación de los diferentes niveles de la demanda para un FIS.....	55
<b>Figura 2.8.</b> Representación de la cadena de suministro de materiales de construcción. ....	57
<b>Figura 2.9.</b> Procedimiento para la integración del modelo de pronóstico de la construcción de viviendas y el de planificación de la producción de los materiales de construcción.....	52
<b>Figura 2.10.</b> Estructura de la demanda de nuevas viviendas y acciones constructivas. ....	66
<b>Figura 3.1.</b> Cadena de suministro del PLPVMC de la provincia de Cienfuegos. ....	72
<b>Figura 3.2.</b> Mapa de representación de los principales actores de la CS de materiales de construcción del PLPVMC en la provincia de Cienfuegos.....	78
<b>Figura 3.3.</b> Árbol de las principales deficiencias detectadas en la gestión de la CS de materiales de construcción del PLPVMC de la Cienfuegos.....	74
<b>Figura 3.4.</b> Comparación del comportamiento de las demandas de NV y AC con los valores pronosticados a) NV, b) AC. ....	84
<b>Figura 3.5.</b> Representación de los flujos del cemento a unidades productivas y comercios. ....	89
<b>Figura 3.6.</b> Representación de los flujos del cemento a unidades productivas y comercios de la solución difusa. ....	97

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 2.1.</b> Procedimiento para la optimización del modelo por metas ponderadas. ....	63
<b>Cuadro 2.2.</b> Procedimiento para la optimización del MDPPF- 1.....	66
<b>Cuadro 2.3.</b> Procedimiento para la optimización del MDPPF- 2.....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Estrategias para enfrentar la incertidumbre. ....	23
<b>Tabla 2.1.</b> Pesos de los criterios de pertinencia. ....	47
<b>Tabla 2.2.</b> Resumen de las variables resultantes. ....	48
<b>Tabla 2.3.</b> Resultados de la recopilación de datos de las variables. ....	49
<b>Tabla 3.1.</b> Principales subprogramas del PLPVMC de la provincia de Cienfuegos. ....	77
<b>Tabla 3.2.</b> Lista de productos de la industria local de materiales de construcción. ....	79
<b>Tabla 3.3.</b> Valores de demanda de los conductores para NV y AC. ....	82
<b>Tabla 3.4.</b> Determinación de la demanda de NV y AC. ....	83
<b>Tabla 3.5.</b> Análisis de errores en la demanda provincial. ....	85
<b>Tabla 3.6.</b> Resultados de las demandas municipales de NV y AC para el año 2022. ....	86
<b>Tabla 3.7.</b> Demanda de nuevas viviendas por tipologías. ....	88
<b>Tabla 3.8.</b> Demanda de acciones constructivas por tipologías. ....	88
<b>Tabla 3.9.</b> Resultados del modelo para el cumplimiento de la demanda de NV. ....	89
<b>Tabla 3.10.</b> Resultados del modelo para el cumplimiento de la demanda de AC. ....	90
<b>Tabla 3.11.</b> Balance de suministro de las materias primas con menos disponibilidad. ....	91
<b>Tabla 3.12.</b> Máxima expansión de la capacidad de los productos limitantes. ....	92
<b>Tabla 3.13.</b> Valores de MAE correspondientes a las tipologías con mayor incertidumbre. ....	94
<b>Tabla 3.14.</b> Solución del modelo difuso fijando valores de $\beta$ y $\gamma$ y maximizando la facilidad de gestión del gobierno. ....	95
<b>Tabla 3.15.</b> Solución del modelo difuso con una función objetivo óptima entre el cumplimiento de las metas y el esfuerzo. ....	95
<b>Tabla 3.16.</b> Resultados del modelo para el cumplimiento de la demanda de NV. ....	96
<b>Tabla 3.17.</b> Resultados del modelo para el cumplimiento de la demanda de AC. ....	97

# ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1.** Relación de tesis doctorales defendidas en Cuba sobre CS.
- Anexo 2.** Variables relacionadas en los modelos de demanda de viviendas.
- Anexo 3.** Resumen de los modelos de demanda de vivienda estudiados.
- Anexo 4.** Entidades que conforman la dirección del grupo provincial del PLPVMC.
- Anexo 5.** Evaluaciones de las variables estudiadas.
- Anexo 6.** Elicitación de las funciones de membresía de las variables.
- Anexo 7.** Resumen de la parametrización de los conductores de la demanda para las variables.
- Anexo 8.** Reglas de los sistemas de inferencia difusa.
- Anexo 9.** Descripción del modelo para la planificación de la producción y los flujos materiales de la CS.
- Anexo 10.** Documentación para la recogida de información de la ONEI relacionada con la producción de materiales de construcción.
- Anexo 11.** Documentación del Sistema de Información de Estadística Territorial para la recogida de información relacionada con los indicadores de demanda.
- Anexo 12.** Clasificación de los productos del PLPVMC por grupos y surtidos.
- Anexo 13.** Tabla resumen de los principales problemas relacionados con la construcción de viviendas en Cienfuegos.
- Anexo 14.** Tendencia de las variables influyentes en la demanda.
- Anexo 15.** Estimación del comportamiento de las variables influyentes en la demanda.
- Anexo 16.** Variables lingüísticas del sistema.
- Anexo 17.** Funciones de membresía de los conjuntos difusos.
- Anexo 18.** Esquema de superficies.
- Anexo 19.** Ponderación de la demanda municipal.
- Anexo 20.** Tablas resúmenes de las soluciones del problema de optimización.
- Anexo 21.** Tablas resúmenes de las soluciones difusas del problema de optimización.

# ***INTRODUCCIÓN***

---

De acuerdo al organismo internacional de las Naciones Unidas (ONU), cerca de 200 millones de personas en el mundo carecen de vivienda y 1.500 residen en casas inhabitables o en condiciones de hacinamiento. Este problema es más crítico en naciones de África, Asia y América Latina, en ese orden (Civit Evans, 2022). En América Latina y el Caribe, la demanda de viviendas es superior a la oferta de vivienda digna, lo que significa una afectación de casi la mitad de los hogares de la región. Esta situación se agudiza con la pandemia de la COVID -19, que empobreció las economías de las poblaciones más vulnerables, por lo que es posible que la brecha habitacional haya aumentado (Silva de Anzorena & Espinosa Guerrero, 2022).

Existe en América Latina una amplia experiencia en materia de políticas públicas para enfrentar el déficit de vivienda que reflejan resultados con mayor o menor éxito, aunque ninguna de ellas ha podido resolverlo de manera definitiva y, en muchos casos, han sido infructuosas (Rossel, 2018). En términos generales, las políticas de vivienda en la región han cubierto un espectro amplio que va desde el rol del Estado como constructor y generador de nueva oferta de vivienda hacia uno de facilitador de los mercados.

Solucionar el acceso a la vivienda en América Latina, y especialmente el de las poblaciones más pobres, demanda una política habitacional sistémica, que busque destrabar la oferta en este mercado y mejorar los ingresos de las personas, principalmente de los estratos socioeconómicos más desfavorecidos (P. López, 2022). Una de las opciones más utilizadas por los gobiernos a la hora de ampliar las intervenciones públicas para cerrar las brechas de vivienda es a través de la promoción de un mercado de alquiler de viviendas económicas, y la creación de empresas privadas especializadas en vivienda de alquiler para personas de bajos ingresos. Esta tendencia no se ajusta a las condiciones de la región y obedece a prácticas comunes en países desarrollados (de María *et al.*, 2018).

Cuba no se encuentra exenta de la situación de los demás países de la región. A partir del año 1959, el estado cubano, ante el deterioro del fondo habitacional y las notables diferencias entre el campo y la ciudad, promulga leyes que priorizan el mejoramiento de las condiciones de vida en el campo y que intentan erradicar los asentamientos informales en las ciudades. Estas acciones suscitan avances significativos al incrementarse el número de viviendas y de espacios construidos para ser ocupados como casas (Rodríguez Gascón, 2015).

Como consecuencia de la crisis económica del país, se contiene el avance en los programas de construcción entre los años 1990 y 2002, lo que trae consigo un progresivo deterioro del fondo habitacional dado por la falta de acciones de mantenimiento (Matamoros Tuma, 2016). En el año 2005 el estado asume el compromiso de implantar un nuevo plan habitacional donde se

favorezcan a las familias con bajos ingresos, sin dejar de atender la autoconstrucción de viviendas.

En el año 2011 el Consejo de Ministros como parte de las acciones tomadas en función de mejorar el fondo habitacional aprueba nuevas políticas públicas (el otorgamiento de subsidios a personas naturales con falta de liquidez económica y pequeños préstamos para la construcción y reparación de viviendas) y crea el Programa Local de Producción y Ventas de Materiales de Construcción (PLPVMC) (Martínez Curbelo *et al.*, 2017).

Como política pública dicho programa es el sustento principal de la construcción de viviendas por esfuerzo propio en Cuba y se encuentra en correspondencia con los Lineamientos de la Política Económica y Social de Cuba (PCC, 2017) que exponen, en su esencia y directrices, el papel a nivel local de los productores privados y la necesidad de compatibilizar su actividad con la del sector estatal, bajo la dirección de los gobiernos locales.

La experiencia adquirida en la implementación del PLPVMC en la provincia de Cienfuegos, a pesar de significativos avances, da elementos suficientes para valorar la necesidad de su perfeccionamiento, tanto en lo organizativo, lo estructural, como en su funcionamiento (Martínez Curbelo *et al.*, 2013). Las principales brechas encontradas en el programa se centran en:

- i) la imposibilidad de planificar la producción de las listas de materiales (*BOM*) en función de las acciones constructivas con licencias aprobadas por la Dirección Provincial de la Vivienda,
- ii) la carencia de un flujo de comunicación que facilite la integración entre los actores del programa y permita alinear los planes (Martínez Curbelo *et al.*, 2018) y
- iii) los cambios en el sistema de trabajo y estructura del programa, así como el contexto socioeconómico provocan que la información con la que se cuenta contenga series de tiempo cortas, con ausencias de datos, y en ocasiones, distorsionada por complejidades en el flujo informativo (Montalvo Martel & Martínez Díaz, 2018).

Por ello, la mejora de la gestión del programa es una tarea relevante y necesaria, que requiere de sustento científico. De ahí que, se impone el desarrollo de formas de gestión que le permita a todas las entidades que intervienen en la cadena de suministro (CS) de materiales de la construcción del PLPVMC un enfoque de trabajo integrado.

La gestión de las cadenas de suministros (GCS) mejora el rendimiento de las empresas y aseguran ventajas competitivas a través de la colaboración y la integración mutua (Michalski *et al.*, 2018). En el sector de la construcción CS se caracterizan por una colaboración deficiente, conflictos, falta de enfoque en el cliente y un alto número de participantes (Costa *et al.* 2019), por lo que se pueden definir como cadenas complejas y fragmentadas.

La complejidad de las CS de la construcción hace que presenten numerosas fuentes de incertidumbres asociadas a procesos logísticos y al sistema de planificación y control. Se encuentra que las incertidumbres relacionadas tanto con la demanda como con la oferta tienen impactos significativos en la toma de decisiones logísticas (Yang *et al.* 2021).

La literatura describe la colaboración como una estrategia para reducir la incertidumbre, aunque en ocasiones es imposible evitar completamente su impacto en la CS. Diversos autores como Banda Ortíz *et al.* (2022); Uribe & Salazar Medina (2022) y Vega de la Cruz & Pérez Pravia (2022) apuntan que la colaboración ayuda a reducir la incertidumbre relacionada con la complejidad de la toma de decisiones dentro del sistema y proporciona un intercambio efectivo de información.

La planificación colaborativa es uno de los principales retos que surge en las CS cuando la incertidumbre y los riesgos se convierten en una limitante para la toma de decisiones (Betancourt Expósito *et al.*, 2021). Se basa en planificar de forma conjunta la demanda, la información y las órdenes, previa definición de una estrategia conjunta (Valarenzo Beltrón *et al.*, 2019). Existen cuatro premisas primordiales para la integración de las cadenas de suministro: compartir información, colaborar para en la realización de un pronóstico conjunto, realizar una planeación común, compatibilizar y automatizar los flujos de información (Bautista Santos *et al.*, 2015; Christopher, 2016).

La literatura relacionada con los modelos para la toma de decisiones en CS de la construcción identifica para estos procesos el pronóstico de la demanda como una información fundamental (Marino Rodríguez & Rodríguez Arranza, 2019) y corrobora la influencia de la colaboración en beneficio de los actores de la cadena. De ahí, la necesidad de encontrar herramientas de pronóstico que pueda producir predicciones precisas.

Los estudios de los principales factores que influyen en la demanda de construcción de viviendas a nivel internacional permite establecer tres grupos: demográficos, político-social y económicos (Buñay Gavidia & Sánchez Granda, 2016; Heath, 2014; Jean & Molina, 1994; Reyes Vintimilla, 2015; Rivera León, 2015). Dentro de estos se identifica un conjunto de variables explicativas donde, entre otros, se encuentran las remesas, los ingresos, los créditos, las políticas públicas, el crecimiento poblacional y la creación de nuevos hogares. En los estudios revisados no hay referencias del caso cubano, además no se encontraron métodos y procedimientos que guíen metodológicamente la selección de variables relevantes para la conformación del modelo de pronóstico.

Los estudios empíricos han demostrado que la precisión en el rendimiento varía según el tipo de técnica de pronóstico y la variable a pronosticar (Goh, 1998). En la literatura se encuentran con mayor representatividad modelos estadísticos econométricos (Durán, 2004), aunque otras

técnicas se han utilizado para resolver las carencias presentes en los primeros, para enfrentar problemas como las no linealidades en relaciones de variables: inteligencia artificial (Xu & Zhang, 2022), datos escasos: sistemas grises (Karaaslan & Özden, 2016) y datos imprecisos: lógica difusa (Aydin & Hayat, 2018).

Los modelos encontrados en la literatura no resultan adecuados para su aplicación en el caso de estudio para pronosticar la demanda de construcción de viviendas en la provincia de Cienfuegos. Los modelos econométricos y de inteligencia artificial para demandan una muestra informativa suficientemente amplia (Durán, 2004), mientras que los que abordan el pronóstico con incertidumbre en sus datos no se ajustan a las características y objetivos de la investigación. El otro aspecto relevante en la planificación colaborativa consiste en tener un marco metodológico que a partir del pronóstico de demanda se tomen las provisiones de recursos necesarios para asegurar su cumplimiento. En este sentido, se corrobora que los problemas en la planificación de la CS afectan de manera importante los desempeños de los proyectos de construcción (Thunberg & Fredriksson, 2018). Para ello, varios investigadores (Augiseau & Barles, 2017) proponen modelos de optimización para la planificación de la CS de materiales de la construcción, aunque comparado con otros sectores económicos estos son escasos. Los modelos encontrados se dedican al diseño de las redes logísticas, análisis de los flujos, ubicación de los inventarios entre otros persiguiendo objetivos esencialmente económicos y medioambientales.

Varios modelos de planificación de CS del sector de la construcción presentan múltiples objetivos (Yuan *et al.*, 2019), además en menor medida abordan la incertidumbre de algunos parámetros esencialmente en el precio de los materiales (Mohammadnazari & Ghannadpour, 2021). Los modelos encontrados en ningún caso responden a las condiciones (objetivos, actores, alcance y fuentes de incertidumbre) de la planificación de la CS de materiales para la construcción de viviendas en Cienfuegos.

Basados en los aspectos antes expuestos y que caracterizan la situación problemática con la que se vincula la investigación que sustenta esta tesis doctoral, se formuló como **problema científico** el siguiente: la insuficiente integración entre los actores de la CS de materiales de construcción, así como una inadecuada previsión de la demanda y manejo de la incertidumbre dificulta al PLPVMC establecer una planificación realista y enfocada a la demanda.

Para darle solución al problema científico planteado, se estableció el siguiente **objetivo general**: Desarrollar un herramental metodológico que permita la planificación colaborativa de la demanda de producción de materiales de construcción en condiciones de incertidumbre epistémica para el PLPVMC.

Para cumplir con dicho objetivo se proponen los **objetivos específicos** siguientes:



- Demostrar la pertinencia del problema científico establecido a partir de la construcción del marco teórico referencial de la investigación sobre las temáticas relacionadas con la gestión de las CS de la construcción y la demanda de viviendas.
- Construir un marco de trabajo que permita el diseño de un modelo de pronóstico de demanda de materiales de construcción bajo incertidumbre epistémica.
- Diseñar un modelo multiobjetivo difuso para la planeación colaborativa de la producción de materiales de construcción sobre la base de la demanda de acciones constructivas.
- Construir un procedimiento que permita la integración de las herramientas metodológicas propuestas para la planificación colaborativa de la demanda de materiales de construcción.
- Verificar la factibilidad de los modelos propuestos a partir de su aplicación en el PLPVMC en la provincia de Cienfuegos.

El **objeto de estudio teórico de la investigación** lo constituye la gestión de las CS de la construcción. El **campo teórico** es la planificación colaborativa de las CS de la construcción. La CS de materiales de la construcción del PLPVMC de la provincia de Cienfuegos se define como **caso de estudio práctico**.

En correspondencia con el problema científico planteado se formuló la **hipótesis general de investigación** siguiente: el desarrollo de instrumentos metodológicos enfocados en la colaboración de los actores de la CS de materiales de la construcción y que consideren la incertidumbre epistémica aportará al PLPVMC una planificación flexible, robusta y enfocada a la demanda de construcción y reparación de viviendas.

Por las características propias del objeto de estudio y del desarrollo de la investigación, la hipótesis general de investigación queda validada si se logran los aspectos siguientes:

- Se diseña un instrumento metodológico que permite determinar y caracterizar las variables que influyen en la demanda de nuevas viviendas (NV) y acciones constructivas (AC), seleccionar las herramientas apropiadas para concebir el MPD.
- Se diseña un modelo que permita optimizar los flujos en la CS de materiales de construcción en función de los objetivos del PLPVMC y abordar la incertidumbre.
- Se diseña un procedimiento que conduzca el flujo informativo a través del proceso de toma de decisiones de forma colaborativa y ofrezca guías metodológicas a los actores del PLPVMC para operar los modelos propuestos.
- La aplicación de las herramientas propuestas en el caso de estudio práctico permite los resultados siguientes:

- i) determinar la demanda de NV y AV tanto a nivel provincial como municipal,

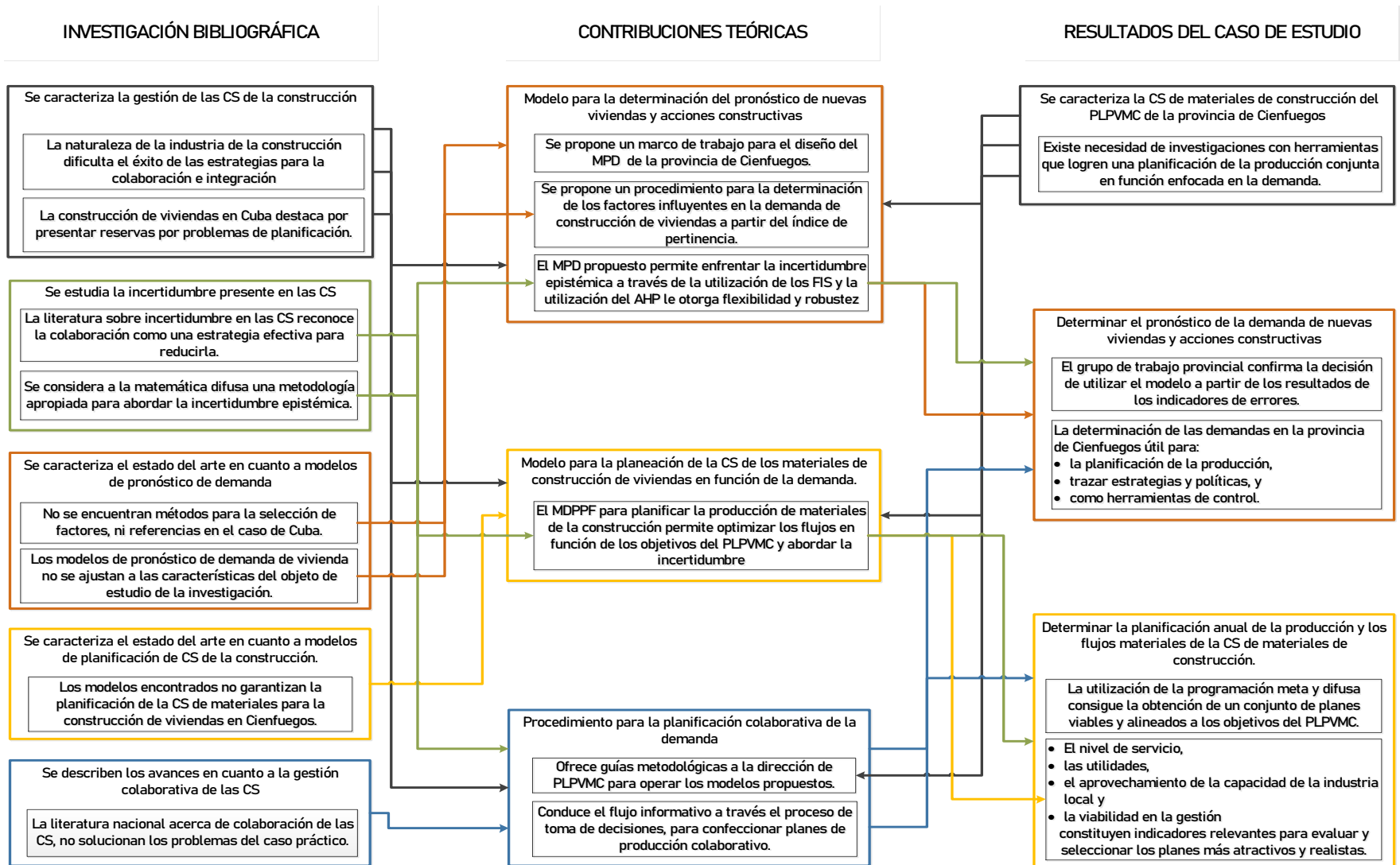
- ii) presentar un conjunto de planes de producción y organización de flujos que viables y alineados a los objetivos del PLPVMC, y
- iii) brindar indicadores de permitan evaluar los planes para facilitar la toma de decisiones.

La figura 1 representa el diseño de la investigación, con destaque en el cumplimiento de los objetivos planteados y los principales resultados o aportes. El **valor teórico** de la investigación se demuestra a partir de aportes a la gestión de las cadenas de suministro de la construcción que constituyen **novedad científica**, se resaltan la concepción de un índice de pertinencia para la selección de factores que influyen en la demanda de viviendas; el diseño del Modelo de Pronóstico de la Demanda (MPD), flexible y que aborde la incertidumbre epistémica debido a la utilización de sistemas de inferencia difusa FIS y los procesos de jerarquías analíticas AHP; el diseño del Modelo Difuso de Planificación de la Producción y los Flujos (MDPPF) para planificar la producción de materiales de la construcción, con la utilización de la programación meta y programación difusa flexible. El indicador de viabilidad de la gestión como elemento para evaluar soluciones del MDPPF, unido al nivel de servicio, utilidades y capacidad.

La investigación presenta **valor metodológico** evidenciado por la confección de guías que permiten la comprensión y generalización de los resultados obtenidos, lo que se manifiesta en los elementos siguientes: un marco de trabajo para el pronóstico colaborativo de la demanda de viviendas, dentro de él se destaca un procedimiento para la determinación de los factores que inciden en la construcción de viviendas en la provincia de Cienfuegos, la parametrización de los sistemas de inferencia difusa y la asignación de las prioridades mediante la utilización AHP en el cálculo de los diferentes niveles de demanda. La confección de procedimientos para operar e interpretar los resultados de los modelos MDPPF. Por último, se propone un procedimiento para la planeación colaborativa de la demanda de materiales de construcción que incluye: gestión de la información, revisión de ajuste de los modelos, cálculo de la demanda provincial y municipal de nuevas viviendas y acciones constructivas, y la planificación de la producción y los flujos de la cadena de suministro del PLPVMC.

La **pertinencia y valor social** de la presente investigación se evidencia en el impacto que el sector de la vivienda presenta en la población y los territorios. La organización de la CS del PLPVMC le proporciona al gobierno una mejor integración entre los actores del programa y un mejor uso de la información, transformar los modos de actuación de directivos y funcionarios a partir una gestión colaborativa en la planificación y toma de decisiones del programa en función del desarrollo local. La optimización de los procesos permite una mejor organización de los materiales de construcción, elevar los niveles de satisfacción de la población. Otro aspecto en el que incide la investigación radica en su contribución al desarrollo de políticas públicas

**Figura 1.** Representación del diseño de la investigación.



contribuyan a la reducción del déficit de viviendas cuantitativo y cualitativo.

En el desarrollo de la investigación se utilizan métodos teóricos como el analítico-sintético e histórico-lógico para analizar de manera lógica la revisión de la literatura y la evolución de la problemática a investigar. Los métodos inductivo-deductivo se encuentran en las soluciones presentadas a diversos retos de la investigación en los cuales se parte de propósitos particulares para llegar a los generales y viceversa. El método sistémico se evidencia en la estructura de los modelos y procedimientos propuestos. A su vez, se utilizan los métodos empíricos relacionados con la utilización de instrumentos de búsqueda de la literatura científico-técnica y su ordenamiento, la consulta a expertos, el uso de métodos estadísticos y de investigación de operaciones. Para facilitar el procesamiento y presentación de la información se utilizan los softwares siguientes: Mendeley, SPSS, MATLAB, UCINET, AHP Online System, GAMS, Microsoft Excel, Microsoft Visio y MapInfo Professional.

En su presentación, la tesis se estructuró de la forma siguiente: introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos. La introducción que aborda la justificativa problemática y el diseño metodológico de la construcción de viviendas en Cuba bajo condiciones de incertidumbre. El capítulo I de la investigación contiene el basamento conceptual, metodológico y práctico de la investigación. En el capítulo II se propone un marco de trabajo para el desarrollo de un modelo de pronóstico de demanda de viviendas para la provincia de Cienfuegos, se diseña un modelo para la optimización de los flujos de la CS de materiales de la construcción y se expone el procedimiento que facilita a los actores del PLPVMC la planeación colaborativa a partir de la integración de las herramientas anteriores. El capítulo III presenta los principales resultados de la aplicación de los modelos y procedimientos propuestos y se valida la hipótesis general de la investigación. Un conjunto de conclusiones generales y recomendaciones emanadas de la investigación desarrollada; la bibliografía consultada y, por último, los anexos como complemento necesario para una mejor comprensión de los resultados expuestos en la tesis.

La investigación bibliográfica incluye el estudio de un total de 266 obras. El 38,7 % es del año 2018 a la fecha; el 65,0 % es de los últimos diez años; y, el 54,5 % se encuentra en idioma extranjero. Son referenciadas un total de 17 (6,4 %) investigaciones doctorales. Las referencias a trabajos correspondientes al autor representan el 7,9 % (21); de ellos, 3 artículos se encuentran indexados en SCOPUS, 1 artículo en la WOS y 2 en la base de datos SCielo.

# ***CAPÍTULO 1***

## ***Marco teórico referencial de la investigación***

---

# Capítulo 1 . Marco teórico referencial y referencial de la investigación

El estudio bibliográfico realizado en la presente investigación se enfoca en demostrar la necesidad de contribuir a la planeación colaborativa de la demanda de materiales de construcción bajo incertidumbre. Se estudian los aspectos que se muestran en la figura 1.1, para ello, se utilizan diversas fuentes bibliográficas tanto de autores internacionales como nacionales. El objetivo general del capítulo es construir el marco teórico referencial de la investigación donde se describe la problemática de la investigación y justifica la definición del problema científico. En correspondencia con lo anterior se declaran los objetivos específicos siguientes:

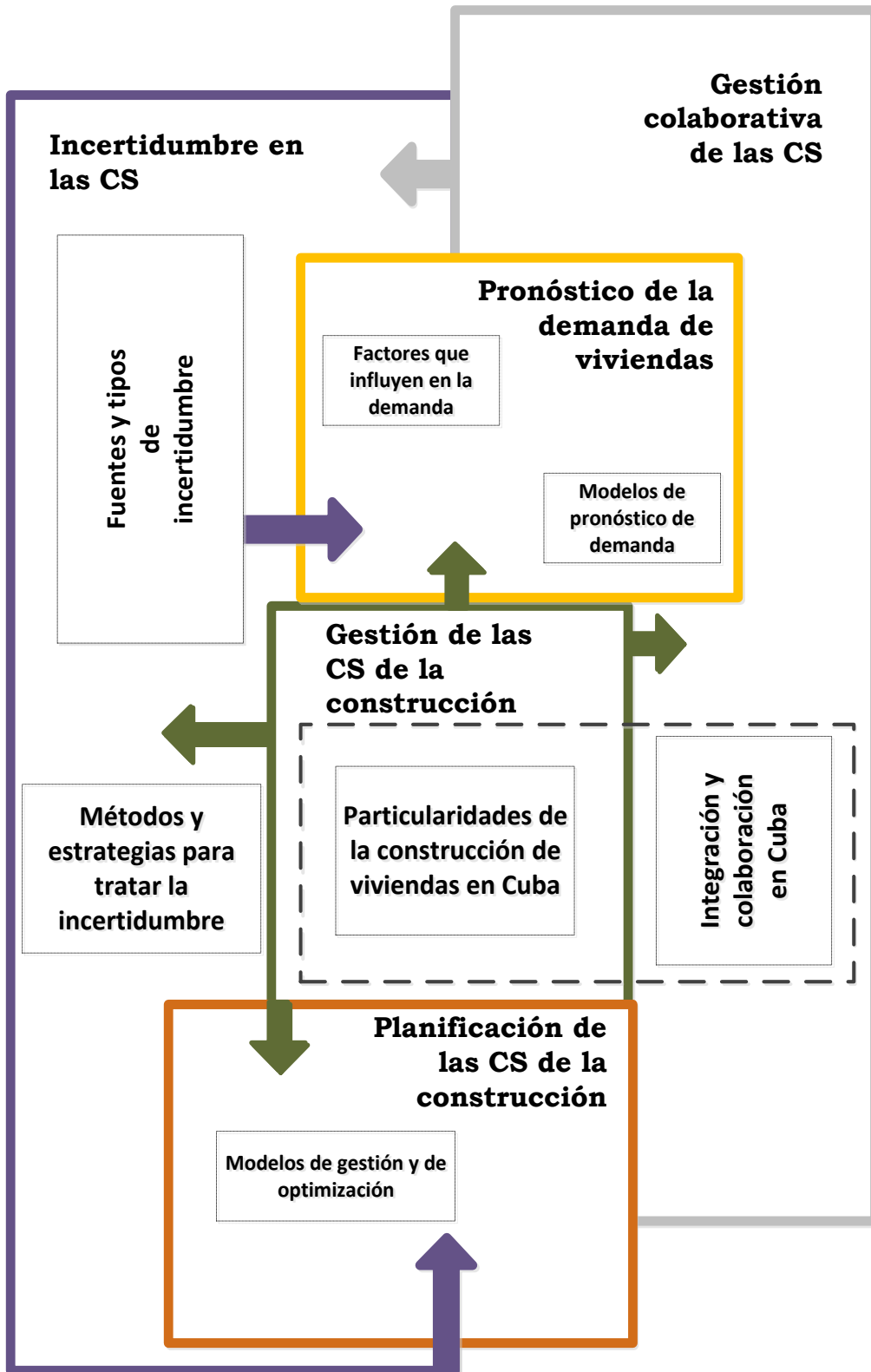
- Caracterizar la gestión de las CS de la construcción
- Describir los avances en cuanto a la gestión colaborativa de las CS
- Estudiar la incertidumbre presente en las CS
- Caracterizar el estado del arte en cuanto a modelos de pronóstico de demanda de viviendas y planificación de CS de la construcción.

## 1.1. Gestión de las cadenas de suministro de la construcción

En el enfoque de gestión de las cadenas de suministro (GCS) la cooperación, la confianza y el reconocimiento son factores determinantes, donde la correcta administración contribuye a la eficiencia del sistema. Entre las definiciones de GCS se encuentra la adoptada por Christopher (2016) la que, refiere a la gestión de las relaciones ascendentes y descendentes con proveedores y clientes, con la finalidad de ofrecer un mayor valor a un menor costo para la cadena en su conjunto, a lo que Lee (2014) le agrega la presencia de más de un nivel, con más de una empresa.

La GCS encuentra aplicaciones en la construcción (Cengiz *et al.*, 2017), sus características específicas, así como las directrices que deben seguir para una gestión eficiente se mantienen en discusión entre investigadores y profesionales (Jaśkowski *et al.*, 2018). La industria de la construcción va a la zaga de otras industrias en términos de eficiencia y rendimiento. Se diseñan iniciativas de GCS orientadas a la mejora teniendo en cuenta sus peculiaridades.

Figura 1.1. Hilo conductor de la investigación



### **1.1.1. Características de la gestión de las cadenas de suministro de la construcción**

Las cadenas de suministro (CS) de la construcción al decir de Costa *et al.* (2019) se caracterizan por una colaboración deficiente, conflictos, disputas, falta de enfoque en el cliente y la participación del usuario final. Con estas peculiaridades coinciden con Meng (2012) quien define que dentro de las características propias que distinguen a las CS de la construcción se encuentra el grado de complejidad, el número de participantes claves (clientes del proyecto, consultores, contratistas principales, contratistas especializados y varios proveedores), a lo que Fulford & Standing (2014) agrega el tipo de proceso de fabricación; a partir de proyectos con relaciones a corto plazo, productos únicos y con producciones *in situ*.

Yang *et al.* (2021) refiere que la CS de la construcción opera bajo con altos riesgos producto de la gran cantidad de fuentes de incertidumbre encontradas durante el proceso logístico externo, la demanda, la oferta, los sistemas de planificación y control y el medio ambiente. Este autor expresa que la mayoría de las incertidumbres están centradas en los procesos logísticos externos y en los sistemas de planificación y control.

El carácter fraccionado de la industria de la construcción presume un desafío entre clientes, técnicos, constructores y subcontratistas, donde cada parte intenta sacar ventaja, en lugar de trabajar juntos (Arroyo Pérez, 2016). Por ello, la construcción tiene pérdidas considerables provocadas por conflictos, excesos de costos y demandas entre los miembros (Arantes *et al.*, 2015).

En un esfuerzo por maximizar el rendimiento y minimizar el desperdicio provocado por la ineficiente gestión y control de materiales de construcción se destacan los beneficios de las GCS para la industria (Irizarry *et al.*, 2013) dada la necesidad de contar con los materiales en el momento preciso, en las cantidades correctas y sin ningún tipo de deficiencias. Un fallo puede poner toda la obra en peligro (Safa *et al.*, 2014).

Parte importante de un sistema eficaz de gestión de materiales es su identificación y seguimiento a lo largo de la construcción (Majrouhi Sardroud, 2012). En proyectos de construcción típicos, su gestión afecta el 80 % del cronograma (Bevilacqua *et al.*, 2008). Esta característica asevera el análisis de los flujos de materiales de forma que se permitan reconocer los fallos en el proceso de abastecimiento que puede afectar el proceso de producción y a la calidad (Thunberg & Persson, 2014). De ahí, la necesidad del trabajo en estrecha cooperación entre los miembros de entidades autónomas, con el fin de unir esfuerzos para satisfacer las necesidades del cliente final con bajos costos (Ergen *et al.*, 2007).



A pesar de existir numerosos beneficios y controladores en el sistema de construcción industrializada; Shukor *et al.* (2016) plantean la existencia de desafíos a superar en torno a la integración de las CS en el sector de la construcción. Este sistema demanda habilidad de alto nivel, técnicas, coordinación e integración de cadenas de suministro (Mohammad *et al.*, 2014) por lo que, se necesita cambiar para permitir que se produzcan mejoras y avanzar hacia formas de trabajo más integradas e innovadoras (Shukor *et al.*, 2016).

En general, el sector exige que la integración del proyecto constructivo sea fundamental, por lo que la tendencia tradicional no puede responder a potenciar el uso de metodologías y enfoques poco eficientes (Martínez Curbelo *et al.*, 2018). Es por ello, que para entornos en los que el cliente busca un producto personalizado, y prácticamente a la medida, se hacen necesarios sistemas de gestión, en los que se establezcan relaciones de colaboración entre los componentes de la cadena de suministro.

Una contribución en la conceptualización de la integración de las CS basadas en proyecto la presenta Eriksson (2015) quien la define a partir de cuatro dimensiones: fuerza, alcance, duración y profundidad. Mientras que Pesämaa *et al.* (2009) afirman que la gestión de proyectos en el sector de la construcción implica la coordinación de muchas tareas y personas, afectadas por la complejidad y la incertidumbre, lo que aumenta la necesidad de una cooperación eficiente; autores como Bemelmans *et al.* (2012) advierten de los riesgos que supone subestimar su complejidad, debido a la existencia de subniveles en este tipo de cadenas. Fulford & Standing (2014) plantea que existe cierta colaboración en la industria que incluye empresas conjuntas estratégicas y colaboración a nivel de proyecto, la que al decir de Bourgault *et al.* (2008) se ve obstaculizada por equipos de proyectos distribuidos que tienen procesos no alineados.

El estudio de las características de las CS de la construcción permite afirmar:

- La naturaleza fragmentada y compleja de la industria de la construcción interviene en el rendimiento y características de las CS, lo que dificulta el éxito de las estrategias para la colaboración e integración (Othman *et al.*, 2015; Vrijhoef, 2011).

### **1.1.2. Particularidades de la construcción de viviendas en Cuba**

Uno de los principales problemas sociales acumulados a los que se enfrenta Cuba hoy es el tema de la vivienda (Martínez Hernández, 2019). No obstante, las insuficiencias de habitabilidad, el modelo cubano constituye una alternativa frente a los predominantes en los países del entorno regional (Rodríguez Gascón, 2015). La estrategia de desarrollo social que se ha trazado en relación al fondo habitacional es la de garantizar a las familias una residencia adecuada y

fomentar el progreso urbano, dándole prioridad a un balance entre la zona rural y urbana (Figuerola Vidal, 2013), en aras de lograr que cada familia tenga acceso a una vivienda digna, pues el fondo habitacional de las principales ciudades del país, se degrada de manera acelerada (Coyula Cowley, 2014; Matamoros Tuma, 2016; Rey, 2013).

Las políticas públicas de vivienda están dirigidas al incentivo de la vivienda en propiedad, por encima de la rentada (Muñoz González & García Vázquez, 2018). Es por ello, que entre los años 1982 y 1989 en el país se promueve un avance en el estado del fondo habitacional, al incrementarse el número de viviendas y de espacios construidos para ser ocupados como casas, de ellas construidas más del 75 % después de 1959. Producto de la crisis económica inmersa en el país entre los años 1990 y 2002 se contiene el avance en los programas de construcción, lo que trae consigo para este período retardo en el proceso constructivo logrado entre los 1982 y 1989, unido a un progresivo deterioro del fondo habitacional dado por la falta de ejecución de acciones de mantenimientos constructivos (Rodríguez Gascón, 2015).

A partir de la ineficiencia de las experiencias a lo largo de muchos años el Estado asume la responsabilidad de implantar un nuevo plan habitacional. Con 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.

El nuevo modelo para la construcción y reparación de viviendas propone un mayor peso a la gestión por esfuerzo propio que a la estatal. Para ello, se analizan las diferencias económicas de los núcleos familiares y se plantea favorecer a los de más bajos ingresos a través del compromiso estatal a partir de financiamiento, sin dejar de asignarle un peso más importante a la autoconstrucción; y un carácter más popular a la intervención del Estado. Se prioriza la edificación de viviendas destinadas a los afectados por fenómenos climatológicos, casos de madres solas con más de tres hijos, profesionales de la salud y el proyecto Tarea Vida para el enfrentamiento al cambio climático los municipios del país (Prensa Latina (PL), 2020).

Como resultado de esta posición adoptada en función del fondo habitacional, en el año 2011 el Consejo de Ministros aprueba políticas públicas, donde se encuentra el reglamento para el otorgamiento de subsidios a personas naturales que lo necesiten con falta de liquidez económica, protegidos o no por la asistencia social, con el propósito de obtener materiales de construcción y pagar la mano de obra para la realización, reparación y mantenimiento de viviendas por esfuerzo propio (Rodríguez Gascón, 2015) y el Decreto-Ley 289/2011 que autoriza pequeños préstamos para la construcción y reparación de viviendas.

La implementación de la Política de la Vivienda al decir de Redacción Agencia Cubana de Noticias (ACN) (2020) cuenta con resultados sostenibles. Para ello ha sido imperativo el aseguramiento de los programas de viviendas a nivel municipal, a partir de las materias primas existentes en cada lugar y las tecnologías disponibles para fabricar los materiales necesarios. La industria de materiales de la construcción debe satisfacer la demanda para las inversiones, el mantenimiento constructivo y satisfacer la venta a la población con costos mínimos y sin subsidios (Doubet, 2022).

A pesar de los avances alcanzados en el sector de la vivienda, particularmente luego del 2011, persisten problemas regulatorios, económico e institucionales caracterizados por un contexto de recias dificultades económicas acrecentadas por la hostilidad del bloqueo de Estados Unidos.

- Se observan notables multiplicidades de provisiones legales con base funcional en varios sectores ministeriales del país que dificultan la gestión y supervisión del mercado de la vivienda (Muñoz González & García Vázquez, 2018).
- Las normativas jurídicas y legales referentes a la vivienda y el hábitat no están armónicamente integradas y crean fragmentación de los factores productivos del sector de la vivienda como el urbanismo, el ordenamiento territorial, suelo, infraestructura y financiamiento (Muñoz González & García Vázquez, 2018).
- En cuestiones de documentaciones como son las entregas de licencias de construcción o el cambio de uso de locales estatales hay lentitud, así mismo sucede en las tareas de inicio y desarrollo de nuevas viviendas, y la producción de materiales de la construcción no despega (Rendón Matienzo, 2022).
- Los escasos recursos financieros del país y la disposición de algunos montos para importarlos no son suficiente para detener el deterioro del fondo habitacional, además las cifras de construcción de viviendas planificadas están por debajo de la demanda (Chaveco, 2022).
- Persiste una visión dirigida al déficit cuantitativo sin calibrar suficientemente la relevancia estratégica de atender el déficit cualitativo. A escala local no es considerado el déficit habitacional como el índice principal para medir la gestión de vivienda a cargo del gobierno y sus entidades administrativas (Muñoz González & García Vázquez, 2018).
- Persiste la limitación en fuentes de recursos para ampliar y mantener la fuerte inversión que demanda el sector de la construcción. Las limitaciones encuentran problemas tecnológicos y falta de combustible que obstaculizan la producción de cemento y su distribución desde las fábricas a

los respectivos puntos de venta. La situación de los materiales de construcción encuentra déficit de cemento, acero, áridos, materias primas de importación para la carpintería metálica, muebles sanitarios y otros artículos (PL, 2022).

Al decir de René Mesa Villafaña, titular del Ministerio de la construcción (MICONS), pese a las limitaciones hay acciones que no se adoptan en los territorios que pueden revertir la situación (Rendón Matienzo, 2022), a nivel local hay muchos territorios donde el programa de la vivienda encuentra subutilización en la explotación de recursos naturales como arcilla, piedra o calcio, que se pueden emplear a nivel local y equipamientos de minindustrias poco aprovechados (Rendón Matienzo, 2022). No obstante, el MICONS para mitigar la situación dirige la modernización de la planta siderúrgica Antillana de Acero (PL, 2020), hay varias inversiones en marcha con vistas a rescatar o mejorar las fábricas cementeras y existe un incremento de los presupuestos respecto al 2021 (Rendón Matienzo, 2022).

En un ambiente sumamente restrictivo para la industria de los materiales de la construcción se hace vital el aprovechamiento de las capacidades productivas locales y la eficiencia en la transportación. Estos esfuerzos deben estar encaminados hacia una correcta planificación en función de la demanda, razón de ser del actual programa de construcción de viviendas y por ende el programa local de producción de materiales de la construcción.

El programa integra en un modelo de gestión a los actores involucrados en la construcción y mejoramiento del fondo habitacional. La integración de tan diversos actores con esquemas de subordinación y prioridades diferentes unido a la complejidad de las CS de la construcción, constituye un reto para la dirección del PLPVMC por lo que resulta imprescindible dotar a este modelo de gestión de herramientas de planificación colaborativa que contribuyan a la integración de la CS de materiales (Martínez Curbelo *et al.*, 2013).

A pesar de las medidas que se adoptan para mejorar el desempeño del proceso constructivo existen reservas en la gestión de la CS. Ello parte de la necesidad de aprovechar de manera creciente y ordenada las potencialidades de la localidad para garantizar diferentes materiales constructivos tradicionales según la demanda del territorio, con el empleo de materias primas naturales, reciclables y de desechos principalmente los procedentes de escombros molidos, plásticos, canto y arcilla (Martínez Curbelo, Castro Martínez *et al.*, 2018; Martínez Curbelo, Iser Capote *et al.*, 2018)

A partir de estudios realizados en varias investigaciones se concluye que no existe una estrategia de comunicación en el PLPVMC y la conexión entre los niveles nacional, regional, local es

deficiente; lo que no permite establecer una correcta integración en la relación entre los grupos de los diferentes niveles (Martínez Curbelo *et al.*, 2021b). Ello también posibilita un pobre vínculo entre la planificación de la producción, los suministros de recursos y la producción local (Cutíño Duany & Fernández Chaviano, 2021; Feitó Cespón *et al.*, 2022; Hurtado Yacobet, 2019). Otra brecha en la gestión del PLPVMC se encuentra en la subjetividad en la preparación e implementación de los planes, el pobre aseguramiento en las producciones y en los estudios de demanda en los territorios (Martínez Curbelo *et al.*, 2021b). Como resultado de lo expuesto en el apartado, se puede resumir que:

- La construcción de viviendas en Cuba presenta dificultades entre las que destacan la burocracia compleja en la concepción de los proyectos de construcción, escasez de recursos materiales y financieros, así como reservas en el aprovechamiento de las capacidades instaladas por problemas de planificación y control.

## **1.2. Gestión colaborativa de las cadenas de suministros. Avances en Cuba**

Al referirse a las CS Acevedo Suárez *et al.* (2012) hacen referencia a la integración de las funciones principales de un negocio, para el cuál Según Salas Navarro *et al.* (2017) identifica dos enfoques de CS: i) la CS tradicional, que es aquella vista como la interacción entre los sistemas integrados verticalmente, donde los integrantes del canal trabajan de forma independiente, y ii) la CS colaborativa establecida como aquella en la que sus miembros trabajan de conjunto para planear y ejecutar actividades con el fin de lograr una visión compartida de las oportunidades del mercado (Lopes Martínez, 2013).

La bibliografía que trata la integración de los procesos en la CS es extensa (Wong *et al.*, 2015) y la definen como una estrategia de gestión que permite integrar funciones de las empresas con el objetivo de lograr colaboración entre sus participantes y un aumento de la competitividad (Lii & Kuo, 2016). La colaboración, vista como un segundo nivel de la integración es un área de estudio prometedora (Sablón Cossío *et al.*, 2021), tanto para el entorno académico como para el empresarial, impulsada por los beneficios que las empresas y las CS pueden obtener a partir de esta (Arango Serna *et al.*, 2013).

Existen cuatro premisas primordiales para la integración de las cadenas de suministro: compartir información, colaborar para la realización de un pronóstico conjunto y realizar una planeación común y automatizar las transacciones financieras (Balza Franco & Cardona Arbelaez, 2020). De igual manera, hacen falta herramientas categorizadas en las clases siguientes: en el manejo de información acerca de los flujos de materiales gestionados por excepciones, compartir

documentos, pronóstico colaborativo, planeación colaborativa e implementación de pagos automáticos (Bautista Santos *et al.*, 2015).

Algunos de los logros que brinda una integración exitosa de la CS al decir de Bautista Santos *et al.* (2015) son: una colaboración genuina entre todas las partes, costo más bajo debido a operaciones equilibradas, menor nivel de inventarios, economías de escala, la eliminación de actividades que no agregan valor, lo que coincide con Akintoye *et al.* (2000) quién indica que los beneficios de la colaboración tienen que ver con mejorar los tiempos de ciclo, el servicio al cliente y las sinergias de la CS.

Al decir de Poler *et al.* (2007), las empresas han evolucionado desde la cooperación (compartir información para mejorar los procesos de negocio internos) a la colaboración (ejecución conjunta de algunos procesos de negocio para reducir costos). Mientras Ramanathan (2014) define la colaboración como una estrategia empresarial que se aplica en toda la planificación, producción, previsión y reposición. Para autores como Rodríguez Calderón (2020) es una herramienta que fomenta la integración y la participación en la gestión de las CS, lo que ha cambiado los paradigmas y esquemas tradicionales de negociación entre los miembros.

La colaboración logística surge como una categoría conceptual que promete resolver muchos problemas de la cadena de suministro (Balza Franco *et al.*, 2019). Las investigaciones han adoptado fundamentalmente a la colaboración como un fenómeno unilateral que se concentra en una característica específica. Estas características se detallan como un área explorada de esfuerzo colaborativo que tiene un impacto en el rendimiento (Lii & Kuo, 2016), donde las empresas dirigen los esfuerzos principales hacia los clientes y proveedores, mientras que los competidores y otros socios de colaboración horizontal reciben poca atención (Chen *et al.*, 2017).

De acuerdo a Dubey *et al.* (2018) el establecimiento de alianzas se ha convertido en un factor de colaboración que requiere de un proceso de planificación efectivo, en aras de obtener bajos precios y mayores márgenes de ganancia (Salas Navarro *et al.*, 2017). De ahí, la necesidad de identificar con quien se debe colaborar, evaluar los procesos y obtener objetivos compatibles (Tamayo Arguello *et al.*, 2017).

Montoya Torres & Ortiz Vargas (2011) abordan que las estructuras de colaboración que se han diseñado están compuestas por elementos claves los cuales son: intercambio de información, sincronización de las decisiones, alineación de incentivos, rendimiento del sistema de colaboración, congruencia de objetivos, intercambio de recursos. Mientras que, Arango Serna *et al.* (2013) establece que los elementos de un sistema de colaboración son: coherencia,

comunicación, administración de tareas, administración de los recursos, administración de las programaciones y soporte en tiempo real.

El nivel de colaboración varía según las intenciones de asociaciones (Bagchi *et al.*, 2005). Entre los principales factores que conllevan a las empresas a realizar este tipo de alianzas estratégicas se encuentran un conocimiento insuficiente de la demanda y de la competencia (Tamayo Arguello *et al.*, 2017) de ahí que este enfoque le permita a las empresas establecer estrategias de colaboración en los pronósticos de la demanda.

Las empresas que colaboran en el intercambio y la previsión de información pueden necesitar aceptar cambios organizativos, tanto internos como externos a la empresa, para mejorar su rendimiento (La Forme Gruat *et al.*, 2007) y la precisión de los pronósticos (Småros, 2007).

El objetivo de la previsión colaborativa es la planificación conjunta (Aviv, 2007). La compra colaborativa por su parte, conecta el proceso de planificación con el dominio de planificación del proveedor. A medio plazo, la compra colaborativa informa sobre las limitaciones de suministro de material al plan maestro y en el corto plazo informa de desajustes en el plan de compra consensuado que pueden afectar a los programas de producción.

- La estimación colaborativa de la demanda permite hacer una previsión consensuada entre los diferentes departamentos de una empresa o entre las diferentes empresas involucradas en la CS. Esto ayuda a los socios en la toma de decisiones conjunta. Para fomentar un entorno de colaboración en este aspecto, se necesita desarrollar procesos de pronósticos sólidos, sistemáticos y adecuados que impacten efectivamente el desempeño de la CS, a través de disminuciones en costos de operaciones, mejora del servicio al cliente, incremento en las ventas y disminuciones en los inventarios (McCarthy & Golicic, 2002).

### **1.2.1. Integración y colaboración en Cuba**

El estudio de la CS en la economía cubana y su resultado exitoso en casos de referencia señalan la necesidad de contar con procedimientos que guíen la generalidad de un análisis integral con enfoque de CS (Martínez Curbelo *et al.*, 2018b). Es necesario el trabajo en fases generales que deriven en la aplicación oportuna de herramientas para argumentar la existencia de problemas concretos y plantear estrategias de solución con enfoque de CS y para el alcance de un modelo definido (López Joy, 2014).

La realización de un diagnóstico en Cuba para medir el estado de la gestión de las CS en empresas habaneras a través del Modelo de Referencia de las Redes de Valor, arroja como resultado general una evaluación que corresponde con un nivel medio. Este resultado está más

asociados a los problemas de gestión que a los problemas de la infraestructura, lo que indica que existe un cierto retraso en la integración de las CS para poder desarrollar un potencial competitivo adecuado para actuar en el mercado. Se requiere un desarrollo acelerado de todos los elementos que caracterizan su gestión exitosa de conjunto y sin darles prioridad a unos por encima de otros (Gómez Acosta & Acevedo Suárez, 2013).

Un estudio realizado por Martínez Curbelo *et al.* (2018) para evaluar la percepción que sobre la colaboración y la integración presentan los directivos de la provincia de Cienfuegos, arroja resultados similares a los encontrados en Gómez Acosta & Acevedo Suárez (2013). En resumen, los resultados demuestran que la mayoría de los encuestados no perciben la importancia de la colaboración para mejorar los resultados en sus empresas; sin embargo, hacen notar la relevancia del enfoque al cliente en la gestión de sus organizaciones (Martínez Curbelo *et al.*, 2021a; Martínez Curbelo *et al.*, 2016). Este resultado de la investigación es relevante para la orientación de las capacitaciones de los directivos hacia aquellos factores en los que la teoría ha demostrado su importancia (Martínez Curbelo *et al.*, 2021c). Por tanto, los procesos de planificación, tradicionalmente desarrollados en un contexto de empresa única, deben realizarse en un nuevo contexto correspondiente a CS.

En Cuba las CS han sido objeto de estudios que demuestran que quedan elementos a ser investigados. En el anexo 1 se muestra una tabla con una recopilación de tesis de doctorados realizados por autores cubanos sobre el tema. Para sus análisis los estudios dividen la gestión de las CS en varios campos. Varios autores (Acevedo Suárez, 2008; Gómez Acosta, 1997; Lopes Martínez, 2013; Pérez Campaña, 2005; Ramos Gámez, 2002; Vinajera Zamora, 2017) investigan sobre el control de gestión en elementos de la CS y contribuyen a la mejora de su desempeño. Otros (da Costa Neto, 2019; Evia Lanier, 2008; Feitó Cespón, 2015; Knudsen González, 2005) prestan especial atención a las temáticas ambientales a partir del diseño de CS inversas y la contribución a mitigar los efectos negativos sobre el medio ambiente.

Un tercer grupo y de especial interés para la investigación (Acevedo Urquiaga, 2013; Lao León, 2017; Lopes Martínez, 2013; López Joy, 2014; Pardiño Baez, 2013; Pérez Armayor, 2012; Sablón Cossío, 2014) estudia los sistemas de información en las CS y el desarrollo de la gestión integrada.

En Lao León (2017) se presenta un modelo multiobjetivo para la gestión integrada de los recursos: Organización del trabajo, Fuerza de trabajo y Medios de trabajo, presentes en el sistema logístico de la Empresa de Comercio; aunque no comprende eslabones de producción ni relaciones pertenecientes con otros organismos. La demanda es tratada en la investigación a partir del uso



de datos históricos de los productos seleccionados a través de técnicas estadísticas y de inteligencia artificial.

El objetivo del modelo propuesto por Lopes Martínez (2013) es crear una base para la mejora de la gestión de los inventarios en los sistemas logísticos a partir de una evaluación integral. La evaluación incluye el análisis del flujo material, la caracterización del soporte sobre el que debe sustentarse una efectiva gestión de los inventarios, la utilización de una herramienta de auditoría logística basada en referenciales que miden el cumplimiento de los aspectos organizacionales que conforman la gestión de los inventarios en su integralidad y, además, se incluye el cálculo de indicadores. El modelo se aplica en las CS correspondientes a la cadena de tiendas y Empresa comercializadora de medicamentos.

El diseño de un Modelo de Gestión Integrada de Cadenas de Suministro en Cuba propuesto por López Joy (2014) construye un indicador general que muestra el nivel de desempeño de la cadena de suministro permitiendo su comparación y proyección a partir de intereses estratégicos y las entidades de una cadena. Plantea las relaciones entre la logística, variables de coordinación, herramientas, y formas de gestión, soportadas en un proceso de capacitación para obtener la organización de la cadena de suministro y un plan conjunto para su desarrollo integrado.

El modelo de diseño de nodos de integración en las CS propuesto por Pardillo Baez (2013) permite la gestión integrada entre los actores del nodo de una cadena, garantizando los niveles de eficiencia y eficacia requeridos de acuerdo a las condiciones cubanas. La integración de los flujos se concreta mediante la aplicación de la técnica de ruta crítica tal y como sugiere Acevedo Urquiaga (2013), señalando que dicha ruta crítica permite determinar el ciclo logístico e identificar los procesos y sub ciclos críticos. El procedimiento propuesto se aplica en ECASOL.

Los estudios referidos en Acevedo Urquiaga (2013) y Sablón Cossío (2014) resaltan por tratar la colaboración en las CS. Acevedo Urquiaga (2013) maneja los balances de capacidad a través de la extensión de las herramientas de control por excepción en líneas para la cadena de suministro con una visualización para la parte que colabora en la CS. El horizonte de planificación que se establece es de un año, mientras que el intervalo de planificación es diario. El estudio se implementa en la CS correspondiente a ECASOL.

Por su parte, Sablón Cossío (2014) realiza un modelo para planificar la colaboración a nivel estratégico aplicado en el desarrollo de cinco años, sustentado en herramientas de soporte informático que facilitan su aplicación. La investigación se valida en la CS correspondiente al puré de tomate.

En ambas investigaciones se plantean soluciones para las premisas de la colaboración: colaborar para un pronóstico conjunto, una planeación común y automatizar las transacciones financieras aunque se concentran en el compartimiento de la información. En ambos casos las familias de productos y los procesos logísticos involucran pocos actores y productos, aunque pertenecen a CS relevantes. Existen procedimientos que refieren al pronóstico de demanda conjunta, donde se utilizan series de tiempo. No se tienen en cuenta en los planes propuestos la organización de los flujos y el impacto de las transportaciones.

Las investigaciones nacionales estudiadas que se relacionan con la integración y colaboración de las CS permiten afirmar:

- Existe un marcado interés en la integración de las CS por parte de la academia cubana, aunque todavía son escasas las investigaciones que se encuentran relacionadas con el tema.
- No se evidencian aportes en modelos de pronóstico de demanda, en la mayoría de los casos se utilizan técnicas estadísticas conocidas.
- En los estudios nacionales revisados los planes colaborativos no han tenido en cuenta la organización de los flujos ni el impacto de las transportaciones.
- No existen referencias de estudios de CS en el sector de la construcción, predominan las investigaciones en el sector agroalimentario, la industria mecánica y el comercio.

### **1.3. Incertidumbre en las cadenas de suministro**

Dentro de los principales retos en las CS se encuentra la estimación de las necesidades y deseos de los clientes, donde la incertidumbre y los riesgos en ocasiones se convierten en una limitante para la toma de decisiones de forma integrada entre los actores de la cadena (Betancourt Expósito *et al.*, 2021). La incertidumbre de la cadena de suministro es un problema mundial (Hult *et al.*, 2010), derivado de la creciente complejidad de las redes globales, estas se presentan con un carácter multidimensional, pues la existencia de una incertidumbre puede relacionarse con otras (Lima *et al.*, 2021).

Las definiciones de incertidumbre en la CS encontradas en la literatura se ajustan a la emitida por Van Der *et al.* (2002), quienes la conceptualizan como situaciones de toma de decisiones en la CS en las que el tomador de decisiones no sabe definitivamente qué decidir ya que no distingue los objetivos; carece de información sobre (o comprensión de) la CS o su entorno; carece de capacidades de procesamiento de información; no puede predecir con precisión el impacto de las posibles acciones de control en el comportamiento de la CS; o bien, carece de acciones de control efectivas (no controlabilidad).

Las fuentes de incertidumbre se identifican y presentan a través de modelos encontrados en la bibliografía que han evolucionado con el tiempo, volviéndose progresivamente más complejos. En primer lugar, Davis (1993) en una revisión bibliográfica de CS hace un aporte inicial al identificar tres fuentes de incertidumbre: la oferta; la demanda, estudiada también por Zhen *et al.* (2019) en una cadena de suministro verde de circuito cerrado y sostenible y por último la incertidumbre en el proceso de fabricación es otra fuente identificada en Davis (1993) y analizada en Heydari & Ghasemi (2018) en una cadena manufacturera. El estudio de Davis (1993) sugiere que la incertidumbre de la oferta y la demanda tiene un efecto sobre la incertidumbre del proceso de fabricación, que a su vez afecta el cumplimiento oportuno de los pedidos. De estos, el autor sugiere que la incertidumbre de la demanda se considera comúnmente como el tipo más severo, que surge de la demanda volátil o pronósticos inexactos.

La investigación propuesta por Bendoly *et al.* (2022) muestra que la presencia de incertidumbre tanto de la demanda como de la oferta tiene un efecto más matizado en los sesgos de decisión que cualquier tipo de incertidumbre por sí solo. El estudio revela la necesidad de una mayor atención por parte de los académicos y gerentes de la CS sobre cómo la incertidumbre de la oferta y la demanda afecta conjuntamente las decisiones de los gerentes de inventario.

El modelo del círculo de incertidumbre de Mason-Jones & Towill (1998) agregó la incertidumbre de control, que se relaciona con la capacidad de una organización para usar el flujo de información y las decisiones para transformar pedidos de los clientes en un plan de producción y requisitos de materia prima. En Wilding (1998) se propone a partir del estudio de una CS manufacturera un triángulo de complejidad de la cadena de suministro, que introduce una fuente de incertidumbre llamada interacción paralela. Esta trata la complejidad que surge debido a la forma en que un cliente interactúa con múltiples proveedores potenciales. Esta interacción genera incertidumbre en los proveedores y reduce el rendimiento de la CS.

Según Prater (2005) las fuentes de incertidumbre se agrupan en una denominada decisión de complejidad y se relacionan con la existencia de múltiples metas con incertidumbre, la importancia relativa de cada meta y con la existencia de múltiples restricciones donde algunas de las metas pueden relajarse.

En particular, Van Der *et al.* (2002) en su estudio de la incertidumbre y el rediseño de la cadena de suministro en la industria alimentaria describen las incertidumbres causadas por: la configuración de la cadena, la infraestructura y las instalaciones; horizonte de previsión de pedidos; una vinculada a características específicas del producto; comportamiento humano y

complejidad de la tecnología de la información/sistemas de información (TI/SI) descrita también en Boiko *et al.* (2019) y muy relacionada con la falta de disponibilidad de información suficiente analizada en Rahimi *et al.* (2019).

Para Tan *et al.* (2019) el diseño de una CS para el sector de la construcción está relacionado con atender la demanda de los clientes. Por lo tanto, en la posición estratégica, la gestión de la cadena de suministro encontrará incertidumbres debido a los eventos inesperados de la vida real. El consumo de materiales en grandes cantidades no puede considerarse una tarea determinista. Estos cambios pueden ser la mayoría de las veces en costos y demandas

Simangunsong *et al.* (2012) en una revisión amplía la comprensión de las fuentes asociadas a partir de lo encontrado en la literatura de riesgo/incertidumbre e identifica dos nuevas fuentes que son asociadas a las incertidumbres ambientales (políticas, políticas gubernamentales, macroeconómicas, sociales y competitivas) y las naturales (relacionadas con desastres/accidentes naturales) que más tarde trata Astuty *et al.* (2021) cuando estudia CS manufactureras en Indonesia.

En Bendoly *et al.* (2022) se analizan las decisiones de gestión de inventario de la cadena de suministro con presencia de incertidumbres tanto aguas abajo (demanda) como aguas arriba (oferta). La incertidumbre de la demanda induce un sesgo de atracción hacia el centro, en el que los pedidos se alejan de la decisión de pedido óptima en la dirección de la demanda esperada. La incertidumbre del suministro provoca un sesgo de diversificación, en el que los gerentes de inventario tienden a abastecerse de múltiples proveedores, incluso cuando el abastecimiento único es óptimo.

El estudio realizado por Yang *et al.* (2021) tiene como objetivo identificar y categorizar las fuentes de incertidumbre que afectan la logística en los proyectos de construcción en ciudades de alta densidad. Se identifican un total de 30 fuente de incertidumbre claves en cinco áreas: el proceso logístico externo, la demanda, la oferta, los sistemas de planificación y control y el medio ambiente. Se mostraron las características multifacéticas, interconectadas y específicas del contexto de las fuentes de incertidumbre y se mostraron sus probabilidades e impactos. La mayoría de las incertidumbres surgen de procesos logísticos externos y sistemas de planificación y control. Se encontró que las incertidumbres relacionadas con la demanda tenían mayores probabilidades e impactos, mientras que las relacionadas con la oferta eran menos probables, pero podrían tener impactos significativos en la logística externa.

Con la identificación de las principales fuentes de incertidumbre que se abordan en la literatura surge la necesidad de trazar estrategias que le hagan frente. Primero, Davis (1993) propone el control de calidad total; diseño de nuevos productos y rediseño de la cadena de suministro como estrategias para reducir la incertidumbre. Las dos primeras se pueden utilizar para reducir la incertidumbre del proceso Geary *et al.* (2006); mientras que el segundo puede reducir la incertidumbre relacionada con la oferta y la demanda.

Como sugieren Helms *et al.* (2000) y Vega de la Cruz & Pérez Pravia (2022) la colaboración con proveedores y clientes claves ayuda a romper las barreras entre las etapas de la cadena de suministro; esto puede reducir la incertidumbre relacionada con la complejidad de la toma de decisiones dentro del sistema. En segundo lugar, la incertidumbre relacionada con el comportamiento humano puede reducirse limitando el papel de los humanos en el proceso. Esto podría lograrse utilizando la automatización de procesos o simplificando las políticas y procedimientos burocráticos de toma de decisiones (Simangunsong *et al.*, 2012).

La colaboración en las CS representa una estrategia para el intercambio efectivo de información (Banda Ortíz *et al.*, 2022), esta solución puede proporcionar la base para un sistema de soporte de decisiones (Uribe Salazar & Salazar Medina, 2022), que puede reducir la incertidumbre del control al mejorar el proceso y la calidad de la toma de decisiones (Childerhouse & Towill, 2004). Sin embargo, la mala gestión del proceso de intercambio de información, que involucra, por ejemplo, datos inexactos, puede causar dificultades para tomar buenas decisiones; por lo tanto, la incertidumbre del control puede aumentar.

Otro enfoque para reducir la incertidumbre de la demanda es la estrategia de precios/incentivos de promoción (Gupta & Maranas, 2013). Investigaciones bien establecidas en esta área sugieren que la revisión de precios o el uso de promociones de marketing controladas son formas efectivas de reducir el efecto látigo (Simangunsong *et al.*, 2012). Finalmente, Fisher (1997) propuso la reposición de stock receptiva, donde el período de planificación es más corto que el horizonte de pronóstico, para reducir la incertidumbre relacionada con los productos innovadores que se caracterizan por un producto corto de ciclo de vida y una amplia variedad de productos.

A pesar de las acciones de gestión para reducir la incertidumbre, es imposible evitar completamente su impacto en la CS, es por esto que se deben tener en cuenta en las herramientas con que se soporta la toma de decisiones (Khatun *et al.*, 2022). Para ello es imprescindible conocer los diversos tipos de incertidumbre que se pueden presentar con el objetivo de utilizar los métodos apropiados. Según Curto Lorenzo (2020), las incertidumbre se

clasifican en i) estocástica, ii) aleatoria, iii) epistémica y, iv) ontológica. La incertidumbre estocástica refiere la probabilidad de ocurrencia de eventos futuros, en cambio la incertidumbre aleatoria está caracterizada por la variabilidad en la que es posible un rango de resultados. Ambas son irreducibles porque el aumento del conocimiento de su sistema y entorno no reduce la incertidumbre. Las incertidumbres aleatorias y estocásticas se abordan con métodos de la teoría de las probabilidades y estadística como se muestra en la Tabla 1.1

La incertidumbre epistémica es otra clasificación relacionada con la ambigüedad de la información (Ramos Cañón *et al.*,2020). Caracterizada por la falta de conocimiento del sistema y el entorno, puede ser resultado de la ausencia de conocimiento (incertidumbre cognitiva) y/o escasez de información (Damjanovic & Reinschmidt, 2020). La primera, se estudia a través del conocimiento de los expertos, con la teoría de los conjuntos difusos como uno de los métodos más utilizados. Cuando los datos son pocos la teoría del sistema gris resulta ser una herramienta apropiada (Tabla 1.1).

**Tabla 1.1.** Estrategias para enfrentar la incertidumbre.

	<b>Probabilidad y Estadística</b>	<b>Matemáticas difusas</b>	<b>Teoría de sistema gris</b>
<b>Objetos de estudio</b>	Incertidumbre estocástica	Incertidumbre cognitiva	Mala información
<b>Tipo de incertidumbre</b>	Incertidumbre aleatoria y estocástica	Incertidumbre epistémica	Incertidumbre epistémica
<b>Métodos</b>	Distribución de probabilidad	Función de pertenencia	Cobertura de la información
<b>Procedimiento</b>	Distribución de frecuencia	Regla basada en la experiencia	Generación de serie gris
<b>Requerimiento</b>	Distribución típica	Conocimiento de expertos	Ninguna distribución
<b>Características</b>	Muestra grande	Experiencia sobre la muestra	Muestra pequeña

**Fuente:** Elaboración propia a partir de Karaaslan & Özden (2016)

Por último, la incertidumbre ontológica que se diferencia del resto en que no puede ser conocida ni estudiada. Va más allá de las limitaciones físicas de un sistema o un margen de contingencia: se trata de incertidumbre no conocida y que, además, no puede ser conocida (Alleman *et al.*, 2018).

Contar con información suficiente y confiable para la toma de decisiones en muchas ocasiones constituye un proceso costoso debido al tamaño y restricciones del sistema (Díaz Muñoz, 2020). Otra razón lo constituye que el sistema estudiado haya sufrido cambios drásticos y la información histórica no resulte útil. Muchas de las estrategias para minimizar las incertidumbres epistémicas encuentran en la teoría de los conjuntos difusos la metodología apropiada en el modelamiento de

las CS (Mula *et al.*, 2007). Para esta investigación resulta de particular interés abordar la incertidumbre epistémica y la matemática difusa como método para abordarla en la toma de decisiones.

En la literatura se pueden encontrar varios modelos de lógica difusa aplicados a las cadenas de suministro o sus componentes. Petrović *et al.* (1999), examinan la incertidumbre en la CS centrándose en el control de inventarios descentralizados y su coordinación parcial, en el estudio se trata de identificar el nivel de existencias y las cantidades a ordenar en una CS con dos fuentes de incertidumbre: la demanda de los clientes y el abastecimiento externo de materias primas. Este modelo busca la reducción de costos en los procesos de fabricación y en general en la CS.

Fazel Zarandi & Saghiri (2007) presentan un modelo en lógica difusa para la gestión de la CS, buscando maximizar los beneficios a obtener cuando se desea realizar inversiones con respecto a los proveedores, la fábrica y estrategias de mercadeo. Por su parte Tadiae (2005) presenta un modelo multicriterio difuso para la selección del mejor punto de reordenamiento de materias primas en una CS y Sauer *et al.* (1998) plantean un problema de programación de la producción multi sitio que puede ser resuelto a través de conjuntos difusos.

Para analizar la interdependencia entre la falta de claridad de las medidas subjetivas en la gestión sostenible de la CS de servicios en Tseng *et al.* (2018) se utilizó un modelo de evaluación cuantitativa generalizado basado en el método *Fuzzy Delphi* y el proceso de red. Los resultados indican que el aspecto de mayor rango a considerar es el diseño de operaciones de servicios ambientales y el criterio principal es la logística inversa integrada en el paquete de servicios.

La investigación que proponen Zhen *et al.* (2019) presenta una perspectiva de integración para desarrollar una red de CS de circuito cerrado verde y demanda incierta. Para ello, proponen un modelo de optimización multiobjetivo y la programación estocástica basado en escenarios. Se desarrolla un método de relajación de Lagrange para resolver el modelo. Los resultados experimentales demuestran la validez y eficiencia del modelo propuesto y el método de solución. También se obtienen varias implicaciones gerenciales potencialmente útiles para los profesionales.

Con el objetivo de hacer una selección de proveedores y un análisis de pedido circular en una CS de circuito cerrado circular de múltiples productos Govindan *et al.* (2020) propone un modelo de solución difusa para incorporar simultáneamente la incertidumbre de una CS y cambiar el modelo multiobjetivo a un modelo de un solo objetivo, aplicado en una CS del sector automotriz

arroja como resultado que el modelo que se propone es rentable y respetuoso con el medio ambiente para el diseño de redes circulares de circuitos cerrados de múltiples productos.

- Las CS de la construcción muestran fuentes de incertidumbre multidimensionales, con características concretas del contexto. Sus impactos inciden en los resultados de la cadena.
- La literatura describe la colaboración como una estrategia para reducir la incertidumbre, aunque en ocasiones es imposible evitar completamente su impacto en la CS.
- En la literatura se pueden encontrar varios modelos de lógica difusa para el análisis de la incertidumbre epistémica en las CS. Se muestra como la metodología apropiada para el modelamiento de las CS bajo estas condiciones.

#### **1.4. Pronóstico de demanda de viviendas**

En muchos casos las empresas presentan una inadecuada visión de la demanda final. Por lo que con frecuencia se encuentra el punto de penetración del cliente alejado y oculto, teniéndose solamente la información de los pedidos. El desafío al decir de Christopher (2016) es encontrar una manera de recibir una advertencia previa sobre los requisitos de los clientes.

El pronóstico de la demanda es una información fundamental para los procesos decisorios, operativos y estratégicos que se realizan en el mercado (Marino Rodríguez & Rodríguez Arranza, 2019). Por la complejidad y la diversidad de factores que influyen en su comportamiento resulta una labor difícil (Chawla *et al.*, 2019). A nivel internacional la demanda del mercado inmobiliario se caracteriza por:

- La demanda de viviendas es un concepto con contenido demográfico, sociopsicológico, que se perturba por los ingresos de los sujetos, los precios, las adiciones, los placeres y las preferencias, así como las valías de los bienes suplementarios y suplentes (Aydin & Hayat, 2018).
- La demanda real o efectiva hace alusión al sector de la población con algún tipo de respaldo económico (Marino Rodríguez & Rodríguez Arranza, 2019).
- Las residencias presentan condiciones de oferta específicos para el mercado (Zanon & Carpinetti, 2018) su larga vida útil le concede la doble naturaleza de bien de consumo y bien de inversión.
- La intervención del sector público en este mercado es otra característica a resaltar, así como el desigual comportamiento de la oferta y la demanda cuya variación según Akintoye & Skitmore (1994) es temporal y espacial.



Modelar el nivel de demanda de construcción es vital en la formulación e implementación de políticas ya que la industria de la construcción desempeña un papel importante en el proceso de desarrollo económico de un país. Ante la diversidad de situaciones estudiadas en relación a la demanda de viviendas, existe una progresiva necesidad de identificar objetivamente una herramienta de pronóstico que pueda producir predicciones precisas para este sector de la economía.

Aydin & Hayat (2018) refieren con relación al tema que muchos de los factores que afectan dicha demanda se relacionan con un determinado contexto, país o región. La revisión de literatura científica del tema permita clasificarlos en económicos, políticos, sociales y demográficos.

La literatura que trata la demanda de la vivienda la enfoca desde diferentes objetivos y se adoptan metodologías en función de la cantidad y la calidad de la información con la que se cuenta. Los estudios empíricos han demostrado que la precisión en el rendimiento varía según el tipo de técnica de pronóstico y la variable a pronosticar (Goh, 1998). Por lo tanto, existe la necesidad de obtener información útil sobre cómo se desempeñan las diferentes técnicas, en términos de precisión en la predicción de la demanda (Gujarati & Porter, 2010). En la literatura se encuentran con mayor representatividad modelos econométricos, inteligencia artificial, sistemas grises y lógica difusa.

La metodología econométrica es rigurosa en cuanto a los supuestos estadísticos de los métodos de estimación contrastados. Sin embargo, es difícil mapear relaciones no lineales de múltiples atributos en análisis de regresión (Aydin & Hayat, 2018). El análisis a partir de este método a criterio de Rendón Obando & Ramírez Franco (2016) es complejo cuando se presenta ausencia de series históricas largas de las variables. Por ello, sus limitaciones en este aspecto son evidentes, de ahí el surgimiento de técnicas de modelado no lineal, como alternativas efectivas para superar estas dificultades.

Dentro de las técnicas de modelado no lineal más avanzadas se encuentran las Redes Neuronales Artificiales (ANN) y Sistemas de Inferencia Difusa (FIS). Además, de sistemas neuro difusos definidos como una combinación ambos (Jang, 1993). La Teoría del sistema gris (GTS) por su parte se desarrolla alternativamente para cuantificar la incertidumbre (Salmerón & Papageorgiou, 2012). La principal diferencia entre los enfoques difusos y la GST al decir de Zanon & Carpinetti (2018) las modelaciones difusas presentan información previa, generalmente basada en la experiencia, mientras que los sistemas grises tratan con datos objetivos (Espitia Chuchango, 2021).

### 1.4.1. Factores que influyen en la demanda de viviendas

Un estudio encaminado a determinar los principales factores que influyen en la demanda de construcción de viviendas a nivel internacional permite establecer tres grupos: demográficos, político-social y económicos (Buñay Gavidia & Sánchez Granda, 2016; Heath, 2014; Jean & Molina, 1994; Reyes Vintimilla, 2015; Rivera León, 2015). Dentro de estos (ver anexo 2) existe un conjunto de variables explicativas donde, entre otros, se encuentran las remesas, los ingresos, los créditos, las políticas públicas, el crecimiento poblacional y la creación de nuevos hogares.

Las remesas son resultados de una economía alternativa (Beyoda Rangel & Jáuregui Díaz, 2016), que se utiliza en los principales gastos del hogar (Arango Mejías, 2009; León Milcota & Escobar Serrano, 2011) y aumentan la economía en el sector de la construcción (Khoudour Castéras, 2007; McBriden, 2007) tanto en la remodelación como en la construcción de nuevas edificaciones (Libreros Ángel & Cruz Marcelo, 2015; Zapata, 2016).

El ingreso de los hogares es otro factor que conduce la futura demanda de vivienda (Buñay Gavidia & Sánchez Granda, 2016; Calderón Rodríguez, 2015; Bernal García & González Villegas, 2013; García Rendon et al., 2016; Rendón *et al.*, 2019; Rodríguez Pelaez, 2011), su fuente fundamental es el salario (Calderón Rodríguez, 2015) de ahí que este indique el poder adquisitivo en la compra de una vivienda.

El tamaño de los hogares (Adamuz Peña & González Tejeda, 2016; Buñay Gavidia & Sánchez Granda, 2016; Lee & Trost, 1977; Colmenares Lacruz & Gil Ruiz, 2010; Huang & Clark, 2002; ; Rodríguez Hernández, 2006) y la edad del jefe de familia (Barrios García & Rodríguez Hernández, 2004; Cadena Minnota, 2010; Colom Andrés & Molés Machí, 2003; Huang & Clark, 2002; Jean & Molina, 1994) son otros indicadores que posibilitan el acceso al mercado residencial.

En investigaciones del mercado hipotecario (Calderón Rodríguez, 2015; Clavijo Torres, Janna Gandur, & Muñoz Trujillo, 2005) se obtiene que las demandas de vivienda son elásticas al precio, a la estabilidad de los ingresos de los hogares y a la tasa hipotecaria (Castellano Bonilla, 2010; García Rendon *et al.*, 2016; Kenny, 1999) coincidiendo con varios autores Adamuz Peña & González Tejeda (2016); Cadena Minnota et al. (2010); Cadena et al. (2004); Cárdenas Santa-María & Hernández Caballero (2006); García Rendon *et al.* (2016); Libreros Ángel & Cruz Marcelo (2015) quienes además, reconocen como posibles determinantes en las demandas de construcciones la influencia de los créditos, la tasa de desempleo y los flujos de capital exterior.

En la teoría sobre la demanda de viviendas se analiza del acceso crediticio la forma en que se

proveen, racionan o subsidian dichos recursos (Clavijo Torres *et al.*, 2005); sin restarle importancia a factores influyentes como la facilidad de acceso al crédito en la banca privada y pública.

En las investigaciones estudiadas se observa que existe un conjunto diverso de factores que se relacionan con la demanda de viviendas. Sin dudas, estos conducen a aumentar o disminuirla en dependencia de las condiciones socioeconómicas, demográficas y políticas particulares de cada país, región, provincia o incluso a niveles inferiores como municipios. Además, se deduce de los estudios revisados su influencia no homogénea y que un mismo factor puede influir de manera diferente en función de la región y el modelo de pronóstico utilizado.

A pesar de que es escasa la bibliografía encontrada en la determinación de las necesidades constructivas, se puede afirmar que los factores utilizados para los análisis relacionados con el sector inmobiliario sirven para estimar la demanda de construcción de viviendas. Esto hace posible que puedan ser utilizados para la determinación de las necesidades de materiales que deben producirse o disponerse para la construcción de las viviendas. El estudio de las fuentes bibliográficas permite determinar que:

- Dentro de los estudios analizados donde se predice el comportamiento de la demanda de las viviendas, la selección de las variables influyentes se toman de análisis empíricos justificados a partir de la literatura existente.
- En los estudios de revisados se identifican un total de 41 variables que afectan la demanda de viviendas a nivel global.
- No se encontraron métodos y procedimientos que seleccionen las variables más relevantes para la investigación, ni que validen su relevancia previo a la utilización y conformación del modelo.
- No se encuentran referencias para el caso de Cuba de investigaciones relacionada con los factores que influyen o determinan la demanda de viviendas.

#### **1.4.2. Modelos de pronósticos de viviendas**

Para la determinación de pronósticos del comportamiento de la demanda de viviendas se utilizan diferentes modelos matemáticos que establecen (ver anexo 3) las relaciones que ejercen sobre la demanda o la influencia de unos factores sobre otros (Castellano Bonilla, 2010; Ortiz Galindo, 2014; Rodríguez Hernández, 2006).

En los modelos de demanda de vivienda analizados se aprecian diferentes enfoques (Coca Carasila & Molina Higuera, 2012) que se distinguen en elementos como el nivel de

desagregación, variables explicativas, formulación dinámica, número de ecuaciones estimadas y los fines que persiguen en su utilización (Megbolugbe *et al.*, 2020).

- **Modelos empíricos de pronósticos de demanda**

Dentro de los modelos teóricos que se han realizado en los diferentes estudios de Economía de la vivienda se encuentra Henderson & Ioannides (1983), quienes introducen un modelo para explicar la elección de forma de tenencia de la vivienda habitual entre sus dos opciones más habituales: en propiedad y en alquiler. Linneman (1985) desarrolla un modelo teórico estático en el que reduce la decisión de tenencia de vivienda a la comparación de los costos totales derivados de cada tipo de tenencia. Para incorporar la elección de tenencia de vivienda Ioannides & Kan (1996) y Gobillon & Le Blanc (2002) perfeccionan más tarde el modelo de Goodman (1995) modelando teóricamente la dinámica de los individuos encontrados ante las decisiones de movilidad residencial y elección de tenencia de vivienda.

Otra investigación con características similares es la que presentan Cadena Minnota (2010) al igual que las anteriores presenta un modelo que permite establecer la relación de preferencia de los ciudadanos sobre las alternativas de demanda de un alquiler o la de obtener una residencia nueva. A pesar de sus limitaciones por la falta de información de algunas variables el estudio posibilita establecer el comportamiento de las variables consideradas influyentes en el estudio.

En su artículo Megbolugbe *et al.* (2020) revisan el estado de la economía de la vivienda en relación con los determinantes de la demanda y sugieren una dirección para futuras investigaciones. Plantea que, a pesar de años de modelar los mercados inmobiliarios, los analistas presentan dificultades para la evaluación de la demanda de vivienda, dado fundamentalmente a la limitación en la modelización restrictiva de los determinantes de la demanda de vivienda.

La medición de la sensibilidad de la demanda de vivienda a las tasas hipotecarias y el apalancamiento disponible es un desafío porque generalmente no hay una variación exógena en estas variables. Por eso, Fuster & Zafar (2021) evitan el problema al diseñar una encuesta estratégica en la que los encuestados informan su disposición a pagar por una vivienda en diferentes escenarios de financiamiento. La relajación de las restricciones de pago inicial o un aumento exógeno en la riqueza no relacionada con la vivienda tiene grandes efectos en la disposición a pagar, especialmente para los hogares más pobres y con más restricciones crediticias. Sin embargo, cambiar la tasa hipotecaria solo tiene efectos moderados. Estos

hallazgos tienen implicaciones para los modelos teóricos de determinación del precio de la vivienda y para la política

- **Modelos estadísticos econométricos de pronóstico de demanda de viviendas**

Rapaport (1997) valora la demanda de vivienda para la zona metropolitana de Tampa (Florida) a partir de la elección del régimen de tenencia y la comunidad en la que residir. Para el caso andaluz un conjunto de autores (Jean & Molina, 1994; Lee & Trost, 1977; Rosen, 1979) conciben un modelo probit binomial que analiza al mismo tiempo la elección de tenencia y el gasto en vivienda, a partir de la aplicación del procedimiento de Heckman (1979) para estimar las ecuaciones de demanda. En estos trabajos se aplica un modelo logit multinomial en la primera etapa, corrigiéndose en la segunda las ecuaciones de demanda con una generalización del método de Heckman (1979) los autores Dubin & McFadden (1984). En la misma línea, Colom Andrés & Molés Machí (2003), estudian el gasto en servicios de vivienda para los hogares españoles, en la investigación se toma en cuenta el régimen de tenencia y la localización de la residencia.

Por otra parte, Ermisch *et al.* (1996) y Goodman (2002) mediante un probit bivalente consideran la tenencia junto con la movilidad a la hora de modelar las ecuaciones de demanda. En ambos casos se reportan funciones de demanda corregidas por una variante del método de Heckman (1979).

Una metodología para modelar y cuantificar los vínculos existentes entre la tasa de vivienda en propiedad y tasa de desempleo a través de un modelo macroeconómico que relaciona ambos mercados mediante un sistema de ecuaciones simultáneas es la que proponen Barrios García & Rodríguez Hernández (2004), donde las unidades de observación en vez de ser la conducta observada de los individuos, recaen sobre el comportamiento de los mercados inmobiliarios residenciales a nivel provincial. En el año 2005 estos autores desarrollan un modelo logit multinomial mixto que pretende hacer una aproximación de las variables que fundamentalmente intervienen en las decisiones de las personas en materia de tenencia de vivienda.

Al estimar las ecuaciones de demanda de vivienda en España, Rodríguez Hernández & Barrios García (2007), plantean un procedimiento de corrección del sesgo de selección muestral. Este procedimiento permite corregir el sesgo muestral cuando en una primera etapa es estimado un modelo logit mixto. En concordancia con las ecuaciones de inversión en vivienda incluidas en algunos modelos macroeconómicos, sobresale la llevada a cabo por Egebo *et al.* (1990), donde se compara la inversión en residencias en diferentes modelos para los Estados Unidos,

Alemania, Francia, Gran Bretaña, Italia, Canadá y Japón.

Un modelo econométrico para la obtención de los factores que influyen en la oferta y la demanda de viviendas en Colombia es el propuesto por Clavijo *et al.* (2005). En el estudio los autores comparan el índice de precio de la vivienda que provee Departamento Nacional de Planeación de distintas ciudades. En ese mismo país Bonilla & Harolit (2010) hace un análisis con el objetivo de identificar los determinantes fundamentales del precio de las viviendas de interés no social, a partir de un modelo econométrico de series de tiempo.

En el mismo enfoque de demanda se encuentran Ortiz Galindo (2014), donde luego de identificar las principales variables macroeconómicas que influyen en la demanda de vivienda, estudian cómo estas inciden en la decisión del consumidor de adquirir vivienda y en la toma de decisiones de los entes controladores, para promover políticas públicas en las diferentes ciudades del país; definiendo un modelo econométrico de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), que estima la elasticidad de la demanda de vivienda nueva no VIS (Viviendas de interés social), para Bogotá, Cali y Medellín frente a las variables de estudio.

Por su parte Adamuz Peña & González Tejeda (2016) determinan la demanda de vivienda de los hogares en México a través del gasto en servicios de vivienda y el costo de uso del capital residencial de cada hogar representativo por percentil de ingreso. La hipótesis de ingreso permanente se considera como función de las características sociodemográficas y el grado de educación del jefe del hogar.

Por otro lado, López *et al.* (1998) en su investigación recogen modelos de determinación de los precios de la vivienda, para continuar con el tratamiento que recibe la inversión residencial en algunos modelos macro econométricos. Mientras tanto, con objetivos similares Xu & Zhang (2022) exploran las redes neuronales para pronósticos de índices de precios de viviendas residenciales de diez ciudades chinas importantes. Los resultados se pueden utilizar de forma independiente o combinados con pronósticos fundamentales para formar perspectivas de tendencias de precios de viviendas residenciales y llevar a cabo análisis de políticas.

El modelo econométrico desarrollado por Reyes Vintimilla (2015) permite afirmar que el incremento en el monto de la inversión residencial provoca, para el caso del cantón Cuenca, una reducción en la tasa de desempleo, por lo que concluye que el dinamismo de la industria de la construcción de viviendas ha generado efectos positivos en la zona. Para buscar alternativas que permitan fortalecer el sector de la economía nacional Buñay Gavidia & Sánchez Granda (2016) realiza el análisis de los factores que determinan la demanda residencial a partir del mercado habitacional.

Para evaluar la variación que se ha producido en la demanda del mercado residencial como resultado de las medidas anti contagio de COVID-19, Tajani *et al.* (2021) estructuran una metodología articulada en cuatro pasos basada en una técnica econométrica regresiva. El modelo se aplica en seis ciudades italianas metropolitanas y sus resultados permitieron determinar variaciones en las apreciaciones del mercado residencial y la relevancia que asumen los factores de propiedades de confort acústico y térmico interior, en comparación con la condición pre-COVID-19.

- **Modelos basados en Investigación de operaciones e Inteligencia artificial para el pronóstico de demanda de viviendas**

Un conjunto de investigaciones utiliza otras técnicas de modelado diferentes a la estadística, se resalta en este aspecto los modelos basados en Inteligencia artificial (IA). Colmenares Lacruz & Gil Ruiz (2010) combinan Funciones de Bases Radiales y Análisis Multivariantes para pronosticar el déficit de viviendas en el estado Mérida. A partir de la construcción de un indicador alternativo se evalúa el déficit habitacional. La información primaria se obtuvo de las Encuestas de Hogares por Muestreo. Las variables empleadas fueron el número de hogares, tenencia, hacinamiento, adecuación y condición de la vivienda.

Con el objetivo de evaluar el desempeño del pronóstico en diferentes técnicas de modelado de la demanda para la construcción residencial en Singapur Goh (1998) analiza: el enfoque univariado de Box Jenkins, la regresión logística múltiple y las redes neuronales artificiales. Identifican 7 variables a partir de las cuales diseñan la arquitectura del modelo ANN.

En la investigación presentada por Limsombunchai (2004) se comparan empíricamente el poder predictivo del modelo hedónico con un modelo de red neuronal artificial en el pronóstico del precio de vivienda. En este estudio el modelo con un coeficiente de regresión ( $R^2$ ) más alto y un error medio cuadrático (RMSE) más bajo se considera un modelo relativamente superior.

Para pronosticar concisamente la demanda residencial privada de Hong Kong Ng, Skitmore *et al.*, (2008) desarrollan y contrastan cuatro modelos. Estos comprenden un modelo de Análisis de Regresión Lineal (LRA), Modelo de Algoritmos Genéticos (GA), Modelo GA-LRA, donde se usa LRA para elegir las variables indicadoras; y modelo GA-LRA con tasa de mutación adaptativa (AMR) para reducir la posibilidad de óptimo local. Los resultados muestran que el modelo GA-LRA con AMR proporciona los pronósticos más fieles y en un mayor horizonte. No obstante, al decir de los autores todavía no está claro, cómo realizar la parametrización, el problema más apropiado para el uso del GA, qué controla su tasa de convergencia y cuáles

son precisamente los roles del cruce, la mutación, etc. en la búsqueda general en progreso.

Con el objetivo obtener un modelo integral adecuado para evaluar bienes raíces en muchas ciudades a la vez Yasnitsky et al. (2021) desarrollan una metodología y crean un modelo complejo con las propiedades de los modelos estáticos y dinámicos. El modelo se basa en una red neuronal entrenada donde se consideran tanto las características de construcción y operación, como las características geográficas y ambientales del lugar, junto con parámetros macroeconómicos cambiantes en el tiempo que describen el estado económico de una región específica, país, y el mundo. Debido a esto, el modelo sigue siendo relevante con los cambios de la situación económica internacional y tiene en cuenta las especificidades de las regiones

- **Modelos basados en la escasez de datos para el pronóstico de la demanda de viviendas**

Analizar una situación de manera cuantitativa conlleva a tomar decisiones a partir de los datos que se van a utilizar, donde la calidad de la información es un aspecto a tener en cuenta. En ocasiones, no se cuenta con información suficiente para aplicar modelos matemáticos convencionales, lo que ha obligado a buscar modelos alternativos que tengan en cuenta estas realidades. Surgen así los modelos difusos una alternativa al tratamiento de los datos (Medina Hurtado & Paniagua Gómez, 2008).

Entre los analistas que apoyan el uso de técnicas difusas para la solución de diferentes estudios de modelado en relación con la vivienda se encuentran Stumpf González & Torres Formoso (2006) quienes pronostican el precio de las viviendas. Para ello utilizan como variables los ingresos del propietario del hogar, la calidad del distrito donde se encuentra ubicada la vivienda y su cercanía a centros comerciales. En la investigación comparan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los modelos: lógica difusa, sistemas de inferencia neuro difuso adaptativo (ANFIS) y el análisis de regresión múltiple (MRA).

El estudio por su objetivo representa un referente teórico para la investigación, pues demuestra que la lógica difusa puede manejar la incertidumbre en el mercado inmobiliario y ofrecer mejores estimaciones que los métodos convencionales. Por el contrario, su objetivo difiere de el de la investigación lo que no hace posible reproducirlo para cumplir el objetivo.

Guan *et al.* (2008) pronostica el precio de compra de una vivienda a partir de un modelo ANFIS y con la utilización de múltiples variables relacionadas con las características de las viviendas. El estudio explora el uso de sistemas de inferencia difusa para evaluar los valores de las propiedades inmobiliarias y el uso de redes neuronales para crear y ajustar las reglas difusas utilizadas en el sistema. Los resultados se comparan con los obtenidos mediante un modelo de



regresión múltiple tradicional.

Por las características propias del modelo ANFIS propuesto por Guan *et al.* (2008) el trabajo demanda una base de datos grande, lo que unido a que su objetivo no coincide con el de la presente investigación, no lo convierte en factible.

Para estudiar la problemática del pronóstico y optimización de las incertidumbres del mercado de la vivienda Azadeh *et al.* (2012), presentan un algoritmo híbrido basado en regresión lineal difusa y mapa cognitivo difuso para hacer frente al problema de la previsión y la optimización de las fluctuaciones de precios del mercado de la vivienda. El estudio propuesto por Azadeh *et al.* (2012) no presenta el objetivo que se persigue, de ahí que no cumpla con los requisitos correspondientes con a la investigación.

Karaaslan & Özden, (2016) en su investigación para determinar las ventas de las casas en una ciudad utilizan un modelo gris con datos correspondientes a un período de seis años. El estudio no relaciona variables, sino que trabaja con una serie de tiempo existente sobre la demanda de viviendas, por lo que no resulta atractiva.

Con el objetivo de estimar la demanda de vivienda de Dubái en función de la correspondencia entre las transacciones de venta de vivienda e indicadores financieros Aydin & Hayat (2018) presentan una investigación en la cual modelizan los datos con el apoyo de ANFIS.

Para la predicción de las ventas de las viviendas Aydin & Hayat (2018) establecen un modelo de ANFIS para el cual utilizan las variables precio del petróleo, precio del oro y un índice de mercado. Pese a que el modelo relaciona variables macroeconómicas de la demanda y persigue los mismos objetivos de la investigación no es útil, pues se necesita para su diseño una base de datos amplia.

Entre los estudios que utilizan la lógica difusa como herramienta fundamental se encuentran la investigación realizada por Azcona (2014), quien desarrolla un modelo difuso para determinar el valor unitario de la edificación destinada a vivienda con fines catastrales. Las variables de entrada del modelo están relacionadas con las características de las viviendas. La investigación procura superar las deficiencias relacionadas con la información disponible del mercado inmobiliario que presentan los modelos de valoración tradicionales. El presente modelo a pesar de utilizar FIS no se adecua a las características de la investigación, pues persigue objetivos diferentes.

En resumen, los modelos de demanda de vivienda pueden distinguirse en elementos como el nivel de desagregación, variables explicativas y el número de ecuaciones estimadas. Se pueden

agrupar por los fines que persiguen en su utilización. Se valora la influencia que ejercen diferentes variables económicas en las demandas, se modelan teóricamente el comportamiento de los individuos enfrentados simultáneamente a las decisiones de movilidad residencial y elección de tenencia de vivienda y se establecen ecuaciones para la construcción de viviendas nuevas. Por lo que se puede concluir que:

- Los modelos econométricos son los más utilizados en estudios relacionados con la demanda de viviendas, su aplicación requiere de una muestra suficientemente amplia e informativa (Durán, 2004).
- Los modelos econométricos que estudian el comportamiento de la demanda de las viviendas presentan incertidumbre epistémica que puede estar dada por informaciones incompletas, imprecisa, no totalmente confiable (Stumpf González & Torres Formoso, 2006).
- Los modelos econométricos analizan un conjunto de variables que influyen la demanda de viviendas determinados por las condiciones socio económicas, políticas y sociales de los lugares estudiados
- Los ANFIS, aunque utilizan datos imprecisos requieren grandes volúmenes de datos por la necesidad de aprendizaje del modelo, de ahí que no sean factibles a utilizar en la investigación.
- Los modelos que estudian la incertidumbre encontrados en la revisión bibliográfica no se ajustan a las características del caso de estudio práctico de la investigación.

### **1.5. Modelos de planificación de las cadenas de suministro de la construcción**

En la literatura acerca de modelos para la toma de decisiones en CS de la construcción se encuentran varios autores con modelos conceptuales y marcos de trabajo. La investigación de Thunberg & Fredriksson (2018) presenta como objetivo estudiar los vínculos entre los problemas comunes relacionados con la CS en la construcción y demostrar cómo se pueden resolver a través de la planificación. Para ello, desarrollan un modelo conceptual que se verifica utilizando tres casos de estudio. El modelo evidencia cómo los problemas de la cadena de suministro que ocurren en el nivel de ejecución en el sitio se relacionan con los problemas que se originan en la falta de planificación en el nivel de la empresa antes de la construcción, lo que demuestra la importancia de la planificación en la resolución de los problemas de las CS.

La investigación desarrollada por Castiblanco Medina (2020) realiza un análisis cualitativo de contenido de las diferentes herramientas *Lean* aplicables a los sistemas productivos, y de la situación actual del *Lean Construction*. A partir del análisis se propone una guía de aplicación de las herramientas del *Lean Construction* en el sector de la construcción.

El trabajo propuesto por Shaikh *et al.* (2020) tiene como objetivo verificar empíricamente el papel de la colaboración (intercambio de información, toma de decisiones conjunta y distribución de riesgos y recompensas) e integración de la CS (integración de proveedores, integración interna e integración de clientes) con el rendimiento. Los hallazgos revelan que todos los enfoques de integración tienen efectos significativos. Demuestra que los miembros de la CS de la construcción pueden beneficiarse de la integración, pero dudan en compartir sus riesgos, recompensas y planificación a todas las partes interesadas.

Kamal *et al.* (2021) centran en el papel mediador de los materiales de construcción, el uso sostenible entre la integración de la cadena de suministro de la construcción y el desempeño de la industria de la construcción. El análisis se realizó a través del *Structural Equation Modeling* (SEM). Los resultados revelaron que el efecto de los componentes de la integración de la CS en el desempeño de la industria de la construcción fue estadísticamente significativo. Además, los resultados corroboran el papel de mediación del uso sostenible de los materiales de construcción.

El marco del sistema de servicio de gestión de la industria de la construcción donde se integran multiproceso y multiservicio colaborativo basado en *big data* propuesto por Yuan *et al.* (2019), se centra en el servicio de toma de decisiones inteligente de *big data* de la industria de la construcción y en la gestión integrada. Para ello, construyen una plataforma de soporte de servicio de decisión inteligente de *big data* para la industria de la construcción basada en la gestión integrada. También proporciona servicios innovadores, eficientes, en red y personalizados para diversas funciones en la industria de la construcción, como servicio orientado a dispositivos móviles para un ingeniero, servicio de decisión de selección de diseño para el diseñador, servicio de gestión colaborativa de la cadena de suministro para el proveedor y otros.

En la literatura académica relacionada con los modelos de CS de la construcción se han introducido diferentes modelos matemáticos. Kazaz *et al.* (2016) abordan el problema de compensación TCQ (tiempo, costo, calidad) a través de diferentes técnicas de optimización, cuya aplicación se centra especialmente en proyectos que permiten la utilización de gran variedad de materiales.

Adicionalmente, una revisión bibliográfica realizada por Augiseau & Barles (2017) en la que estudia los flujos e inventarios de materiales de construcción para los minerales no metálicos, encuentran diferentes propósitos para los modelos de optimización: pronosticar y comparar flujos de entrada y salida futuras, estudiar la influencia de varios parámetros en los flujos, estimar el inventario presente o futuro, así como su evolución.

Jiang *et al.* (2019) desarrollan un modelo de distribución de utilidades de una CS de construcción de dos escalones (contratista general y un subcontratista) para optimizar las emisiones de carbono y el costo. En el estudio se utilizan la teoría de juegos y el método de valor de Shapley. El estudio ilustra que las ganancias de la CS disminuyeron con el aumento del coeficiente de costo de reducción de emisiones de carbono.

Mediante el uso de un sistema experto Golpîra (2020) realiza una formulación de un modelo de programación lineal entera mixta para integrar la estrategia de inventario administrado por el proveedor en los problemas generales de diseño de red y ubicación de instalaciones de la CS de construcción de múltiples proyectos, múltiples recursos y múltiples proveedores a un costo mínimo. El estudio permite programar dinámicamente los recursos en términos de tiempo y entrega, así como de seleccionar proveedores apropiados y ubicaciones candidatas adecuadas restringidas solo a instalaciones autorizadas en una red capacitada. Los resultados muestran que existen diferentes distribuciones para los componentes de costos en respuesta a los tamaños de la red. Finalmente, la mayor frecuencia de reabastecimiento da como resultado un menor costo de inventario y brinda beneficios para ambos lados de la cadena.

A partir del pensamiento de descomposición-coordinación de la teoría de sistemas a gran escala y utilizando la teoría de programación multinivel, Chen *et al.* (2021) establecen un modelo de programación de dos niveles para la toma de decisiones de CS para encontrar una solución satisfactoria para cada socio en CS de la construcción. Este modelo tiene el mérito de prestar atención a la maximización de la ganancia o la minimización del costo de todos los socios ubicados en diferentes niveles de toma de decisiones en el proceso de construcción. Se proporciona el algoritmo de este modelo, que se combina con la programación de primer nivel que adopta el algoritmo de recocido simulado y la programación de segundo nivel que utiliza el algoritmo de búsqueda discreta. El método propuesto proporciona una nueva forma de mejorar la toma de decisiones colaborativa en CS de la construcción.

El documento presentado por Wen *et al.* (2021) construye un modelo de toma de decisiones de financiación y fijación de precios para la CS de la construcción bajo restricciones de capital. Utiliza la teoría de juegos de *Stackelberg* para analizar y obtener la mejor estrategia de financiación y fijación de precios para CS de la construcción bajo los modos de financiación interna y externa. El estudio encuentra que el modelo de financiamiento interno de la CS de la construcción es mejor que el financiamiento externo y puede permitir que la cadena de suministro de la construcción obtenga mayores ganancias.

Mohammadnazari & Ghannadpour (2021) en su investigación, diseñan una red de CS para la gestión de inventario utilizando no solo las instalaciones de almacenamiento del sitio del proyecto. El propósito es determinar las cantidades económicas de material suministrado por proveedores específicos. El modelo considera la incertidumbre de algunos parámetros (el costo de los materiales y la cantidad de material utilizada para realizar el proyecto) expresándolos como números borrosos.

Hoseini *et al.* (2021) en su estudio evalúan la cadena de suministro de la construcción utilizando un modelo matemático de programación lineal bi-objetivo. El modelo analiza también la sinergia entre la selección de proveedores y la planificación y programación de proyectos en la cadena de suministro ecológica propuesta. Además, para que los resultados sean más realistas, los niveles de capacidad de producción y los costos se consideran en un entorno incierto (probabilístico difuso) bajo tres condiciones económicas, es decir, pesimista, normal y optimista.

Los autores Yildiz & Ahi (2022) presentan un modelo híbrido de métricas estratégicas y operativas para apoyar a los gerentes en el proceso de toma de decisiones basado en el desempeño. Se proponen un enfoque integrado de cuatro métodos que son el Proceso de redes analíticas (ANP), la Técnica de preferencia de orden por similitud con la solución ideal (TOPSIS), el Laboratorio de prueba y evaluación de toma de decisiones (DEMATEL). Las métricas de rendimiento se toman de la última versión del modelo de referencia de operaciones de la cadena de suministro (SCOR) para la estandarización. El tiempo del ciclo de efectivo, el rendimiento del capital de trabajo y el cumplimiento perfecto de pedidos fueron las métricas de rendimiento más importantes.

La selección de fuentes de materiales de construcción es un tema importante en la gestión de la CS de construcción. Esto afecta no solo el costo de envío y el cronograma de un proyecto de construcción, sino también su impacto ambiental (Chen & Nguyen, 2019).

Con el objetivo de investigar la industria de materiales de construcción Liu & Lin (2021) estudian empresas representativas con inteligencia artificial aplicada a la gestión sostenible de la cadena de suministro. Con el método Delphi y el análisis envolvente de datos, los datos públicos de los informes estadísticos anuales de las empresas se utilizan para seleccionar los indicadores de desempeño de entradas y salidas. Los resultados de la investigación arrojan que los factores críticos en la gestión sostenible de la cadena de suministro aplicada con inteligencia artificial podrían descubrirse mediante un análisis de sensibilidad.

Una revisión de la literatura realizada por Jusoh & Kasim (2017) permite no solo concluir la existencia de un limitado número de investigaciones al respecto, sino clasificar los factores

influyentes, categorizados en los siguientes grupos: condición del sitio; planificación y manejo en el sitio; gestión; materiales; incumplimiento del proveedor y del fabricante; transporte; contractual; e interferencias gubernamentales.

Los materiales que más se estudian son aquellos con mayor masa, "a granel de materiales", en la terminología de Lichtensteiger & Baccini (2008). Estos incluyen especialmente minerales no metálicos: agregados (o grava), arena y concreto. Otras sustancias más raras llamadas "materiales traza" en esta misma terminología que incluyen metales no ferrosos y cobre en particular.

Para cuantificar los materiales de construcción, las existencias y flujos componentes a ser utilizados por responsables políticos, planificadores urbanos y diseñadores a favor del consumo responsable de recursos, Arora *et al.* (2019) realizan un análisis de existencias de abajo hacia arriba, en el que se estima tanto el material como el inventario de componentes para la construcción de viviendas públicas en la ciudad-estado de Singapur y las entradas y salidas anuales asociadas.

Como parte del desarrollo de un modelo efectivo de entrega de materiales de construcción a nivel de tarea a corto plazo Mishra *et al.* (2018) proponen una solución basada en el seguimiento para generar transparencia en el inventario de la CS a corto plazo, y un modelo de entrega de material proactivo para los materiales para un proyecto específico.

Lu *et al.* (2018) investigan la integración de la logística de suministro y los problemas de logística del sitio y desarrolla un marco para modelar las decisiones de reposición y asignación de inventario en forma conjunta. Sobre la base de la información de características de la actividad se proponen cinco políticas de asignación para respaldar el proceso integrado de gestión de inventario: basado en el cronograma, basado en el costo, basado en la demanda, basado en el cronograma y el costo y políticas basadas en la demanda de horarios. Mientras tanto, se utiliza un método de optimización de simulación basado en un GA para resolver el modelo de inventario integrado y encontrar el nivel de inventario óptimo bajo una política de asignación determinada. Sobre la base de un gran conjunto de redes de proyectos ficticios con diferentes diferencias de ruta se lleva a cabo un análisis computacional para realizar comparaciones detalladas entre políticas.

Chen & Nguyen (2019) presentan una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que integra el modelado de información de construcción y el servicio de mapas web para la selección de fuentes de materiales de construcción sostenibles. La herramienta de soporte permite minimizar el impacto ambiental, el costo final y el tiempo de entrega del material, para la selección de

materiales de construcción sostenibles y el cálculo de los créditos relacionados con la ubicación en la certificación de edificios ecológicos.

Otros autores como Jaśkowski *et al.* (2018) para facilitar la planificación de los materiales de construcción proponen un modelo de programación lineal difusa que permite al usuario determinar cantidades económicas de pedidos y seleccionar canales de suministro de un material en particular o su sustituto. El modelo tiene dentro de sus limitaciones el hecho de que el único parámetro que se admite como incierto es el precio del material, y se expresa como un número difuso. Se ignoran incertidumbres como: las capacidades de los proveedores, la demanda entre otras que se consideran deterministas.

Los modelos estudiados y revisados en la literatura para la planificación en CS de la construcción permiten afirmar:

- Los problemas en la planificación de la CS afectan de manera importante los desempeños de los proyectos de construcción.
- Se corrobora que la colaboración en las CS de la construcción beneficia a los diferentes actores de la cadena y tiene efectos significativos los resultados.
- Los modelos de optimización encontrados en la literatura para la planificación de la CS de materiales de la construcción son escasos, y se dedican al diseño de las redes logísticas, análisis de los flujos, ubicación de los inventarios entre otros persiguiendo objetivos esencialmente económicos y medioambientales.
- Varios modelos de planificación del CS del sector de la construcción presentan múltiples objetivos e incertidumbre esencialmente en el precio.
- Los modelos encontrados en ningún caso responden a las condiciones (objetivos, actores, alcance y fuentes de incertidumbre) de la planificación de la CS de materiales para la construcción de viviendas en Cienfuegos.

## **1.6. Conclusiones**

1. La naturaleza fragmentada y compleja de la industria de la construcción interviene en el rendimiento y características de las CS, lo que dificulta el éxito de las estrategias para la colaboración e integración.
2. La construcción de viviendas en Cuba presenta dificultades entre las que destacan la burocracia compleja en la concepción de los proyectos de construcción, escasez de recursos materiales y financieros, así como reservas en el aprovechamiento de las capacidades instaladas por problemas de planificación y control.

3. Los estudios revisados en la literatura nacional referidos a la integración y colaboración de las CS, no refieren al sector de la construcción y presentan limitaciones en cuanto al pronóstico de la demanda y los modelos de planificación, por lo que no satisfacen los requerimientos detectados en el caso práctico objeto de estudio.
4. La incertidumbre en las CS incide en su desempeño, impacta en los procesos de toma de decisiones, su impacto es imposible de evitar del todo, en este sentido la literatura reconoce la colaboración como una estrategia efectiva para reducirla.
5. La literatura consultada resalta que la matemática difusa utiliza el conocimiento de expertos de forma intuitiva y robusta, por lo que se considera una metodología apropiada para apoyar la toma de decisiones de las CS bajo condiciones de incertidumbre epistémica.
6. La literatura reconoce la influencia de múltiples variables en el comportamiento de la demanda de viviendas, sin embargo no se encuentran métodos para su selección, ni referencias de los factores que intervienen en el caso de Cuba.
7. Los modelos de pronóstico de demanda de vivienda revisados de la literatura no se ajustan a las características del caso de estudio práctico de la investigación, debido a la presencia de múltiples variables con datos imprecisos y escasos, así como varios niveles de decisión (provincial y municipal).
8. Los modelos encontrados en la revisión de la bibliografía no garantizan la planificación de la CS de materiales para la construcción de viviendas en Cienfuegos y el cumplimiento de los objetivos del PLPVMC.



## ***CAPÍTULO 2***

***Modelos para la planeación colaborativa de la  
cadena de suministro de materiales de  
construcción de viviendas***

---

## Capítulo 2 . Modelos para la planeación colaborativa de la cadena de suministro de materiales de construcción de viviendas

El análisis de la revisión bibliográfica sobre el estado del conocimiento acerca de la integración y colaboración de las CS, la planeación colaborativa y la demanda de viviendas permite establecer los elementos conceptuales, contextuales y metodológicos que sirven de base para la formulación del marco de trabajo que se presenta en el capítulo. Para el cumplimiento del presente capítulo se responde a los objetivos siguientes:

- Diseñar un modelo para la determinación del pronóstico de nuevas viviendas y acciones constructivas.
- Diseñar un modelo para la planeación de la CS de los materiales de construcción de viviendas en función de la demanda.
- Construir un marco de trabajo para la integración del modelo de pronóstico de nuevas viviendas y acciones constructivas y el modelo para la planeación de la CS de los materiales de construcción.

El marco de trabajo para la integración de los modelos diseñado se encuentra contextualizado en el entorno institucional cubano al que se orienta su solución como sustento metodológico para la gestión de los flujos a través del proceso de toma de decisiones. Este modelo se sustenta conceptualmente en los principios fundamentales siguientes:

- **Pertinencia política, económica y social**, como garantía de su coherencia con el nuevo modelo económico y social cubano orientado a dar mejores soluciones en la gestión de los gobiernos en el nivel provincial y municipal para lograr un desarrollo económico y social a escala local.
- **Flexibilidad**, en referencia a su capacidad de adaptación a los cambios del entorno y a las particularidades de los PLPVMC de las provincias del país.
- **Integración**, referido a que contempla todos los actores involucrados en la gestión de la CS del PLPVMC, desde quienes dirigen (gobiernos locales) y la ejecutan (empresas de subordinación local, nacional), en una combinación de herramientas que permiten la colaboración y toma de decisiones con el objetivo de desarrollar acciones que impacten en el desarrollo del PLPVMC.

- **Subsidiariedad**, asociado a su subordinación a políticas, presupuestos, objetivos, procederes y reglamentos vigentes (subordinación estructural municipal, provincial y nacional).

## **2.1. Descripción del marco de trabajo para el diseño del modelo de pronóstico**

La investigación describe el proceso de diseño del modelo de pronóstico de construcción de viviendas, tanto metodológica, como los resultados y decisiones tomadas que finaliza en la obtención de una herramienta flexible, y aplicable al contexto cubano de la CS de materiales de la construcción.

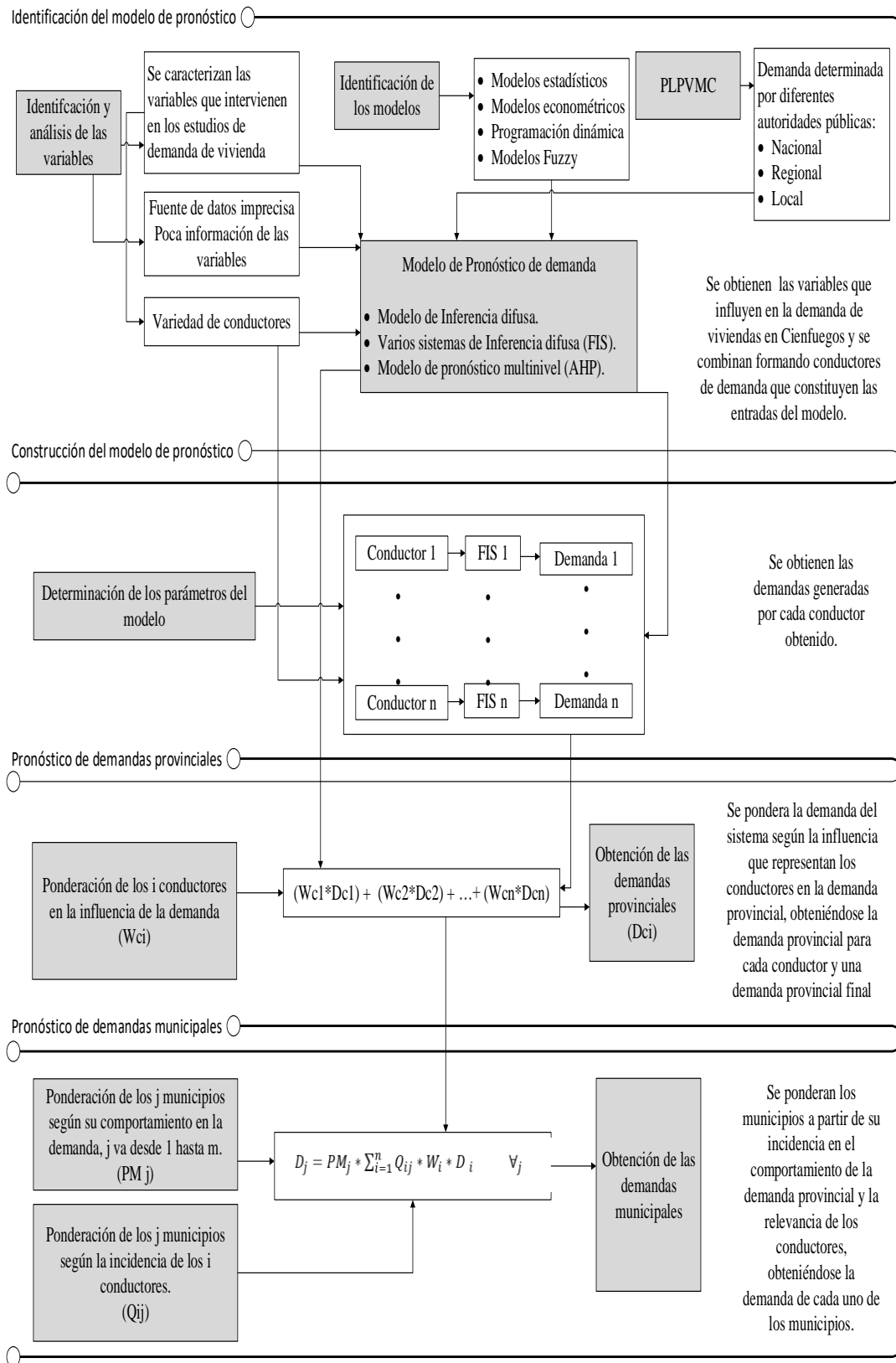
El marco de trabajo propuesto para la determinación del modelo de pronóstico de nuevas viviendas y acciones constructivas consta de cuatro fases (ver figura 2.1). En una primera etapa, se identifican y caracterizan las variables relacionadas con las necesidades y el financiamiento, en función de establecer conductores de demanda de construcción y reparación de viviendas. Seguido, se construye un modelo de inferencia difusa para cada conductor, donde se obtiene un pronóstico de la demanda. En la tercera fase, estos valores se ponderan según la influencia que ejerce cada conductor y se agregan para obtener la demanda provincial. Como cuarta fase se obtienen las demandas municipales y la relevancia de los conductores a este nivel. El presente epígrafe describe detalladamente este proceso y las herramientas utilizadas.

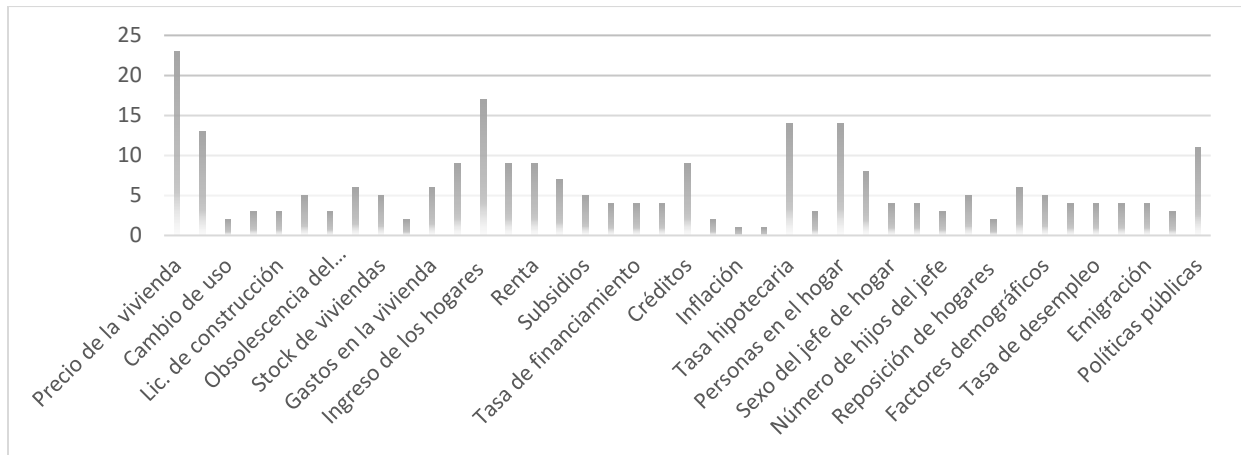
### **2.1.1. Caracterización y determinación de los factores que inciden en la construcción de viviendas en la provincia de Cienfuegos**

La construcción del modelo de pronóstico necesita de la identificación de las variables socioeconómicas que influyen en la demanda de construcción y reparación de viviendas. Para ello, el grupo de investigación realiza una revisión bibliográfica de los factores que se manejan como influyentes en la demanda de vivienda en la literatura (Martínez Curbelo *et al.* 2021). Como resultado se estudian un total de 58 artículos (anexo 1). El análisis arroja la obtención de 41 variables influyentes, cuyas frecuencias de utilización en los estudios se resumen en el gráfico 2.1.

El listado de variables, junto con su frecuencia de utilización constituye el punto de partida para la guía y desarrollo de un modelo capaz de diagnosticar la demanda de construcción y reparación de nuevas viviendas. Esta revisión debe ser actualizada al menos cada cinco años, y para ello es posible la creación de un observatorio por parte del PLPVMC o la contratación del servicio a un tercero.

**Figura 2.1. Marco de trabajo para el pronóstico colaborativo de la demanda de viviendas.**





**Gráfico 2.1.** Frecuencias de utilización de las variables en la literatura encontrada.

### 2.1.2. Formación del equipo de trabajo

En este paso se procede a la selección de los grupos de trabajo que intervienen en la investigación. El jefe del equipo (director del PLPVMC) realiza la asignación de tareas a cada miembro en función de sus competencias, independencia y el uso eficaz de los recursos. Un grupo de trabajo “grupo de trabajo provincial” se compone por los representantes del PLPVMC a nivel provincial, mientras que cada municipio de la provincia establece un grupo de trabajo con sus miembros. Los miembros del equipo de trabajo deben ser capacitados en temas como:

- Situación de la vivienda en la provincia objeto de estudio.
- Factores que influyen en la demanda de vivienda.
- Comportamiento de la demanda ante posibles factores incidentes.

La asignación de responsabilidades de cada actor y la clasificación de sus funciones se muestra en el anexo 4. Su experticia será comprobada con la aplicación del método de validación de expertos (Cortés Cortés & Iglesias León, 2005).

Los grupos de trabajo definidos realizan tareas asociadas a la toma de decisiones de manera colaborativa. Intervienen en varias fases del diseño del modelo de pronóstico, en la implementación del modelo de pronóstico, en la implementación del modelo de planeación y con los resultados de los modelos participan en la gestión de la CS.

### 2.1.3. Determinación de las variables que influyen en la demanda de viviendas

El grupo de trabajo provincial analiza el conjunto de variables y factores descrito en la literatura. El objetivo de este paso es seleccionar aquellos que se ajustan a las características económicas, políticas y sociales del país, específicamente de la provincia de Cienfuegos y modificar en caso

de ser necesario aquellos que a su criterio influyen y no se encuentran listados. Este proceso permite obtener una lista tentativa de 24 variables, las que se muestran a continuación:

- Crecimiento poblacional
- Movimiento migratorio hacia fuera de la provincia/municipio
- Movimiento migratorio hacia dentro de la provincia/municipio
- Concentración de personas en determinado territorio
- Costo de comprar una vivienda
- Costo de construir una vivienda
- Ingresos en el hogar
- Ingresos por concepto de salario
- Ingresos por concepto de estimulación
- Ingresos por remesas
- Otras fuentes de ingreso que no se mencionan (incluidas no oficiales)
- Facilidades de créditos que ofrecen los bancos para acciones constructivas
- Tendencia al crecimiento del turismo
- Políticas públicas que estimulan las acciones constructivas en viviendas, tales como: subsidios y créditos
- Estados constructivos del fondo habitacional
- Necesidad de viviendas
- Efecto de desastres naturales
- Cantidad de personas que cumplen misiones en el extranjero
- Formas de trabajo no estatal (demanda y genera construcciones)
- Disponibilidad de materiales de construcción
- Facilidades de compra (formal e informal)
- Disponibilidad de fuerza de trabajo
- Existencia de soluciones constructivas alternativas
- Necesidad de mejorar el estado constructivo del fondo habitacional

La reclasificación realizada por los expertos en la primera ronda de trabajo lleva a eliminar a priori un conjunto de variables y reformular otras en función de las condiciones cubanas, fundamentalmente las que tienen que ver con determinadas características demográficas, de la composición de la familia, elementos de endeudamiento como variación en las tasas de interés, crisis hipotecarias y las relacionadas con el stock de viviendas. Este proceso se debe repetir siempre que la revisión de la literatura o las condiciones cubanas y provinciales arrojen resultados diferentes.

#### **2.1.4. Reducción del número de variables y reclasificación**

Según Wu *et al.* (2020) en problemas de tomas de decisión con necesidad de calificar la pertinencia de variables y su influencia en otras, deben ser evaluados cuatro criterios para que las variables pre seleccionadas puedan ser consideradas en el modelo propuesto. Estos criterios resultan: i) indicador de influencia ( $I^I$ ), establece la correspondencia existente de las variables con el objetivo de pronosticar la demanda; ii) indicador de confiabilidad ( $I^C$ ), evalúa la posibilidad de contar con información confiable; iii) indicador de frecuencia ( $I^F$ ), analiza la posibilidad de

contar con información frecuente para su análisis y iv) indicador de relación mutua ( $I^M$ ), establece la relación mutua de los factores.

Los aspectos que involucran la pertinencia de las variables no presentan la misma importancia, de ahí la necesidad de ponderarlas y afectar cada una por ese valor. El cálculo del índice de pertinencia de las variables queda establecido en la ecuación 2 que se muestra a continuación:

$$P = (W^R I^I) + (W^C I^C) + (W^F I^F) + (W^M I^M) \quad (2)$$

Donde:

P: índice de pertinencia de la variable

$W^R$ : peso otorgado al criterio de relación, otorgado por el equipo de trabajo

$W^C$ : peso otorgado al criterio de confiabilidad, otorgado por el equipo de trabajo

$W^F$ : peso otorgado al criterio de frecuencia, otorgado por el equipo de trabajo

$W^M$ : peso otorgado al criterio de relación mutua otorgado, por el equipo de trabajo

Para el cálculo de la pertinencia de la variable se siguen los pasos siguientes:

- Evaluación para la ponderación: se le pide al grupo de trabajo provincial sus criterios. La información proporcionada por experto se introduce en AHP Online System (Goepel, 2018) hasta alcanzar una relación de consistencia menor del 10 % que indique una idea clara del problema a resolver por parte de los decisores (Saaty, 1980), cuando no se alcanza la consistencia se realiza otra ronda de evaluaciones donde se vuelve a explicar el objetivo de la técnica empleada, el alcance de la investigación y se aclaran dudas que puedan quedar.
- Evaluación de los criterios ( $I^I, I^C, I^F$ ): el grupo de trabajo provincial evalúa los indicadores en una escala de Likert del uno al cinco el listado de variables (donde mientras mayor es el valor, mejor es evaluada la pertinencia de la variable).
- Conformación de la matriz de relaciones: la matriz de relaciones se realiza con el criterio del grupo de trabajo provincial. Los expertos emiten su valoración sobre el grado de relación que se presenta entre dos variables y evalúan en una escala Likert del uno al cinco (donde mientras mayor es el valor mayor relación existente entre las variables evaluadas).
- Evaluación del criterio  $I^M$ : el resultado de la matriz se procesa a partir de Borgatti *et al.* (2002) y se suman los valores de centralidad obtenidos para cada variable en ambos sentidos.
- Normalización de los indicadores: en este paso se suman las puntuaciones totales obtenidas para cada uno de los indicadores de la pertinencia, luego a cada puntuación de las variables se le divide el valor de suma obtenida.

El resultado de la ponderación de los indicadores (tabla 2.1) se encuentra en correspondencia con lo encontrado en la revisión literaria (Martínez Curbelo *et al.*, 2022). En las respuestas de los expertos con una relación de consistencia del 7.5 % se le otorgan pesos bajos a la calidad de información debido a la existencia de métodos matemáticos que se utilizan para suplir la carencia de una información abundante y confiable. Por otra parte, se evidencia la necesidad de que las variables a utilizar tengan una relación estrecha con los objetivos, de ahí la alta puntuación que obtienen el  $I^M$  y el  $I^I$ .

**Tabla 2.1.** Pesos de los criterios de pertinencia.

CRITERIOS	PESO (W)	ORDEN
$I^I$	23.3 %	2
$I^C$	6.1 %	4
$I^F$	8.3 %	3
$I^M$	62.3 %	1

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

Otorgados los pesos de cada criterio, se evalúan los indicadores. La primera evaluación corresponde al indicador  $I^M$  (tabla 1 anexo 5), el análisis sobre la relación mutua de los factores revela tres grupos, en función de los grados de centralidad resultante (tabla 2 del anexo 5). Representado con el color rojo en la figura 2.2 se encuentran las variables cuya centralidad se encuentra por encima de 100. Estas variables presentan relaciones en ambas direcciones y refleja la interdependencia de ellas. El segundo grupo de variables, identificado con el gris es para valores entre 90 y 80, mientras que los valores de centralidad más bajos aparecen con el color negro. Las variables ubicadas en el primer grupo a criterio del equipo de trabajo, presentan mayores posibilidades de aparecer como variables influyentes en la demanda de construcción de viviendas en la provincia de Cienfuegos.

Para  $I^I$  se obtiene (ver tabla 2 del anexo 5) que las variables con menos influencia presentan en la demanda son la existencia de soluciones constructivas alternativas, las formas de trabajo no estatal surgidas, la disponibilidad de fuerza de trabajo para labores constructivas y los contratos de trabajo en el extranjero de la población. Los valores más altos se encuentran principalmente en el crecimiento poblacional, los costos de comprar y construir una vivienda, en las variables que representan los ingresos de la población y las relacionadas con el estado y la necesidad de las viviendas. El  $I^C$  revela (ver tabla 2, anexo 5) que solo en siete de las 24 variables la información que se puede obtener es confiable, mientras que en el  $I^F$  solo cuatro encuentran evaluaciones favorables.



A partir del resultado del cálculo del índice de pertinencia (ver tabla 3 del anexo 5) se reducen las variables donde quedan con valores superior a 0.2 las siguientes:

- crecimiento poblacional
- ingreso en el hogar
- tendencia al crecimiento del turismo
- efectos de los desastres naturales
- necesidad de viviendas
- facilidades que ofrecen los bancos para créditos
- necesidad de mejorar el fondo habitacional
- políticas públicas que estimulan las acciones constructivas
- estado constructivo del fondo habitacional

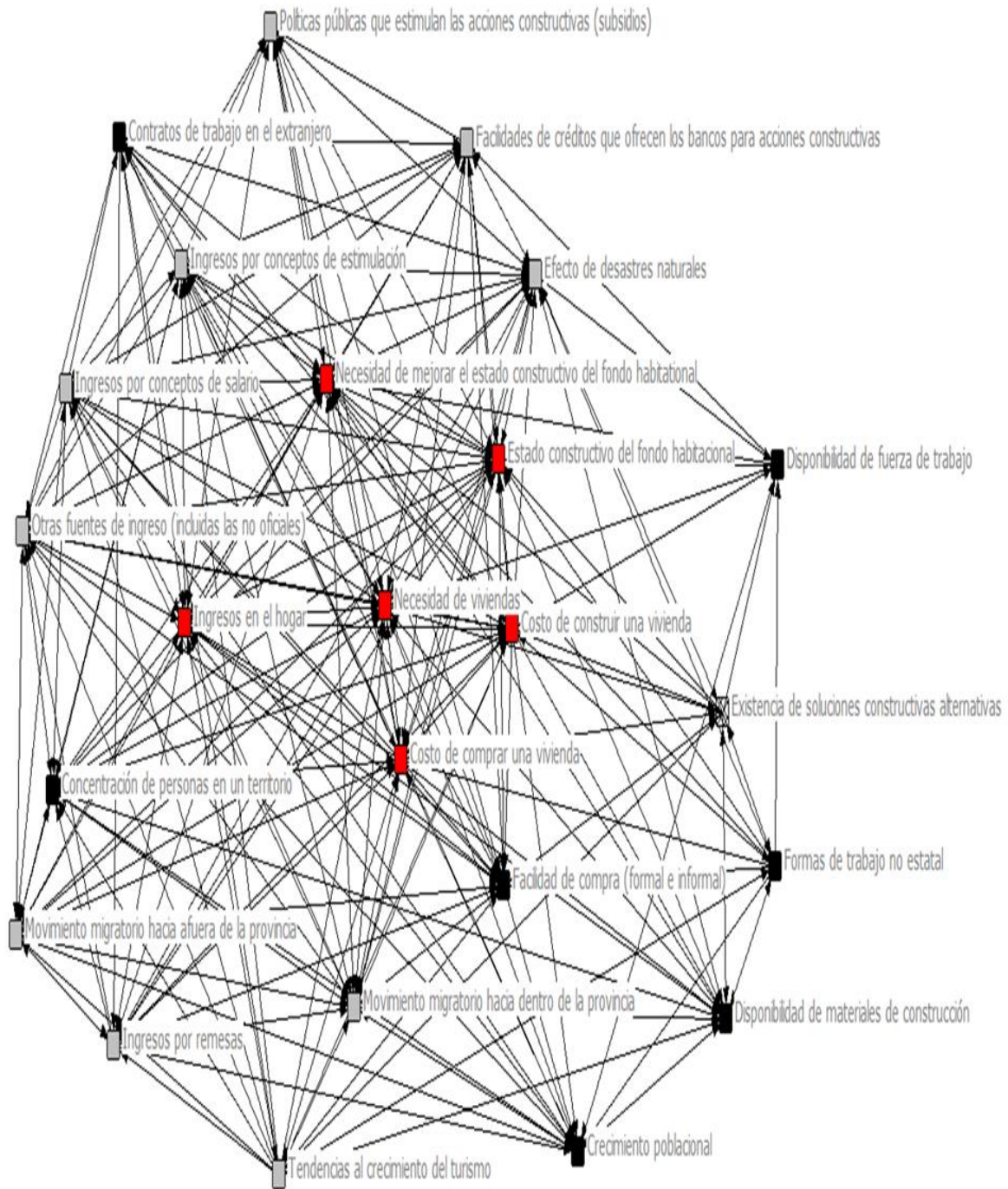
Un análisis de las características de las variables seleccionadas (tabla 2 y 3 del anexo 5) evidencia que todas presentan una fuerte relación con la demanda, mientras que de nueve variables solo en tres se cuenta con la información necesaria, lo que permite determinar que no se cuenta con información confiable y frecuente para todas las variables.

Finalmente, se reducen variables según su naturaleza (tabla 2.2 ). A los ingresos en el hogar se le denomina ingresos y representa la suma del salario medio, estimulaciones, ingresos por remesas y el de los declarados en la Oficina Nacional de Administración Tributaria (ONAT) de la provincia de Cienfuegos por los cuentapropistas, se contemplan también en estas variables los préstamos a crédito del sistema bancario y los subsidios dirigidos a la construcción de viviendas. La restantes permanecen igual.

**Tabla 2.2.** Resumen de las variables resultantes.

Nombre de la variable	Código	Concepto
Crecimiento poblacional	CP	Relación existente entre el conteo demográfico de los habitantes con respecto al año anterior
Ingresos	I	Incluye todas las fuentes verificables de entrada de ingresos dividido la cantidad de la población de la provincia
Crecimiento del turismo	CT	Espacios para el arrendamiento de habitaciones para el turismo.
Estado constructivo del fondo habitacional	FH	Es la valoración cuantitativa del estado de las viviendas de la provincia, esta clasificación se por los elementos constructivos
Viviendas afectadas por desastres naturales	DN	Es la cantidad de viviendas dañadas luego de eventos naturales de envergadura
Acciones constructivas	AC	Es la cantidad de proyectos de construcción para la remodelación, revitalización, modificación o reparaciones en una vivienda
Construcción de nuevas viviendas	NV	Es la cantidad de proyectos de nuevas viviendas

**Figura 2.2.** Representación gráfica de las relaciones mutuas entre las variables.



**Fuente:** Elaboración propia a partir del análisis de redes sociales, *software UCINET (Borgatti et al., 2002)*

### 2.1.5. Características de las variables

En este epígrafe se caracterizan las variables seleccionadas a partir de sus valores mostrados en la tabla 2.3. La información obtenida revela aleatoriedad y la falta de acceso a datos históricos suficientes para la mayoría de las variables. Otro punto interesante en el conjunto de datos es la dispersión en las fuentes primarias de información, valores como el crecimiento poblacional y los ingresos por salario son obtenidos a partir de datos suministrados por la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI), lo que a su vez se recibe de diferentes entidades, mientras que los restantes son facilitados por el Banco Popular de Ahorro (BPA), Banco de Crédito y Comercio (BANDEC), Dirección Provincial del Ministerios del Trabajo, Vivienda provincial y documentaciones emitidas por el PLPVMC entre otros.

La variable Ingreso presenta sus mayores inciertos en el caso de los subsidios y créditos para acciones constructivas donde se cuenta con la información de todos los años, pero la incertidumbre de sus valores radica en que sus montos no siempre son utilizados para tales fines. Los valores de la ONAT presentan deficiencias ante la presencia de sub declaraciones por parte de los contribuyentes. Los valores de las remesas que entran al país no fueron aportadas por el banco, de ahí que los valores utilizados son los estimados por (Morales Banco, 2020).

Mientras tanto, en otras variables también se evidencia la falta de valores precisos. Existen viviendas que rentan para el turismo sin tener el permiso establecido para ello y, por último, en relación con las variables relacionadas con la demanda (NV y AC), muchas viviendas no presentan la licencia de construcción (documento utilizado para contabilizar).

**Tabla 2.3.** Resultados de la recopilación de datos de las variables.

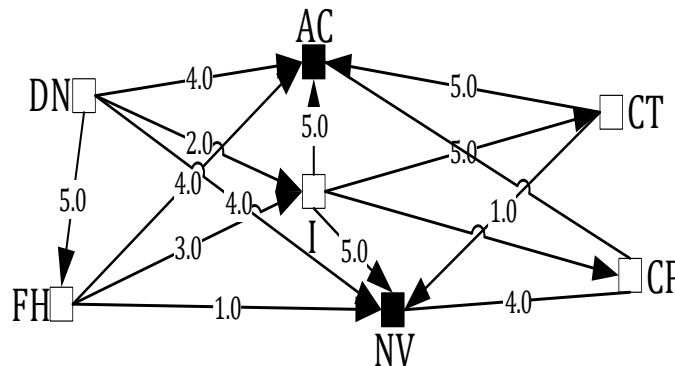
AÑOS	VARIABLES						
	CP (habitantes)	CT (viviendas)	FH (viviendas)	DN (viviendas)	I (CUP/año* habitantes)	NV (viviendas)	AC (viviendas)
2006	-2342			0	4668.00		
2007	149			0	4930.75		
2008	539			3934	5040.00		
2009	1301			0	5088.00		
2010	952	380		0	5492.40		
2011	1166			0	5740.44		
2012	2562			75	20471.75		
2013	1467	-37	27164	0	22136.67	584	5336
2014	1467	598	31922	0	34289.72	796	1724
2015	-53	109	31658	0	41234.32	649	2543
2016	1214	402	30072	0	39498.17	711	3014
2017	-559	158	27164	2173	42970.47	2200	7056
2018	-559	60	28750	543	32553.57	735	3693
2019	-559	-282	27428	0	42970.47	719	2257
2020	-813	-282	27164	136	44706.62	953	2534
2021	-813	-135	27164	0	53387.37	1064	3726

A modo de resumen, se puede decir que solo tres variables presentan la información completa. Además, se observa una tendencia a la existencia de incertidumbre tanto debido a la aleatoriedad de los parámetros del modelo (Amin *et al.*, 2017; Langroodi & Amiri, 2016) como incertidumbre epistémica (falta de información) (Alamdar *et al.*, 2018; Tosarkani & Amin, 2018; Wu *et al.*, 2020). Lo anterior justifica la necesidad de utilizar modelos matemáticos ligados a conceptos de incertidumbres resultados de la deficiencia en la información (Azcona, 2014) y de involucrar la experiencia de los expertos implicados con el tema en estudio.

### 2.1.6. Relación entre las variables que intervienen en la demanda de construcción y reparación de viviendas en las provincias

Con las variables seleccionadas en el paso anterior se utiliza el análisis de redes para visualizar las relaciones entre las variables resultantes (figura 2.3). Se eliminan del grafo de la figura 2.2 aquellas que fallaron en el análisis de pertinencia. La variable financiera I está formada por la combinación de los diversos ingresos y mantiene las relaciones de los ingresos en el hogar representado en la figura 2.2. En el gráfico se observa que NV y AC son variables dependientes. CP, FH, DN y CT, son definidas como variables que reflejan necesidades que unidas a los ingresos I generan la demanda. La intensidad de las relaciones entre las variables se aprecia en la figura 2.3.

**Figura 2.3.** Representación de las relaciones entre las variables y su intensidad.



Con el objetivo de observar la relación que presenta la variable ingreso con demanda y de las variables de necesidad de forma independiente se utiliza del programa UNICET (Everett *et al.*, 2005) el módulo *Ego Networks*. Este enfoque revela que no todas tienen relaciones entre sí y permite determinar los grupos que pueden conformar modelos independientes para el pronóstico de la demanda.

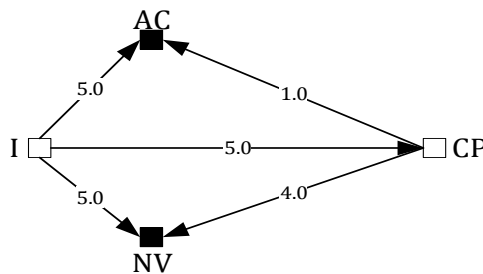
En la figura 2.4 se muestra el análisis de las relaciones existentes entre la variable CP y el resto. Se observa que el crecimiento poblacional como necesidad se relaciona con la fuente de financiamiento. Además, se evidencia que el crecimiento poblacional presenta un mayor impacto en la demanda de nuevas viviendas que en la realización de acciones constructivas.

Un análisis similar se puede realizar con las variables CT, FH y DN como se muestran en la figura 2.5, el crecimiento para el turismo tiene mayor impacto en las acciones constructivas de reparación que en la construcción de viviendas nuevas.

Es importante considerar la aparición de hechos extraordinarios como los desastres naturales, fundamentalmente ocasionados por tormentas tropicales y huracanes, que generan un impacto importante en la construcción de nuevas viviendas y la realización de acciones constructivas de mantenimiento. El efecto de los desastres naturales a diferencia del resto de las variables que describen las necesidades, está estrechamente vinculado al estado del fondo habitacional en sus dos aspectos, tanto en los elementos de fabricación como a la calidad del estado de la vivienda.

En estas figuras se refleja la necesidad de valorar cuatro modelos que intervienen en el estímulo de la demanda, los cuales se llamaran conductores de demanda. Un conductor de demanda es la combinación de variables de necesidad y financiamiento que pueden intervenir en la creación de la demanda. Esto significa evaluar cuatro modelos de pronóstico diferentes, pues estos conductores estimulan de manera independiente la demanda. Este hecho, determina que es importante estudiar el nivel de influencia que tienen los conductores en cada región, dado que resulta presumible que dicha influencia difiera de localidad en localidad.

**Figura 2.4.** Relaciones existentes entre la variable Crecimiento Poblacional y el resto.



En estas figuras se refleja la necesidad de valorar cuatro modelos que intervienen en el estímulo de la demanda, los cuales se llamaran conductores de demanda. Un conductor de demanda es la combinación de variables de necesidad y financiamiento que pueden intervenir en la creación de la demanda. Esto significa evaluar cuatro modelos de pronóstico diferentes, pues estos conductores estimulan de manera independiente la demanda. Este hecho, determina que es

importante estudiar el nivel de influencia que tienen los conductores en cada región, dado que resulta presumible que dicha influencia difiera de localidad en localidad.

Para tratar la incertidumbre epistémica presente en las variables descritas en el epígrafe anterior se recomienda la utilización de conjuntos difusos y la lógica difusa como herramientas matemáticas poderosas para modelar sistemas industriales, humanos y naturales inciertos. Los FIS permiten traducir las experiencias humanas para contrarrestar el efecto que produce la ausencia de datos (Feitó Cespón, 2015) y realizar inferencias en variables difusas dependientes a partir del conocimiento sobre variables difusas independientes. Es por ello que, para modelar el comportamiento de los conductores de la demanda con el fin de obtener el pronóstico de nuevas viviendas y acciones constructivas se construyen FIS como resultado de la combinación de las variables de necesidad con la variable ingreso (Martínez Curbelo *et al.*, 2022).

## **2.2. Determinación de los FIS para modelar el pronóstico de la demanda de construcción de viviendas y acciones constructivas**

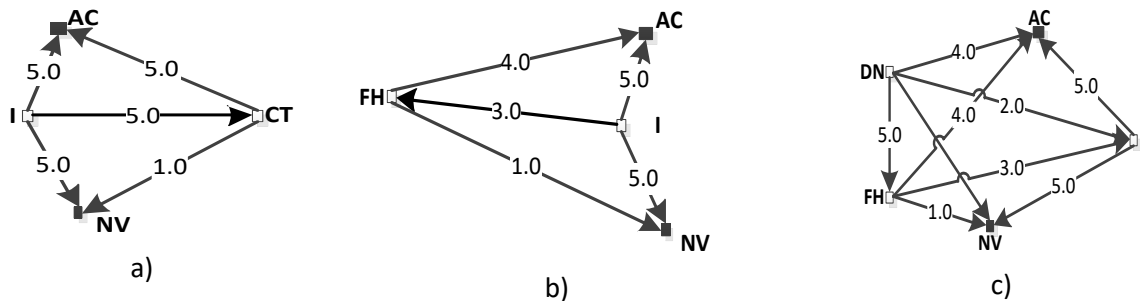
En la presente investigación, se modela el comportamiento de la demanda de viviendas a partir del diseño de cuatro FIS que, con el conocimiento de los expertos explican los cambios que provocan los conductores de la demanda en las variables que se desean estudiar. Estos sistemas contienen dos tipos importantes de información y su selección correcta constituye un paso crítico en el proceso de diseño del sistema, lo que pudiera afectar dramáticamente el desempeño del mismo. Estas son:

- i. Una base de datos que define el número, etiquetas y tipos de funciones de membresía, que el conjunto borroso utiliza como valores de cada sistema de variables lingüísticas. Esta contiene dos tipos de variables: de entrada y de salida. Para cada una de las variables se define un conjunto borroso, donde los valores que puede tomar una variable constituyen su universo del discurso.
- ii. Una base de reglas lógicas, las cuales esencialmente convierten los valores de entrada en valores de salida, por lo que refleja la política de toma de decisiones del sistema. La estrategia de control se encuentra almacenada en la base de reglas, las cuales incluyen ponderaciones y combinaciones de los conjuntos difusos.

Los cuatro FIS que conforman el sistema del modelo del caso de estudio (ver figura 2.5) quedan determinados por los conductores de la demanda previamente definidos en la sección 2.1.6.

**Figura 2.5.** Relación entre las variables Crecimiento del turismo, Fondo habitacional y Desastres naturales con el resto.

a) Crecimiento del turismo, b) Fondo habitacional y c) Desastres naturales



A continuación, se propone modelar combinaciones de las variables de ingreso y necesidades como variables de entrada, para así obtener inferencias sobre la demanda de construcción de viviendas. Como variables lingüísticas de entrada se encuentran el crecimiento poblacional  $\widetilde{CP}$ , crecimiento del turismo  $\widetilde{CT}$ , ingresos  $\widetilde{I}$ , efectos de los desastres naturales  $\widetilde{DN}$  y estado del fondo habitacional  $\widetilde{FH}$  identificadas en la sección 2.1.3 (tabla 2.2). De igual forma, la construcción de nuevas viviendas  $\widetilde{NV}$  y la realización de acciones constructivas  $\widetilde{AC}$ , se definen como variables lingüísticas de salida de los sistemas de inferencia difusa mostrados en la figura 2.6.

El proceso de parametrización consiste en la transformación de datos medidos a un valor lingüístico en el lenguaje de la lógica difusa con utilización de funciones de membresía de variables lingüísticas para calcular el grado de pertenencia (Janarthanan *et al.*, 2020).

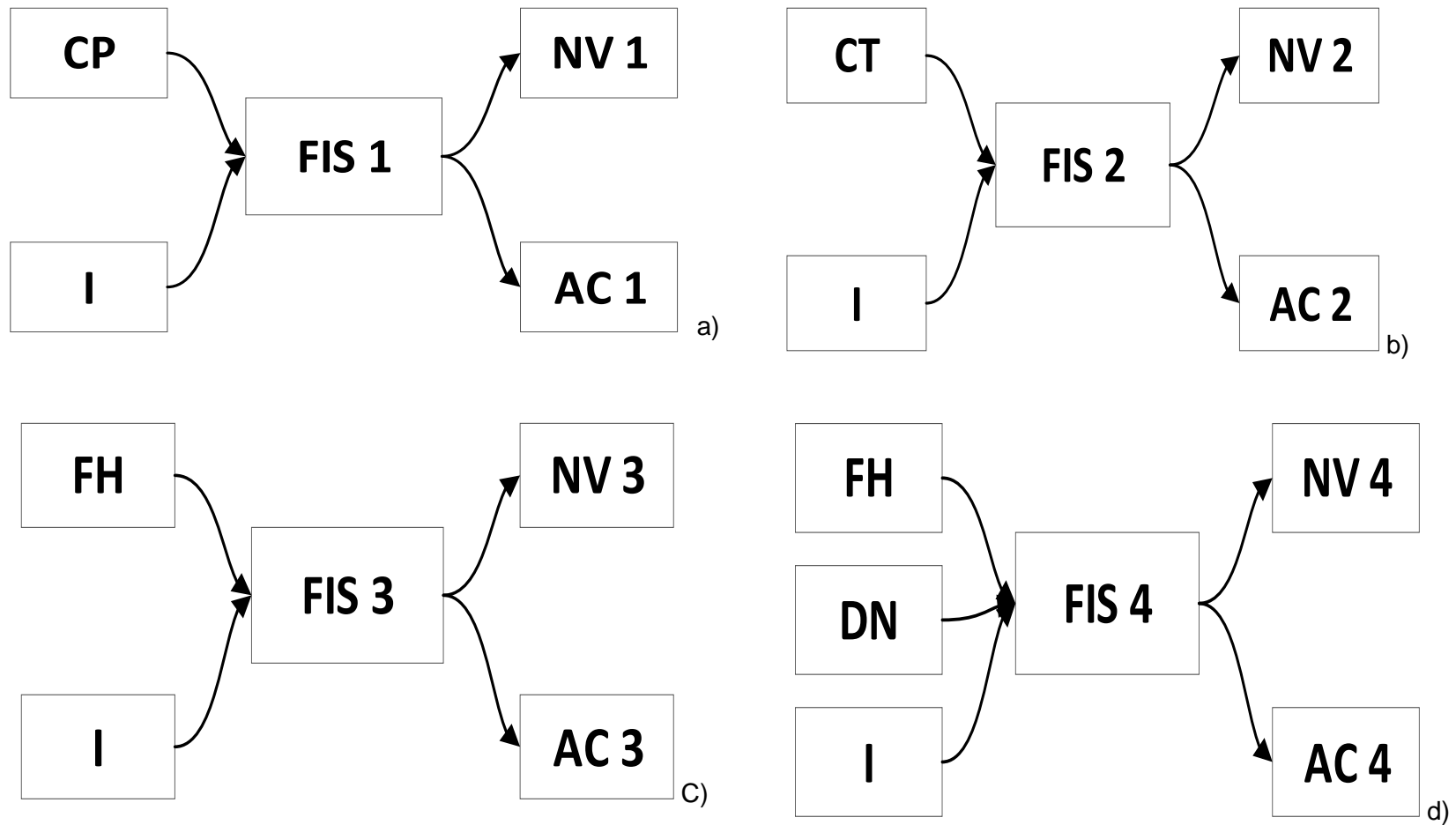
Los conjuntos difusos de la investigación se definen como variables lingüísticas con tres estados para cada variable, predominando los valores lingüísticos Bajo, Medio y Alto.

Conceptualmente existen dos aproximaciones para formar la función de membresía característica asociada a un conjunto: la primera está basada en el conocimiento humano de los expertos, y la segunda aproximación es utilizando una colección de datos para diseñar la función.

En el estudio dicha función se diseña con el trabajo de expertos, a través del método de clasificación directa (Sanghi, 2006). Para su aplicación se le consulta al grupo provincial sus criterios de clasificación de las variables del sistema. Se ofrece automáticamente una cierta cantidad de conjuntos (bajo, medio y alto). Se toma para cada conjunto el porcentaje de expertos que opinan un valor lingüístico, posteriormente se grafican las líneas correspondientes a los valores y así se completa el conjunto difuso (ver anexo 6).

**Figura 2.6.** 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





Los gráficos que se obtienen presentan similitud con la función lineal triangular, la que junto con la función lineal trapezoidal según Chen (2009) se aplica en la mayoría de los estudios. La utilización de otras funciones de membrecía complejas no produce mejores resultados al decir de Pourjavad & Shahin (2018), lo que permite la selección de funciones triangulares para esta investigación.

Quedan así construidas las funciones de membrecía para cada conjunto difuso, los que se muestran en el anexo 7. Cabe destacar que al FIS 4 Efecto de los desastres naturales se le agrega a las variables acciones constructivas y nuevas viviendas la etiqueta lingüística excepcionales, debido a que la ocurrencia de fenómenos meteorológicos provoca un pico en la demanda.

Obtenidos los conjuntos difusos y sus funciones de membrecía es necesario definir un conjunto de reglas que relacionen las variables de entrada con las de salida, a través de los operadores lógicos “Y” y “O”. Estas reglas deben expresar el comportamiento de la demanda para todas las posibles combinaciones de valores de las variables de entrada. Su definición se realiza a partir de la intuición y experiencia del grupo de trabajo y queda definido en el anexo 8 utilizando expresiones lógicas de:

SI  $[I]$  = *Término lingüístico* Y  $[CP]$  = *Término lingüístico*  
 ENTONCES  $[NV]$  = *Término lingüístico*;  $[AC]$  = *Término lingüístico*.

Para la confección del sistema de inferencia difuso se trabaja con el software MATLAB, el cual brinda un conjunto de herramientas programables e interactivas implementadas en la librería *Fuzzy Logic Toolbox* (Sharma & Obaid, 2020), que facilitan la comprensión y utilización de estos métodos.

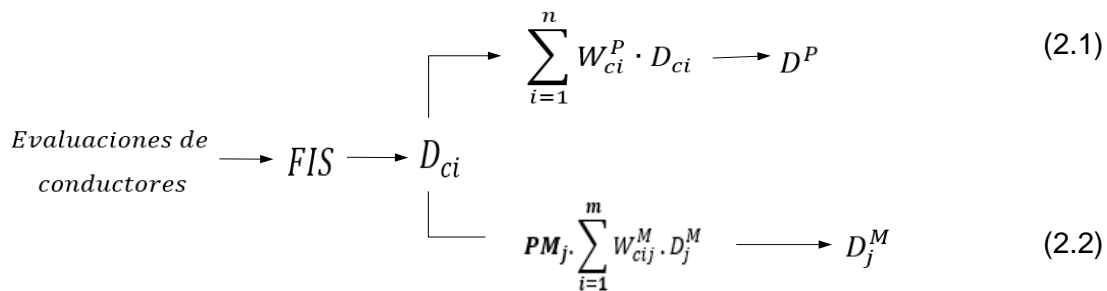
### **2.3. Diseño del modelo de pronóstico de demanda de construcción de nuevas viviendas y acciones constructivas (MPD)**

Puesto que todos los conductores no ejercen la misma influencia en la demanda de la provincia, se determinan sus pesos en la demanda provincial mediante el desarrollo del Proceso Jerarquías Analíticas (AHP) (Saaty, 1980), de igual forma, se realiza este proceso a nivel municipal (ver figura de 2.7). Para ellos se le pide a la dirección del grupo provincial del programa hacer la evaluación en escala de Saaty y establecer así el peso de cada conductor para el pronóstico provincial (ver ecuación 2.1).

Con la demanda de los municipios se procede de forma similar. Debido a que los municipios se comportan diferente por sus características de fondo habitacional y la influencia del turismo entre

otras. El análisis se basa en ponderar los municipios a partir de su incidencia en el comportamiento de la demanda provincial y la relevancia de los conductores, obteniéndose así la demanda de cada uno de ellos (ver ecuación 2.2)

**Figura 2.7.** Determinación de los diferentes niveles de la demanda para un FIS.



Donde:

$D_{ci}$ : Demanda provincial de los  $i$  conductores

$W_{ci}^P$ : Ponderación de los  $i$  conductores en la influencia de la demanda provincial.

$D^P$ : Demanda provincial

$PM_j$ : Ponderación de la demanda en los  $j$  municipios

$W_{cij}^M$ : Peso del conductor  $i$  en el municipio  $j$

$D_j^M$ : Demanda del municipio  $j$

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.

El MPD es un modelo múltiples variables econométricas, que combina herramientas de la investigación de operaciones y la matemática difusa FIS-AHP, que permite pronosticar la demanda de construcción de nuevas viviendas y acciones constructivas con un horizonte de demanda de un año. El modelo presenta un alcance geográfico de dos niveles de demanda: provincial y municipal, que se determinan a partir de ponderaciones realizadas con el AHP. Este enfrenta la incertidumbre epistémica a través del uso de la lógica difusa.

Los FIS le brindan un soporte robusto que relaciona la experiencia humana y el uso de datos de una forma relativamente sencilla para su uso, tanto operacional como computacional. Además, la utilización de las ponderaciones a través del AHP le otorga flexibilidad, ya que es posible adaptar el modelo a diferentes condiciones socioeconómicas que influyen en la demanda. La principal desventaja del modelo es la dependencia del conocimiento del equipo de trabajo para su

implementación.

## **2.4. Planificación de la producción y los flujos materiales en la CS**

La planificación de una CS es un problema cuya solución influye en su rendimiento. Desde el punto de vista de Calleja Sanz *et al.* (2017), el proceso de diseño de una CS tiene que comprender todas las decisiones que son necesarias para definir la configuración. Por lo tanto, debe incluir la especificación de los objetivos de la SC y las relaciones entre todos estos elementos (es decir, la configuración de la red de la CS).

Como parte de la planificación colaborativa para el programa de materiales de la construcción es necesario establecer el plan anual de producción y de los flujos materiales que cumplan con la demanda pronosticada. Para ello se propone un modelo de optimización lineal en aras de apoyar la toma de decisiones, y que establezca el flujo en la CS de materiales de construcción de Cienfuegos.

### **2.4.1. Descripción del problema de planeación de flujos materiales en la CS de materiales de construcción**

La red logística que se muestra en la figura 2.8 está compuesta por empresas suministradoras de materias primas subordinadas a la industria nacional y la industria local que proveen áridos, cementos y aceros a los centros de producción y a los comercios les suministra los mismos productos para la venta. Los centros de producción también se subordinan a ambas industrias, en estos se fabrican elementos de pared, techo y piso. Toda la comercialización se produce en los puntos de ventas (tiendas MultiMat) de Comercio.

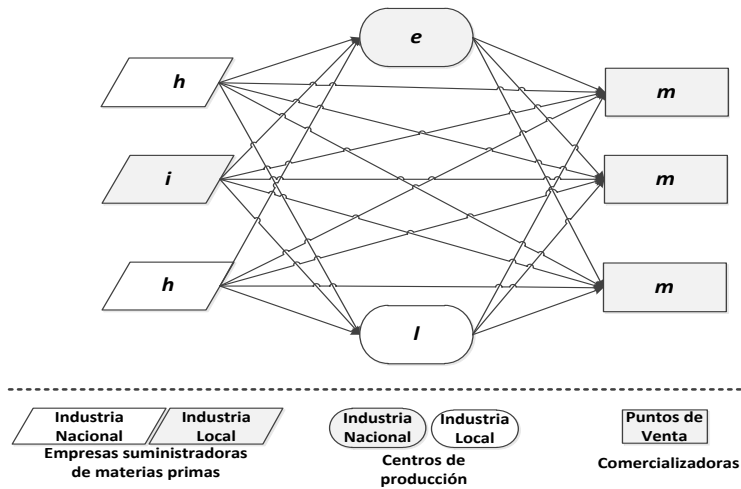
El PLPVMC tiene la necesidad de garantizar los materiales que cumplan con la demanda de construcción y reparación de viviendas en el territorio, para ello debe priorizar las producciones de la industria de subordinación local. Además, parte del financiamiento para subsidios proviene de las utilidades por la venta de dichas producciones. Esto provoca que el modelo tenga que determinar, la organización del flujo de los materiales de construcción a través de una solución satisfactoria y que cumplan con los objetivos siguientes:

Max ( $f_1$ ): Maximizar el nivel de servicio de la venta de materiales de construcción

Max ( $f_2$ ): Maximizar las utilidades de las ventas de los materiales de construcción

Max ( $f_3$ ): Maximizar el aprovechamiento de las capacidades de los centros suministradores y centros de producción de la industria local.

**Figura 2.8.** Representación de la cadena de suministro de materiales de construcción.



Los problemas multiobjetivo no tienen una solución única óptima, sino un conjunto de soluciones eficientes y estará formado por los vectores no dominados, a los que se conoce con el nombre de “frontera de Pareto” (Cortés Martínez *et al.*,2021). Los problemas de optimización multiobjetivo se pueden resolver mediante diferentes métodos, entre los cuales la programación por metas o *Goal Programming* (GP) es una de las más utilizadas sobre todo cuando es importante brindar una sola solución para el centro decisor. Una descripción detallada de este tipo de modelos y sus características se encuentra en Romero Más (2002).

El modelo de planificación de la producción y los flujos materiales en la CS (MPPF) establece el compromiso de lograr a través de la GP una optimización del nivel de servicio, las utilidades de las ventas y el aprovechamiento de las capacidades de la industria local, de forma que se alcancen varios objetivos de manera simultánea.

#### 2.4.2. Formulación del MPPF

Como todo modelo constituye una representación aproximada de la realidad, capaz de explicar su funcionamiento, siempre deben ser considerados un conjunto de supuestos, que para el caso analizado son los siguientes:

- i. El modelo contempla múltiples productos.
- ii. La localización de las fuentes de materias primas, centros de producción y comercializadoras es conocida.
- iii. Las capacidades de explotación de los yacimientos son finitas
- iv. Las capacidades de producción no es la misma para todos los centros, estas son finitas y conocidas
- v. La producción y la demanda de los materiales de construcción son conocidas.

- vi. No se permiten flujos de elementos del mismo eslabón.
- vii. No se permiten flujos en retroceso
- viii. La demanda municipal de materiales de construcción se concentra en los municipios.
- ix. El modelo contempla que para todos los casos el producto se entrega en las comercializadoras.

La descripción del modelo encierra elementos que se dividen en: conjuntos, variables de decisión, parámetros, funciones objetivo y restricciones que se aprecian en el anexo 9. El conjunto de restricciones se explica a continuación:

- **Conjunto de restricciones**

Las ecuaciones 2.3 y 2.4 constituyen las ecuaciones de capacidad para la industria nacional, garantizan que ningún flujo que salga de un proveedor o centro de producción tome valores superiores a las cantidades posibles a suministrar. Las ecuaciones 2.5 y 2.6 representan las restricciones de capacidad para la industria local, similar a lo que sucede en la industria nacional. Como uno de los objetivos del problema es el aprovechamiento máximo de las capacidades de la industria nacional se introducen las variables de pérdidas no deseadas  $IC_{ic}, IC_{lc}$  para su posterior uso en la programación por metas.

$$\sum_e \sum_c X_{herc} + \sum_l \sum_c X_{hlrc} + \sum_m \sum_n Q_{hmrn} + \sum_m \sum_o Q_{hmro} + \sum_m Q_{hmr} \leq Ca_{hr} , \quad \forall h, r \quad (2.3)$$

$$\sum_m \sum_n S_{emcn} + \sum_m \sum_o S_{emco} + \sum_m S_{emc} \leq Ca_{ec} , \quad \forall e, c \quad (2.4)$$

$$\sum_l \sum_c Y_{ilrc} + \sum_e \sum_c Y_{ierc} + \sum_m \sum_o R_{imro} + \sum_m \sum_n R_{imrn} + \sum_m R_{imr} + IC_{ic} = Ca_{ir} , \quad \forall i, r \quad (2.5)$$

$$\sum_m \sum_n S_{lmcn} + \sum_m \sum_o S_{lmco} + \sum_m S_{lmc} + IC_{lc} = Ca_{lc} , \quad \forall l, c \quad (2.6)$$

Las expresiones 2.7 y 2.8 garantizan que el material que entra a los centros de producción sea igual a las cantidades necesarias para la fabricación de los productos demandados.

$$IC_{cr} \cdot \left( \sum_m \sum_n S_{emcn} + \sum_m \sum_o S_{emco} + \sum_m S_{emc} \right) = \sum_h X_{herc} + \sum_i Y_{ierc} , \quad \forall e, c, r \quad (2.7)$$

$$I_{C_{cr}} \cdot \left( \sum_m \sum_n S_{lmcn} + \sum_m \sum_o S_{lmco} + \sum_m S_{lmc} \right) = \sum_h X_{hlrc} + \sum_i Y_{ilrc} , \quad \forall l, c, r \quad (2.8)$$

Las expresiones 2.9, 2.10, 2.11 y 2.12 garantizan un balance de los materiales del sistema, y permiten que se logren producciones proporcionales a la demanda de materiales de construcción necesarios para el cumplimiento de las acciones constructivas y las viviendas nuevas.

$$I_{C_{nr}} \cdot NV_{mn} = \sum_h Q_{hmrn} + \sum_i R_{imrn} , \quad \forall r, n, m \quad (2.9)$$

$$I_{C_{nc}} \cdot NV_{mn} = \sum_e S_{emcn} + \sum_l S_{lmcn} , \quad \forall c, n, m \quad (2.10)$$

$$I_{C_{or}} \cdot AC_{mo} = \sum_h Q_{hmro} + \sum_i R_{imko} , \quad \forall r, o, m \quad (2.11)$$

$$I_{C_{oc}} \cdot AC_{mo} = \sum_e S_{emco} + \sum_l S_{lmco} , \quad \forall c, o, m \quad (2.12)$$

Las ecuaciones 2.13 y 2.14(2.14 garantiza que las variables  $NV_{mn}$  y  $AC_{mo}$  tome valores a partir del parámetro de demanda. La demanda insatisfecha  $U_{mn}, U_{mo}$  constituyen las variables no deseadas a optimizar para establecer la meta del servicio al cliente.

$$NV_{mn} + U_{mn} = Dm_{mn} , \quad \forall n, m \quad (2.13)$$

$$AC_{mo} + U_{mo} = Dm_{mo} , \quad \forall o, m \quad (2.14)$$

Las expresiones de la 2.15 a la 2.18 garantizan que se distribuya en cada municipio una cantidad proporcional al parámetro  $Dm_m$  lo que obliga a no hacer la distribución solo al municipio ideal. Los productos y materiales liberados  $Q_{hmr}, R_{imr}, S_{emc}, S_{lmc}$ , constituyen la comercialización de materiales de la construcción, debido a una producción superior a la demanda nuevas viviendas y las acciones constructivas, o producto del incumplimiento de dicha demanda por la falta de alguno de los materiales necesarios para su completamiento.

$$\sum_h Q_{hmr} \leq Dm_m \cdot \sum_h \sum_m Q_{hmr} , \quad \forall m, r \quad (2.15)$$

$$\sum_i R_{imr} \leq Dm_m \cdot \sum_i \sum_m R_{imr} , \quad \forall m, r \quad (2.16)$$

$$\sum_e S_{emc} \leq Dm_m \cdot \sum_e \sum_m S_{emc} , \quad \forall m, c \quad (2.17)$$

$$\sum_l S_{lmc} \leq Dm_m \cdot \sum_l \sum_m S_{lmc} , \quad \forall m, c \quad (2.18)$$

La expresión 2.19 representa el ingreso total a obtener en la cadena y se compone por dos partes fundamentales. La primera expresión, representa los ingresos obtenidos por la venta de los productos suministrados por las industrias local y nacional, mientras que la segunda expresión, asegura los ingresos de las ventas de los productos fabricados en los centros de producción.

$$\begin{aligned}
 It = \sum_r In_r \cdot & \left( \sum_h \sum_m \sum_n Q_{hmrn} + \sum_h \sum_m \sum_o Q_{hmro} + \sum_h \sum_m Q_{hmr} \right. \\
 & + \sum_i \sum_m \sum_n R_{imrn} + \sum_i \sum_m \sum_o R_{imro} + \sum_i \sum_m R_{imr} \left. \right) + \sum_c In_c \\
 & \cdot \left( \sum_e \sum_m \sum_n S_{emcn} + \sum_e \sum_m \sum_o S_{emco} + \sum_e \sum_m S_{emc} \right. \\
 & \left. + \sum_l \sum_m \sum_n S_{lmcn} + \sum_l \sum_m \sum_o S_{lmco} + \sum_l \sum_m S_{lmc} \right) ,
 \end{aligned} \tag{2.19}$$

La expresión 2.20 describe los costos de producción, este cuenta con los costos totales de la producción de los materiales suministrados y el costo total de los productos manufacturados en los centros de producción.

$$\begin{aligned}
 Ct = \sum_r Co_j \cdot & \left( \sum_h \sum_m \sum_n Q_{hmrn} + \sum_h \sum_m \sum_o Q_{hmro} + \sum_h \sum_m Q_{hmr} \right. \\
 & + \sum_i \sum_m \sum_n R_{imrn} + \sum_i \sum_m \sum_o R_{imro} + \sum_i \sum_m R_{imr} \left. \right) \\
 & + \sum_c Co_c \\
 & \cdot \left( \sum_e \sum_m \sum_n S_{emcn} + \sum_e \sum_m \sum_o S_{emco} + \sum_e \sum_m S_{emc} \right. \\
 & \left. + \sum_l \sum_m \sum_n S_{lmcn} + \sum_l \sum_m \sum_o S_{lmco} + \sum_l \sum_m S_{lmc} \right) ,
 \end{aligned} \tag{2.20}$$

El costo total de transportación reflejado en la ecuación 2.21 se compone de los costos en los que se incurre en la transportación de los suministros desde los proveedores hasta los centros de producción y los puntos de ventas de las comercializadoras, también se consideran los costos de llevar el producto desde los centros de producción hasta las tiendas MultiMat.

$$\begin{aligned}
C_{tt} = & \sum_j Tt_j \cdot \sum_h \sum_m Dt_{hm} \cdot \left( \sum_n Q_{hmjn} + \sum_o Q_{hmjo} + Q_{hmj} \right) \\
& + \sum_k Tt_k \cdot \sum_i \sum_m Dt_{im} \cdot \left( \sum_n R_{imkn} + \sum_o R_{imko} + R_{imk} \right) + \sum_j Tt_j \\
& \cdot \sum_h \sum_e Dt_{he} \cdot \left( \sum_h \sum_e X_{hejp} \right) + \sum_j Tt_j \\
& \cdot \sum_h \sum_l Dt_{hl} \cdot \left( \sum_h \sum_l X_{hljf} \right) + \sum_k Tt_k * \sum_i \sum_e Dt_{ie} \cdot \left( \sum_p Y_{iekp} \right) \\
& + \sum_k Tt_k * \sum_i \sum_l Dt_{il} \cdot \left( \sum_f Y_{ilkf} \right) \\
& + \sum_p Tt_p \cdot \sum_e \sum_m Dt_{em} \cdot \left( \sum_n S_{empn} + \sum_o S_{empo} + \sum_p S_{emp} \right) \\
& + \sum_f Tt_f \cdot \sum_l \sum_m Dt_{lm} \cdot \left( \sum_n S_{lmfn} + \sum_o S_{lmfo} + \sum_p S_{lmf} \right)
\end{aligned} \tag{2.21}$$

La ecuación de utilidades mostrada en la ecuación 2.22 describe la diferencia entre los ingresos totales y los costos totales incurridos en la CS; donde:  $Ut^*$  es la utilidad máxima que puede lograr la CS y la variable  $PUt$  constituye las pérdidas de utilidad producto del cumplimiento de otras metas.

$$Ut^* - PUt = It - Ct - Ctt \tag{2.22}$$

Las ecuaciones comprendidas entre la 2.23 y 2.29 constituyen las restricciones de no negatividad, de las variables de decisión.

$$X_{herc}, X_{hlrc}, Y_{ierc}, Y_{ilrc} \geq 0 \quad \forall h, e, r, c, l, i \tag{2.23}$$

$$Q_{hmrn}, Q_{hmro}, Q_{hmr} \geq 0 \quad \forall h, m, r, n, o \tag{2.24}$$

$$R_{imrn}, R_{imro}, R_{imr} \geq 0 \quad \forall i, m, r, n, o \tag{2.25}$$

$$S_{emcn}, S_{lmcn}, S_{emco}, S_{lmco}, S_{emc}, S_{lmc} \geq 0 \quad \forall e, m, c, n, l, e, o \tag{2.26}$$

$$AC_{mo}, NV_{mn}, U_{mo}, U_{mn} \geq 0 \quad \forall m, o, n \tag{2.27}$$

$$V_{hmr}, V_{imr}, V_{emc}, V_{lmc} \geq 0 \quad \forall h, m, r, e, c, l \tag{2.28}$$

$$IC_{ik}, IC_{lf} \geq 0 \quad \forall i, k, l, f \tag{2.29}$$



- **Construcción de la función objetivo**

La PM es utilizada cuando es necesario alcanzar simultáneamente varios objetivos que entran en conflicto. Su propósito general consiste en minimizar una cierta función de las variables de desviación no deseadas.

En general los argumentos de la función de objetivo deben normalizarse por las dos razones siguientes: a) en general las metas están medidas en unidades distintas por lo que la posible aplicación de un operador matemático como la suma carecería de sentido y b) los valores absolutos de las metas pueden ser muy diferentes por lo que la minimización de la función objetivo puede producir soluciones sesgadas hacia un mayor cumplimiento de las metas con niveles de aspiración más elevados (Romero Más, 2002).

También es necesario introducir en la función de logro los pesos preferenciales que indiquen la importancia relativa que el centro decisor asigna a la satisfacción de cada meta (Defalque *et al.*, 2021). Estas consideraciones conducen a las funciones de logro siguientes: La primera función meta ecuación (2.30 que se declara en el modelo es el rendimiento de la utilidad  $RUt$ , esta se determina a partir de la diferencia entre la utilidad óptima sin utilizar las otras metas y la utilidad que brinda al modelo al tener en consideración las demás metas.

$$RUt = 1 - \frac{PUt}{Ut^*} \quad (2.30)$$

La siguiente meta presentada en la ecuación 2.31 corresponde al nivel de servicio, la primera parte de la expresión se relaciona con el nivel de servicio de las acciones constructivas a partir de la relación entre la demanda insatisfecha de acciones constructivas y el nivel máximo de aspiración de la demanda, mientras que la segunda corresponde a las nuevas viviendas y se obtiene de forma similar al anterior. Ambas expresiones se ponderan:  $W_o$  constituye el peso otorgado a cada tipología de construcción de viviendas, y  $W_n$  a las tipologías de acciones constructivas, su valor depende de las prioridades establecidas por el grupo de trabajo provincial para el año que se modela.

$$NS = \sum_o W_o \cdot \left(1 - \left(\frac{\sum_m U_{mo}}{Dm_{mo}}\right)\right) + \sum_n W_n \cdot \left(1 - \left(\frac{\sum_m U_{mn}}{Dm_{mn}}\right)\right) \quad (2.31)$$

$$(\sum_o W_o + \sum_n W_n) = 1$$

Por las características del PLPVMC el modelo presenta dos capacidades: la primera relacionada con la industria de subordinación nacional y la segunda con la industria local. Esta última reviste

especial importancia para el programa pues tiene como principio que sus producciones deben sustentarse sobre la producción de la industria local, por lo que se le exige potencializar las capacidades de los territorios para cubrir sus necesidades de materiales de la construcción. Por ello, la tercera meta es maximizar el aprovechamiento de las capacidades de la industria local mostrada en la ecuación 2.32.

Esta capacidad está formada por dos elementos, el primero representa las pérdidas relacionadas con las capacidades no utilizadas en los suministradores y el segundo con las pérdidas del producto final en los centros de producción.

$$Cap = \frac{\sum_k \left( 1 - \left( \frac{\sum_i IC_{ik}}{\sum_i Ca_{ik}} \right) \right)}{2 \cdot K} + \frac{\sum_f \left( 1 - \left( \frac{\sum_l IC_{lf}}{\sum_l Ca_{lf}} \right) \right)}{2 \cdot F} \quad (2.32)$$

Para el modelo se define una función objetivo de programación por metas ponderadas, la que incluye variables de desviación no deseadas ponderadas por su importancia. La función objetivo que se propone incluye como metas las utilidades, el nivel de servicio y la meta de capacidad de la industria local. Para la determinación de los pesos se propone la utilización del AHP. La estructura de la función objetivo del modelo queda como se muestra en la ecuación 2.33 a continuación:

$$M_M = WI \cdot RUt + WS \cdot NS + WP \cdot Cap \quad (2.33)$$

Para optimizar el modelo de programación por metas propuesto es necesario encontrar la utilidad máxima  $Ut^*$  para lo cual se sigue el procedimiento mostrado en el cuadro 2.1.

**Cuadro 2.1.** Procedimiento para la optimización del modelo por metas ponderadas.

$Ut^* = \max Ut$	2.23
s. a. ecuaciones 2.4-2.30	
Actualizar $Ut^*$ en la ecuación 2.31	
$\max M_M$	2.34
s. a. ecuaciones 2.4-2.30	

### 2.4.3. Análisis de incertidumbre en el modelo MPPF

La elaboración del plan de producción y los flujos materiales de la CS de materiales de la construcción requiere el análisis de la incertidumbre presente en la información utilizada y su impacto en la toma de decisiones. Existen dos elementos con una gran variabilidad y modelar su

comportamiento incierto puede resultar sumamente importante para el grupo de trabajo provincial. Estos elementos son la capacidad de la industria de subordinación nacional para cumplir con el PLPVMC y el pronóstico de la demanda.

- **Análisis de incertidumbre en el parámetro capacidad**

Para modelar el impacto de la incertidumbre en la capacidad de algunos suministros claves provenientes de la industria de subordinación nacional en la planeación de la producción en la cadena, se somete a consideración del grupo de trabajo provincial los productos y materiales con mayores problemas de suministros. Para seleccionar los productos de menor capacidad se realiza el balance de carga y capacidad.

Según Akram *et al.* (2022) la ecuación 2.34 describe la incertidumbre en las capacidades donde:  $(1 - \alpha)$  significa el grado de flexibilización de la restricción de capacidad y  $\Delta Ca_{hr}$  la máxima variación posible. Esta variación es establecida por el grupo de trabajo provincial basándose en su experiencia.

$$\sum_e \sum_c X_{herc} + \sum_l \sum_c X_{hlrc} + \sum_m \sum_n Q_{hmrn} + \sum_m \sum_o Q_{hmro} + \sum_m Q_{hmr} \leq Ca_{hr} + (1 - \alpha)\Delta Ca_{hr}, \quad \forall h, \tilde{r} \quad 2.34$$

Una interpretación realista de dichos parámetros sería que para poder aumentar la capacidad en un valor  $\Delta Ca_{hr}$  habría que realizar un mayor esfuerzo en la gestión. Este parámetro constituye la máxima expansión de la capacidad de un producto o material, ya sea a través de productos sustitutos, o mayores entregas de los productores nacionales. Entonces,  $\alpha$  significaría el nivel de facilidad o poca dificultad para los directivos del PLPVMC en la gestión a realizar, a medida que este valor se acerca a cero, la capacidad aumenta lo que representa que la dirección tiene un mayor estrés en la gestión de dicho plan.

- **Análisis de la incertidumbre en el parámetro de demanda**

En el caso de la demanda la incertidumbre está presente en primer lugar, debido al método de predicción, el cual se basa en el conocimiento del grupo provincial de trabajo sobre el futuro comportamiento de la demanda en la provincia. Por otro lado, el modelo de pronóstico es nuevo por lo que sus resultados se encuentran implementados en un tiempo corto cuya efectividad es difícil determinar, y, por último, los ajustes del método arrojan que no se encuentra libre de errores.

El pronóstico contempla el total de viviendas nuevas y acciones constructivas tanto de inversión estatal como de esfuerzo propio. Una vez que se hace firme el plan de la inversión estatal este comportamiento es, por lo general estable y manejable por la dirección del programa. Por el contrario, el otro grupo no se puede fijar y el valor pronosticado está sujeto a errores.

Para modelar la incertidumbre en la demanda se utilizan las ecuaciones 2.36 y 2.37 donde: la demanda varía desde  $Dm_{mn} - MAE_{mn}$  hasta  $Dm_{mn} + MAE_{mn}$ , el parámetro  $1 - \beta$  caracteriza la variación desde el mínimo de demanda pronosticada hasta el valor máximo que se pudiera alcanzar.

$$NV_{mn} + U_{mn} = Dm_{mn} - MAE_{mn} + (1 - \beta)2MAE_{mn} , \quad \forall \tilde{n}, m \quad 2.36$$

$$AC_{mo} + U_{mo} = Dm_{mo} - MAE_{mo} + (1 - \beta)2MAE_{mo} , \quad \forall \tilde{o}, m \quad 2.37$$

La interpretación del parámetro  $\beta$  estaría dada por el grado de certidumbre en el pronóstico de la demanda. Lo que se puede afirmar con un alto grado de certidumbre es que la demanda alcanzará valores superiores  $Dm_{mn} - MAE_{mn}$ .

- **Incertidumbre en la función objetivo**

Según Werners (1987) la solución de las desigualdades difusas en las restricciones provoca que la función objetivo también se modele como una función difusa, en este caso también se modifica la función objetivo resultando en la ecuación 2.38.

$$WI \cdot RUt + WS \cdot NS + WP \cdot Cap \geq M_{M_0} + (1 - \gamma)(M_{M_1} - M_{M_0}) \quad 2.38$$

Donde  $M_{M_0} = \min M_M(\alpha, \beta = (0,1))$  y  $M_{M_1} = \max M_M(\alpha, \beta = (0,1))$ , los cuales constituyen los valores extremos de la función objetivo. El parámetro  $\gamma$  representa el nivel de certidumbre en el cumplimiento de las metas, los valores altos de  $\gamma$  suponen metas cercanas al mínimo por lo que el plan debe cumplirse con menos estrés en la gestión.

La solución a este tipo de problema parte de la maximización de los parámetros para lograr el mayor nivel de certidumbre posible en el modelo que garanticen el cumplimiento de las restricciones y aspiraciones del centro decisor. Con la estimación de los nuevos valores de capacidad se utilizan como parámetros el comportamiento la demanda y el cumplimiento de las metas, de esta manera se conforma el modelo difuso de planificación de la producción y los flujos materiales (MDPPF).

- **Procedimientos de solución para el MDPPF**

Para la obtención de planes que tengan en cuenta las posibles variaciones posibles en las restricciones se proponen dos procedimientos de solución al modelo difuso. El primer procedimiento (MDPPF- 1) consiste en fijar valores de  $(\beta$  y  $\gamma)$  y maximizar la viabilidad de gestión del gobierno, quedando establecidos los parámetros y ecuaciones definidas como se muestra en el cuadro 2.2.

**Cuadro 2.2.** Procedimiento para la optimización del MDPPF- 1.

Para cada $\beta = (0; 0,5; 1)$ Para cada $\gamma = (0; 0,5; 1)$ $\max(\alpha)$ s a. ecuaciones 2.4-2.12 ecuaciones 2.15-2.29 ecuaciones 2.35- 2.38
--

Este procedimiento tiene la dificultad de fijar un valor límite para el cumplimiento de las metas, aunque una solución al problema sería buscar en más intervalos, traería la dificultad del número de optimizaciones y el volumen de información a revisar por el grupo de trabajo. Una posible solución a este problema es establecer una función objetivo que busque el óptimo entre el cumplimiento de las metas y el esfuerzo por encontrar la capacidad adecuada para conseguirlos (MDPPF- 2). La ecuación 2.39 caracteriza este proceso donde  $NG$  (nivel de gestión) es la suma ponderada de la optimización de las metas, normalizadas y la viabilidad del plan descrita por el parámetro  $\alpha$ . Igualmente, se optimiza para tres valores de  $\beta$ .

$$NG = \left( W \frac{M_M - M_{M_0}}{(M_{M_1} - M_{M_0})} + (1 - W)\alpha \right) \quad 2.39$$

El procedimiento para la obtención de los diferentes planes es como se muestra en el cuadro 2.3.

**Cuadro 2.3.** Procedimiento para la optimización del MDPPF- 2.

Para cada $\beta = (0; 0,5; 1)$ $\max NG$ ecuación 2.39 s a. ecuaciones 2.4-2.12 ecuaciones 2.15- 2.29 ecuaciones 2.35- 2.37
--

## **2.5. Procedimiento para la planeación colaborativa de la demanda de materiales de construcción**

El desarrollo e implementación del PLPVMC a nivel provincial muestra la necesidad de mejorar organizativamente su funcionamiento (Martínez Curbelo *et al.*, 2017). Su base expresa una contradicción práctica entre el papel rector del MICONS y la responsabilidad y autoridad principal del Gobierno en su gestión, de ahí, la necesidad de trazar una estrategia que integre a todos los organismos, entidades, factores implicados y se satisfagan a los clientes finales. Para mejorar la coordinación entre los diferentes actores del programa se propone un procedimiento que permita la planificación de la producción de materiales destinados a la reparación y construcción de viviendas, en función de la demanda.

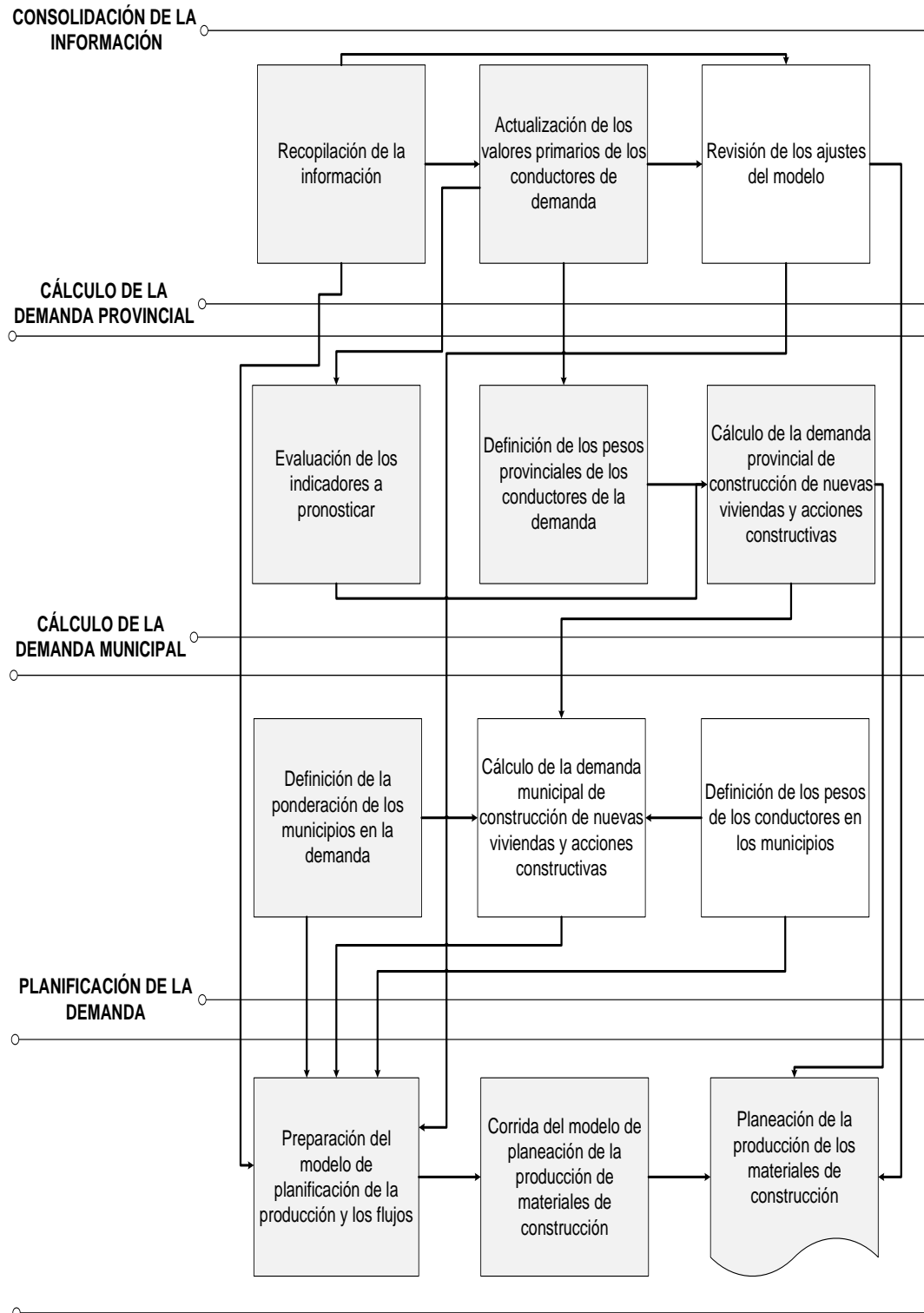
Para la planificación colaborativa de la CS de los materiales de construcción es imprescindible que se produzcan intercambios de información entre el representante del programa a nivel provincial y cada uno de los responsables de los municipios. Basados en el principio de la colaboración, el plan debe ser el resultado de una gestión en la que, a partir la estimación de la demanda provincial, se realice una desagregación para determinar la demanda a nivel de municipios. Se planifica conjuntamente las producciones en los centros productivos de forma que se optimicen los flujos materiales, se observe un máximo aprovechamiento de la capacidad de la industria local y se maximice el nivel de servicio al cliente.

El procedimiento que se muestra en la figura 2.9 tiene como objetivo proponer un marco de trabajo que describa la integración de los modelos que responden al pronóstico de la demanda de construcción de viviendas y de planificación colaborativa de la producción de materiales de construcción y que organice la información para los diferentes niveles de planificación y control de la CS de materiales de la construcción.

### **Fase 1. Consolidación de la información**

En esta primera fase del procedimiento se recopila toda la información necesaria para el ajuste y operacionalización de los modelos MPD y MPPF. Se actualizan los datos relacionados con el cumplimiento del pronóstico de la demanda y la gestión de la producción de los materiales de construcción. Esta etapa se desarrolla en la primera semana del mes de enero, pues, es la que posibilita contar con los elementos necesarios para la planificación del año.

**Figura 2.9.** Procedimiento para la integración del modelo de pronóstico de la construcción de viviendas y el de planificación de la producción de los materiales de construcción.



*Paso 1.1. Recopilación de los datos relacionados con la producción de materiales de construcción:* Anualmente en la primera semana de enero el jefe del PLPVMC recibe y consolida información relacionada con todas las entidades que intervienen en la producción de materiales de producción en la provincia. Se definen los productos que se van a realizar en el año (ver anexo 10). Este paso garantiza que se cuente con la información de cada eslabón de la cadena de suministro:

- Productos suministrados como materia prima a los centros de producción: costos unitarios, costos de venta, tarifas de transportación.
- Productos fabricados en los centros de producción: costo unitario de producción, índices de consumos de las materias primas por producto y tarifa de transportación.
- Centros suministradores: reportan datos relacionados con su capacidad de suministro para cada producto. Queda para estas entidades definidas su subordinación, capacidades de aprovisionamiento por insumos y localización.
- Centros de producción: reportan datos relacionados con su subordinación, capacidades de producción instalada por producto y localización.
- Entidades comercializadoras (tiendas MultiMat): precio de venta unitario, y localización.

*Paso 1.2. Actualización de los valores primarios de los conductores de demanda:* En paralelo con el trabajo del paso anterior se recoge toda la información relacionada con el comportamiento de las variables relacionadas con la demanda en el año anterior, para ello, se sigue la metodología y el modelo de captación de información del anexo 11, donde se establece el período de recogida de la información, indicaciones metodológicas y queda establecido el responsable en la entrega de los indicadores por parte de las diferentes entidades que intervienen en el proceso. Con los valores se hace un análisis de las tendencias de las variables y de ser necesario se ajustan los valores extremos y medios.

*Paso 1.3. Revisión de ajustes del modelo:* A partir de la actualización del comportamiento real de los indicadores en el año y los resultados arrojados por los modelos se evalúa la validez de la predicción.

Resulta de utilidad calcular e interpretar de forma simultánea varias medidas de error para tener una visión integral del desempeño de un pronóstico (Koutsandreas *et al.*, 2021). Por tal razón, en este paso el jefe del grupo de trabajo provincial a partir de conocer los valores reales de la demanda (recogidos en el paso 1.2) y tener el pronóstico calculado para el año, evalúa la confiabilidad del modelo basado en tres medidas estadísticas, media del error absoluto (MAE),



media del porcentaje absoluto del error (MAPE), y la señal de rastreo (SR). Los tres indicadores mostrados en las ecuaciones 2.40, 2.41 y 2.42 se definen a continuación:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |R_i - P_i|}{n} \quad (2.40)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n |R_i - P_i|}{R_i} \quad (2.41)$$

$$SR = \frac{SEP}{MAE} \quad (2.42)$$

Donde:

$n$ : número total de períodos

$R_i$ : valor real correspondiente a un período  $i$

$P_i$ : valor del pronóstico correspondiente a un período  $i$

$SEP$ : suma acumulada de errores de pronóstico

El grupo de provincial de trabajo define sobre la base de la literatura especializada la tolerancia de error que se está dispuesto a asumir para aceptar o no el modelo. En cuanto al MAE no se puede establecer en abstracto un rango numérico, pero para el caso particular de la investigación cada grupo de trabajo establece su rango para clasificar un método de pronóstico como bueno o malo, su valor sirve, además, para futuras comparaciones con otros modelos. Un MAPE entre el 20 % y el 30 % es aceptable, según Frechtling (2012) es difícil alcanzar un MAPE por debajo del 10 % debido a factores que no pueden ser identificados y modelados exactamente debido a su naturaleza. En cambio, si en los resultados arrojados por la SR el límite excede el intervalo [-6; 6], será necesario revisar los parámetros o las recomendaciones de expertos (González & Andino, 2014).

Sobre la base de los niveles de tolerancia definidos se realizan las comparaciones y se analizan. Los resultados derivan en la toma de decisiones que pueden provocar que:

- Ante resultados de los indicadores de errores dentro de los rangos de tolerancia, no se realicen cambios en el modelo, solo se redefinan anualmente los valores declarados en el paso 1.2 de este procedimiento.
- Si los valores de los indicadores seleccionados sobrepasan, pero son cercanos a los límites establecidos se deben considerar hacer ajustes en las reglas del modelo, por ejemplo, si una variable presenta un comportamiento que no se ajusta con las observaciones experimentadas a través de las reglas se cambian las evaluaciones de modo que reflejen mejor la realidad.
- Cuando los indicadores de error sobrepasan los rangos de tolerancia, se proponen cambios importantes en el modelo de pronóstico, utilizando el marco de trabajo propuesto en el epígrafe

2.1. Estos cambios pueden estar dados por la necesidad de redefinir las variables, sus parámetros y valorar la selección de herramientas.

A partir de estudiar los resultados del PLPVMC se realizan ajustes sobre el MPPF en la CS que derivan en:

- Análisis de los niveles de servicios alcanzados con la venta de los materiales de la construcción para el cumplimiento de la demanda por ser este uno de los principales objetivos del programa.
- Análisis de los indicadores de ingreso, utilidades y costos con lo que opera la cadena. Estos análisis permiten conocer el comportamiento de los indicadores económicos y poder establecer acciones que permitan mejorar la rentabilidad de la CS de materiales de la construcción.
- Revisión las capacidades de la industria local para el cumplimiento de los planes de producción y de la demanda
- Se definen de las políticas y prioridades trazadas por el PLPVMC para el año en análisis.

De los resultados obtenidos se toman decisiones que pueden resultar en ajustes del modelo en la búsqueda de alternativas para el cumplimiento de los planes y análisis de aumento de capacidades.

- Se realiza una revisión de los actores a intervenir de forma que se prevea la inclusión, sustitución o eliminación de algún elemento de la cadena.
- Se definen las metas que constituyen objetivos del programa.
- Se establecen las consideraciones de incertidumbre y funciones de membresía difusas para el análisis de incertidumbre del modelo.

## **Fase 2.** Cálculo de la demanda provincial.

En la segunda fase del procedimiento se calculan las demandas que generan los conductores y quedan determinadas la demanda provincial y las municipales de nuevas viviendas y acciones constructivas. Esta etapa se desarrolla por el grupo provincial de trabajo en el mes de enero, pues, a partir de ella se desarrollan los planes de producción de los materiales de construcción.

*Paso 2.1 Evaluación de las variables difusas de entrada:* Las variables de información primaria son agrupadas en conductores de demanda que se establecen a partir de la relación encontrada entre ellos. Se determinan como variables de entrada el CP, CT, FH, DN e I definida como la que representa el respaldo económico, mientras que las otras son clasificadas como generadoras de necesidad. Las de salida que se determinan son AC y NV.

Con el conocimiento previo de la tendencia de las variables primarias, el grupo provincial de trabajo evalúan el año a pronosticar. Para ello, cada integrante del grupo asigna a las variables de entrada de los conductores una evaluación en función de su percepción sobre el comportamiento futuro para el año. El jefe del equipo sustituye las evaluaciones individuales obtenidas por un valor numérico de acuerdo con los valores de la función de pertenencia (Alto= le corresponde el máximo valor de la función de pertenencia, M= Valor medio de la función de pertenencia y B= mínimo valor de la función de pertenencia), pasando así las evaluaciones a ser cuantitativas. Las calificaciones individuales de los miembros del equipo para cada variable se promedian y el resultado constituye el valor final a utilizar en los FIS para el cálculo de la demanda provincial.

*Paso 2.2 Definición de los pesos provinciales de los conductores de demanda:* Como se explicó en el epígrafe 2.3 es necesario ponderar los conductores cada año en función su influencia en la demanda. Por ejemplo, en los años donde se pronostica una temporada ciclónica activa se le da más peso al FIS 4 que, en los restantes años, así mismo sucede con las previsiones en el sector turístico, el crecimiento poblacional o el estado del fondo habitacional.

La asignación de las prioridades se realiza mediante el desarrollo del AHP (Saaty, 1980) mediante el *AHP Online System* (Goepel, 2018). Esta herramienta permite evaluaciones independientes de un grupo de trabajo para un proyecto común. Dentro del proyecto cada integrante llena un cuestionario donde evalúa los conductores para asignarles sus pesos correspondientes, para ello se realizan comparaciones por pares de conductores, utilizando la escala de preferencias del uno al nueve propuesta por Saaty (Saaty, 1980). Una vez que todos los miembros del grupo provincial han completado su evaluación el jefe del grupo procesa en la evaluación final. Si del juicio del grupo se logra un índice de inconsistencia menor que 0.1 se consideran efectivos los resultados, de lo contrario se informa y se repite el proceso hasta lograr un índice menor a 0.1.

*Paso 2.3 Cálculo de la demanda provincial de nuevas viviendas y acciones constructivas:* Los resultados obtenidos en el paso 2.1 se utilizan como variables de entrada para evaluar los FIS descritos en el epígrafe 2.2, para pronosticar las demandas provinciales por cada uno de los conductores. Luego, se afecta el resultado de cada sistema por los pesos correspondientes definidos en el paso 2.2 del procedimiento a partir del uso de la ecuación 2.1 del epígrafe 2.3. Como resultado de este paso se obtiene la demanda provincial de nuevas viviendas y acciones constructivas. Este resultado permite al Gobierno provincial no solo una desagregación de las demandas a niveles municipales, sino que permite la obtención de valores de referencia para la planificación de los materiales de construcción de las entidades que intervienen en la producción

de materiales de construcción y una mejora de la gestión de los recursos y materias primas necesarias para el cumplimiento de las producciones planificadas.

### **Fase 3.** Cálculo de la demanda municipal

En el cálculo de la demanda municipal intervienen los grupos de trabajo de cada municipio. Estos se reúnen una vez que se ha realizado el pronóstico de la demanda provincial y que el grupo de trabajo provincial ha establecido los pesos correspondientes de los municipios. En esta etapa igual que en la anterior es de importancia el conocimiento de los expertos y el trabajo en equipo.

*Paso 3.1 Definición de la ponderación de los municipios en la demanda:* Todos los municipios no influyen de la misma forma en la demanda provincial, de ahí que el grupo de trabajo provincial bajo la guía del director del PLPVMC le asigne a cada uno un peso en función de lo que representa para la demanda de la provincia. Para ello, con la utilización del sitio web y el mismo proceder del paso 2.2 el grupo provincial de trabajo obtiene el peso correspondiente para cada municipio. Si el grupo provincial tuviera por política beneficiar algún municipio, resulta en este paso donde se le da prioridad por encima de los demás.

*Paso 3.2 Definición de los pesos de los conductores en los municipios:* Igual que ocurre a nivel provincial los grupos de trabajo municipal deben establecer el grado en que cada uno de ellos influye en la demanda. Para ello, se procede de forma similar a como se explica en el paso 2.2.

*Paso 3.3: Cálculo de la demanda municipal de nuevas viviendas y acciones constructivas:* La demanda de los municipios se calcula a partir de la ecuación 2.2 del epígrafe 2.3. Para ello, el representante de cada grupo municipal toma del paso anterior el peso correspondiente a su municipio y el cálculo de la demanda provincial que se obtiene en el paso 2.3. Este resultado permite a los municipios y a las diferentes subordinaciones que tributan al PLPVMC a desagregar las producciones planificadas en los centros de producción según las capacidades productivas con los que se cuentan, además, a partir de esta información los municipios pueden conocer las demandas de viviendas desagregadas en tipologías y la modalidad que respalda la acción constructiva.

### **Fase 4.** Planeación de la demanda

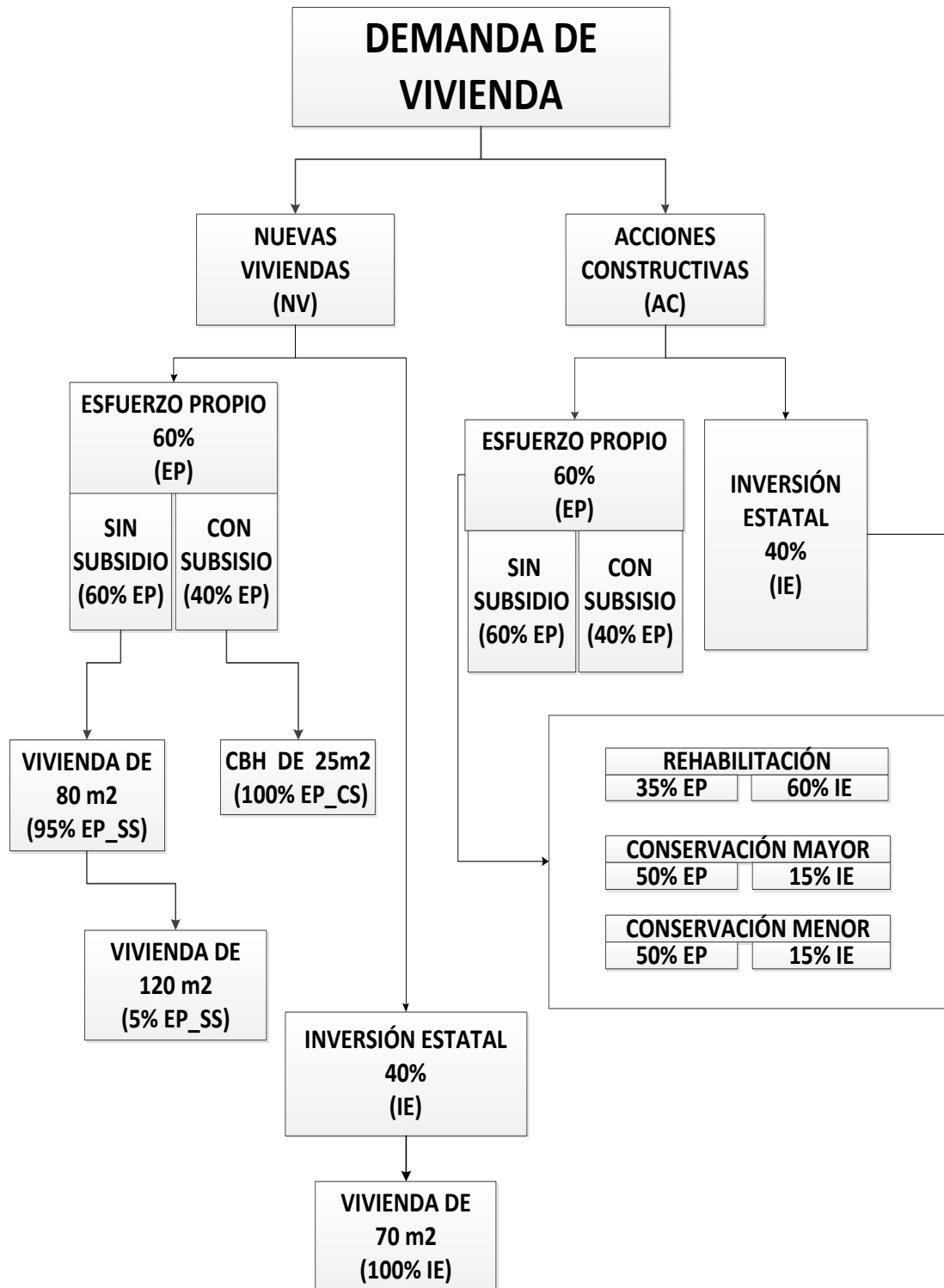
En esta fase los equipos de trabajo a partir de la compartimentación de información determinan la cantidad de materiales de construcción necesarios. Quedan establecidas aquí los planes de producción de cada centro productivo y las capacidades productivas a gestionar para el cumplimiento de la demanda.

*Paso 4.1 Preparación del modelo de planificación de la producción y los flujos:* En este paso el grupo de trabajo provincial en dependencia de las políticas y prioridades trazadas por el PLPVMC para el año en análisis toma las decisiones siguientes:

- Se redefinen de ser necesario los valores de los pesos que representan la importancia de las metas de la función objetivo. Para ello, se utiliza el AHP asignando las prioridades en correspondencia con las establecidas por el PLPVMC para el trabajo del año en curso.
- Se definen los pesos correspondientes a las demandas de los productos liberados en los municipios, para la realización de este paso se toman los valores de los pesos municipales establecidos en el paso 3.1 del procedimiento.
- Se redefinen los pesos de las tipologías de nuevas viviendas y acciones constructivas. En función del comportamiento de la demanda y los conductores se establecen nuevas prioridades por parte del estado en el subsidio de construcción y se aumentan las inversiones estatales. Por ejemplo, ante la ocurrencia de un evento meteorológico fuerte en los Consejos de administraciones municipal (CAM) de conjunto con el Consejo de administración provincial (CAP) están facultados para el incremento del número de personas a subsidiar.
- Se desagrega la demanda municipal en tipologías de viviendas. Existen dos modalidades bajo las que se efectúan las nuevas viviendas y acciones constructivas (ver figura 2.10). Según quien ejecute la acción se puede clasificar por esfuerzo propio o por inversión estatal. Mientras que en la vía estatal el estado es quien se encarga de llevar a cabo la realización de las labores constructivas el esfuerzo propio: es la actividad constructiva de una o varias personas naturales para la construcción, ampliación, remodelación, conservación o reconstrucción de viviendas con el fin de habitarlas. En el esfuerzo propio a su vez se distingue en dos tipos según la fuente de respaldo económico, de ahí que exista el esfuerzo propio por subsidio que es donde a la persona con falta de solvencia económica se le facilitan todos los materiales de construcción de forma gratuita y esfuerzo propio puro donde los gastos de la construcción se respaldan por un crédito bancario otorgado con tales fines o de un financiamiento propio.

Las tipologías en la construcción de nuevas viviendas se definen como: i) se trabaja con una Célula Básica Habitacional (CBH) para las viviendas bajo la modalidad de esfuerzo propio con subsidio; ii) para los esfuerzos propios puros se establecen viviendas que como promedio oscilen entre los 80 y 120 m<sup>2</sup>; y iii) en el caso de la inversión estatal están definidas las nuevas viviendas con una superficie máxima de 70m<sup>2</sup>.

**Figura 2.10.** Estructura de la demanda de nuevas viviendas y acciones constructivas.



En cuanto a las acciones constructivas a realizar se definen la rehabilitación, conservación mayor y conservación menor según lo establecido para el esfuerzo propio con subsidio en el Acuerdo 9072/2021. Para el caso de los subsidios las acciones de conservación menores se aprueba un monto financiero de hasta cinco mil pesos cubanos (5000 CUP), y para las de conservación y otros trabajos de mayor complejidad, el monto de hasta diez mil pesos cubanos (10 000 CUP).

*Paso 4.3 Planeación de la producción de los materiales de construcción:* Con los resultados del paso anterior el grupo de trabajo provincial realiza la planificación de la demanda desagregada por los municipios, una vez que esta llega a los municipios los grupos de trabajo municipal la revisan, la desagregan a los centros de producción y emiten al grupo provincial el plan municipal de producción de materiales de construcción para el PLPVMC. Aquí el jefe del grupo provincial de conjunto con los representantes de los municipios analiza los indicadores a establecer en la CS, tales como: utilidades, ingreso y nivel de servicio al cliente a partir de toda la información gestionada en el transcurso del proceso de planificación.

## **2.6 Conclusiones parciales del capítulo**

1. Se propone un marco de trabajo para el diseño del MPD con el objetivo de pronosticar la demanda de construcción de nuevas viviendas y acciones constructivas que comprende las condiciones socio económicas de la provincia de Cienfuegos.
2. Se propone un procedimiento para la determinación de los factores influyentes en la demanda de construcción de viviendas a partir del índice de pertinencia lo que garantiza la selección de variables con suficiente calidad en la información para la construcción del modelo.
3. El modelo de pronóstico de demanda propuesto se caracteriza por presentar una combinación de herramientas que permite enfrentar la incertidumbre epistémica a través de la utilización de lógica difusa y los FIS; además, se le otorga flexibilidad y robustez a partir de la utilización del AHP como herramienta matemática en la ponderación de los conductores de la demanda y en la capacidad que brinda de otorgarle importancia diferenciada a los diferentes municipios.
4. El modelo de programación meta flexible para planificar la producción de materiales de la construcción permite optimizar los flujos en función de los objetivos del PLPVMC y abordar la incertidumbre tanto de la demanda como de las capacidades de suministros de los materiales más escasos. Los análisis de este modelo permiten planificar la producción en la cadena de manera, robusta, realista y optimiza el nivel de servicio, las utilidades del

sistema y las capacidades de la industria local.

5. El procedimiento para la operacionalización de la planificación colaborativa ofrece guías metodológicas de cómo los diversos actores que participan en el PLPVMC deben conducir el flujo informativo a través el proceso de toma de decisiones, para confeccionar planes de producción realistas, flexibles, y que optimicen los recursos en función del lograr un mejor cumplimiento con la demanda de construcción y reparación de viviendas.



## ***CAPÍTULO 3***

***Caso de estudio: Planificación colaborativa de la demanda de construcción y reparación de viviendas en la provincia de Cienfuegos***

---

## **Capítulo 3 . Caso de estudio: Planificación colaborativa de la demanda de construcción y reparación de viviendas en la provincia de Cienfuegos**

El sector de la construcción se encuentra en un proceso de evolución constante, donde las realidades económicas, políticas y sociales de cada país han llevado a que los clientes presenten un mayor nivel de exigencia a la hora de planificar y poner en marcha un proyecto. Lo anterior, unido a las crecientes necesidades insatisfechas en el caso de la vivienda en Cuba han implicado la necesidad de que se cuente con una CS bien planificada y gestionada. El presente capítulo responde a la validación de los modelos descritos en el capítulo 2. El caso de estudio es la cadena de suministros de materiales de construcción del PLPVMC de la provincia de Cienfuegos.

- Caracterizar la CS de materiales de construcción del PLPVMC de la provincia de Cienfuegos
- Determinar el pronóstico de la demanda de nuevas viviendas y acciones constructivas
- Determinar la planificación anual de la producción y los flujos materiales de la CS de materiales de construcción.

### **3.1 Caracterización del Programa local de producción y ventas de materiales de construcción**

La provincia de Cienfuegos a partir del año 2008, enfrenta una compleja situación en su fondo habitacional y constructivo producto a cuantiosos daños provocados por un prolongado período de impactos de fenómenos meteorológicos. Este emergente incremento en los niveles constructivos estatales y por esfuerzo propio de la población provoca una elevada demanda de materiales de todo tipo y fundamentalmente, los necesarios para la recuperación de elementos de paredes, cubiertas, pisos y áridos. Sin embargo, en ese momento la producción de esos recursos en las instalaciones de industria de materiales y algunos otros centros locales no era suficiente y no contaba con una preparación previa para enfrentar la alta demanda.

Para su desempeño el PLPVMC en la provincia de Cienfuegos cuenta con 21 subprogramas mostrados en la tabla 3.1, de los cuales 11 clasifican como subprogramas de producción y 10 como de apoyo. El programa es el responsable de la producción local y la venta de los materiales de construcción, y parte de la premisa de que el pueblo es el destino. De ahí que, los productos que se comercialicen favorezcan la ejecución de las construcciones y los mantenimientos que se realicen con calidad, duración y belleza, con el menor costo energético y económico para el país y los ciudadanos, así como minimizar el impacto al medio ambiente (ABECÉ, 2011).

El sistema de trabajo para el desarrollo e implementación del programa es fundamental, su utilización a nivel provincial arroja elementos suficientes para valorar la necesidad de perfeccionar su gestión (Martínez Curbelo *et al.*, 2017).

**Tabla 3.1.** Principales subprogramas del PLPVMC de la provincia de Cienfuegos.

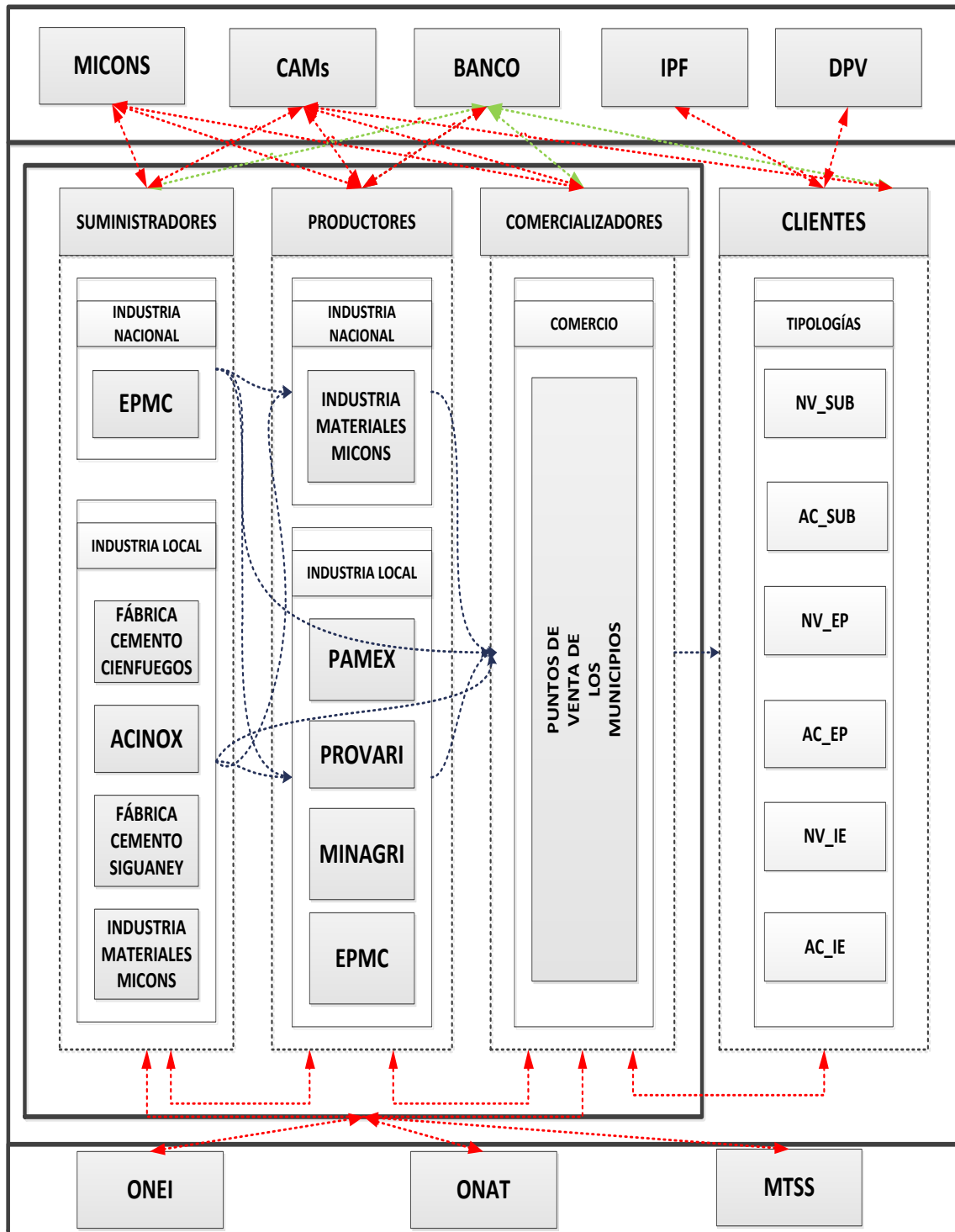
Subprogramas de Producción	Subprogramas de apoyo
• Materias primas	• Comercialización y ventas.
• Cementos, cal, extensores y morteros.	• Promoción y divulgación.
• Productos ociosos	• Proyectos.
• Elementos para paredes	• Capacitación.
• Elementos para cubiertas	• Aseguramiento y control de calidad.
• . Pinturas.	• Medio ambiente.
• Instalaciones hidráulicas y sanitarias.	• Ahorro energético.
• Marcos, puertas y ventanas.	• Transportaciones.
• Elementos para pisos.	• Control y supervisión
• Impermeabilización.	• Evaluación.
• Elementos para instalaciones eléctricas	

### 3.1.1 Caracterización de la CS del PLPVMC

La CS del PLPVMC se conforma por empresas de diferentes ministerios, algunas de subordinación local y otras pertenecientes a la industria nacional (ver figura 3.1), lo que complejiza su planificación y funcionamiento. De ahí, que una correcta gestión en cada uno de sus eslabones sea crucial en los resultados a obtener (Covas Varela *et al.*, 2022).

Los principales suministradores que presenta la cadena (ver figura 3.2) son provenientes de la industria nacional y local. Dentro de la industria nacional se encuentra la Fábrica de cemento que aporta el cemento gris, Fábrica de Cemento Siguaney que provee el cemento blanco para la producción de los elementos de piso. ACINOX Cienfuegos es la empresa encargada del suministro de acero, mientras que las canteras ubicadas en Guaos y las Quinientas abastecen la piedra. Los canales de Cumanayagua y Arimao proveen la arena, el granito natural procede de la cantera La Macagua ubicada en Sancti Espíritu. Los restantes suministradores de la industria local se encuentran distribuidos en los municipios de la provincia y abastecen en menores cantidades de áridos al PLPVMC.

**Figura 3.1.** Cadena de suministro del PLPVMC de la provincia de Cienfuegos.



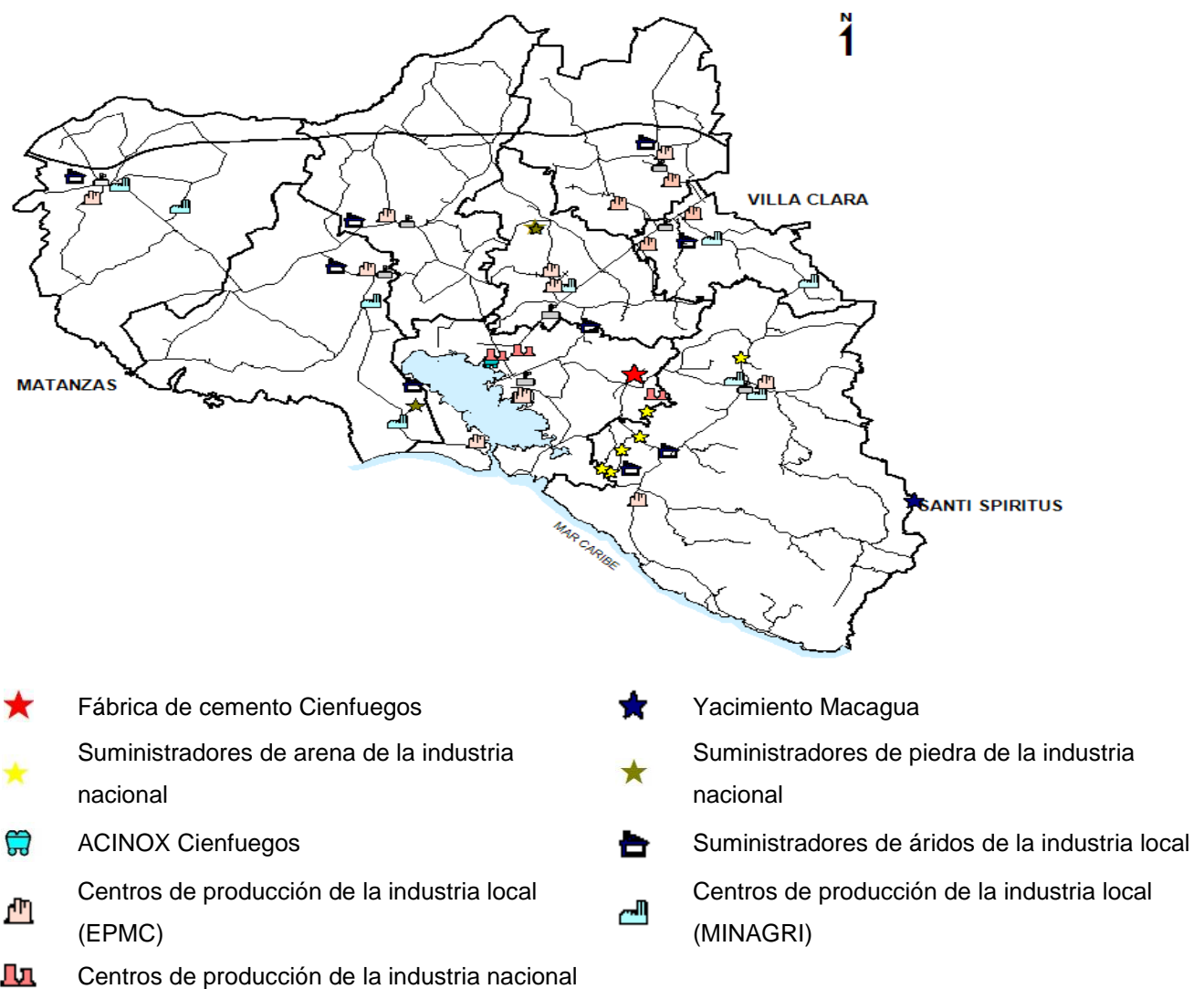
-----Flujo material----->

-----Flujo financiero----->

-----Flujo informativo----->

Los centros de producción como se observa en la figura 3.2 encuentran representación en todos los municipios de la provincia. Al igual que los suministradores no todos los centros de producción se subordinan a las mismas entidades, la industria local se encuentra representada por 13 entidades productivas de la Empresa Provincial de Mantenimiento y Construcción (EPMC) y ocho del Ministerio de la Agricultura, todas con capacidades instaladas para la fabricación de elementos de pared, techo y piso. Por otra parte, la industria nacional presenta dos unidades especializadas en la producción de elementos de pared y una en elementos de piso.

**Figura 3.2.** Mapa de representación de los principales actores de la CS de materiales de construcción del PLPVMC en la provincia de Cienfuegos.



La comercialización corresponde al Ministerio de Comercio Interior (MINCIN) a través de las tiendas MultiMat que se encuentran distribuidas en todos los municipios. En el caso de algunos

áridos y los productos finales procedentes de los centros de producción la comercialización se puede realizar desde el mismo centro de manufactura, pero la facturación del producto se realiza a través de los puntos de venta.

El principal cliente del PLPVMC es la población, la que a partir de las diferentes opciones que brinda el estado presenta la posibilidad de realizar la construcción por esfuerzo propio, con la ayuda de un préstamo bancario o un subsidio otorgado por el estado y finalmente puede ser beneficiado por la inversión estatal. A partir de las diferentes formas en que se realizan las obras constructivas estas se clasifican en NV y AC, donde las AC se desglosan en rehabilitación, conservación mayor y conservación menor.

Las empresas enmarcadas dentro del PLPVMC (ver figura 3.2) tienen el encargo de ser capaz de producir los productos de vital importancia para el programa con la eficiencia y calidad requerida. La producción que realiza el programa está representada por siete grupos de productos que suman 118 surtidos (ver anexo 12), ellos encuentran representatividad en los diferentes municipios de la provincia. No obstante, en la tabla 3.2 se muestran los genéricos de cada grupo.

**Tabla 3.2.** Lista de productos de la industria local de materiales de construcción.

<b>Clasificación por grupos de productos</b>	
<b>G1.</b> Productos del barro, arcillas	Este grupo se caracteriza por la producción de la nomenclatura de los productos siguientes: Ladrillos de barro, Tejas de barro; Losas de azotea; Losas de barro para pisos; Tubos barro; Conexiones de barro.
<b>G2.</b> Productos de base pétreo y áridos	El grupo encuentra su representación en los áridos y los Cantos en bloques.
<b>G3.</b> Productos extensores	Este grupo lo componen: Cal viva, Masilla de cal, Pinturas base cal (lechada), Cemento romano, Cemento puzolánico, Mortesac grueso, Mortesac fino.
<b>G4.</b> Productos del plástico	El grupo se caracteriza por la producción de materiales de PVC o plásticos reciclados dentro de estos se encuentran: Mangueras, Tubos, Conexiones eléctricas, Conexiones hidráulicas, Conexiones sanitarias; Llaves, Válvulas y Cajas eléctricas.
<b>G5.</b> Productos de hormigones	Los productos de hormigón fundamentales en la producción de este grupo son: Bloques, Losetas hidráulica, Pasos de escalera, Baldosas, Viguetas, Plaquetas, Marcos de puertas y ventanas, Balaustres, Mesetas, Lavaderos Tanques para agua, Tapas para tanques.
<b>G6.</b> Productos de madera	Las producciones fundamentales derivadas de la madera son: Puertas, ventanas, Marcos de puertas y ventanas, Tablillas de madera p/persianas.
<b>G7.</b> Productos metálicos	En este grupo se encuentran representados los productos fabricados a partir del acero, aluminio y zinc donde se encuentran fundamentalmente: Puertas y ventanas de aluminio, Puertas y ventanas de zinc, Bisagras.

De los 118 surtidos con que cuenta el programa en el 2021 se planifica la producción de 98, aunque solamente se logra obtener un real de fabricación de 68 surtidos. Los elementos del balance nacional cumplieron la producción del 96 % de los surtidos planificados para el año.

Mientras que aquellos que pertenecen a materiales derivados de plástico reciclado solo logran producir el 50 % de los surtidos previstos.

### **Principales deficiencias detectadas en la gestión de las CS del PLPVMC**

Para diagnosticar la gestión de las CS del PLPVMC se utiliza un árbol de realidad actual (ARA). A través de él se evalúa la red de relaciones de causa-efecto entre efectos indeseables (EFI) con el objetivo de detectar el problema raíz o los problemas medulares mediante la certificación de la causalidad (Goldratt *et al.*, 1992). Para la construcción del ARA se toman de un grupo de investigaciones científicas y artículos de la prensa (ver anexo 13) los principales problemas que afectan la construcción de viviendas en el territorio. Con las deficiencias detectadas se realiza una lista de EFI mostrados a continuación:

- Población insatisfecha con los productos ofertados por la cadena de suministros de materiales de la construcción.
- Incumplimiento en los planes de venta
- La construcción o reparación de viviendas se atrasa debido a la falta de materiales
- Los productos vendidos no presentan la calidad requerida
- La oferta es insuficiente con relación a la demanda
- Escaso abastecimiento de los productos más demandados en las comercializadoras
- Bajas capacidades en unidades productivas por mantenimientos y roturas
- No existe correspondencia entre lo que se oferta en las comercializadoras y las licencias de construcción aprobadas
- Se desconocen las demandas de los productos necesarios en las comercializadoras
- No existe una oferta balanceada para todos los productos
- Alta descapitalización de unidades productivas
- Insuficiente aseguramiento a los centros de producción
- El abastecimiento a las comercializadoras no se realiza teniendo en cuenta los productos que se demandan en tipo y cantidades
- El cumplimiento de los planes económicos no se realiza por volúmenes, surtidos y calidad, solo por ventas
- No existe una distribución de los suministros a los centros de producción en función de la realización de acciones constructivas
- Los planes de surtido están definidos por el programa nacional sobre la base de sus capacidades y no de sus demandas

- Existen en los planes de producción planificaciones mayores que las capacidades instaladas en algunos surtidos de los municipios de la provincia
- Se realizan ajustes en los planes anuales sin tener en cuenta la demanda real, ni las capacidades de producción instaladas
- La información relacionada con el otorgamiento de licencias de construcción no es utilizada por el programa para la planificación de sus producciones.

Los principales problemas identificados en el anexo 13 aparecen en el árbol representado en la figura 3.3 con el color blanco y se relacionan entre sí aquellos que presentan conexión. A algunos EFI se les modifica la redacción para una mejor comprensión, otros surgen de la unión de más de un problema por su estrecha relación y para una mejor comprensión del problema. Aquellos EFI que no fueron identificados en la revisión y que surgen como resultado del análisis y la necesidad de relacionar los problemas detectados aparecen en dicha figura con el color gris. La construcción del ARA a partir de la identificación de todos los EFI constituye el diagnóstico de la CS del PLPVMC.

A partir del análisis anterior se detectan como problemas principales los siguientes:

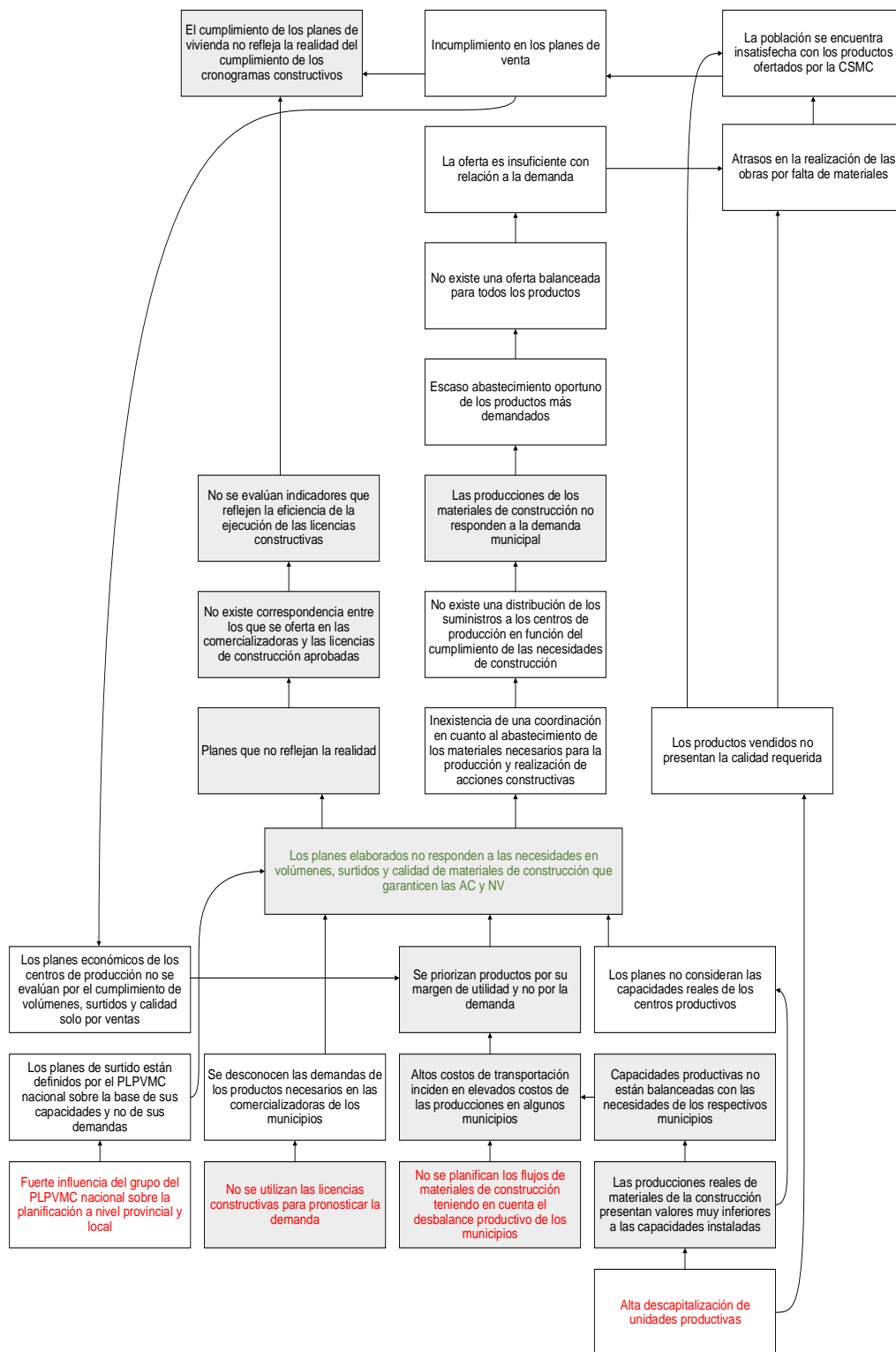
- El plan de producción de materiales de construcción está condicionado por el grupo nacional, demostrando la imposibilidad de que el mismo refleje la realidad de la provincia.
- No se utilizan las licencias de construcción de viviendas, ni la incidencia de factores sobre la demanda de construcción en la elaboración de los planes de producción ni en las estimaciones de demanda.
- El desbalance existente en las producciones y las demandas municipales hace que exista la necesidad de realizar un plan provincial donde se colabore entre todos los municipios con el fin de lograr optimizar la transportación.
- La descapitalización de los centros de producción hace que sea necesario tener en cuenta en la realización de los planes productivos los problemas de capacidad y calidad a los que se enfrentan los centros de producción de materiales de construcción.

### **3.2 Determinación de la demanda de nuevas viviendas y acciones constructivas**

Para ajustar los valores extremos y medios se estudian los valores aportados en el año. Este arroja que solo el comportamiento del CP hace cambiar los valores extremos al aparecer un valor por debajo del histórico, por lo que el año 2022 muestra un nuevo mínimo del crecimiento poblacional de -2637 habitantes. Los valores extremos para cada variable en el año se muestran en el anexo 15 donde también se aparece la estimación del comportamiento de cada una de las variables.



**Figura 3.3.** Árbol de las principales deficiencias detectadas en la gestión de la CS de materiales de construcción del PLPVMC de la Cienfuegos.



Con la utilización de la definición en el epígrafe 2.2 del capítulo anterior los cuatro FIS que conforman el sistema que modela el comportamiento de la demanda resultan: FIS 1. Crecimiento poblacional; FIS 2. Crecimiento del turismo; FIS 3. Estado del fondo habitacional y FIS 4. Efecto de los desastres naturales. Estos cuatro FIS presentan una estrecha relación con los conductores de demanda. Sus valores se parametrizan y se expresan a través de conjuntos difusos que se muestran en el anexo 16.

Los conjuntos difusos se definen como variables lingüísticas que en general presentan tres estados: Bajo, Medio y Alto, con funciones de membresía gaussianas para la pertenencia de los valores de la variable a los estados definidos. A partir de la información de los valores mínimos y máximos se construyen las funciones de membresía para cada conjunto difuso en el anexo 17.

Los conjuntos difusos se definen como variables lingüísticas que en general presentan tres estados: Bajo, Medio y Alto, con funciones de membresía gaussianas para la pertenencia de los valores de la variable a los estados definidos. A partir de la información de los valores mínimos y máximos se construyen las funciones de membresía para cada conjunto difuso en el anexo 17.

Para relacionar el comportamiento de las variables de entrada y las de salida en cada uno de los FIS se utilizan reglas (anexo 18) definidas por el grupo provincial de expertos. Estas describen el comportamiento de las posibles combinaciones de los valores que pueden tomar las variables que conforman los conductores y permiten operar con los FIS. Con todas las decisiones tomadas se corre una aplicación en MATLAB (Sharma & Obaid, 2020). Se obtienen los valores estimados de la demanda provincial de AC y NV para cada FIS, donde  $D_{c1}$ ,  $D_{c2}$ ,  $D_{c3}$ , y  $D_{c4}$  representan la demanda del FIS 1, FIS 2, FIS 3 y FIS 4 respectivamente. Los resultados se muestran la tabla 3.3.

**Tabla 3.3.** Valores de demanda de los conductores para NV y AC.

Años	NV				AC			
	$D_{c1}$	$D_{c2}$	$D_{c3}$	$D_{c4}$	$D_{c1}$	$D_{c2}$	$D_{c3}$	$D_{c4}$
2015	855	855	855	628	2671	3704	3220	1889
2016	855	855	855	625	2671	3704	2671	1880
2017	855	857	857	1127	2678	3704	2679	3603
2018	839	855	839	763	2616	3491	2671	2354
2019	855	635	857	632	2678	2671	2680	1903
2020	855	722	923	637	2904	2671	2905	1920
2021	855	920	1155	628	3704	2896	3704	1889
2022	855	935	1032	855	3280	3102	3280	2671

### 3.2.1 Cálculo de la demanda provincial de nuevas viviendas y acciones constructivas

Para el cálculo del pronóstico de la demanda provincial de NV y AC el grupo de expertos con la aplicación del AHP *Online System* (Goepel, 2018) determina los pesos  $W_{ci}$  correspondientes a cada conductor de demanda, los que se representan en la tabla 3.4. Los resultados de los pesos reflejan un comportamiento similar antes de la crisis provocada por la COVID-19 y un cambio en los años de pandemia.

Un análisis de la influencia de los conductores en la demanda de NV evidencia que antes de la pandemia el estado del fondo habitacional y el crecimiento del turismo eran los que mayor influencia ejercían. El estado del fondo habitacional genera más nuevas viviendas que el crecimiento del turismo. Las viviendas en muy mal estado llevan demolición y la construcción de una nueva, por lo que es más frecuente construir una casa nueva por este motivo que para arrendarla. En los años de pandemia el crecimiento del turismo perdió peso en la demanda lo que provocó que sea el conductor que menos influencia ejerza.

Los desastres naturales es otro conductor que presenta influencia en la demanda, su paso por el territorio provoca daños graves al fondo habitacional, llevando en la mayoría de los casos a afectaciones totales de las viviendas, por lo que para el caso de algunos años como el 2017 puede llegar a ser el conductor que más peso presente en la generación de demanda de nuevas viviendas.

**Tabla 3.4.** Determinación de la demanda de NV y AC.

Años	NV				AC			
	$W_{c1}^P$	$W_{c2}^P$	$W_{c3}^P$	$W_{c4}^P$	$W_{c1}^P$	$W_{c2}^P$	$W_{c3}^P$	$W_{c4}^P$
2015	0,069	0,258	0,564	0,109	0,059	0,531	0,282	0,128
2016	0,069	0,258	0,564	0,109	0,059	0,531	0,282	0,128
2017	0,078	0,145	0,106	0,671	0,049	0,510	0,232	0,209
2018	0,057	0,200	0,613	0,130	0,040	0,450	0,345	0,165
2019	0,057	0,200	0,643	0,100	0,041	0,205	0,626	0,128
2020	0,068	0,029	0,773	0,130	0,041	0,030	0,799	0,130
2021	0,068	0,029	0,794	0,109	0,043	0,030	0,799	0,128
2022	0,065	0,032	0,794	0,109	0,043	0,030	0,799	0,128

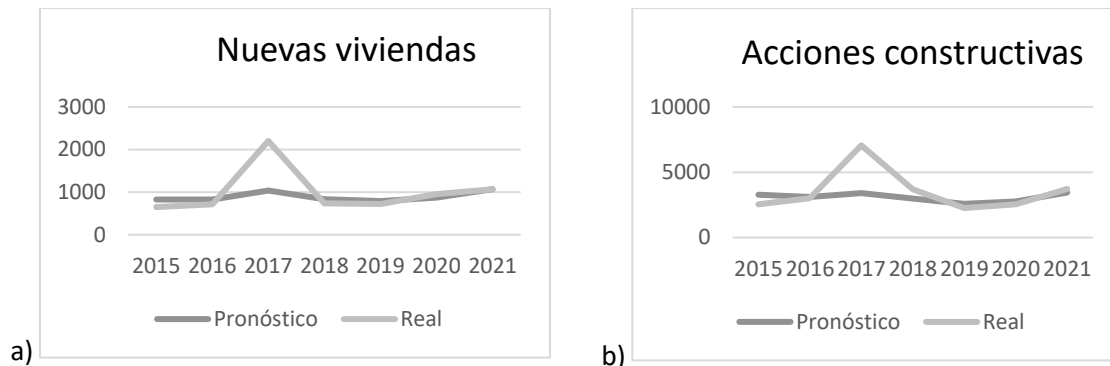
En el caso de las AC antes del período pandémico el crecimiento de turismo era el conductor que más demanda generaba seguido del estado del fondo habitacional. Esto se debe fundamentalmente a que un alto arribo de turistas estimula las acciones constructivas para el arriendo de viviendas con tales fines. La ciudad de Cienfuegos se caracteriza por un fondo

habitacional renovado en algunos lugares por el paso de eventos climatológicos, mientras que otros demandan de acciones constructivas de ahí que este conductor también se encuentre entre los que más demanda genera.

Por último, se encuentra la influencia de los desastres naturales. 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.

Con los valores de los pesos mostrados en la tabla 3.4 y con la aplicación de la ecuación 2.1 del capítulo 2 se obtiene el pronóstico provincial para NV y AC del modelo de pronóstico de demanda de viviendas (MPD) mostrado en la figura 3.4. La figura muestra una comparación del comportamiento real de las demandas con los valores que se obtienen a través del pronóstico. En ella se puede observar cómo en ambos casos el comportamiento de la demanda es similar, destacándose el año 2017 con un máximo que responde al paso del ciclón Irma por el territorio.

**Figura 3.4.** Comparación del comportamiento de las demandas de NV y AC con los valores pronosticados a) NV, b) AC.



El análisis de las medidas de error calculadas para el pronóstico de la demanda provincial mostradas en la tabla 3.5 revela que el desempeño del pronóstico medido por el MAPE comienza a salirse del rango de aceptación a partir del año 2018 donde el pronóstico está errado en un 42 %. Es importante destacar que este resultado se debe fundamentalmente al paso del ciclón Irma por el territorio el año anterior, lo que provocó grandes daños y por consiguiente trajo afectaciones no previstas en los pronósticos. A partir de este año se evidencia un acumulado en los errores que influye en los resultados del MAPE y que a partir de año 2020 empieza a mejorar.

La SR se encuentra en el rango comúnmente aceptado. Esta otra medida corrobora que el error no se debe tener en cuenta a partir de un solo indicador. A partir de los resultados arrojados por ambos se puede concluir que el modelo tiene un comportamiento aceptable.

**Tabla 3.5.** Análisis de errores en la demanda provincial.

Años	NV					AC				
	Real	Pronóstico	MAE	MAPE	SR	Real	Pronóstico	MAE	MAPE	SR
2015	649	830	90,5	14 %	-2,0	2543	3274	731,3	29 %	-1,0
2016	711	830	99,9	14 %	-3,0	3014	3118	417,7	14 %	-2,0
2017	2200	1038	365,5	17 %	2,36	7056	3395	1498,8	21 %	1,9
2018	735	832	311,7	42 %	2,46	3693	2986	1300,9	35 %	2,7
2019	719	790	271,6	38 %	2,56	2257	2579	1105,2	49 %	2,9
2020	953	875	243,9	26 %	3,17	2534	2770	960,3	38 %	3,1
2021	1064	1070	214,2	20 %	3,58	3726	3448	862,8	23 %	3,8
2022	-	998	-	-	-	-	3197	-	-	-

### 3.2.2 Cálculo de la demanda municipal de nuevas viviendas y acciones constructivas

Para el cálculo de la demanda municipal se procede de forma similar que con la demanda provincial. Se desagrega la demanda provincial 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 Oficina Nacional de Administración Tributaria (ONAT) los verdaderos aportes al municipio cuando se trabaja fuera del mismo.

Para el caso de estudio se establecen tres grupos de municipios sobre la base de 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 concentrarse 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.

La desagregación de la demanda de acciones constructivas provincial a nivel de los municipios mostrada en el anexo 19 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, 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 el 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, para el resto de los municipios 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 por lo que es en ellos donde se generen acciones relacionadas con el arrendamiento de viviendas para el turismo. Mientras que en el resto de los municipios no se realizan modificaciones en las viviendas con tales fines.

Desagregada de la demanda provincial, establecida la ponderación de la demanda municipal y el peso de los conductores en los municipios, mostrados en el anexo 19 se calcula la demanda municipal para el año 2022. Para ello, se aplica la ecuación 2.2 del capítulo 2 a los valores. Los valores de demanda para cada municipio se muestran en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6.** Resultados de las demandas municipales de NV y AC para el año 2022.

Municipios	NV		AC	
	Pronóstico	MAD	Pronóstico	MAD
Cienfuegos	438	132	1409	506
Palmira	119	36	374	137
Cruces	79	24	249	249
Rodas	83	25	263	95
Abreu	80	24	255	93
Cumanayagua	53	16	170	62
Lajas	76	23	241	87
Aguada	74	22	233	85

El resultado logrado con la desagregación de la demanda en los municipios permite:

- Hacer una diferenciación entre el comportamiento de las AC y NV en cada uno de los municipios de acuerdo a sus características y establecer un pronóstico diferenciado de las demandas.
- Que los actores del PLPVMC planifiquen la producción, distribución y comercialización de materiales de construcción en función del cumplimiento de la demanda.
- Trazar estrategias de prioridad de los municipios a partir de políticas establecidas dentro del trabajo del gobierno.
- Evaluar la efectividad de los planes como herramientas de control.

### **3.3. Aplicación del modelo de planificación de la producción y los flujos materiales (MPPF) en la CS de materiales de construcción.**

Para alcanzar el cumplimiento de la demanda en las CS es necesario utilizar de forma adecuada todos los recursos, las empresas requieren planificar, controlar y distribuir de manera óptima sus procesos y actividades. Se propone un modelo que utiliza la programación matemática para ayudar al gobierno en la gestión de la CS de materiales de la construcción del PLPVMC de la provincia de Cienfuegos.

#### **3.3.1. Ponderación de las Demandas para el modelo**

Como se muestra en la figura 2.10 la demanda de los municipios se desagrega por tipologías para cada NV y AC. Según se establece en la Gaceta Oficial No.001 Ordinario del 2012 se considera que el 60 % de la demanda sea construida por esfuerzo propio de la población y el estado asume el 40 % de la demanda de construcción de vivienda en los territorios. De ahí, que este sea el porcentaje correspondiente a la inversión estatal, el resto de las construcciones se asumen por esfuerzo propio. Por otra parte, la construcción de viviendas por esfuerzo propio presenta dos modalidades de construcción según la fuente de financiamiento. Si el estado financia la construcción se está en presencia de un esfuerzo propio con subsidio, si por el contrario se construye con financiamiento propio, se habla de esfuerzo propio puro.

Existen cuatro tipologías de NV basadas fundamentalmente en el ejecutor de la obra y el tamaño de la misma. Las viviendas de la inversión estatal se caracterizan estar construidas por el estado y tener un tamaño máximo de 70 m<sup>2</sup>. Las casas construidas por esfuerzo propio con subsidio son células básicas habitaciones cuya extensión es de 25 m<sup>2</sup> y representan el 40 % de las construidas por esfuerzo propio. En el caso de las viviendas por esfuerzo propio puro estas se caracterizan por una gran variedad en cuanto a tamaño, como forma de estandarizarlas se asumen dos tipologías fundamentales de vivienda, una representa una vivienda promedio con 80 m<sup>2</sup> y la otra con 120 m<sup>2</sup> se justifica a partir de una tendencia en la ciudad a la construcción de grandes viviendas.

Debido a la diversidad de acciones constructivas que hay identificadas se trabajan con las del programa de subsidio. Para cada una se diseña una variante tipo que encierre en sí los materiales representativos. Las AC que se definen en la investigación son: rehabilitación, conservación mayor y conservación menor. Las rehabilitaciones son acciones constructivas que tratan de mejorar la habitabilidad de una vivienda, mientras que la conservación implica modificaciones estructurales de mayor o menos grado de complejidad. El resultado del cálculo de demanda de

cada una de las tipologías de NV y AC en los municipios de la provincia de Cienfuegos se detalla en las tablas tabla 3.7 y tabla 3.8 para el año 2022.

**Tabla 3.7.** Demanda de nuevas viviendas por tipologías.

Municipios	Demanda por tipología de NV			
	Esfuerzo propio sin subsidio		Esfuerzo propio con subsidio	Inversión estatal
	Vivienda_80	Vivienda_120	CBH_25	Vivienda_70
<b>Cienfuegos</b>	150	8	105	175
<b>Palmira</b>	41	2	29	48
<b>Cruces</b>	27	1	19	31
<b>Rodas</b>	28	1	20	33
<b>Abreu</b>	28	1	19	32
<b>Cumanayagua</b>	18	1	13	21
<b>Lajas</b>	26	1	18	30
<b>Aguada</b>	25	1	18	29

**Tabla 3.8.** Demanda de acciones constructivas por tipologías.

Municipios	Demanda por tipologías de AC								
	Esfuerzo propio sin subsidio			Esfuerzo propio con subsidio			Inversión estatal		
	RH	CM	CN	RH	CM	CN	RH	CM	CN
<b>Cienfuegos</b>	148	211	63	148	211	63	338	85	141
<b>Palmira</b>	39	56	17	39	56	17	90	22	37
<b>Cruces</b>	26	37	11	26	37	11	60	15	25
<b>Rodas</b>	28	39	12	28	39	12	63	16	26
<b>Abreu</b>	27	38	11	27	38	11	61	15	26
<b>Cumanayagua</b>	18	25	8	18	25	8	41	10	17
<b>Lajas</b>	25	36	11	25	36	11	58	14	24
<b>Aguada</b>	24	35	10	24	35	10	56	14	23

Los flujos de los materiales de construcción (materias primas y productos manufacturados en los centros de producción) para la construcción de NV y AC constructivas quedan establecidos como se muestran en las tablas presentes en el anexo 20. En la figura 3.5 se ejemplifica una porción de la red correspondiente a la distribución del cemento (como materia de la industria nacional) para la fabricación de las viguetas de viguetas\_ 4100 mm y el cemento como material de construcción que va directo a los puntos de venta para su comercialización.

### 3.3.2. Datos de entrada al MPPF

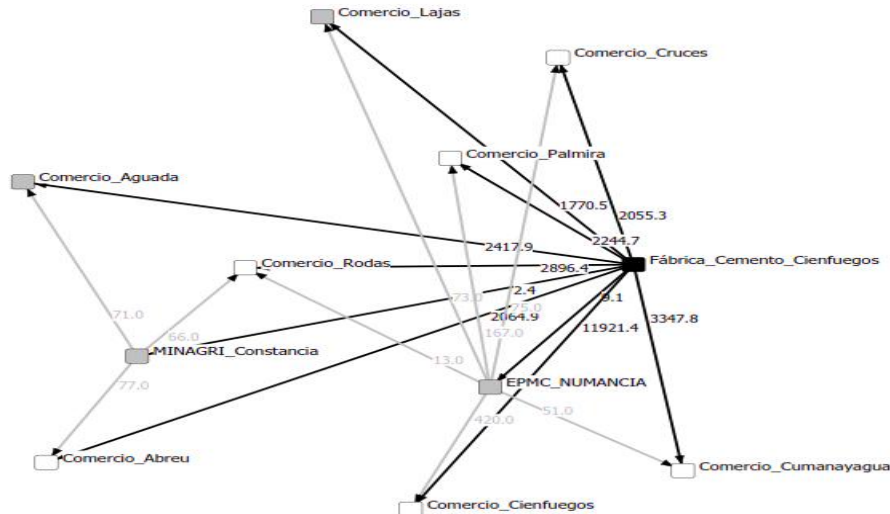
Los datos utilizados para la construcción del modelo provienen de información proporcionada por los miembros del PLPVMC. La información relacionada con los suministros de la industria nacional es proporcionada por el Planificación Física Provincial. Por otra parte, los datos necesarios de la industria local son facilitados por la dirección del PLPVMC en modelos que



recogen valores relacionados a las producciones de materias primas y materiales de construcción en los centros de producción de dicha industria. Finalmente, las ventas de materiales de construcción en las tiendas MultiMat es proporcionada por la dirección de Comercio.

Al analizar la información proporcionada por los diferentes actores de la cadena se aprecia que en muchos casos existen incongruencias y deficiencias que afecta la correcta planificación. No se actualiza la información ante los cambios, en algunos casos la planificación de la producción excede la capacidad, en algunos casos no existe la información relevante que permita tomar decisiones certeras. En su composición se puede observar que la industria de subordinación nacional es la que provee los mayores volúmenes de materias primas y la industria local es la que más producciones (de elementos de pared, cubierta y piso) aporta al programa.

**Figura 3.5.** Representación de los flujos del cemento a unidades productivas y comercios.



### 3.3.3. Resultados del MPPF

Para obtener los resultados del MPPF se implementa en el GAMS (Rajak *et al.*, 2022) el procedimiento descrito en el cuadro 2.1 del epígrafe 2.4.2. Como el modelo para la optimización de los flujos de los materiales de construcción del PLPVMC comprende múltiples objetivos el equipo de trabajo provincial introduce pesos preferenciales para cada uno. De ahí, la importancia que se le asigna a la satisfacción de cada meta. Se establece un 10 % para el rendimiento de la utilidad, 80 % para el nivel de servicio debido a que la actualidad el programa tiene como objetivo principal lograr la mayor cantidad de construcción de NV y AC y un 10 % al aprovechamiento de las capacidades de la industria local. La modelación del problema de los flujos de los materiales de construcción muestra que el PLPVMC puede brindar un nivel de servicio máximo de 49 %, lo que significa que no se cumple con todas las tipologías de construcciones de NV y AC, su

cumplimiento se muestra en la tabla 3.9 y tabla 3.10. El rendimiento de la utilidad obtiene un valor del 91 %, lo que indica que existe un 9 % que se pierde en la distribución de los productos.

**Tabla 3.9.** Resultados del modelo para el cumplimiento de la demanda de NV.

Distribución de la demanda de NV	Vivienda de 80 m <sup>2</sup>	Vivienda de 120 m <sup>2</sup>	Vivienda de 25 m <sup>2</sup>	Vivienda de 70 m <sup>2</sup>
<b>Provincia</b>	8,3 %	100 %	100 %	28,1 %
<b>Municipios</b>				
Cienfuegos	0	8	106	0
Palmira	0	2	29	0
Cruces	0	1	18	0
Rodas	28	1	20	33
Abreu	0	1	19	0
Cumanayagua	0	1	13	21
Lajas	0	1	18	29
Aguada	0	1	18	29

Las tablas 3.9 y 3.10 evidencian que en la construcción de NV solo se cumple el 100 % en el esfuerzo propio de viviendas de 120 m<sup>2</sup> y las CBH, las restantes construcciones se incumplen con un 8.3 % de construcción de viviendas por esfuerzo propio de 80 m<sup>2</sup> y la nueva vivienda del sector estatal con el 28,1 % de construcción. En cuanto a las acciones constructivas se cumple en la totalidad de la conservación menor del esfuerzo propio, se cumple en un 91,8 % de la conservación menor de la inversión estatal y la rehabilitación del esfuerzo propio con subsidio se realiza en un 7,8 %. Las restantes tipologías de acciones constructivas no se realizan.

Otra meta a evaluar es el aprovechamiento de la capacidad de la industria local, con un 48 % es la meta peor evaluada, las principales dificultades que se afrontan y que provocan este valor está dada en la falta de materias primas para la fabricación de las producciones y el bajo cumplimiento de la demanda. Uno de los aspectos que más influye en el bajo cumplimiento de la demanda, además de la capacidad de algunas producciones, es el referido a que los costos de transportación son elevados comparados con los precios de venta, lo que encarece la distribución de los productos terminados y de los materiales en determinados puntos de venta.

Los flujos de los materiales de construcción (materias primas y productos manufacturados en los centros de producción) para la construcción de NV y AC constructivas quedan establecidos como se muestran en las tablas presentes en el anexo 20. En la figura 3.5 se ejemplifica una porción de la red correspondiente a la distribución del cemento (como materia de la industria nacional) para la fabricación de las viguetas de viguetas\_ 4100 mm y el cemento como material de construcción que va directo a los puntos de venta para su comercialización.

**Tabla 3.10.** Resultados del modelo para el cumplimiento de la demanda de AC.

Distribución de la demanda de acciones constructivas	Esfuerzo propio sin subsidio			Esfuerzo propio con subsidio			Inversión estatal		
	Conservación Mayor	Conservación Menor	Rehabilitación	Conservación Mayor	Conservación Menor	Rehabilitación	Conservación Mayor	Conservación Menor	Rehabilitación
<b>Provincia</b>	0	100%	0	0	100%	7.80%	3.40%	91.80%	0
<b>Municipios</b>									
Cienfuegos	0	63	0	0	63	0	0	141	0
Palmira	0	17	0	0	17	0	7	37	0
Cruces	0	11	0	0	11	26	0	25	0
Rodas	0	11	0	0	12	0	0		0
Abreu	0	11	0	0	11	0	0	26	0
Cumanayagua	0	8	0	0	8	0	0	17	0
Lajas	0	11	0	0	11	0	0	24	0
Aguada	0	10	0	0	10	0	0	23	0

### 3.4. Análisis de incertidumbre en el modelo de MPPF

El plan de producción y la organización de los flujos materiales de la CS de materiales de construcción se realizan teniendo en cuenta la incertidumbre presente en la capacidad de la industria de subordinación nacional y el pronóstico de la demanda.

#### 3.4.1. Análisis de incertidumbre en el parámetro capacidad

En la tabla 3.11 se muestran los productos y materiales que por su baja disponibilidad actual restringen el cumplimiento de la demanda.

**Tabla 3.11.** Balance de suministro de las materias primas con menos disponibilidad.

CAPACIDAD DE SUMINISTRO DE MATERIAS PRIMAS						
	(m <sup>3</sup> )	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)
	Arena beneficiada	Alambrón _6,5mm	Barra acero_1/	Barra acero_3/	Barra acero_5/	Cemento blanco
<b>Industria nacional</b>	16527	10000	1520	90	50	101
<b>Total</b>	16527	10000	1520	90	50	101
<b>Demanda</b>	16457	13104	1187	300	16	127
<b>Balance</b>	70	-3104	333	-210	34	-26

Estas constituyen los cuellos de botella en la CS, por lo que para lograr mejores niveles de servicio es importante buscar soluciones en su gestión, o utilizar elementos sustitutos como cubiertas ligeras en lugar de cubiertas o elementos de hormigón. Como resultado, el balance de materias primas y materiales de construcción arroja que para los aceros el PLPVMC no cuenta con suficiente capacidad de suministro. El producto alambrión es el que peor situación presenta con déficit de -3104 t, los demás, aunque sin déficit presentan valores de abastecimiento muy similares a la demanda, lo que conlleva un riesgo para el cumplimiento. La arena beneficiada es el otro suministro con una capacidad baja con el que se corre el riesgo de incumplimiento ante un aumento de la demanda.

La variación para los productos limitantes ( $\Delta Ca_{hr}$ ) establecida por el grupo de trabajo provincial basándose en su experiencia. se muestra en la tabla 3.12.

**Tabla 3.12.** Máxima expansión de la capacidad de los productos limitantes.

Capacidad de abastecimiento	(m <sup>3</sup> )	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)
	Arena beneficiada	Alambrión 6,5mm	Barra acero 1/2"	Barra acero 3/8"	Barra acero 5/8"	Cemento blanco
ACINOX Cienfuegos	0	1500	500	500	500	0
Fábrica de Cemento Siguaney	0	0	0	0	0	100
Canal de Cumanayagua	4000	0	0	0	0	0
Canal de Arimao	4000	0	0	0	0	0

### 3.1.1 Análisis de la incertidumbre en el parámetro de demanda

Las tipologías que el grupo de trabajo provincial considera vulnerables a la presencia de incertidumbre son las relacionadas con el esfuerzo propio. Los valores de correspondiente a los MAE de cada tipología se muestran en la tabla 3.13.

Las dificultades burocráticas en el proceso de aprobación de licencias de construcción, así como logísticas presentes en la adquisición de los materiales en tiempo y descritas en el epígrafe 3.1.

### 3.1.2 Análisis de la incertidumbre en el parámetro de demanda

Las tipologías que el grupo de trabajo provincial considera vulnerables a la presencia de incertidumbre son las relacionadas con el esfuerzo propio. Los valores de correspondiente a los MAE de cada tipología se muestran en la tabla 3.13.

**Tabla 3.13.** Valores de MAE correspondientes a las tipologías con mayor incertidumbre.

	Cienfuegos	Palmira	Cruces	Rodas	Abreu	Cumanayagua	Lajas	Aguada
Rehabilitación sin subsidio	53	14	26	10	10	6	9	9
Conservación mayor sin subsidio	76	21	37	14	14	9	13	13
Conservación menor sin subsidio	23	6	11	4	4	3	4	4
Rehabilitación con subsidio	53	14	26	10	10	6	9	9
Conservación mayor con subsidio	76	21	37	14	14	9	13	13
Conservación menor con subsidio	23	6	11	4	4	3	4	4
Vivienda de esfuerzo propio (80 m <sup>2</sup> )	45	12	8	8	8	5	8	8
Vivienda de esfuerzo propio (120 m <sup>2</sup> )	2	1	0	0	0	0	0	0

Las dificultades burocráticas en el proceso de aprobación de licencias de construcción, así como logísticas presentes en la adquisición de los materiales en tiempo y descritas en el epígrafe 3.1.

### 3.5. Procedimientos de solución para el MDPPF

Para solucionar el MDPPF-1 se implementa en el GAMS (Vaezehir, Qobadian, Azim, & Tabarmayeh, 2022) el procedimiento descrito en el cuadro 2.2 del epígrafe 2.4.2. A partir de la modelación de las combinaciones de la demanda ( $\beta$ ) y el cumplimiento de las metas ( $\gamma$ ), se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 3.14 donde  $\beta$  representa la variación en la demanda,  $\beta_0$  corresponde a un valor alto de la demanda,  $\beta_{0,5}$  un valor medio de la demanda y  $\beta_1$  representa el valor más bajo. Mientras más se acerque el valor de la demanda a  $\beta_1$  más fácil será de cumplir. De forma similar  $\gamma$  representa el cumplimiento de las metas,  $\gamma_0$  lleva un cumplimiento más estricto de la demanda,  $\gamma_1$  pertenece a un relajamiento del cumplimiento de las metas y  $\gamma_{0,5}$  corresponde a un término medio.

**Tabla 3.14.** Valores de MAE correspondientes a las tipologías con mayor incertidumbre.

	Cienfuegos	Palmira	Cruces	Rodias	Abreu	Cumanayagua	Lajas	Aguada
Rehabilitación sin subsidio	53	14	26	10	10	6	9	9
Conservación mayor sin subsidio	76	21	37	14	14	9	13	13
Conservación menor sin subsidio	23	6	11	4	4	3	4	4
Rehabilitación con subsidio	53	14	26	10	10	6	9	9
Conservación mayor con subsidio	76	21	37	14	14	9	13	13
Conservación menor con subsidio	23	6	11	4	4	3	4	4
Vivienda de esfuerzo propio (80 m <sup>2</sup> )	45	12	8	8	8	5	8	8
Vivienda de esfuerzo propio (120 m <sup>2</sup> )	2	1	0	0	0	0	0	0

El parámetro  $\alpha$  es una variable con la que se busca optimizar la capacidad de gestión del gobierno de las variables bajo incertidumbre. Mientras más altos sean los valores de la demanda ( $\beta_0$ ) y más altas las exigencias del cumplimiento de las metas ( $\gamma_0$ ) más estrés se genera en el sistema. O sea, cuando  $\alpha$  obtiene valor cero o cercano al mismo significa que se cumple con más dificultad y hay que hacerle más variaciones al plan original.

Los resultados arrojan que para una demanda alta no es posible realizar un cumplimiento máximo o medio de las metas, ni siquiera logrando el máximo de las capacidades a través de una gestión más eficiente. Solo es posible el cumplimiento de la demanda alta a partir del cumplimiento mínimos de las metas. Bajo estas condiciones con un elevado nivel de estrés es posible obtener un 93,2 % de NS y una ganancia cercana de 200 millones de CUP.

Se implementa en el GAMS (Vaezehir *et al.*, 2022) la solución del procedimiento del MDPPF-2 (cuadro 2.3 del epígrafe 2.4.2). Para este caso la  $W$  es 0.5 dándole la misma importancia al cumplimiento de las metas  $M_M$  y a facilidad en la gestión  $\alpha$ . En la tabla 3.15 se muestran los resultados.

Un análisis de los escenarios resultantes mostrados en la tabla 3.14 permite determinar que cuando la demanda es media los mejores resultados se obtienen para un cumplimiento medio de las metas, el estrés por el cumplimiento es medio y se obtienen los mejores resultados de NS, utilidad y capacidad de la industria local con un 98,5 %, 207 millones de CUP y 83,6 % respectivamente. Por último, cuando la demanda es baja también es en el cumplimiento medios de las metas donde se obtienen los mejores resultados con un nivel de servicio de 97,7 %, una

utilidad cercana a los 225 millones de CUP y utilización de la capacidad de la industria local del 82,3 %.

**Tabla 3.15.** Solución del modelo difuso fijando valores de  $\beta$  y  $\gamma$  y maximizando la facilidad de gestión del gobierno.

		$\beta_0$ Demanda alta	$\beta_{0.5}$ Demanda media	$\beta_1$ Demanda baja
$\gamma_0$ Cumplimiento máximo de metas	Viabilidad ( $\alpha$ )	-	-	0,000118
	NS	-	-	100 %
	Utilidad	-	-	2.5E+08
	% Capacidades industria local	-	-	85,3 %
$\gamma_{0.5}$ Cumplimiento medio de metas	Viabilidad ( $\alpha$ )	-	0,347	0,0018
	NS	-	98,5 %	97,7 %
	Utilidad	-	2.07E+08	2.25E+08
	% Capacidades industria local	-	83,6 %	82,3 %
$\gamma_1$ Cumplimiento mínimo de metas	Viabilidad ( $\alpha$ )	0,161	0,027	0,194
	NS	93,2 %	95,1 %	95,7 %
	Utilidad	2.33E+08	2.02E+08	2.02E+08
	% Capacidades industria local	84,3 %	82,3 %	76,8 %

Luego de estudiar los resultados del modelo tomando como parámetros el comportamiento de la demanda y el cumplimiento de las metas, se realiza una corrida optimizando  $\gamma$  y  $\alpha$ , cuyos resultados se muestran en la tabla 3.16. Al comparar estos datos con los obtenidos en el análisis anterior (tabla 3.14), se aprecia que se consiguen mejores valores cuando se optimizan la demanda y el cumplimiento de las metas. No obstante, vale destacar que los últimos resultados obtenidos se ajustan más a los valores reales que se pueden conseguir con quehacer y las gestiones de los miembros del PLPVMC.

**Tabla 3.16.** Solución del modelo difuso con una función objetivo óptima entre el cumplimiento de las metas y el esfuerzo.

	$\beta_0$ Demanda alta	$\beta_{0.5}$ Demanda media	$\beta_1$ Demanda baja
Viabilidad ( $\alpha$ )	0,753	0,669	0,545
NS	85,2 %	88,7 %	91,1 %
Utilidad	1.612E+08	1.902E+08	2.099E+08
% Capacidades industria local	77,4 %	76,7 %	73,8 %

En consenso el equipo de trabajo provincial decide que el mejor plan para su implementación es el que se muestra en la tabla 3.15 para una demanda alta. Este permite el cumplimiento de la

demanda alta con un nivel de satisfacción del 85.2 % al menor estrés posible en comparación con los restantes. La ejecución de este plan permite el cumplimiento de un 100 % de las viviendas de 120 m<sup>2</sup>, las CBH y las viviendas de 70 m<sup>2</sup>, las restantes de 80 m<sup>2</sup> se pueden cumplir al 64 %. Un desglose de su cumplimiento en los municipios se aprecia en la tabla 3.17 **Error! Reference source not found.** a continuación:

**Tabla 3.17.** Resultados del modelo para el cumplimiento de la demanda de NV.

Distribución de la demanda de NV	Vivienda de 80 m <sup>2</sup>	Vivienda de 120 m <sup>2</sup>	Vivienda de 25 m <sup>2</sup>	Vivienda de 70 m <sup>2</sup>
<b>Provincia</b>	64 %	100 %	100 %	100 %
<b>Municipios</b>				
Cienfuegos	190	10	105	175
Palmira	26	3	29	48
Cruces	0	2	19	31
Rodas	35	2	20	33
Abreu	0	2	19	32
Cumanayagua	11	1	13	21
Lajas	33	2	18	30
Aguada	28	2	18	29

En cuanto a las acciones constructivas el esfuerzo propio sin subsidio encuentra bajos niveles de cumplimiento y solo la conservación menor es la que logra satisfacer la demanda en un 100 %. El esfuerzo propio con subsidio cumple el 100 % la conservación menor y la rehabilitación quedando sin cumplir la conservación mayor en un 36 %. La inversión estatal consigue altos niveles de cumplimiento en la conservación mayor y menos, mientras que en la rehabilitación apenas cumple en un 12 %. La desagregación de los cumplimientos en los municipios se aprecia en la tabla 3.18.

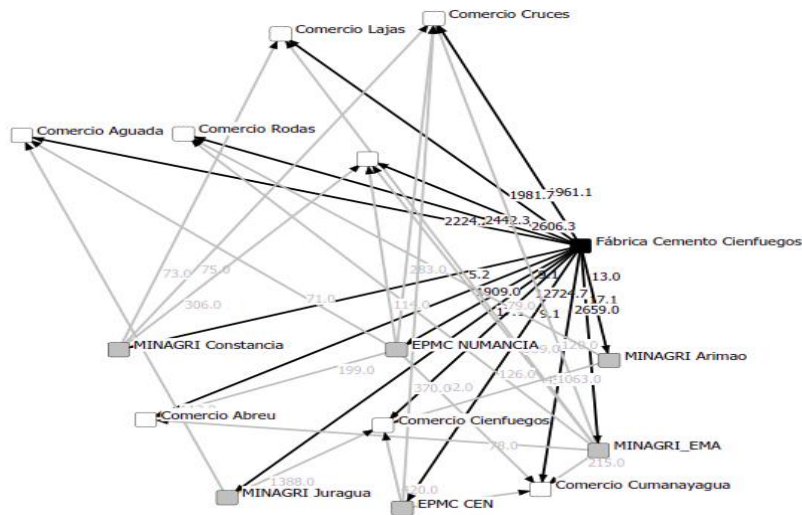
Los flujos de los materiales de construcción (materias primas y productos manufacturados en los centros de producción) para la construcción de NV y AC para el modelo difuso quedan establecidos como se muestran en las tablas presentes en el anexo 21. En la figura 3.6 se ejemplifica una porción de la red correspondiente a la distribución del cemento (como materia de la industria nacional) para la fabricación de las viguetas de viguetas\_ 4100mm y el cemento como material de construcción que va directo a los puntos de venta para su comercialización.



**Tabla 3.18.** Resultados del modelo para el cumplimiento de la demanda de AC.

Distribución de la demanda de acciones constructivas	Esfuerzo propio sin subsidio			Esfuerzo propio con subsidio			Inversión estatal		
	Conservación Mayor	Conservación Menor	Rehabilitación	Conservación Mayor	Conservación Menor	Rehabilitación	Conservación Mayor	Conservación Menor	Rehabilitación
<b>Provincia</b>	21 %	100 %	40 %	36 %	100 %	100 %	100 %	98 %	12 %
<b>Municipios</b>									
Cienfuegos	0	86	0	222	86	201	85	141	0
Palmira	38	23	54	34	23	54	22	37	0
Cruces	7	22	52	75	22	52	15	25	0
Rodas	0	16	38	0	16	38	16	23	0
Abreu	0	16	37	10	16	37	15	25	0
Cumanayagua	0	10	24	28	10	24	41	10	17
Lajas	49	15	34	0	15	34	14	22	48
Aguada	0	14	33	0	14	33	14	23	0

**Figura 3.6.** Representación de los flujos del cemento a unidades productivas y comercios de la solución difusa.



### 3.6. Conclusiones parciales del capítulo

1. La caracterización y diagnóstico de la CS de materiales de la construcción y de la gestión del PLPVMC demuestran la necesidad de investigación en herramientas que logren una planificación de la producción conjunta en función enfocada en la demanda.

2. Para la validación del modelo de pronóstico de demanda de construcción de nuevas viviendas y acciones constructivas (MPD) se utilizó un período de ocho años. El grupo de trabajo provincial confirma la decisión de utilizar el modelo a partir de los resultados de los indicadores de errores.
3. La determinación de las demandas de AC y NV en la provincia de Cienfuegos y sus respectivos municipios 2022 les permite a los grupos de trabajo y actores del programa la planificación de sus actividades en función de su cumplimiento, trazar estrategias y políticas, así como la evaluación de la efectividad de los planes como herramientas de control.
4. La utilización de la programación meta y difusa consigue la obtención de un conjunto de escenarios de planificación que amplía las posibilidades a los grupos de trabajo para seleccionar planes viables y alineados a los objetivos del PLPVMC.
5. Los valores del nivel de servicio, las utilidades, el aprovechamiento de la capacidad de la industria local y la viabilidad en la gestión constituyen indicadores relevantes que permiten al grupo de trabajo provincial evaluar y seleccionar los planes más atractivos y realistas.
6. Se consiguió probar la utilidad práctica del modelo de pronóstico de la demanda, del modelo multiobjetivo para la planificación de la producción y los flujos materiales, así como de la viabilidad del procedimiento para la planeación colaborativa de la demanda de materiales de construcción a través del caso de estudio de la CS del PLPVMC de la provincia de Cienfuegos.

## ***CONCLUSIONES GENERALES***

---

## CONCLUSIONES GENERALES

1. La revisión del estado del conocimiento y la práctica evidenció que la GCS de la construcción presenta características particulares de interés científico demostrado a partir de los precedentes investigativos encontrados. No obstante, aún se considera insuficiente el tratamiento a la gestión colaborativa en este tipo de CS y de los modelos de previsión de la demanda, de planificación para condiciones de incertidumbre. Por su parte, la gestión de la CS de la construcción asociada al PLPVMC presenta dificultades y reservas en el aprovechamiento de las capacidades instaladas por problemas de planificación y control.
2. En el marco teórico y referencial de la investigación quedó demostrado que los modelos de pronóstico de demanda de vivienda y los de diseño de CS de múltiples productos bajo condiciones de incertidumbre no dan respuesta al problema científico de la investigación, por lo cual se considera actual y pertinente, tanto en el plano metodológico como práctico.
3. El marco metodológico propuesto para el diseño de un modelo de pronóstico de demanda de viviendas y acciones constructivas, constituye un novedoso aporte de la investigación. El MPD resultante se caracteriza por ser un modelo que utiliza la experiencia de los directivos del PLPVMC de manera robusta, flexible y contextualizado a las condiciones de la provincia de Cienfuegos. El modelo permite manejar la incertidumbre mediante la utilización de la lógica difusa y los FIS y pronosticar la demanda en múltiples niveles a partir del uso del AHP.
4. El modelo de programación difusa por metas MDPPF para la planificación y optimización de los flujos constituye uno de los principales aportes de la investigación, permiten planificar los flujos en la cadena de manera robusta y realista atendiendo a la incertidumbre en la demanda y la gestión de las capacidades. Además, asegura el cumplimiento de los objetivos del PLPVMC a través de la optimización del nivel de servicio, las utilidades del sistema y las capacidades de la industria local.
5. Los indicadores propuestos para la evaluación de los planes como el nivel de servicio, las utilidades, el aprovechamiento de la capacidad de la industria local y la viabilidad en la gestión mostraron utilidad práctica para al permitir al grupo de trabajo provincial evaluar y seleccionar los planes más atractivos y realistas.
6. El procedimiento colaborativo propuesto constituye el principal aporte metodológico de la investigación, ofrece guías metodológicas a los integrantes del PLPVMC de cómo conducir el flujo informativo a través del proceso de toma de decisiones para confeccionar los planes de producción de la CS en correspondencia con la demanda.

7. Se consiguió probar la utilidad práctica de los modelos y el procedimiento propuesto, en el caso de estudio para las CS del PLPVMC. La confección de herramientas integradas, garantizó la solución del problema de investigación a través de los modelos presentados, lo que posibilita su utilización en otras cadenas que cumplan con los supuestos de los modelos.
8. La ejecución de la estrategia de comprobación de la hipótesis general de la investigación a través de los resultados de la aplicación de las herramientas propuestas en el caso de estudio práctico y ratificados en las conclusiones, demuestra la veracidad de dicha hipótesis.

## ***RECOMENDACIONES***

---

## RECOMENDACIONES

1. Continuar la investigación para automatizar a partir de una herramienta informática el trabajo de integración de los modelos propuestos y así facilitar la gestión y procesamiento de la información.
2. Generalizar la aplicación de los modelos y procedimiento en las CS del PLPVMC del resto de las provincias del país con sus correspondientes adecuaciones como una contribución para mejorar la gestión y la toma de decisiones del programa a nivel nacional.
3. Un aspecto importante para continuar la investigación, lo constituye la necesidad de analizar otros materiales de construcción y fuentes de incertidumbre, no contemplados en los modelos propuestos.
4. En la medida que se cuente con una base de datos suficiente, valorar la fortaleza que ofrece inteligencia artificial para disminuir la subjetividad presente en la influencia de los expertos.

## ***BIBLIOGRAFÍA***

---



## BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo Suárez, J. A. (2008). *Modelos y estrategias de desarrollo de la Logística y las Redes de Valor en el entorno de Cuba y Latinoamérica*. CUJAE.
- Acevedo Suárez, J. A., Gómez Acosta, M. I., & López Joy, T. (2012). Ingeniería Industrial. *Ingeniería Industrial*, 33(2), 200–213.
- Acevedo Urquiaga, A. J. (2013). *Modelo de Gestión Colaborativa del Flujo Logístico*. CUJAE.
- 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/10.20430/ete.v83i330.201>
- Ahmad, A., Iqbal, N., & Siddiqui, R. (2018). Determinants of housing demand in urban areas of Pakistan: Evidence from the PSLM. *The Pakistan Development Review*, 57(1), 1–25.
- Akintoye, A., McIntosh, G., & Fitzgerald, E. (2000). A survey of supply chain collaboration and management in the UK construction industry. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 6(3–4), 159–168.
- 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>
- Akram, M., Ullah, I., & Allahviranloo, T. (2022). A new method for the solution of fully fuzzy linear programming models. *Computational and Applied Mathematics*, 41(55), 1–25. <https://doi.org/10.1007/s40314-021-01503-9>
- Alamdardar, 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/10.1016/j.eswa.2018.03.029>
- Alavedra Flores, C., Gastelu Pinedo, Y., Méndez Orellana, G., Minaya Luna, C., Pineda Ocas, B., Prieto Gilio, K., ... Moreno Rojo, C. (2016). Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013. *Ingeniería Industrial*, (34), 11–26.
- Alleman, G. B., Coonce, T. J., & Price, R. A. (2018). What is risk. *Coll Perform Manage Measur News*, 1, 25–34.
- 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/10.1016/j.eswa.2016.12.024>
- Arango Mejías, J. L. (2009). Apuntes sobre las políticas culturales en América Latina, 1987-2009. *Pensamiento Iberoamericano*, (4), 105–129.
- Arango Serna, M. D., Adarme Jaimes, W., & Zapata Cortes, J. A. (2013). Inventarios colaborativos en la optimización de la cadena de suministro. *Dyna*, 80(181), 71–80.
- Arantes, A., Ferreira, L. M. D. F., & Costa, A. A. (2015). Is the construction industry aware of supply chain management? The Portuguese contractors' perspective. *Supply Chain Management: An International Journal*, 20(4), 404–414. <https://doi.org/10.1108/SCM-06->

2014-0207

- Arora, M., Raspall, F., Cheah, L., & Silva, A. (2019). Residential building material stocks and component-level circularity: The case of Singapore. *Journal of Cleaner Production*, 216, 239–248. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.01.199>
- Arroyo Pérez, R. (2016). *Problemas en la gestión de la cadena de suministro en las pymes de la construcción: una revisión de la literatura*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Astuty, W., Pasaribu, F., Rahayu, S., & Habibie, A. (2021). The influence of environmental uncertainty, organizational structure and distribution network competence on the quality of supply chain management information systems. *Growing Science*, 9(1), 116–124. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2020.11.003>
- Augiseau, V., & Barles, S. (2017). Studying construction materials flows and stock: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 153–164. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2016.09.002>
- Aviv, Y. (2007). On the Benefits of Collaborative Forecasting Partnerships Between Retailers and Manufacturers. *Management Science*, 53(5), 777–794. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1060.0654>
- Aydin, O., & Hayat, E. A. (2018). *Estimation of Housing Demand with Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS)*. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-68762-9\\_49](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68762-9_49)
- 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/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/10.3846/tede.2019.7456>
- Bagchi, P. K., Chun Ha, B., Skjoett Larsen, T., & Boege Soerensen, L. (2005). Supply chain integration: a European survey. *The International Journal of Logistics Management*, 16(2), 275–294. <https://doi.org/10.1108/09574090510634557>
- Balza Franco, V. I., & Cardona Arbelaez, D. A. (2020). La relación entre logística, cadena de suministro y competitividad: una revisión de literatura. *Revista Espacios*, 41(19), 179–196.
- Balza Franco, V. I., Paternina Arboleda, C., & Cardona Arbelaez, D. A. (2019). Prácticas colaborativas en las cadenas de suministro: Una revisión conceptual. *Saber, Ciencia y Libertad*, 14(2), 77–101.
- Banda Ortíz, H., Garza Morales, R., & Cepeda Villasana, L. A. (2022). Cadena de suministro para pequeñas y medianas empresas de servicios industriales: Desarrollo de aplicaciones de modelos de gestión. *Revista Venezolana de Gerencia (RVG)*, 27(97), 274–288.
- Barreras Ferrán, R. (2022). Cienfuegos cumplió plan de construcción de viviendas en 2021. *Trabajadores*.
- 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>
- Bautista Santos, H., Martínez Flores, J. L., Fernández Lambert, G., Bernabé Loranca, M. B.,

- Sánchez Galván, F., & Sablón Cossío, N. (2015). Integration model of collaborative supply chain. *Dyna*, 82(193), 145–154.
- Bayer, P., Mcmillan, R., Murphy, A., & Timmins, C. (2016). A Dynamic model of demand for houses and neighborhoods. *Económica*, 84(3), 893–942. <https://doi.org/10.3982/ECTA10170>
- Becerra, M., de Juan, I., & Suárez, J. L. (2015). *Modelo de previsión de demanda de vivienda nueva*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2769860>
- Bemelmans, J., Voordijk, H., & Vos, B. (2012). Supplier-contractor collaboration in the construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(4), 342–368. <https://doi.org/10.1108/09699981211237085>
- Bendoly, E., Boyer, K., Craig, N., & Somak, P. (2022). Pulled in opposite directions: A joint consideration of supply and demand uncertainty in supply chain decision-making. *Journal of Business Logistics*. <https://doi.org/10.1111/jbl.12315>
- Bernal García, J. I., & González Villegas, J. M. (2013). *Determinantes del sector de la vivienda nueva (no VIS) en el Valle de Aburrá*. Universidad EAFIT.
- Betancourt Expósito, L., Sablón Cossío, N., Bofill Placeres, A., & Acevedo Urquiaga, A. J. (2021). Metodología para el estudio de la demanda colaborativa en una cadena comercial. *Ingeniería Industrial*, 42(3), 120–132.
- Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., & Giacchetta, G. (2008). Value Stream Mapping in Project Management: A Case Study. *Project Management Journal*, 39(3), 110–124. <https://doi.org/10.1002/pmj.20069>
- Beyoda Rangel, Y., & Jáuregui Díaz, J. A. (2016). Reception of international remittances and their impact on the domestic economy in Santiago de Cali, Colombia. *Revista Colombiana de Sociología*, 39(2), 243–262. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/rsc.v39n2.58975>
- Boiko, A., Shendryk, V., & Boiko, O. (2019). Information systems for supply chain management: uncertainties, risks and cyber security. *Procedia Computer Science*, 149, 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.108>
- Bojórquez Delgado, G., & Bojórquez Delgado, J. (2014). Metodología para la implementación de sistemas difusos tipo MAMDANI en lenguaje de programación de propósito general. *Congreso Internacional En Ingeniería Electrónica*, 318–323. Chihuahua, México.
- Borgatti, S. ., Everett, M. ., & Freeman, L. . (2002). *Ucinet 6 for Windows: Software for Social Network Analysis*. Harvard, MA: Analytic Technologies.
- Bourgault, M., Drouin, N., & Hamel, E. (2008). Decision Making within Distributed Project Teams: An Exploration of Formalization and Autonomy as Determinants of Success. *Project Management Journal*, 39(1\_suppl), S97–S110. <https://doi.org/10.1002/pmj.20063>
- Buñay Gavidía, 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*.
- 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*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

- Cadena Minnota, F. R. (2010). *Los determinantes de la demanda de viviendas en las ciudades de Guayaquil, Quito y Cuenca: Un Análisis Multinomial*.
- Cadena, X., Cárdenas, M., & Quintero, J. F. (2004). Determinantes de la actividad constructora en Colombia. *Estudios de Economía Aplicada*, 35–82.
- Calderón, J. (2015). Programas de vivienda social nueva y mercados de suelo urbano en el Perú. *EURE (Santiago)*, 41(122), 27–47. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612015000100002>
- Calderón Rodríguez, J. (2015). Programas de vivienda social nueva y mercados de suelo urbano en el Perú. *EURE (Santiago)*, 41(122), 27–47. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612015000100002>
- Calleja Sanz, G., Corominas Subias, A., Martínez Costa, C., & Torres Martínez, M. del R. (2017). Methodological approaches to supply chain design. *International Journal of Production Research*, 56(13), 4467–4489. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1412526>
- Cárdenas Santa-María, M., & Hernández Caballero, M. (2006). *El sector financiero y la vivienda*. Retrieved from <http://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/984>
- Castellano Bonilla, D. H. (2010). *Determinantes del precio de las viviendas: Un análisis econométrico para Colombia*. Universidad Industrial de Santander.
- Castiblanco Medina, F. M. (2020). *Análisis cualitativo de herramientas Lean para la generación de una guía aplicable a la cadena de abastecimiento de la construcción de vivienda en Bogotá D.C.* Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Castro Martínez, R. (2013). *Perfeccionamiento del Programa de la Producción Local Materiales de Construcción en la Provincia de Cienfuegos*. Universidad de Cienfuegos.
- Cengiz, A. E., Aytakin, O., Ozdemir, I., Kusan, H., & Cabuk, A. (2017). A Multi-criteria Decision Model for Construction Material Supplier Selection. *Procedia Engineering*, 196, 294–301. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.07.202>
- Chaveco, O. (2022). Al 70 por ciento plan de construcción de viviendas en Cienfuegos. *Agencia Cubana de Noticias*.
- Chawla, A., Singh, A., Lamba, A., Gangwani, N., & Soni, U. (2019). Demand Forecasting Using Artificial Neural Networks—A Case Study of American Retail Corporation. In *Applications of Artificial Intelligence Techniques in Engineering* (Springer). [https://doi.org/10.1007/978-981-13-1822-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1822-1_8)
- 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/10.1016/j.ijpe.2009.06.037>
- Chen, L., Zhao, X., Tang, O., Price, L., Zhang, S., & Zhu, W. (2017). Supply chain collaboration for sustainability: A literature review and future research agenda. *International Journal of Production Economics*, 194, 73–87.
- Chen, P.-H., & Nguyen, T. C. (2019). A BIM-WMS integrated decision support tool for supply chain management in construction. *Automation in Construction*, 98, 289–301. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.019>
- Chen, Q., Hall, D. M., Adey, B. T., & Haas, C. T. (2021). Identifying enablers for coordination

- across construction supply chain processes: a systematic literature review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(4), 1083-1113.  
<https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2020-0299>
- Childerhouse, P., & Towill, D. . (2004). Reducing uncertainty in European supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 15(7), 585–598.
- Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management* (Fifth Edit). Retrieved from [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=NlfQCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT7&dq=Christopher,+M.+\(2016\).+Logistics+%26+supply+chain+management,+Pearson+UK.&ots=x28-GvHmoA&sig=8Kqh5YoTFg1Loegu1rTxyYPrviQ#v=onepage&q=Christopher%2C+M.+\(2016\).+Logistics+%26+supp](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=NlfQCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT7&dq=Christopher,+M.+(2016).+Logistics+%26+supply+chain+management,+Pearson+UK.&ots=x28-GvHmoA&sig=8Kqh5YoTFg1Loegu1rTxyYPrviQ#v=onepage&q=Christopher%2C+M.+(2016).+Logistics+%26+supp)
- Civit Evans, E. (2022). Importante déficit de vivienda a nivel mundial. *El Ojo Digital*.
- Clavijo Torres, S., Janna Gandur, M., & Muñoz Trujillo, 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>
- Coca Carasila, A. M., & Molina Higuera, P. I. (2012). Análisis de la Demanda de Vivienda: un enfoque de Marketing. *Revista Perspectivas*, 29, 7–29.
- 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.
- 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 )*. Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas (IVIE).
- Colom Andrés, M. C., & Molés Machín, M. C. (1997). *La demanda de la vivienda en España*. 3–27.
- Coremberg, A. A. (2000). El precio de la vivienda en Argentina: un análisis econométrico de sus determinantes fundamentales. *Papeles de Población*, 6(23), 93–125.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22185/24487147.2016.032>
- Cortés Cortés, M., & Iglesias León, M. (2005). *Generalidades sobre Metodología de la Investigación*. Campeche: Universidad Autónoma del Carmen.
- Cortés Martínez, R., Ramos Miranda, F. E., & González Suárez, E. (2021). Métodos de solución para problemas de optimización multiobjetivo en refinerías de petróleo. *Tecnología Química*, 41(1), 76–90.
- Costa, F., Denis Granja, A., Fregola, A., Picchi, F., & Portioli Staudacher, A. (2019). Understanding Relative Importance of Barriers to Improving the Customer–Supplier Relationship within Construction Supply Chains Using DEMATEL Technique. *Journal of Management in Engineering*, 35(3), 04019002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000680](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000680)
- Covas Varela, D., Martínez Curbelo, G., & González Hernández, G. (2022). Perfeccionamiento de la gestión de las cadenas de suministro del Programa local de producción y ventas de Materiales de construcción. *Ciencias Administrativas*, (20), 4–4.
- Coyula Cowley, M. (2014). ¿Cómo será La Habana? *Revista Bimestre Cubana*, 115, 22–33.

- Curto Lorenzo, D. (2020). *Herramientas y Técnicas en la Gestión de la Incertidumbre*. Universidad de Valladolid.
- Cutiño Duany, I. F., & Fernández Chaviano, B. E. (2021). *Optimización de los flujos en la cadena de suministro de materiales de la construcción en la provincia de Cienfuegos*. Universidad de Cienfuegos.
- da Costa Neto, L. F. S. (2019). *Contribución a la gestión de los costos ambientales de los procesos logísticos en la cadena de suministro de combustibles y lubricantes de las Fuerzas Armadas Angolanas*. Universidad de Holguin.
- Damnjanovic, I., & Reinschmidt, K. (2020). *Data Analytics for Engineering and Construction Project Risk Management*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-14251-3>
- Davis, T. (1993). Effective supply chain management. *Sloan management review*. *Sloan Management Review*, 34, 35–46.
- de Maria, A., Acero, J. L., Aguilera, A. I., & Garcia Lozano, M. (2018). *Estudio de la urbanización en Centroamérica: Oportunidades de una Centroamérica urbana*. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1220-0>
- Defalque, C. M., da Silva, N. F., & Marins, F. A. S. (2021). Goal programming model to waste paper logistics processes. *Applied Mathematical Modelling*, 98, 185–206.
- Díaz Muñoz, G. (2020). Metodología del estudio piloto. *Revista Chilena de Radiología*, 26(3), 100–104. <https://doi.org/10.4067/S0717-93082020000300100>
- Doubet, L. (2022). Impulsan en Cienfuegos programa de construcción de viviendas. *Radio Reloj*.
- Dubey, R., Altai, N., Gunsasekaran, A., Blome, C., Papadopoulos, T., & Childe, S. (2018). Supply chain agility, adaptability and alignment: Empirical evidence from the Indian auto components industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 38(10), 129–148. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-04-2016-0173>
- Dubin, J. A., & McFadden, D. L. (1984). An Econometric Analysis of Residential Electric Appliance Holdings and Consumption. *Econometría*, 52(2), 345. <https://doi.org/10.2307/1911493>
- Durán, C. (2004). Evaluación microeconómica de las políticas públicas de empleo: aspectos metodológicos. *Hacienda Pública Española*, (3), 107–133.
- Egebo, T., Richardson, P., & Lienert, L. (1990). A model of housing investment for the major OECD economies. *Economic Studies*, 14, 151–188.
- Ergen, E., Akinci, B., & Sacks, R. (2007). Life-cycle data management of engineered-to-order components using radio frequency identification. *Advanced Engineering Informatics*, 21(4), 356–366. <https://doi.org/10.1016/J.AEI.2006.09.004>
- Eriksson, P. E. (2015). Partnering in engineering projects: Four dimensions of supply chain integration. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 21(1), 38–50.
- 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>
- Espitia Cuchango, H. E. (2021). *Sistema de control neuro-difuso basado en relaciones*

*booleanas*. Universidad de Oviedo.

- Everett, M., Borgatti, S. ., & Stephen, P. (2005). Ego network betweenness. *Social Network*, 27(1), 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2004.11.007>
- Evia Lanier, F. (2008). *Metodología de diseño de la cadena de suministro inversa. Una contribución a la logística reversa*. CUJAE.
- Fazel Zarandi, M. H., & Saghiri, S. (2007). Five crisp and fuzzy models for supply chain of an automotive manufacturing system. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 2(3), 178–196. <https://doi.org/10.1080/17509653.2007.10671020>
- Feitó Cespón, M. (2015). *Modelo multiobjetivo para el rediseño de cadenas de suministro sostenibles de reciclaje , bajo condiciones de incertidumbre. Aplicación a la recuperación de plásticos en Cuba*. Universidad de Santa Clara.
- Feitó Cespón, M., Martínez Curbelo, G., Cutiño Duany, I. F., & Fernández Chaviano, B. E. (2022). Optimización de los flujos en la cadena de suministro de materiales de construcción en la provincia de Cienfuegos. *Evento Provincial LOGMARK 2022*. Cienfuegos.
- Figueredo Reinaldo, O., & Garaycoa Martínez, R. (2016). Materiales de la construcción...no se valen sacos rotos. *CUBADEBATE*.
- Figueroa Vidal, C. (2013). Hábitat, desarrollo local y la gestión universitaria del conocimiento y la innovación. *Rev Digital GUCID*.
- Fisher, M. . (1997). What is the right supply chain for your product? *Harvard Business Review*, 75(2), 105–116.
- 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>
- Frechtling, D. C. (2012). *Forecasting Tourism Demand:Methods and Strategies* (First; Routledge, Ed.). New York: Taylor & Francis Group.
- Fulford, R., & Standing, C. (2014). Construction industry productivity and the potential for collaborative practice. *International Journal of Project Management*, 32(2), 315–326.
- Fuster, A., & Zafar, B. (2021). The Sensitivity of Housing Demand to Financing Conditions: Evidence from a Survey. *American Economic Journal: Economic Policy*, 13(1), 231–265. <https://doi.org/10.1257/pol.20150337>
- García Arroyo, J. R. (2018). *Valoración de viviendas por atributos en Lima Metropolitana* (Universidad de Metropolitana de Lima). <https://doi.org/10.26439/ulima.tesis/8045>
- García Rendon, J., Díaz, S., Upegui, J., & Velásquez Ceballo, H. (2016). Determinantes del precio de la vivienda nueva No VIS en Medellín: un modelo estructural. *Revista Internacional de Investigación y Docencia*, (16), 34–44. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/47252161.pdf>
- Geary, S., Childerhouse, P., & Towill, D. . (2006). On bullwhip in supply chains historical review, present practice and expected future impact. *International Journal of Production Economics*, 101(1), 2–18.
- Gobillon, L., & Le Blanc, D. (2002). *The Impact of Borrowing Constraints on Mobility and Tenure Choice*.

- Goepel, K. . (2018). Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(3), 469–487. <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>
- Goh, B. (1998). Forecasting residential construction demand in Singapore: a comparative study of the accuracy of time series, regression and artificial neural network techniques. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 5(3), 261–275. <https://doi.org/10.1108/eb021080>
- Goldratt, E. M., Cox, J., & Whitford, D. (1992). *The goal: a process of ongoing improvement* (2ed ed.; M. N. R. P. Great Barrington, Ed.).
- Golpîra, H. (2020). Optimal integration of the facility location problem into the multi-project multi-supplier multi-resource Construction Supply Chain network design under the vendor managed inventory strategy. *Expert Systems with Applications*, 139(112841). <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112841>
- Gómez Acosta, M. I. (1997). *La planificación y control del flujo logístico en empresas de producción contra pedidos de la industria mecánica*. CUJAE.
- Gómez Acosta, M. I., & Acevedo Suárez, J. A. (2013). Caracterización de la Logística y las Redes de Valor en empresas cubanas en Perfeccionamiento Empresarial. *Ingeniería Industrial*, 34(2), 212–226.
- González, R. S., & Andino, M. O. (2014). Cuadro de Mando ODUN una Herramienta en Software Libre para la Gestión Empresarial. *Revista Ciencia UNEMI*, 7(11), 81–87. <https://doi.org/1390-4272>
- 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/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>
- Govindan, K., Mina, H., Esmaeili, A., & Gholami-Zanjani, S. M. (2020). An Integrated Hybrid Approach for Circular supplier selection and Closed loop Supply Chain Network Design under Uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 241(1), 118–217. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118317>
- Guan, J., Zurada, J., & Levitan, A. (2008). An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Based Approach to Real Estate Property Assessment. *Journal of Real Estate Research*, 30(4), 395–422. <https://doi.org/10.5555/REES.30.4.06R512724322031M>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). *Econometría* (5th ed.; S. A. D. C. V. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, Ed.). Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=CIESTAAM.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=005098>
- Gupta, A., & Maranas, C. . (2013). Managing demand uncertainty in supply chain planning. *Computers and Chemical Engineering*, 27(8), 1219–1227.
- Heath, S. (2014). *Housing demand and need (England)*. Retrieved from <https://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/SN06921/SN06921.pdf>
- Heckman, J. J. (1979). Sample Selection Bias as a Specification Error. *Econometrica*, 47(1),



153. <https://doi.org/10.2307/1912352>

- Helms, M. ., Ettkin, L. ., & Chapman, S. (2000). Supply chain forecasting collaborative forecasting supports supply chain management. *Business Process Management Journal*, 6(5), 392–407.
- Henderson, J. V., & Ioannides, Y. M. A Model of Housing Tenure Choice. , 73 *The American Economic Review* § (1983).
- Heydari, J., & Ghasemi, M. (2018). A revenue sharing contract for reverse supply chain coordination under stochastic quality of returned products and uncertain remanufacturing capacity. *Journal of Cleaner Production*, 197(1), 607–615.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.206>
- Hoseini, A. R., Noori, S., & Ghannadpour, S. F. (2021). Integrated scheduling of suppliers and multi-project activities for green construction supply chains under uncertainty. *Automation in Construction*, 122, 103485. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103485>
- Huang, Y., & Clark, W. A. V. (2002). Housing Tenure Choice in Transitional Urban China: A Multilevel Analysis. *Urban Studies*, 39(1), 7–32.  
<https://doi.org/10.1080/00420980220099041>
- Hult, G., Tomas, M., Christopher, W., Craighead, G., David, J., & Ketchen, J. (2010). Risk uncertainty and supply chain decisions: a real options perspective. *Decision Sciences*, 41(3), 435–458. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2010.00276.x>
- Hurtado Yacobet, D. (2019). *Contribución al perfeccionamiento de los flujos de materiales de construcción para el Programa local de viviendas de la provincia de Cienfuegos*. Universidad de Cienfuegos.
- Ioannides, Y. M., & Kan, K. (1996). Structural estimation of residential mobility and housing tenure choice. *Journal of Regional Science*, 36(3), 335–363. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.1996.tb01107.x>
- Irizarry, J., Karan, E., & Jalaei, F. (2013). Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management. *Automation in Construction*, 31, 241–254. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.005>
- Iser Capote, D. J. (2016). *Contribución al perfeccionamiento de la gestión de las cadenas de suministro que intervienen en el Programa local de producción y venta de materiales de la construcción en el municipio Aguada de Pasajeros*. Universidad de Cienfuegos.
- Janarthanan, R., Balamurali, R., Annapoorani, A., & Vimala, V. (2021). Prediction of rainfall using fuzzy logic. *Material Today:Proceedings*, 37, 959–963.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.179>
- Jang, J. S. R. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665–685.  
<https://doi.org/10.1109/21.256541>
- Jaśkowski, P., Sobotka, A., & Czarnigowska, A. (2018). Decision model for planning material supply channels in construction. *Automation in Construction*, 90, 235–242.  
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.026>
- Jean, M., & Molina, A. (1994). Un análisis empírico de la tenencia y demanda de vivienda en Andalucía. *Investigaciones Económicas*, XVIII(1), 143–164.

- Jiang, W., Lu, W., & Xu, Q. (2019). Profit Distribution Model for Construction Supply Chain with Cap-and-Trade Policy. *Sustainability*, 11(4), 1215–1231. <https://doi.org/10.3390/su11041215>
- Jusoh, Z. M., & Kasim, N. (2017). Influential factors affecting materials management in construction projects. *Management and Production Engineering Review*, 8, 82–90. <https://doi.org/10.1515/mper-2017-0039>
- Kamal, A., Azfar, R. W., Salah, B., Abas, W., Muhammad, S., Khan, R., & Pruncu, C. I. (2021). Quantitative Analysis of Sustainable Use of Construction Materials for Supply Chain Integration and Construction Industry Performance through Structural Equation Modeling (SEM). *Sustainability*, 13(2), 552. <https://doi.org/10.3390/su13020522>
- Karaaslan, A., & Özden, K. Ö. K. Ö. K. Ö. (2016). Housing Demand in Turkey: Application of Grey Forecasting Model. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 7(2), 2039–2117. <https://doi.org/10.5901/mjss.2016.v7n2p52>
- Kazaz, A., Ulubeyli, S., Er, B., & Acikara, T. (2016). Construction materials-based methodology for time-cost-quality trade-off problems. *Procedia Engineering*, 164, 35–41. <https://doi.org/doi:10.1016/j.proeng.2016.11.589>
- 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](https://doi.org/10.1016/S0264-9993(99)00007-3)
- Khatun, M. T., Hiekata, K., Takahashib, Y., & Okada, I. (2022). Design and management of software development projects under rework uncertainty: a study using system dynamics. *Journal of Decision Systems*, 1–24. <https://doi.org/10.1080/12460125.2021.2023257>
- Khoudour Castéras, D. (2007). ¿Por qué emigran los colombianos? Un análisis departamental basado en el censo de 2005. *Revista de Economía Institucional*, 9(16), 255–271.
- Knudsen González, J. A. (2005). *Diseño y gestión de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar. Aplicación a los residuos agrícolas cañeros, el bagazo y las mieles*. Universidad Central de las Villas.
- Koutsandreas, D., Spiliotis, E., Petropoulos, F., Vassilios, & Assimakopoulos. (2021). On the selection of forecasting accuracy measures. *Journal of the Operational Research Society*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/01605682.2021.1892464>
- La Forme Gruat, F. A., Botta Genoulaz, V., & Campage, J. P. (2007). A framework to analyse collaborative performance. *Computers in Industry*, 58(7), 687–697.
- 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/10.1016/j.eswa.2015.12.043>
- Lao León, Y. O. (2017). *Procedimiento para la gestión integrada de las restricciones físicas en el sistema logístico de empresas comercializadoras*. Universidad de Holguín.
- Lee, C. C. (2014). Development and evaluation of the many-to-many supplier negotiation strategy. *Computers & Industrial Engineering*, 70, 90–97.
- Lee, L. F., & Trost, R. (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](https://doi.org/10.1016/0304-4076(78)90052-0)

- León Milcota, A., & Escobar Serrano, M. C. (2011). Familias de Cali con migrantes internacionales: El antes y el ahora. *Revista Sociedad y Economía*, (17), 69–87.
- Libreros Ángel, C. V., & Cruz Marcelo, J. N. (2015). Análisis del impacto reciente de las remesas en el sector de la construcción en Colombia. *Revista Internacional de Estudios Migratorios*, 5(1), 1–30. <https://doi.org/10.25115/riem.v5i1.404>
- Lichtensteiger, T., & Baccini, P. (2008). Exploration of urban stocks. *Journal of Environmental Engineering and Management*, 18(4), 41.
- Lii, P., & Kuo, F. . (2016). Innovation-oriented supply chain integration for combined competitiveness and firm performance. *International Journal of Production Economics*, 174, 142–155.
- Lima, F. A. de, Seuring, S., & Sauerb, P. C. (2021). A systematic literature review exploring uncertainty management and sustainability outcomes in circular supply chains. *International Journal of Production Research*, 1–34. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1976859>
- Limsombunchai, V. (2004). *House Price Prediction: Hedonic Price Model vs. Artificial Neural Network*.
- 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](https://doi.org/10.1016/0094-1190(85)90048-8)
- Liu, K. S., & Lin, M. H. (2021). Performance Assessment on the Application of Artificial Intelligence to Sustainable Supply Chain Management in the Construction Material Industry. *Sustainability*, 13(22), 12767. <https://doi.org/10.3390/su132212767>
- Lopes Martínez, I. (2013). *Modelo de Referencia para la evaluación de la gestión de inventarios en los sistemas logísticos*. CUJAE.
- López, C., Aguayo, E., & Exposito, P. (1998). *Comportamiento de los precios de la vivienda en las regiones españolas: Principales determinantes*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/4811015>
- López Joy, T. (2014). *Modelo y procedimiento para el desarrollo y la gestión integrada de cadenas de suministros en Cuba*. CUJAE.
- López, P. (2022). Hacia un mejor acceso a la vivienda en América Latina y el Caribe. *Visiones*, p. 11.
- Lu, H., Wanga, H., Xie, Y., & Wang, X. (2018). Study on construction material allocation policies: A simulation optimization method. *Automation in Construction*, 90, 201–212. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.012>
- Majrouhi Sardroud, J. (2012). Influence of RFID technology on automated management of construction materials and components. *Scientia Iranica*, 19(3), 381–392. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENT.2012.02.023>
- Mankiw, N. G., & N.Weil, D. (1989). The baby boom, the baby bust, and the housing market. *Regional Science and Urban Economics*, 19(2), 235–258. [https://doi.org/10.1016/0166-0462\(89\)90005-7](https://doi.org/10.1016/0166-0462(89)90005-7)
- Marcos, M., Di Virgilio, M. M., & Mera, G. (2018). El déficit habitacional en Argentina. Una propuesta de medición para establecer magnitudes, tipos y urgencias de intervención intra-urbana. *Revista Latinoamericana de Metodología de Las Ciencias Sociales (Relmecs)*,

8(1), e037–e037. <https://doi.org/10.24215/18537863e037>

- Marino Rodríguez, P., & Rodríguez Arranza, A. (2019). Usos y mercantilización de las viviendas en los campamentos chilenos. *Revista de Estudios Urbanos (QUID 16)*, (12), 294–313.
- Martínez Curbelo, G., Castro Martínez, R., Feitó Cespón, M., & Iser Capote, D. J. (2018). Perfeccionamiento de la gestión del PLPVMC en la provincia de Cienfuegos. *Taller Provincial de Gestión y Dirección Empresarial*. Cienfuegos.
- Martínez Curbelo, G., Castro Martínez, R., & Mena Chacón, D. (2017). Perfeccionamiento de la gestión del programa de producción local de materiales de la construcción en la provincia de Cienfuegos. *Revista Universidad y Sociedad*, 9(2), 18–27. Retrieved from [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202017000200002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202017000200002)
- Martínez Curbelo, G., Feitó Cespón, M., & Castro Martínez, R. (2013). Perfeccionamiento de la gestión del programa de producción local de materiales de construcción en la provincia de Cienfuegos. *I Taller Nacional de Desarrollo Empresarial y Administración Pública*, 16. Cienfuegos.
- Martínez Curbelo, G., Feitó Cespón, M., & Castro Martínez, R. (2021a). Estudio empírico de las cadenas de suministros. *III Convención Científica Internacional de La UCLV*. Santa Clara.
- Martínez Curbelo, G., Feitó Cespón, M., & Castro Martínez, R. (2021b). Factores socio económicos que influyen en la demanda de construcción de viviendas en Cienfuegos, Cuba. *III Conferencia Científica Internacional de La Universidad de Cienfuegos*. Cienfuegos.
- Martínez Curbelo, G., Feitó Cespón, M., & Castro Martínez, R. (2022). Determinación de las variables difusas influyentes en la demanda de construcción de viviendas. *Universidad y Sociedad*, 14(3), 170–177.
- Martínez Curbelo, G., Feitó Cespón, M., & González Hernández, G. (2016). La gestión de las cadenas de suministros en la provincia de Cienfuegos. *I Encuentro Nacioanl Sobre Gestión Empresarial y Cooperativismo*. Holguín.
- Martínez Curbelo, G., Feitó Cespón, M., & González Hernández, G. (2018). La gestión de las cadenas de suministro en Cienfuegos. *Dimensión Empresarial*, 16(1), 61–77. <https://doi.org/10.15665/dem.v16i1.1341>
- Martínez Curbelo, G., Feitó Cespón, M., & Medina León, A. (2021a). Factores socioeconómicos que influyen en la demanada de construcción de viviendas en la provincia de Cienfuegos. *GECONTEC*, 9(1), 18–38. Retrieved from ISSN 2255-5684
- Martínez Curbelo, G., Feitó Cespón, M., & Medina León, A. (2021b). Pronóstico de la demanda de construcción de viviendas en Cienfuegos. *III Convención Científica Internacional de La UCLV*.
- Martínez Curbelo, G., Feitó Cespón, M., & Medina León, A. (2022). Factores socioeconómicos que influyen en la demanda de construcción de viviendas en Cienfuegos, Cuba. *Universidad y Sociedad*, 4(1), 631–639. <https://doi.org/2218-3620>
- Martínez Curbelo, G., Feitó Cespón, M., & Vereá Oviedo, J. (2021c). Factores socio económicos que influyen en la demanda de construcción de viviendas en Cienfuegos. *III Convención Científica Internacional de La UCLV*.
- Martínez Curbelo, G., González Yanes, A., & Feitó Cespón, M. (2018a). Estudio empírico de las

cadena de suministro en Cienfuegos. *I Congreso Internacional de Gestión Económica y Desarrollo*. La Habana.

Martínez Curbelo, G., González Yanes, A., & Feitó Cespón, M. (2018b). La gestión de las cadenas de suministro en Cienfuegos. *II Taller Internacional de Gestión Empresarial 2018*. Cienfuegos.

Martínez Curbelo, G., Iser Capote, D. J., Feitó Cespón, M., & Castro Martínez, R. (2018). Contribución al perfeccionamiento de las cadenas de suministro que intervienen en el PLPVMC de Cienfuegos. *Taller Provincial de Gestión y Dirección Empresarial*. Cienfuegos.

Martínez Hernández, L. (2019). Ante los problemas de vivienda, sensibilidad y constancia en el trabajo. *Periódico Granma*.

Martínez Molina, J. (2016). Más producción local de materiales de la construcción en Cienfuegos. *Granma*.

Martínez Molina, J. (2021). Cienfuegos es la mejor provincia en el programa de la vivienda, pero no escapa a los problemas. *Granma*, p. 21.

Martínez Molina, J. (2022). Sin producción local de materiales de la construcción no crecerá el programa de la vivienda. *Granma*, p. 24.

Mason-Jones, R., & Towill, D. R. (1998). Shrinking the supply chain uncertainty circle. *IOM Control*, 24(7), 17–22.

Matamoros Tuma, M. (2016). Problemas actuales del diseño de interiores de la vivienda social en Cuba. *Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo*, 37(1), 51–62.

McBriden, B. (2007). Building Capital: the Role of migrant remittances in housing improvement and construction in El Salvador (University Rotterdam). Retrieved from [https://thesis.eur.nl/pub/12122/\(1\)29889.pdf](https://thesis.eur.nl/pub/12122/(1)29889.pdf)

McCarthy, T. M., & Golicic, S. L. (2002). Implementing collaborative forecasting to improve supply chain performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(6), 431–454. <https://doi.org/10.1108/09600030210437960>

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

Megbolugbe, I., Marks, A., & Schwartz, M. (2020). The Economic Theory of Housing Demand: A Critical Review. *Journal of Real Estate Research*, 6(3), 381–393. <https://doi.org/10.1080/10835547.1991.12090650>

Meng, X. (2012). The effect of relationship management on project performance in construction. *International Journal of Project Management*, 30(2), 188–198.

Michalski, M., Montes Botella, J. L., & Narasimhan, R. (2018). The impact of asymmetry on performance in different collaboration and integration environments in supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 23(1), 33–49. <https://doi.org/10.1108/SCM-09-2017-0283>

Mishra, P. P., Mishra, P. P., & Purohit, R. (2018). Material delivery problems in construction projects: A possible solution. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 6497–6501. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2018.01.135>

Mohammad, M. F., Shukor, A. S. A., Mahbub, R., & Halil, F. . (2014). Challenges in the

integration of supply chains in IBS project environment in Malaysia. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 153, 44–54.

Mohammadnazari, Z., & Ghannadpour, S. F. (2021). Sustainable construction supply chain management with the spotlight of inventory optimization under uncertainty. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 10937–10972. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01095-0>

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

Montoya Torres, J., & Ortiz Vargas, D. (2011). Análisis del concepto de la colaboración en la cadena de suministro: Una revisión de la literatura científica. In *Ninth LACCEI Latin American and Caribbean Conference (LACCEI'2011), Engineering for a Smart Planet, Innovation, Information Technology and Computational Tools for Sustainable Development*. Retrieved from [http://laccei.org/LACCEI2011-Medellin/RefereedPapers/LO075\\_Montoya.pdf](http://laccei.org/LACCEI2011-Medellin/RefereedPapers/LO075_Montoya.pdf)

Morales, E. (2020). Remittances to Cuba: the financial support that prevents the collapse. *Havana Consulting Groups*, (1).

Mula, J., Poler, R., & García, J. P. (2007). Material Requirement Planning with fuzzy constraints and fuzzy coefficients. *Fuzzy Sets and Systems*, 158(7), 783–793. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2006.11.003>

Muñoz González, R., & García Vázquez, J. M. (2018). El problema de la vivienda en Cuba en el período 2011-2018: Situación y principales desafíos. *Revista Observatorio de La Economía Latinoamericana*, 2–11.

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.

Ojeda Cabrera, M. (2021, December). Sobrecumplió Cienfuegos plan anual de construcción de viviendas. *5 de Septiembre*, p. 10.

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/10.15665/rde.v11i1.159>

Othman, A. A., Abd Rahman, S., Sundram, V. P. K., & Bhatti, M. A. (2015). Modelling marketing resources, procurement process coordination and firm performance in the Malaysian building construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 22(6), 644–668. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2014-0030>

Pardillo Baez, Y. (2013). *Modelo de Diseño de Nodos de Integración en las Cadenas de Suministro*. CUJAE.

PCC. (2017). *Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución para el período 2016-2021*. Cuba.

Pérez Armayor, D. (2012). *Modelo de soporte a la decisión de selección de tecnologías de información para integrar sistemas de información en cadenas de suministro*. CUJAE.

- Pérez Campaña, M. (2005). *Contribución al Control de Gestión en Elementos de la Cadena de Suministros. Modelo y Procedimientos para Organizaciones Comercializadoras*. Universidad Centra de las Villas.
- Pérez García, Y., & Valladares Alonso, L. A. (2018). *Mejoras en la Gestión de los flujos de las cadenas de suministro del Programa Local de Producción y Ventas de Materiales de Construcción en la provincia de Cienfuegos*. Universidad de Cienfuegos.
- Pesämaa, O., Eriksson, P. E., & Hair, J. (2009). Validating a model of cooperative procurement in the construction industry. *International Journal of Project Management*, 27(6), 552–559.
- Petrović, D., & Dobrila, J. (1999). Supply chain modeling using fuzzy. *International Journal of Production Economics*, 142(1), 237–251.
- Poler, R., Ortíz, Á., Lario Cruz, F., & Alba, M. (2007). An Interoperable Platform to Implement Collaborative Forecasting in OEM Supply Chains. In *In Enterprise Interoperability* (Springer, pp. 179–188). [https://doi.org/10.1007/978-1-84628-714-5\\_17](https://doi.org/10.1007/978-1-84628-714-5_17)
- 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/10.1007/s40815-017-0378-y>
- Prater, E. (2005). A framework for understanding the interaction of uncertainty and information systems on supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35(7), 524–539. <https://doi.org/doi.org/10.1108/09600030510615833>
- Prensa Latina, R. (2020). Impulsarán en Cuba programa de construcción de viviendas. *Prensa Latina*.
- Prensa Latina, R. (2022). Demandan mayor prioridad para construcción de viviendas en Cuba. *Prensa Latina*.
- Rahimi, M., Ghezavati, V., & Asadi, F. (2019). A stochastic risk-averse sustainable supply chain network design problem with quantity discount considering multiple sources of uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 130, 430–449. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.02.037>
- Rajak, S., Vilmal, K., Arumugam, S., Parthiban, J., Sivaraman, S. K., Kandasamy, J., & Acevedo Duque, A. (2022). Multi-objective mixed-integer linear optimization model for sustainable closed-loop supply chain network: a case study on remanufacturing steering column. *Environment, Development and Sustainability*, 24(5), 6481–6507. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01713-5>
- Ramanathan, U. (2014). Supply chain collaboration for improved forecast accuracy of promotional sales. *International Journal of Operations & Production Management*, 32(6), 676–695. <https://doi.org/10.1108/01443571211230925>
- Ramos Cañón, A. M., Malaver Castro, L. C., Padilla Bello, N. V., & Posada Vega, C. A. (2020). Incertidumbre en la determinación del Porcentaje Volumétrico de Bloques de BIMrocks/BIMsoil a partir de información unidimensional. *Boletín de Geología*, 42(1), 69–80. <https://doi.org/10.18273/revbol.v42n1-2020004>
- Ramos Gámez, R. A. (2002). *Procedimiento para la mejora continua y el perfeccionamiento del sistema de planificación y control del servicio de reparación de motores. Aplicación al caso de la reparación de motores diesel*. UCLV.

- 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>
- Redacción ACN. (2020). La construcción de viviendas, una de las prioridades en Cuba. *Agencia Cubana de Noticias*.
- Rendón García, J., Díaz, S., & Velásquez Ceballo, H. (2019). Determinantes del precio de la vivienda nueva No VIS en Medellín: un modelo estructural. *Cuadernos de Economía*, 38(76), 109–136. <https://doi.org/10.15446/cuad.econ.v38n76.57032>
- Rendón Matienzo, F. (2022). Programa de la Vivienda en Cuba demanda un cambio radical. *Tribuna de La Habana*.
- Rendón Obando, H., & Ramírez Franco, L. D. (2016). Los determinantes del precio de la vivienda nueva en Colombia 1997-2013. In *Revista internacional de investigación y docencia* (Vol. 1). Centro de Estudios para el Manejo de Proyectos.
- Rey, G. (2013). Los retos del hábitat social en Cuba. *Boletín de La Comisión Cultura, Ciudad y Arquitectura*, 57–79.
- 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*.
- 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.
- Roa Martínez, M. G. (2010). Inversión de remesas procedentes de España en hogares con experiencia migratoria en Cali y Palmira-Colombia. *Las Migraciones En España: VI Congreso Sobre Las Migraciones En España*, 917–932.
- Rodríguez Calderón, G. (2020). *La colaboración digital en las cadenas de suministro*. Universidad de Lleida.
- Rodríguez Gascón, Y. (2015). *Manual de Buenas Prácticas. Herramientas para el cálculo del presupuesto de viviendas, mano de obra y materiales, en el esfuerzo propio en el contexto de Hábitat*. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.
- Rodríguez Hernández, J. E. (2006). *Análisis de las decisiones de tenencia y demanda de vivienda en España*. Servicio de Publicaciones, Universidad de La Laguna, España.
- Rodríguez Hernández, J. E., & Barrios García, J. A. (2007). Estimación microeconómica de la tenencia y demanda de vivienda en España según la localización. *Estudios de Economía Aplicada*, 25(1), 323–324.
- Rodríguez Hernández, José E, & Barrios García, J. A. (2007). Estimación microeconómica de la tenencia y demanda de vivienda en España según su localización. *Estudios de Economía Aplicada*, 25(1), 453–483.
- Rodríguez, N. G. (2022). *Mejoramiento en la organización del trabajo del proceso de fabricación de mosaicos de la Empresa de Materiales de la Construcción de Cienfuegos*. Universidad de Cienfuegos.
- Rodríguez Pelaez, E. (2011). Crisis financiera y crisis económica. *Cuadernos de Formación*, 8(11), 111–129.



- Rojas López, M. D., Arango, C. R., & Bastidas, L. (2016). Modelamiento del ciclo de la construcción en Colombia mediante dinámica de sistemas. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 15(29), 43–62.
- Romero Más, C. (2002). Programación por metas (goal programming): pasado, presente y futuro. *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, 1, 94–113.
- 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](https://doi.org/10.1016/0047-2727(79)90042-2)
- Rossel, M. L. (2018). Nueve de cada 10 viviendas de América Latina y el Caribe son de baja calidad. *El País*, p. 9.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation* (M.-H. Ed., Ed.).
- Sablón Cossío, Neifer. (2014). *Modelo de Planificación Colaborativa Estratégica en Cadenas de Suministro*. Universidad de Matanzas.
- Sablón Cossío, Neyfe, Orozco Crespo, E., Pulido Rojano, A., Acevedo Urquiaga, A. J., & Ruiz Cedeño, S. (2021). Análisis de integración de la cadena de suministro en la industria textil en Ecuador. Un caso de estudio. *Ingeniare*, 29(1), 94–108.
- Safa, M., Shahi, A., & Haas, C. (2014). Supplier selection process in an integrated construction materials management model. *Automation in Construction*, 48, 64–73. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.08.008>
- Salas Navarro, K., Miguél Mejía, H., & Acevedo Chedid, J. (2017). Metodología de Gestión de Inventarios para determinar los niveles de integración y colaboración en una cadena de suministro. *Ingeniere. Revista Chikena de Ingeniería*, 25(2), 326–337.
- Saldarriaga Aguirre, S. (2019). *Retos tecnológicos en la cadena de suministro de la construcción en Colombia*. Colegio de Estudios Superiores de Administración.
- Salmeron, J. L., & Papageorgiou, I. (2012). A Fuzzy Grey Cognitive Maps-based Decision Support System for Radiotherapy Treatment Planning. *Knowledge-Based Systems*, 30, 151–160.
- Sánchez, C. A., & Ángel, D. V. (2009). *Los determinantes de la demanda de vivienda nueva (no vis) en Colombia período 1998-2008*. Retrieved from <http://repository.eafit.edu.co/handle/10784/569>
- 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.
- Sauer, J., Suelmann, G., & Appelrath, H.-J. (1998). Multi-site scheduling with fuzzy concepts. *International Journal of Approximate Reasoning*, 19(1), 145–160. [https://doi.org/10.1016/S0888-613X\(98\)10005-1](https://doi.org/10.1016/S0888-613X(98)10005-1)
- Shaikh, F. A., Shahbaz, M. S., Din, S. U., & Odhano, N. (2020). The Role of Collaboration and Integration in the Supply Chain of Construction Industry. *Civil Engineering Journal*, 6(7), 1301–1313. <https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091549>
- Sharma, S., & Obaid, A. (2020). Mathematical modelling, analysis and desing of fuzzy logic controller for the control of ventilation systems using MATLAB fuzzy toolbox. *Journal of*

*Interdisciplinary Mathematics*, 23(4), 843–849.

- Shukor, A. S. ., Mohammad, M. F., Mahbub, R., & Halil, F. (2016). Towards improving integration of supply chain in IBS construction project environment. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 222, 36–45.
- Silva de Anzorena, P., & Espinosa Guerrero, J. (2022). ¿Cómo reducir el déficit de vivienda en América Latina y el Caribe con soluciones inclusivas y resilientes? *Foro de Vivienda 2022*, 27. <https://doi.org/CC-IGO 3.0 BY-NC-ND>
- Simangunsong, E., Hendry, L. C., & Stevenson, M. (2012). Supply-chain uncertainty: a review and theoretical foundation for future research. *International Journal of Production Research*, 50(16), 4493–4523. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.613864>
- Smáros, J. (2007). Forecasting collaboration in the European grocery sector: Observations from a case study. *Journal of Operations Management*, 25(3), 702–716.
- 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>
- Tadiae, D. (2005). Fuzzy Multicriteria approach to ordering policy ranking in a supply chain. *Yugoslav Journal of Operation Research*, 15(2), 243–258.
- Tajani, F., Di Liddo, F., Guarin, M. R., Ranier, R., & Anelli, D. (2021). An Assessment Methodology for the Evaluation of the Impacts of the COVID-19 Pandemic on the Italian Housing Market Demand. *Buildings*, 11(12), 592–621. <https://doi.org/10.3390/buildings11120592>
- Tamayo Arguello, B. A., Romero Quiroga, O. R., & Becerra Fernández, M. (2017). La colaboración en la cadena de suministros: una revisión al estado del arte. *INVENTUM*, 12(22), 84–98. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.12.22.2017.84-98>
- Thunberg, M., & Fredriksson, A. (2018). Bringing planning back into the picture – How can supply chain planning aid in dealing with supply chain-related problems in construction? *Construction Management and Economics*, 36(8), 425–442. <https://doi.org/10.1080/01446193.2017.1394579>
- Thunberg, M., & Persson, F. (2014). Using the SCOR model's performance measurements to improve construction logistics. *Production Planning & Control*, 25(13–14), 1065–1078. <https://doi.org/10.1080/09537287.2013.808836>
- 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/10.1016/j.eswa.2017.09.039>
- Toscano Jerez, T. B. (2020, January 23). Vebta de materiales de construcción en Cienfuegos: es necesario más control. *5 de Septiembre*.
- Tseng, M. L., Lim, M., Wo, W. P., Chen, Y. C., & Zhan, Y. (2018). A framework for evaluating the performance of sustainable service supply chain management under uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 195, 359–372. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.002>
- Uribe, S. C., & Salazar Medina, N. F. (2022). Enfoque de riesgo en la gestión de las cadenas de suministros en el sector industrial. *Ingeniería Industrial*, 279–296.

- Vaezihir, A., Qobadian, S., Azim, R., & Tabarmayeh, M. (2022). Optimization of a Groundwater-Monitoring Network For an Industrial Site by The Combination of MCLP and GAMS Techniques (Case Study: Shazand Oil Refinery, Iran). *Research Square*, 1–31. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1366931/v1>
- Valarenzo Beltrón, C. O., García Briones, M. Y., Negrín Sosa, E., & Vergara Espinoza, G. (2019). Diagnóstico situacional de planificación de la cadena de suministro, caso de estudio Agroexportadora a JUNIPERTREE CÍA LTDA. *San Gregorio*, 29, 8–15. <https://doi.org/10.36097/rsan.v0i29.874>
- Van Der, V., Jack, G., & Beulens, J. (2002). Identifying sources of uncertainty to generate supply chain redesign strategies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(6), 409–430. <https://doi.org/10.1108/09600030210437951>
- Vega de la Cruz, L. O., & Pérez Pravia, M. C. (2022). Gestión integrada de riesgos de la seguridad de las cadenas de suministros con enfoque al servicio al cliente. *Ingeniería y Competitividad*, 24(2), 23–31. <https://doi.org/10.25100/iyc.v0i00.11197>
- Verea Oviedo, J. (2017). *Diseño de un modelo de pronóstico para la estimación de la demanda de construcción de viviendas en la provincia de Cienfuegos*. Universidad de Cienfuegos.
- Vinajera Zamora, A. (2017). *Contribución a la mejora del desempeño en cadenas de suministro cubanas*. Universidad de las Villas.
- Vrijhoef, R. (2011). *Supply chain integration in the building industry: The emergence of integrated and repetitive strategies in a fragmented and project-driven industry* (Press).
- Wen, Y., Wu, L., & Yao, F. (2021). Financing and pricing strategies of construction supply chain under capital constraint. *MATEC Web Conf*, 36(09004). <https://doi.org/10.1051/mateccconf/202133609004>
- Werners, B. (1987). An interactive fuzzy programming system. *Fuzzy Sets and Systems*, 23(131–147).
- Wilding, R. (1998). The supply chain complexity triangle: Uncertainty generation in the supply chain. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28(8), 599–616. <https://doi.org/10.1108/09600039810247524>
- Wong, C. W., Lai, K. ., Cheng, T. C. ., & Lun, Y. . (2015). The role of IT-enabled collaborative decision making in inter-organizational information integration to improve customer service performance. *International Journal of Production Economics*, 159, 56–65.
- 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/10.1016/j.eswa.2020.113643>
- Xu, X., & Zhang, Y. (2021). Second-hand house price index forecasting with neural networks. *Journal of Property Research*, 1–22. <https://doi.org/10.1080/09599916.2021.1996446>
- Xu, X., & Zhang, Y. (2022). Residential housing price index forecasting via neural networks. *Neural Computing and Applications*, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07309-y>
- Yang, Y., Pan, M., Pan, W., & Zhang, Z. (2021). Sources of Uncertainties in Offsite Logistics of Modular Construction for High-Rise Building Projects. *Journal of Management in Engineering*, 37(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000905](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000905)

- Yasnitsky, L. N., Yasnitsky, V. L., & Alekseev, A. O. (2021). The Complex Neural Network Model for Mass Appraisal and Scenario Forecasting of the Urban Real Estate Market Value That Adapts Itself to Space and Time. *Complexity*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5392170>
- Yildiz, K., & Ahi, M. T. (2022). Innovative decision support model for construction supply chain performance management. *Production Planning & Control*, 33(9), 894–906. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1837936>
- Yuan, X., Chen, Y. W., Fan, H. B., He, W. H., & Ming, X. G. (2019). Collaborative Construction Industry Integrated Management Service System Framework Based on Big Data. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1521–1525. <https://doi.org/10.1109/IEEM44572.2019.8978624>.
- Zanon, L. G., & Carpinetti, C. L. (2018). Fuzzy Cognitive Maps and Grey Systems Theory in the Supply Chain Management Context: a literature review and a research proposal. *2018 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2018.8491473>
- Zapata, G. (2016). El nexa migración-desarrollo y la economía política de la vivienda en América Latina. *OASIS*, (23), 123. <https://doi.org/10.18601/16577558.n23.07>
- Zhen, L., Huang, L., & Wang, W. (2019). Green and sustainable closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 227(1), 1195–1209. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.098>

***ANEXOS***

---

**Anexo 1.** Relación de tesis doctorales defendidas en Cuba sobre CS.

Autor	Título	Objetivos
Gómez Acosta (1997)	La planificación y control del flujo logístico en la empresa de producción contra pedidos de la industria mecánica	Obtener un procedimiento de planificación y control del flujo logístico empresarial que permita realizar una gestión integrada del mismo y que garantice el nivel de servicio competitivo en condiciones de baja masividad de la producción.
Ramos Gámez (2002)	Procedimiento para la mejora continua y el perfeccionamiento del sistema de planificación y control del servicio de reparación de motores. Aplicación al caso de reparación de motores Diesel.	La elaboración y aplicación de un procedimiento que permita la mejora continua del sistema actual de planificación y control del servicio de reparación de motores para vehículos, incluyendo el diseño y adecuación de los procedimientos para su perfeccionamiento en cada uno de los niveles de dicho sistema, para lograr mejoras en la gestión productiva de las empresas dedicadas a brindar este servicio.
Pérez Campaña (2005)	Contribución al Control de Gestión en Elementos de la Cadena de Suministros. Modelo y Procedimientos para Organizaciones Comercializadoras	Concebir un modelo conceptual y el procedimiento general para el desarrollo del sistema de control de gestión en elementos de la cadena de suministro así como de sus procedimientos específicos asociados, que incluye la construcción del sistema de indicadores, a partir de considerar la integración y cohesión que debe existir entre los niveles de dirección en la evaluación del desempeño del sistema para que de forma proactiva se facilite el proceso de toma de decisiones y la mejora continua de las organizaciones.
Knudsen González (2005)	Diseño y gestión de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar. Aplicación a los residuos agrícolas cañeros, el bagazo y las mieles.	Elaborar un modelo conceptual con su procedimiento general para el diseño y la gestión en los niveles táctico y operativo de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar.
Acevedo Suárez (2008)	Modelos y estrategias de desarrollo de la Logística y las Redes de Valor en el entorno de Cuba y Latinoamérica	Concebir un modelo conceptual y el procedimiento general para el desarrollo del sistema de control de gestión en elementos de la cadena de suministro

Evia Lanier (2008)	Metodología de diseño de la cadena de suministro inversa. Una contribución a la logística reversa	Elaborar y aplicar una metodología para el diseño de la CSI como una contribución a la Logística Reversa que permita definir el destino final de productos y residuos de manera eficaz, eficiente y con un impacto ambiental favorable.
Pérez Armayor (2012)	Modelo de soporte a la decisión de selección de tecnologías de información para integrar sistemas de información en cadenas de suministro	El objetivo principal de investigación es el desarrollo de un modelo de soporte a la decisión en la evaluación de TIC para integrar SI utilizados en la cadena de suministros de acuerdo a requerimientos de integración de la cadena, mediante un enfoque basado en lógica difusa compensatoria
Acevedo Urquiaga (2013)	Modelo de Gestión Colaborativa del Flujo Logístico	Desarrollar un Modelo de Gestión Colaborativa de Flujo Logístico que garantice una elevada eficacia y eficiencia del ciclo logístico.
Pardillo Baez (2013)	Modelo de Diseño de Nodos de Integración en las Cadenas de Suministro	Obtener un Modelo de Diseño de Nodos de Integración en las Cadenas de Suministro que permita la gestión integrada entre los actores del nodo en la cadena, garantizando los niveles de eficiencia y eficacia requeridos de acuerdo a las condiciones cubanas.
(Lopes Martínez, 2013)	Modelo de Referencia para la evaluación de la gestión de inventarios en los sistemas logísticos	Diseñar un modelo de referencia para evaluar integralmente la situación de la gestión de los inventarios en los sistemas logísticos
Sablón Cossío (2014)	Modelo de Planificación Colaborativa Estratégica en Cadenas de suministro	Desarrollar un modelo de planificación colaborativa estratégica entre actores de las cadenas de suministro en las condiciones de Cuba, que incida en la competitividad, mediante la mejora de la rotación del inventario y la disponibilidad de los productos para el cliente final.
López Joy (2014)	Modelo y procedimiento para el desarrollo de la gestión integrada de cadenas de suministro en Cuba	Diseñar el modelo y procedimiento para el desarrollo de la gestión integrada de cadenas de suministro
Feitó Cespón (2015)	Modelo multiobjetivo para el rediseño de las CS sostenible de reciclaje, bajo condiciones de incertidumbre. Aplicación a la recuperación de plásticos en Cuba.	Desarrollar un modelo multiobjetivo para el rediseño de cadenas de suministro de reciclaje de múltiples productos, con un enfoque de sostenibilidad fuerte en condiciones de incertidumbre, aplicable a la CS de recuperación de plásticos en las ERMP.

Lao León (2017)	Procedimiento para la gestión integrada de las restricciones físicas en el sistema logístico de empresas comercializadoras	Desarrollar un procedimiento para la gestión integrada de las restricciones físicas en el sistema logístico de empresas comercializadoras a partir de un modelo decisional con enfoque multiobjetivo para incrementar la madurez en la gestión de restricciones físicas y el nivel de servicio al cliente
Vinajera Zamora (2017)	Contribución a la mejora del desempeño en cadenas de suministro cubanas.	Desarrollar un procedimiento que permita contribuir a la mejora del desempeño de la cadena de suministro en Cuba mediante la aplicación e integración de los desarrollos teórico-metodológicos y prácticos de la gestión empresarial con un enfoque en procesos
da Costa Neto (2019)	Contribución a la gestión de los costos logísticos ambientales de los procesos logísticos en la CS de combustibles y lubricantes de las Fuerzas Armadas de Angola	Desarrollar un procedimiento sustentado en un modelo para la gestión de los costos ambientales de los procesos logísticos en la cadena de suministros de combustibles y lubricantes en las Fuerzas Armadas Angolanas, que mediante un sistema de indicadores permita su reducción progresiva como contribución a mitigar los efectos negativos sobre el medio ambiente.













**Anexo 3.** Resumen de los modelos de demanda de vivienda estudiados.

CITAS	Objetivos											Técnicas utilizadas en el modelado					Alcance del análisis			Número de variables			Naturaleza de las variables								
	Modelar el tipo de tenencia	Modelar los gastos en servicios vivienda	Modelar decisión de movilidad residencial	Modelar la decisión de constituir hogares	Modelar la relación entre variables	Modelar la demanda a partir de la comunidad	Pronosticar el precio de vivienda.	Modelar el mercado inmobiliario	Definir el valor catastral de una edificación	Modelar el flujo de materiales de construcción	Modelar las ventas de viviendas	Teórico	Estadísticas	Matemáticas difusas	Investigación de operaciones	Simulación	Inteligencia artificial	Teoría de sistemas grises	No se determina	País	Provincial/ Estado	Ciudad	Comunidad	una	dos	múltiples	Económicas	Demográficas	Sociales	Estado constructivo	Urbano espacial
Lee & Trost (1977)	X	X										X							X						X	X	X			X	
Rose (1979)	X	X										X							X						X	X	X	X			
Heckman (1979)	X	X										X													X	X	X				
Henderson & Ioannides (1983)	X													X					X							X	X	X			
Dubin & McFadden (1984)		X										X													X	X					
Linneman (1985)	X											X									X				X	X	X				
Egebo et al. (1990)												X						X							X	X	X				

Jean & Molina (1994)													X								X			X	X	X	X					
Goodman (1995)	X		X												X										X	X	X	X				
Ioannides & Kan (1996)	X		X										X												X	X	X	X		X		
Ermisch, Findlay & Gibb (1996)	X		X										X											X		X	X	X	X		X	
Rapaport (1997)	X					X							X											X		X	X	X	X			
Colom Andrés & Molés Machín (1997)	X	X		X									X												X	X	X	X				
Goh (1998)					X								X			X									X	X		X	X			
Kenny (1999)								X					X												X	X					X	
Gobillon & Le Blanc (2002)	X		X										X																			
Goodman (2002)	X		X										X													X	X			X		
Colom Andrés & Molés Machí (2003)	X		X										X													X		X		X		
Barrios García & Rodríguez Hernández (2004)													X												X	X		X				
Limsombunchai (2004)							X						X											X		X		X				
Clavijo Torres et al. (2005)							X						X													X	X	X	X			
Rodríguez Hernández (2006)	X												X													X		X				
Stumpf González & Torres Formoso (2006)								X					X	X											X		X			X		

Rodríguez Hernández & Barrios García (2007)	X										X							X				X	X		X																	
Guan et al. (2008)							X					X						X																								
Ng et al. (2008)					X							X						X							X	X		X														
Fontenla & González (2009)											X							X							X	X	X	X														
Colmenares Lacruz & Gil Ruiz (2010)														X				X							X	X		X														
Castellano Bonilla (2010)							X											X							X	X	X															
Cadena Minnota et al. (2010)	X										X													X				X	X	X	X	X										
Azadeh et al. (2012)							X											X								X	X	X	X													
Ortiz Galindo (2014)				X	X																				X				X	X		X										
Azcona (2014)								X																	X				X	X		X										
Reyes Vintimilla (2015)																												X			X	X		X	X							
Becerra et al. (2015)				X	X																				X				X	X		X	X									
Rivera León (2015)										X																		X														
Karaaslan & Özden (2016)					X					X															X				X	X		X										
Adamuz Peña & González Tejeda (2016)																																X			X	X	X	X				



Buñay Gavidia & Sánchez Granda (2016)				X								X								x										
Bayer et al. (2016)			X	X	X								X								X									
Rendón Obando & Ramírez Franco (2016)				X		X						X				X							X	X						
Aydin & Hayat (2018)			X	X					X		X				X								X	X						
García Arroyo (2018)		X	X	X							X		X				X				X		X		X					
Yasnitsky et al. (2021)							X								X				X				X	X	X	X			X	
Xu & Zhang (2021)	X						X							X						X			X	X						
Fuster & Zafar (2021)	X										X						X						X	X	X	X				
Tajani et al. (2021)			X									X									X		X	X	X	X				
Xu & Zhang (2022)	X						X							X							X		X	X						

**Anexo 4.**Entidades que conforman la dirección del grupo provincial del PLPVMC.

<b>Organismos rectores</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Decisiones que toman</b>
<i>Ministerio de la Construcción (MICONS)</i>	Regulador, Productor	Dirige el programa
<i>Consejo de administración provincial (CAP)</i>	Regulador	Ejecuta el programa a nivel provincial
<i>Consejo de administración municipal (CAM)</i>	Regulador	Ejecuta el programa a nivel municipal
<i>Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA)</i>	Regulador	Certifica la calidad de las producciones
<i>Ministerio de Comercio Interior (MINCIN)</i>	Comercializador	Se encarga de la comercialización y venta de las producciones del programa
<i>Unidad Territorial de Inspección de la Construcción (UTIEC)</i>	Regulador	Realiza el control, supervisión y evaluación de las producciones
<i>Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI)</i>	Regulador	Provee la Estadística e información en el sub programa de apoyo

**Fuente:** Elaboración propia a partir de Martínez Curbelo, Castro Martínez, & Mena Chacón (2017)

**Anexo 5.** Evaluaciones de las variables estudiadas.

**Tabla 1.** Matriz de relaciones mutuas de las variables

	Crecimiento poblacional	Movimiento hacia dentro	Movimiento hacia afuera	Concentración de personas	Costo de una vivienda	Costo de construcción	Facilidad de compra	Ingresos en el hogar	Ingresos por salario	Ingresos por estimulación	Ingresos por remesas	Otras fuentes de ingreso	Facilidades de créditos	Políticas públicas	Crecimiento del turismo	Estado constructivo habitacional	Necesidad de viviendas	Necesidad de mejoras a viviendas	Disponibilidad material	Soluciones constructivas	Formas de trabajo no estatal	Disponibilidad de fuerza trabajo	Efecto de desastres	Contratos en el extranjero
Crecimiento poblacional	0	5	5	0	1	0	0	5	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	3	0	0	0	0	0
Movimiento migratorio hacia dentro de la provincia	5	0	3	1	3	5	0	3	3	5	5	5	0	0	0	0	4	5	1	0	0	0	1	0
Movimiento migratorio hacia afuera de la provincia	5	3	0	1	3	3	1	5	5	5	5	5	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Concentración de personas en un territorio	5	3	3	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	3	0	0	0	0	0	0
Costo de comprar una vivienda	5	1	1	1	0	1	5	5	5	5	3	0	0	5	5	3	1	3	3	5	0	0	5	5
Costo de construir una vivienda	1	1	1	0	1	0	5	5	5	5	3	5	0	5	5	3	0	3	5	5	0	5	5	5
Facilidad de compra (formal e informal)	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0
Ingresos en el hogar	5	2	2	1	0	0	5	0	1	1	1	4	5	5	5	3	5	3	0	0	0	0	2	5
Ingresos por conceptos de salario	5	1	1	1	0	0	1	5	0	1	0	1	5	5	0	5	3	3	0	0	0	0	1	3
Ingresos por conceptos de estimulación	5	1	1	1	0	0	1	5	5	0	0	1	5	5	0	5	5	5	0	0	0	0	1	1
Ingresos por remesas	0	3	3	1	5	5	1	5	0	0	0	3	0	0	0	5	5	5	0	0	0	0	3	0
Otras fuentes de ingreso (incluidas las no oficiales)	5	3	3	1	0	0	1	5	0	0	0	0	5	5	0	5	5	5	0	0	0	0	1	0
Facilidades de créditos que ofrecen los bancos para acciones constructivas	0	0	0	0	5	5	5	5	0	0	0	0	0	5	0	5	5	5	0	0	0	0	5	0
Políticas públicas que estimulan las acciones constructivas (subsídios)	0	0	0	0	0	5	3	5	5	0	0	1	0	0	0	5	5	5	0	0	0	0	5	0
Tendencias al crecimiento del turismo	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	1	0	5	5	5	0	0	5
Estado constructivo del fondo habitacional	0	3	3	3	5	5	0	3	5	5	5	5	5	5	0	0	1	5	0	0	0	0	0	1
Necesidad de viviendas	0	5	5	5	5	3	0	0	5	5	0	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Necesidad de mejorar el estado constructivo del fondo habitacional	0	5	5	3	0	1	0	0	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3
Disponibilidad de materiales de construcción	1	0	0	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	0	3	1	0	3	0
Existencia de soluciones constructivas alternativas	0	0	0	0	5	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	0	5	3	5	0
Formas de trabajo no estatal	5	0	0	0	3	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	1	1	0	1	1	0

Disponibilidad de fuerza de trabajo	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	5	5	0	0	0	0	0	0	
Efecto de desastres naturales	0	0	0	1	1	3	0	2	3	1	1	1	5	5	0	5	4	5	5	5	0	5	0	5	0	0
Contratos de trabajo en el extranjero	0	0	0	0	5	5	0	5	0	0	5	1	5	0	0	5	5	5	0	0	0	0	0	5	0	

**Tabla 2.** Evaluación de los indicadores de pertinencia

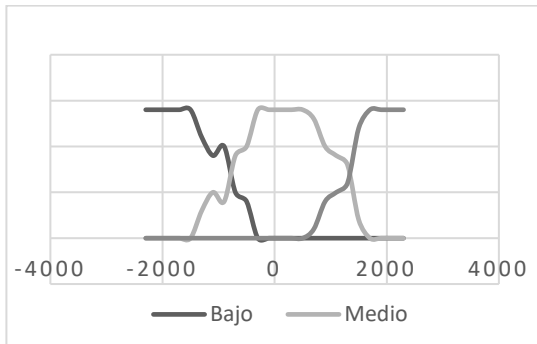
Variables	Indicador de Influencia	Indicador de confiabilidad	Indicador de frecuencia	Indicador de relación mutua
Crecimiento poblacional	5	5	5	79
Movimiento migratorio hacia dentro de la provincia	3	5	3	91
Movimiento migratorio hacia afuera de la provincia	3	5	3	85
Concentración de personas en un territorio	1	5	3	52
Costo de comprar una vivienda	5	1	1	117
Costo de construir una vivienda	5	1	3	133
Facilidad de compra (formal e informal)	5	1	0	62
Ingresos en el hogar	5	3	3	128
Ingresos por conceptos de salario	5	3	3	93
Ingresos por conceptos de estimulación	5	3	3	90
Ingresos por remesas	4	1	1	83
Otras fuentes de ingreso (incluidas las no oficiales)	3	1	1	91
Facilidades de créditos que ofrecen los bancos para acciones constructivas	5	5	3	95
Políticas públicas que estimulan las acciones constructivas (subsidios)	5	5	5	94
Tendencias al crecimiento del turismo	5	4	3	96
Estado constructivo del fondo habitacional	5	3	4	134
Necesidad de viviendas	5	3	3	130
Necesidad de mejorar el estado constructivo del fondo habitacional	5	3	3	134
Disponibilidad de materiales de construcción	5	1	1	57
Existencia de soluciones constructivas alternativas	1	3	1	68
Formas de trabajo no estatal	2	0	0	42
Disponibilidad de fuerza de trabajo	2	1	1	40
Efecto de desastres naturales	5	3	5	95
Contratos de trabajo en el extranjero	2	1	0	77

**Tabla 3.** Cálculo del índice de pertenencia normalizado

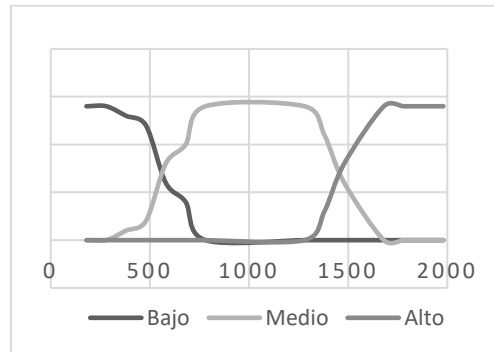
<b>Variables</b>	<b>Indicador de influencia</b>	<b>Indicador de confiabilidad</b>	<b>Indicador de frecuencia</b>	<b>Indicador de relación mutua</b>	<b>Valor total de la variable</b>
Crecimiento poblacional	0.0521	0.0758	0.0862	0.0365	0.2505
Movimiento migratorio hacia dentro de la provincia	0.0313	0.0758	0.0517	0.0420	0.1997
Movimiento migratorio hacia afuera de la provincia	0.0313	0.0758	0.0517	0.0392	0.1980
Concentración de personas en un territorio	0.0104	0.0758	0.0517	0.0240	0.1619
Costo de comprar una vivienda	0.0521	0.0152	0.0172	0.0540	0.1385
Costo de construir una vivienda	0.0521	0.0152	0.0517	0.0614	0.1804
Facilidad de compra (formal e informal)	0.0521	0.0152	0.0000	0.0286	0.0959
Ingresos en el hogar	0.0521	0.0455	0.0517	0.0591	0.2084
Ingresos por conceptos de salario	0.0521	0.0455	0.0517	0.0429	0.1922
Ingresos por conceptos de estimulación	0.0521	0.0455	0.0517	0.0416	0.1908
Ingresos por remesas	0.0417	0.0152	0.0172	0.0383	0.1124
Otras fuentes de ingreso (incluidas las no oficiales)	0.0313	0.0152	0.0172	0.0420	0.1057
Facilidades de créditos que ofrecen los bancos para acciones constructivas	0.0521	0.0758	0.0517	0.0439	0.2234
Políticas públicas que estimulan las acciones constructivas (subsidios)	0.0521	0.0758	0.0862	0.0434	0.2574
Tendencias al crecimiento del turismo	0.0521	0.0606	0.0517	0.0443	0.2087
Estado constructivo del fondo habitacional	0.0521	0.0455	0.0690	0.0619	0.2284
Necesidad de viviendas	0.0521	0.0455	0.0517	0.0600	0.2093
Necesidad de mejorar el estado constructivo del fondo habitacional	0.0521	0.0455	0.0517	0.0619	0.2111
Disponibilidad de materiales de construcción	0.0521	0.0152	0.0172	0.0263	0.1108
Existencia de soluciones constructivas alternativas	0.0104	0.0455	0.0172	0.0314	0.1045
Formas de trabajo no estatal	0.0208	0.0000	0.0000	0.0194	0.0402
Disponibilidad de fuerza de trabajo	0.0208	0.0152	0.0172	0.0185	0.0717
Efecto de desastres naturales	0.0521	0.0455	0.0862	0.0439	0.2276
Contratos de trabajo en el extranjero	0.0208	0.0152	0.0000	0.0355	0.0715

**Anexo 6.** Elicitación de las funciones de membresía de las variables.

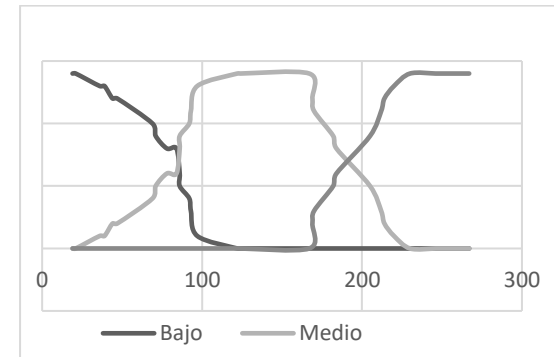
a) Crecimiento poblacional; b) Ingresos; c) Crecimiento del turismo; d) Estado del fondo habitacional; e) Desastres naturales; f) Nuevas viviendas; g) Acciones constructivas; h) Nuevas viviendas



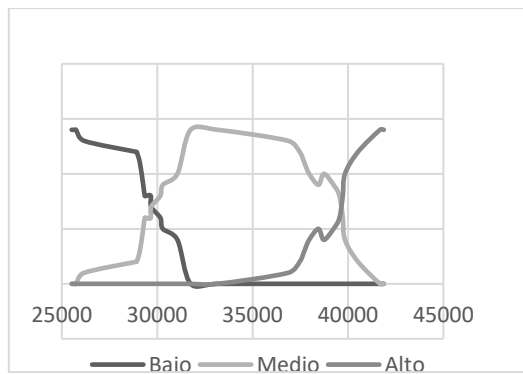
a)



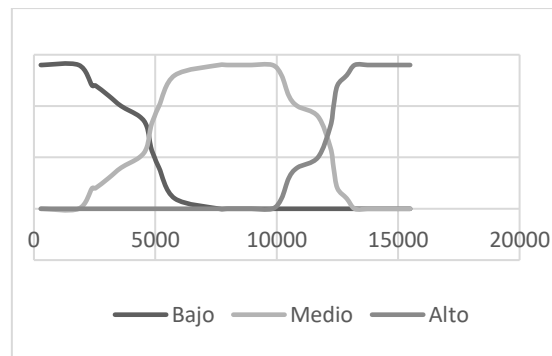
b)



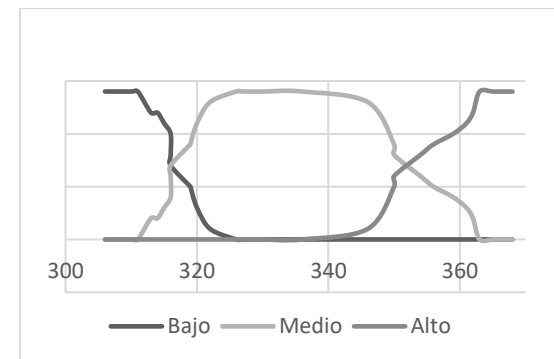
c)



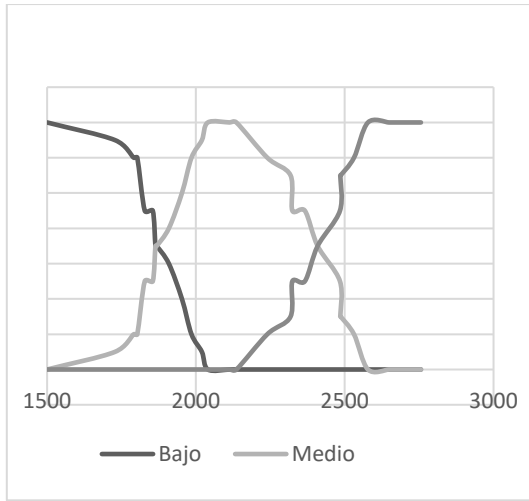
d)



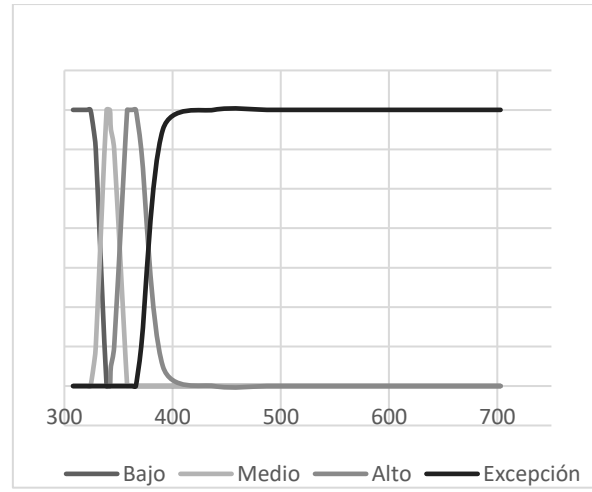
e)



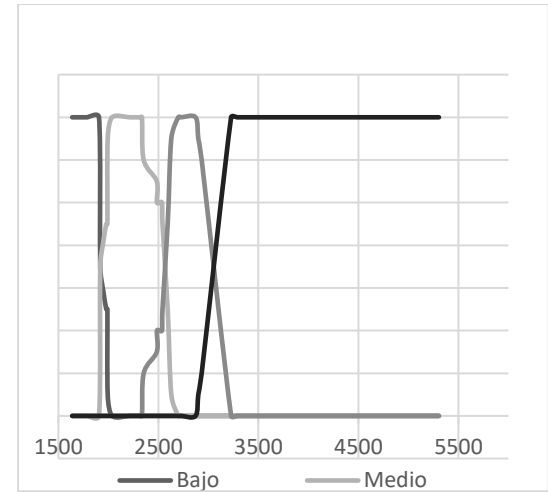
f)



g)



h)



i)

**Anexo 7.** Resumen de la parametrización de los conductores de la demanda para las variables.

**Tabla 1.** Resumen de la parametrización de los conductores de la demanda para las variables de entrada

Variables	Tipo de Variable	Función	Valores Lingüísticos	Parámetros de los Valores	Universo del discurso	FIS
Crecimiento Poblacional	Entrada	Triangular	Bajo	$[\text{mín.}; \text{mín.}; \text{mín}+3*(\text{máx.}-\text{mín.})/8]$	[mín.; máx.]	FIS1
			Medio	$[\text{mín.}+(\text{máx.}-\text{mín.})/8; \text{mín.}+4*(\text{máx.}-\text{mín.})/8; \text{máx.}-(\text{máx.}-\text{mín.})/8]$		
			Alto	$[\text{máx.}-3*(\text{máx.}-\text{mín.})/8; \text{máx.}; \text{máx.}]$		
Ingresos	Entrada	Triangular	Bajo	$[\text{mín.}/2; \text{mín.}/2; \text{mín.}/2+3*(\text{máx.}-\text{mín.}/2)/8]$	[mín./2; máx.]	FIS1, FIS2, FIS3, FIS4
			Medio	$[\text{mín.}/2+(\text{máx.}-\text{mín.}/2)/8; \text{mín.}/2+4*(\text{máx.}-\text{mín.}/2)/8; \text{máx.}-(\text{máx.}-\text{mín.}/2)/8]$		
			Alto	$[\text{máx.}-3*(\text{máx.}-\text{mín.}/2)/8; \text{máx.}; \text{máx.}]$		
Políticas Públicas	Entrada	Triangular	Insuficiente	$[0; 0; 3*\text{máx.}/8]$	[0; máx.]	FIS1, FIS2, FIS3, FIS4
			Adecuado	$[\text{máx.}/8; \text{máx.}/2; \text{máx.}-\text{máx.}/8]$		
			Suficiente	$[\text{máx.}-3*\text{máx.}/8; \text{máx.}; \text{máx.}]$		
Crecimiento del Turismo	Entrada	Triangular	Bajo	$[\text{mín.}; \text{mín.}; \text{mín.}+3*(\text{máx.}-\text{mín.})/8]$	[0; máx.]	FIS2
			Medio	$[\text{mín.}+(\text{máx.}-\text{mín.})/8; \text{mín.}+4*(\text{máx.}-\text{mín.})/8; \text{máx.}-(\text{máx.}-\text{mín.})/8]$		
			Alto	$[\text{máx.}-3*(\text{máx.}-\text{mín.})/8; \text{máx.}; \text{máx.}]$		
Fondo Habitacional	Entrada	Triangular	Malo	$[\text{mín.}; \text{mín.}; \text{mín.}+3*(\text{máx.}-\text{mín.})/8]$	[mín.; máx.]	FIS3, FIS4
			Regular	$[\text{mín.}+(\text{máx.}-\text{mín.})/8; \text{mín.}+4*(\text{máx.}-\text{mín.})/8; \text{máx.}-(\text{máx.}-\text{mín.})/8]$		
			Bueno	$[\text{máx.}-3*(\text{máx.}-\text{mín.})/8; \text{máx.}; \text{máx.}]$		
Viviendas Afectadas por Desastres Naturales	Entrada	Triangular	Bajo	$[0; 0; 3*\text{máx.}/8]$	[0; máx.]	FIS4
			Medio	$[\text{máx.}/8; \text{máx.}/2; \text{máx.}-\text{máx.}/8]$		
			Alto	$[\text{máx.}-3*\text{máx.}/8; \text{máx.}; \text{máx.}]$		



**Tabla 2.** Resumen de la parametrización de los conductores de la demanda para las variables de salida.

Variables	Tipo de Variable	Función	Valores Lingüísticos	Parámetros de los Valores	Universo del discurso	FIS
Acciones Constructivas	Salida	Triangular	Bajo	[mín.; mín.; mín.+3*(máx./2-mín.) /8]	[mín.; máx.]	FIS1, FIS2, FIS3
			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]		
Nuevas Viviendas	Salida	Triangular	Bajo	[mín.; mín.; mín.+3*(máx./2-mín.) /8]	[mín.; máx.]	FIS1, FIS2, FIS3
			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]		
Acciones Constructivas	Salida	Triangular	Bajo	[mín.; mín.; mín.+3*(máx./2-mín.) /8]	[mín.; máx.]	FIS4
			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; mín.+11*(máx./2- mín.) /8]		
			Excepcional	[máx./2+ (máx./2-mín.); máx.; máx.]		
Nuevas Viviendas	Salida	Triangular	Bajo	[mín.; mín.; mín.+3*(máx./2-mín.) /8]	[mín.; máx.]	FIS4
			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; mín.+11*(máx./2- mín.) /8]		
			Excepcional	[máx./2+ (máx./2-mín.); máx.; máx.]		

**Anexo 8.** Reglas de los sistemas de inferencia difusa.

**Tabla 1.** Reglas difusas obtenidas para el FIS 1. Crecimiento poblacional

<u>IF</u>	<u>IS</u>	<u>AND IF</u>	<u>IS</u>	<u>AND IF</u>	<u>IS</u>	<u>THEN</u>	<u>IS</u>	<u>THEN</u>	<u>IS</u>
Crecimiento poblacional	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento poblacional	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento poblacional	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento poblacional	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento poblacional	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento poblacional	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento poblacional	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento poblacional	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento poblacional	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento poblacional	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento poblacional	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento poblacional	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento poblacional	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento poblacional	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento poblacional	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento poblacional	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento poblacional	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento poblacional	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento poblacional	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento poblacional	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento poblacional	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento poblacional	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento poblacional	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento poblacional	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento poblacional	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento poblacional	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Alto
Crecimiento poblacional	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Alto

**Tabla 2.** Reglas difusas obtenidas para el FIS 2. Crecimiento del turismo.

<u>IF</u>	<u>IS</u>	<u>AND IF</u>	<u>IS</u>	<u>AND IF</u>	<u>IS</u>	<u>THEN</u>	<u>IS</u>	<u>THEN</u>	<u>IS</u>
Crecimiento turismo	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento turismo	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento turismo	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento turismo	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento turismo	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento turismo	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento turismo	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento turismo	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento turismo	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento turismo	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento turismo	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento turismo	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento turismo	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento turismo	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento turismo	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Alto
Crecimiento turismo	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento turismo	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Alto
Crecimiento turismo	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Alto
Crecimiento turismo	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Crecimiento turismo	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento turismo	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento turismo	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento turismo	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Alto
Crecimiento turismo	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Alto
Crecimiento turismo	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Medio
Crecimiento turismo	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Alto
Crecimiento turismo	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Alto

**Tabla 3.** Reglas difusas obtenidas para el FIS 3. Estado del fondo habitacional.

<b>IF</b>	<b>IS</b>	<b>AND IF</b>	<b>IS</b>	<b>AND IF</b>	<b>IS</b>	<b>THEN</b>	<b>IS</b>	<b>THEN</b>	<b>IS</b>
Fondo habitacional	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo

**Tabla 4.** Reglas difusas obtenidas para el FIS 4. Desastres Naturales.

<u>IF</u>	<u>IS</u>	<u>AND IF</u>	<u>IS</u>	<u>AND IF</u>	<u>IS</u>	<u>AND IF</u>	<u>IS</u>	<u>THEN</u>	<u>IS</u>	<u>THEN</u>	<u>IS</u>
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Alto
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Alto
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Alto
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Alto
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Alto

Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Alto
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Excepcional	Acciones constructivas	Excepcional
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Excepcional	Acciones constructivas	Excepcional
Fondo habitacional	Bajo	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Excepcional	Acciones constructivas	Excepcional
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Alto
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Alto
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo

Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Alto
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Excepcional	Acciones constructivas	Excepcional
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Excepcional	Acciones constructivas	Excepcional
Fondo habitacional	Medio	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Excepcional	Acciones constructivas	Excepcional
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo

Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Bajo	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Medio
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Medio	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Bajo	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Bajo	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Medio	Acciones constructivas	Bajo
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Medio	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Alto	Acciones constructivas	Bajo



Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Bajo	Nuevas viviendas	Excepcional	Acciones constructivas	Excepcional
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Medio	Nuevas viviendas	Excepcional	Acciones constructivas	Excepcional
Fondo habitacional	Alto	Desastres Naturales	Alto	Ingresos	Alto	Políticas públicas	Alto	Nuevas viviendas	Excepcional	Acciones constructivas	Excepcional

**Anexo 9.** Descripción del modelo para la planificación de la producción y los flujos materiales de la CS.

**Índices y conjuntos:**

- $H$ : Conjunto de suministradores de la industria nacional ( $h = 1, 2, \dots, H$ )
- $I$ : Conjunto de suministradores de la industria local ( $i = 1, 2, \dots, I$ )
- $R$ : Conjunto de productos suministrados ( $t = 1, 2, \dots, R$ )
- $J$ : Conjunto de productos suministrados por la industria nacional ( $j = 1, 2, \dots, J; J \in R$ )
- $K$ : Conjunto de productos suministrados por la industria local ( $k = 1, 2, \dots, K; K \in R$ )
- $C$ : Conjunto de productos manufacturados en los centros de producción ( $c = 1, 2, \dots, C$ )
- $P$ : Conjunto de productos de la industria nacional a producir y comercializar ( $p = 1, 2, \dots, P; P \in C$ )
- $F$ : Conjunto de productos de la industria local a producir y comercializar ( $f = 1, 2, \dots, F; F \in C$ )
- $E$ : Conjunto de centros de producción de la industria nacional ( $e = 1, 2, \dots, E$ )
- $L$ : Conjunto de centros de producción de la industria local ( $l = 1, 2, \dots, L$ )
- $M$ : Conjunto de centros de comercialización ( $m = 1, 2, \dots, M$ )
- $N$ : Conjunto de tipologías de nuevas viviendas ( $n = 1, 2, \dots, N$ )
- $O$ : Conjunto de tipologías de acciones constructivas ( $o = 1, 2, \dots, O$ )

**Parámetros**

- $Co_r$ : Costo unitario del producto suministrado
- $Co_c$ : Costo unitario del producto manufacturado en los centros de producción
- $Tt_r$ : Tarifa para transportar una unidad de producto de los suministradores en un Km
- $Tt_c$ : Tarifa para transportar una unidad de producto manufacturados en los centros de producción en un Km
- $In_r$ : Ingreso por vender una unidad del producto suministrado
- $In_c$ : Ingreso por vender una unidad del producto manufacturado en los centros de producción
- $Ca_{hr}$ : Capacidad de abastecimiento de la industria nacional
- $Ca_{lr}$ : Capacidad de abastecimiento de la industria local
- $Ca_{ec}$ : Capacidad de producir de los centros de producción de la industria nacional
- $Ca_{lc}$ : Capacidad de producir de los centros de producción de la industria local
- $Dt_{hm}$ : Distancia entre los suministradores de la industria nacional y las comercializadoras
- $Dt_{im}$ : Distancia entre los suministradores de la industria local y las comercializadoras
- $Dt_{he}$ : Distancia entre los suministradores de la industria nacional y los centros de producción de la industria nacional
- $Dt_{hl}$ : Distancia entre los suministradores de la industria nacional y los centros de producción de la industria local
- $Dt_{ie}$ : Distancia entre los suministradores de la industria local y los centros de producción de la industria nacional

$Dt_{il}$ :	Distancia entre los suministradores de la industria local y los centros de producción de la industria local
$Dt_{em}$ :	Distancia entre los centros de producción de la industria nacional y las comercializadoras
$Dt_{lm}$ :	Distancia entre los centros de producción de la industria local y las comercializadoras
$Ic_{cr}$ :	Índice de consumo de los productos suministrados en los centros de producción
$Ic_{or}$ :	Índice de consumo de los productos suministrados en las acciones constructivas
$Ic_{oc}$ :	Índice de consumo de los productos manufacturados en las acciones constructivas
$Ic_{nr}$ :	Índice de consumo de los productos suministrados en nuevas viviendas
$Ic_{nc}$ :	Índice de consumo de los productos manufacturados en nuevas viviendas
$Dm_{mo}$ :	Demanda de acciones constructivas en los respectivos municipios de las comercializadoras
$Dm_{mn}$ :	Demanda de nuevas viviendas en los respectivos municipios de las comercializadoras
$Dm_m$ :	Demanda de productos liberados
$W_n$ :	Peso de nuevas viviendas
$W_o$ :	Peso de acciones constructivas
$WI$ :	Peso de los ingresos
$WS$ :	Peso del nivel de servicio
$WP$ :	Peso de la prioridad

<b>Variables positivas</b>	
$X_{herc}$ :	Cantidad de materiales suministrados por la industria nacional a los centros de producción de la industria nacional para producir el producto final.
$X_{hlrc}$ :	Cantidad de materiales suministrados por la industria nacional a los centros de producción de la industria local para producir el producto final.
$Y_{ierc}$ :	Cantidad de materiales suministrados por la industria local a los centros de producción de la industria nacional para producir el producto final.
$Y_{ilrc}$ :	Cantidad de materiales suministrados por la industria local a los centros de producción de la industria local para producir el producto final.
$Q_{hmrn}$ :	Cantidad de materiales suministrados por la industria nacional a los centros comercializadores para la construcción de nuevas viviendas.
$Q_{hmro}$ :	Cantidad de materiales suministrados por la industria nacional a los comercializadores para la realización de acciones constructivas.
$Q_{hmr}$ :	Cantidad de materiales suministrados por la industria nacional a los centros comercializadores (liberados).
$R_{imrn}$ :	Cantidad de materiales suministrados por la industria local a los centros comercializadores para la construcción de nuevas viviendas.
$R_{imro}$ :	Cantidad de materiales suministrados por la industria local a los centros comercializadores para la construcción de acciones.
$R_{imr}$ :	Cantidad de materiales suministrados por la industria local a los centros comercializadores (liberados).

$S_{emcn}$ :	Cantidad de productos finales suministrados por los centros de producción de la industria nacional a los centros comercializadores para la construcción de nuevas viviendas.
$S_{lmcn}$ :	Cantidad de productos finales suministrados por los centros de producción de la industria local a los centros comercializadores para la construcción de nuevas viviendas.
$S_{emco}$ :	Cantidad de productos finales suministrados por los centros de producción de la industria nacional a los centros comercializadores para la construcción de acciones constructivas.
$S_{lmco}$ :	Cantidad de productos finales suministrados por los centros de producción de la industria local a los centros comercializadores para la construcción de acciones constructivas.
$S_{emc}$ :	Cantidad de materiales suministrados los centros de producción de la industria nacional a las comercializadoras (liberados).
$S_{lmc}$ :	Cantidad de materiales suministrados los centros de producción de la industria local a las comercializadoras (liberados).
$AC_{mo}$ :	Demanda de las tipologías de acciones constructivas en la comercializadora del municipio
$NV_{mn}$ :	Demanda de las tipologías de nuevas viviendas en la comercializadora del municipio
$U_{mo}$ :	Demanda insatisfecha de las tipologías de acciones constructivas en la comercializadora del municipio
$U_{mn}$ :	Demanda insatisfecha de las tipologías de nuevas viviendas en la comercializadora del municipio
$V_{hmr}$ :	Demanda insatisfecha de productos liberados de la industria nacional
$V_{imr}$ :	Demanda insatisfecha de productos liberados de la industria local
$V_{emc}$ :	Demanda insatisfecha de productos finales liberados de la industria nacional
$V_{lmc}$ :	Demanda insatisfecha de productos finales liberados de la industria local
$IC_{ik}$ :	Capacidad no utilizada de la industria local
$IC_{lf}$ :	Capacidad no utilizada de los centros de producción de la industria local

<b>Variables</b>	
$I_{su}$ :	Ingreso por vender una unidad de producto suministrado
$I_{cp}$ :	Ingreso por vender una unidad del producto manufacturado en el centro de producción de la industria nacional
$I_t$ :	Ingreso total
$C_{su}$ :	Costo total de producción los materiales suministrados
$C_{cp}$ :	Costo total de producción de los productos manufacturados en los centros de producción
$C_t$ :	Costo de producción total
$C_{tnc}$ :	Costo de transporte de los materiales de la industria nacional entre los suministradores de la industria nacional y los comercios
$C_{tlc}$ :	Costo de transporte de los materiales de la industria local entre los suministradores de la industria local y los comercios
$C_{tnn}$ :	Costo de transporte de los materiales de la industria nacional entre los suministradores de la industria nacional y los centros de producción de la industria nacional
$C_{tnl}$ :	Costo de transporte de los materiales de la industria nacional entre los suministradores de la industria nacional y los centros de producción de la industria local

<i>Ctln</i> :	Costo de transporte de los materiales de la industria local entre los suministradores de la industria local y los centros de producción de la industria nacional
<i>Ctll</i> :	Costo de transporte de los materiales de la industria local entre los suministradores de la industria local y los centros de producción de la industria local
<i>Ctncc</i> :	Costo de transporte de los productos finales entre Centros de producción de la industria nacional y los comercios
<i>Ctlcc</i> :	Costo de transporte de los productos finales entre Centros de producción de la industria local y los comercios
<i>Ctt</i> :	Costo total de Transporte
<i>Ut</i> :	Utilidades
<i>PUt</i> :	Utilidades perdidas
<i>Rend</i> :	Rendimiento de las utilidades
<i>Cap</i> :	Meta capacidad
<i>NS</i> :	Meta nivel de servicio
<i>M_M</i> :	Metas

### Conjunto de restricciones

$$\sum_e \sum_c X_{herc} + \sum_l \sum_c X_{hlrc} + \sum_m \sum_n Q_{hmrn} + \sum_m \sum_o Q_{hmro} + \sum_m Q_{hmr} \leq Ca_{hr} , \quad \forall h,r \quad 2.3$$

$$\sum_m \sum_n S_{emcn} + \sum_m \sum_o S_{emco} + \sum_m S_{emc} \leq Ca_{ec} , \quad \forall e,c \quad 2.4$$

$$\sum_l \sum_c Y_{ilrc} + \sum_e \sum_c Y_{ierc} + \sum_m \sum_o R_{imro} + \sum_m \sum_n R_{imrn} + \sum_m R_{imr} + IC_{ic} = Ca_{ir} , \quad \forall i,r \quad 2.5$$

$$\sum_m \sum_n S_{lmcn} + \sum_m \sum_o S_{lmco} + \sum_m S_{lmc} + IC_{lc} = Ca_{lc} , \quad \forall l,c \quad 2.6$$

$$IC_{cr} \cdot \left( \sum_m \sum_n S_{emcn} + \sum_m \sum_o S_{emco} + \sum_m S_{emc} \right) = \sum_h X_{herc} + \sum_i Y_{ierc} , \quad \forall e,c,r \quad 2.7$$

$$IC_{cr} \cdot \left( \sum_m \sum_n S_{lmcn} + \sum_m \sum_o S_{lmco} + \sum_m S_{lmc} \right) = \sum_h X_{hlrc} + \sum_i Y_{ilrc} , \quad \forall l,c,r \quad 2.8$$

$$IC_{nr} \cdot NV_{mn} = \sum_h Q_{hmrn} + \sum_i R_{imrn} , \quad \forall r,n,m \quad 2.9$$

$$Ic_{nc} \cdot NV_{mn} = \sum_e S_{emcn} + \sum_l S_{lmcn} , \quad \forall c, n, m \quad 2.10$$

$$Ic_{or} \cdot AC_{mo} = \sum_h Q_{hmro} + \sum_i R_{imko} , \quad \forall r, o, m \quad 2.11$$

$$Ic_{oc} \cdot AC_{mo} = \sum_e S_{emco} + \sum_l S_{lmco} , \quad \forall c, o, m \quad 2.12$$

$$NV_{mn} + U_{mn} = Dm_{mn} , \quad \forall n, m \quad 2.13$$

$$AC_{mo} + U_{mo} = Dm_{mo} , \quad \forall o, m \quad 2.14$$

$$\sum_h Q_{hmr} \leq Dm_m \cdot \sum_h \sum_m Q_{hmr} , \quad \forall m, r \quad 2.15$$

$$\sum_i R_{imr} \leq Dm_m \cdot \sum_i \sum_m R_{imr} , \quad \forall m, r \quad 2.16$$

$$\sum_e S_{emc} \leq Dm_m \cdot \sum_e \sum_m S_{emc} , \quad \forall m, c \quad 2.17$$

$$\sum_l S_{lmc} \leq Dm_m \cdot \sum_l \sum_m S_{lmc} , \quad \forall m, c \quad 2.18$$

$$\begin{aligned}
It = \sum_r In_r \cdot & \left( \sum_h \sum_m \sum_n Q_{hmrn} + \sum_h \sum_m \sum_o Q_{hmro} + \sum_h \sum_m Q_{hmr} \right. \\
& + \left. \sum_i \sum_m \sum_n R_{imrn} + \sum_i \sum_m \sum_o R_{imro} + \sum_i \sum_m R_{imr} \right) + \sum_c In_c \\
& \cdot \left( \sum_e \sum_m \sum_n S_{emcn} + \sum_e \sum_m \sum_o S_{emco} + \sum_e \sum_m S_{emc} \right. \\
& + \left. \sum_l \sum_m \sum_n S_{lmcn} + \sum_l \sum_m \sum_o S_{lmco} + \sum_l \sum_m S_{lmc} \right) , \quad 2.19
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Ct = \sum_r Co_j \cdot & \left( \sum_h \sum_m \sum_n Q_{hmrn} + \sum_h \sum_m \sum_o Q_{hmro} + \sum_h \sum_m Q_{hmr} \right. \\
& + \sum_i \sum_m \sum_n R_{imrn} + \sum_i \sum_m \sum_o R_{imro} + \sum_i \sum_m R_{imr} \left. \right) \\
& + \sum_c Co_c \\
& \cdot \left( \sum_e \sum_m \sum_n S_{emcn} + \sum_e \sum_m \sum_o S_{emco} + \sum_e \sum_m S_{emc} \right. \\
& \left. + \sum_l \sum_m \sum_n S_{lmcn} + \sum_l \sum_m \sum_o S_{lmco} + \sum_l \sum_m S_{lmc} \right) ,
\end{aligned} \tag{2.20}$$

$$\begin{aligned}
Ctt = \sum_j Tt_j \cdot \sum_h \sum_m Dt_{hm} \cdot & \left( \sum_n Q_{hmjn} + \sum_o Q_{hmjo} + Q_{hmj} \right) \\
& + \sum_k Tt_k \cdot \sum_i \sum_m Dt_{im} \cdot \left( \sum_n R_{imkn} + \sum_o R_{imko} + R_{imk} \right) + \sum_j Tt_j \\
& \cdot \sum_h \sum_e Dt_{he} \cdot \left( \sum_h \sum_e X_{hejp} \right) + \sum_j Tt_j \\
& \cdot \sum_h \sum_l Dt_{hl} \cdot \left( \sum_h \sum_l X_{hljf} \right) + \sum_k Tt_k * \sum_i \sum_e Dt_{ie} \cdot \left( \sum_p Y_{iekp} \right) \\
& + \sum_k Tt_k * \sum_i \sum_l Dt_{il} \cdot \left( \sum_f Y_{ilkf} \right) \\
& + \sum_p Tt_p \cdot \sum_e \sum_m Dt_{em} \cdot \left( \sum_n S_{empn} + \sum_o S_{empo} + \sum_p S_{emp} \right) \\
& + \sum_f Tt_f \cdot \sum_l \sum_m Dt_{lm} \cdot \left( \sum_n S_{lmfn} + \sum_o S_{lmfo} + \sum_p S_{lmf} \right)
\end{aligned} \tag{2.21}$$

$$Ut^* - PUt = It - Ct - Ctt \tag{2.22}$$

## Restricciones de no negatividad

$X_{herc}, X_{htrc}, Y_{ierc}, Y_{itrc} \geq 0$	$\forall h, e, r, c, l, i$	2.23
$Q_{hmrn}, Q_{hmro}, Q_{hmr} \geq 0$	$\forall h, m, r, n, o$	2.24
$R_{imrn}, R_{imro}, R_{imr} \geq 0$	$\forall i, m, r, n, o$	2.25
$S_{emcn}, S_{lmcn}, S_{emco}, S_{lmco}, S_{emc}, S_{lmc} \geq 0$	$\forall e, m, c, n, l, e, o$	2.26
$AC_{mo}, NV_{mn}, U_{mo}, U_{mn} \geq 0$	$\forall m, o, n$	2.27
$V_{hmr}, V_{imr}, V_{emc}, V_{lmc} \geq 0$	$\forall h, m, r, e, c, l$	2.28
$IC_{ik}, IC_{lf} \geq 0$	$\forall i, k, l, f$	2.29

## Solución del modelo multiobjetivo por programación meta

$$Rend = 1 - \frac{PUt}{Ut^*} \quad 2.30$$

$$NS = \sum_o W_o \cdot \left(1 - \left(\frac{\sum_m U_{mo}}{Dm_{mo}}\right)\right) + \sum_n W_n \cdot \left(1 - \left(\frac{\sum_m U_{mn}}{Dm_{mn}}\right)\right) \quad \forall (W_o + W_n) = 1 \quad 2.31$$

$$Cap = \frac{\sum_k \left(1 - \left(\frac{\sum_i IC_{ik}}{\sum_i Ca_{ik}}\right)\right)}{2 \cdot K} + \frac{\sum_f \left(1 - \left(\frac{\sum_l IC_{lf}}{\sum_l Ca_{lf}}\right)\right)}{2 \cdot F} \quad 2.32$$


## Función objetivo:

$$M_M = WI \cdot M_{Ut} + WS \cdot M_{NS} + WP \cdot M_{Cap} \quad 2.33$$




**Anexo 10.** Documentación para la recogida de información de la ONEI relacionada con la producción de materiales de construcción.

**Cuadro 1.** Metodología para la captación de información de los indicadores relacionados con la producción de materiales de construcción.

<p></p> <p><b>MODELO I</b> <b>INDICADORES SELECCIONADOS DE LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL</b> (Producción de Materiales de la Construcción)</p> <p style="text-align: center;"><b>OBJETIVOS</b></p> <p>Captar una selección de indicadores específicos que caracterizan el comportamiento de la Industria de materiales de construcción.</p> <p>Esta información se emplea en la elaboración del Informe del Programa de Producción Local "Autarquía Municipal".</p> <p style="text-align: center;"><b>CARACTERIZACIÓN</b></p> <p><b>Universo:</b> Serán reportados específicamente por entidades que desarrollan actividades industriales y tienen relaciones con los centros de producción y de comercialización de los materiales de construcción (Empresa Provincial de Mantenimiento y Construcción, MINAG, Industria Nacional y Comercio) en los indicadores que conforman el nomenclador de este modelo, con independencia de la actividad económica fundamental que realicen y el nivel de producción que ejecuten.</p> <p><b>Variantes:</b> No tiene</p> <p><b>Periodicidad:</b> Anual</p> <p><b>Fecha de captación:</b> Primeros 6 días del mes de enero</p> <p style="text-align: center;"><b>INSTRUCCIONES GENERALES</b></p> <p><b>UNIDAD DE MEDIDA:</b> Aparecen en la nomenclatura del modelo</p> <p><b>FLUJO DEL MODELO:</b> Original: Oficina Municipal de Estadística e Información Primera Copia: Centro Informante</p> <p><b>CABEZA DEL MODELO</b> Municipio: Se anotará el nombre y código a dos dígitos del municipio donde radica físicamente el centro informante. Organismo: Se anotarán las siglas del organismo a que pertenece la entidad. Nombre del centro informante: Se anotará el nombre del centro correspondiente. Código REEUP: Se anotará el código correspondiente a la entidad, a 5 dígitos, según el clasificador adecuado.</p> <p><b>PIE DEL MODELO</b> Revisado: Se reflejará el nombre completo (con apellidos) y el cargo de la persona que revisa el modelo, así como estampará su firma. Aprobado: Se reflejará el nombre completo (con apellidos) del responsable máximo de la entidad, así como estampará su firma y el cuño del centro informante.</p> <p style="text-align: center;"><b>DEFINICIONES METODOLOGICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Suministro o insumo: productos usados como materias primas en los centros de producción para la fabricación de un producto final.</li><li>• Producto: resultado del proceso de fabricación en los centros de producción.</li><li>• Costo unitario: valor monetario de producir o suministrar un producto.</li><li>• Precio de venta unitario: valor unitario que el cliente pagará por recibir un producto.</li><li>• Tarifa de transportación: costo a pagar por el desplazamiento de una carga.</li></ul>
---


- Capacidad de suministro: capacidad que presenta una empresa para cumplir con una demanda potencial contratada con anterioridad por otra para el cumplimiento de su responsabilidad social y empresarial en un tiempo específico.
- Capacidad de producción: capacidad de fabricación instalada en los centros de producción en un tiempo específico.
- Índices de consumo de los centros de producción: relación de la proporción de insumos necesarios para la fabricación en los centros productivos.
- Índice de consumos de acciones constructivas: relación de la proporción de insumos y producciones necesarias para llevar a cabo una acción constructiva.
- Índice de consumo de nuevas viviendas: relación de la proporción de insumos y producciones necesarias para llevar a cabo la construcción de nuevas viviendas.
- Demanda de nuevas viviendas en los municipios: cantidad de proyectos aprobados en los municipios para la construcción de viviendas nuevas por cualquier vía.
- Demanda de reparación de viviendas en los municipios: cantidad de proyectos aprobados en los municipios para la realización de acciones constructivas en las viviendas por cualquier vía.

**Cuadro 2.** Modelo para la captación de la información correspondiente a los indicadores de la producción de materiales de construcción.

 <p>OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN Provincia Cienfuegos</p> <p><b>Sistema de Información Estadística Territorial (SIET)</b></p>	<p><b>INDICADORES SELECCIONADOS PARA LA</b></p> <p><b>AUTARQUIA MUNICIPAL</b> (Producción de materiales de la construcción)</p>	<p><b>Informe hasta:</b></p> <p><b>Mes:</b> _____</p> <p><b>Año:</b> _____</p>	<p><b>MODELO No. I</b></p> <p><b>Página 1 de</b> _____</p>		
			<p><b>Unidad de Medida</b> (Entero con un decimal):</p>		
Entidad Informante: _____		Código: _____			
Indicador		Valor del indicador en el año actual			
RESPONSABLE DE EMITIR LA INFORMACIÓN _____		DIRECTOR DE LA ENTIDAD INFORMANTE _____		FECHA	
Nombre y Apellidos		Nombre y Apellidos			
Firma		Firma			
				DÍA	MES
				AÑO	

**Anexo 11.** Documentación del Sistema de Información de Estadística Territorial para la recogida de información relacionada con los indicadores de demanda.

**Cuadro 1.** Metodología para la captación de información de los indicadores relacionados con los indicadores de demanda.

 <p><b>MODELO II</b> INDICADORES SELECCIONADOS DE LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL (Producción de Materiales de la Construcción)</p> <p style="text-align: center;"><b>OBJETIVOS</b></p> <p>Captar una selección de indicadores específicos que caracterizan el comportamiento de la demanda de la construcción de viviendas en la provincia de Cienfuegos. Esta información se emplea en la elaboración del Informe del Programa de Producción Local "Autarquía Municipal".</p> <p style="text-align: center;"><b>CARACTERIZACIÓN</b></p> <p><b>Universo:</b> Serán reportados específicamente por entidades que centran o manejan información de interés para la demanda de construcción de viviendas (Ministerio de Trabajo Provincial, Vivienda Provincial, ONEI Provincial, ONAT Provincial, Planificación Física provincial, Dirección provincial de BANDEC, Dirección provincial de BPA) en los indicadores que conforman el nomenclador de este modelo, con independencia de la actividad económica fundamental que realicen.</p> <p><b>Variantes:</b> No tiene</p> <p><b>Periodicidad:</b> Anual</p> <p><b>Fecha de captación:</b> primeros 6 días del mes de enero en una reunión donde de conjunto todas las entidades informarán sobre los comportamientos estimados</p> <p style="text-align: center;"><b>INSTRUCCIONES GENERALES</b></p> <p><b>UNIDADES DE MEDIDA:</b> Aparecen en la nomenclatura del modelo</p> <p><b>FLUJO DEL MODELO:</b> Original: Oficina Provincial de Estadística e Información Primera Copia: Centro Informante</p> <p><b>CABEZA DEL MODELO</b></p> <p><b>Municipio:</b> Se anotará el nombre y código a dos dígitos del municipio donde radica físicamente el centro informante.</p> <p><b>Organismo:</b> Se anotarán las siglas del organismo a que pertenece la entidad.</p> <p><b>Nombre del centro informante:</b> Se anotará el nombre del centro correspondiente.</p> <p><b>Código REEUP:</b> Se anotará el código correspondiente a la entidad, a 5 dígitos, según el clasificador adecuado.</p> <p><b>PIE DEL MODELO</b></p> <p><b>Revisado:</b> Se reflejará el nombre completo (con apellidos) y el cargo de la persona que revisa el modelo, así como estampará su firma.</p> <p><b>Aprobado:</b> Se reflejará el nombre completo (con apellidos) del responsable máximo de la entidad, así como estampará su firma y el cuño del centro informante.</p> <p style="text-align: center;"><b>DEFINICIONES METODOLÓGICAS</b></p> <p><b>Indicadores:</b> Crecimiento poblacional: Relación existente entre el conteo demográfico de los habitantes con respecto al año anterior (habitantes).</p>
--

**Salario medio anual:** Es el importe de las retribuciones directas devengadas como promedio por un trabajador en año. Se calcula de la división del salario devengado y el promedio de trabajadores total.

**Aportes a la ONAT por los contribuyentes del sector no estatal:** Cuantificación de los aportes realizados a la ONAT por parte de los contribuyentes del sector no estatal.

**Préstamos a crédito del sistema bancario:** Monto que cualquier institución del sistema bancario del territorio facultada para ello otorga a personas naturales para la realización de acciones constructivas bajo una tasa de interés establecida.

**Subsidios de viviendas:** Apoyo económico que otorga una sola vez el gobierno de la provincia a personas que lo necesiten y lo utilicen para acceder a una vivienda o solución habitacional.

**Remesas llegadas del exterior del país:** Dinero que personas que viven en otra nación envían a sus familiares y amigos en los países de origen.

**Crecimiento del turismo:** Relación entre la cantidad de nuevas viviendas destinadas al arrendamiento para el turismo de un año con respecto al anterior (casas en arrendamiento).

**Estado constructivo del fondo habitacional:** Es la valoración cuantitativa organizada por niveles del estado de las viviendas de la provincia, esta clasificación se compone de una valoración del tipo de vivienda según sus elementos constructivos como una clasificación de su estado de conservación.

**Viviendas afectadas por desastres naturales:** Es la cantidad de viviendas dañadas luego de eventos naturales de envergadura, como ciclones, fuertes lluvias, crecidas e inundaciones fundamentalmente.

**Acciones constructivas:** Es la cantidad de proyectos de construcción para la remodelación, revitalización, modificación o reparaciones en una vivienda.

**Construcción de nuevas viviendas:** Es la cantidad de proyectos de nuevas viviendas

#### NOMENCLATURA DE INDICADORES

Nomenclador	Indicador	U/M
CP	Crecimiento poblacional	habitantes
SM	Salario medio anual	pesos
RP	Remesas llegadas del exterior del país	pesos
SV	Subsidios de viviendas	pesos
CT	Crecimiento del turismo	viviendas
FH	Estado constructivo del fondo habitacional	viviendas
DN	Viviendas afectadas por desastres naturales	viviendas
AC	Acciones constructivas	viviendas
NV	Construcción de nuevas viviendas	viviendas

**Cuadro 2.** Modelos para la captación de la información correspondiente a los indicadores de la producción de materiales de construcción.

 <p>OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN Provincia Cienfuegos</p>	<p><b>INDICADORES SELECCIONADOS PARA LA AUTARQUIA MUNICIPAL</b></p>	<p><b>Informe hasta:</b></p> <p>Mes: _____</p> <p>Año: _____</p>	<p><b>MODELO No. II</b> Página 1 de _____</p>		
		<p><b>Unidad de Medida:</b> Entero con un decimal</p>			
<p>Entidad Informante: _____</p>		<p>Código: _____</p>			
<p>Indicador</p>		<p>Valor del indicador en el año actual</p>			
<p>RESPONSABLE DE EMITIR LA INFORMACIÓN _____</p> <p>Nombre y Apellidos _____</p>		<p>DIRECTOR DE LA ENTIDAD INFORMANTE _____</p> <p>Nombre y Apellidos _____</p>		<p>FECHA</p>	
				DÍA	MES
				AÑO	
<p><b>RELACIONN DE LOS CENTROS INFORMANTES PARA EL SIET DE LA ONEI PROVINCIA DE CIENFUEGOS PROGRAMA NACIONAL DE PRODUCCION LOCAL DE MATERIALES</b></p>					
Indicador		Centro informante			
Crecimiento poblacional		ONEI			
Salario medio anual		ONEI			
Remesas llegadas del exterior del país		Sistema bancario			
Crecimiento del turismo		Dirección provincial del MTSS			
Subsidios de viviendas		Vivienda provincial			
Estado constructivo del fondo habitacional		Vivienda provincial			
Viviendas afectadas por desastres naturales		Vivienda provincial			
Acciones constructivas		Dirección Provincial IPF			
Construcción de nuevas viviendas		Dirección Provincial IPF			

**Anexo 12.** Clasificación de los productos del PLPVMC por grupos y surtidos.

<b>Grupo de productos</b>	<b>Productos relacionados con los grupos</b>
<b>G1. Productos del barro, arcillas</b>	Ladrillos de barro macizos; Ladrillos de barro macizos; Ladrillos de barro huecos; Bloques de barro; Tejas de barro criollas; Tejas de barro francesas; Losas de azotea (rasillas); Losas de barro para pisos; Tubos barro de 4"; Tubos barro de 6"; Conexiones de barro, codos de 4" de 45°; Conexiones de barro, codos de 4" de 90°; Conexiones de barro, Tees de 4"; Conexiones de barro, Yees de 4"; Conexiones de barro, sifas de 4"; Conexiones de barro, runes de 4"; Conexiones de barro, codos de 6" de 45°; Conexiones de barro, codos de 6" de 90°; Conexiones de barro, Tees de 6"; Conexiones de barro, Yees de 6"; Conexiones de barro, reducidos de 6" a 4"; Celosías de barro.
<b>G2. Productos de base pétreo y áridos</b>	Arena natural, Arena artificial, Piedra triturada macadam, Piedra triturada hormigón, Piedra triturada gravilla, Piedra triturada granito, Polvo de piedra, Cantos en bloques.
<b>G3. Productos Extensores</b>	Cal viva, Masilla de cal, Pinturas base cal (lechada), Cemento romano, Cemento puzolánico, Mortesac grueso, Mortesac fino.
<b>G4. Productos del plástico (PVC o reciclado)</b>	Mangueras plásticas flexibles ½", Mangueras plásticas flexibles ¾", Mangueras plásticas flexibles 1", Mangueras plásticas flexibles 1½", Mangueras plásticas flexibles 2", Mangueras plásticas flexibles 2½", Mangueras plásticas flexibles 3", Mangueras plásticas flexibles 4", Tubos plásticos eléctricos ½", Tubos plásticos eléctricos ¾", Tubos plásticos eléctricos 1", Tubos plásticos hidráulicos ½", Tubos plásticos hidráulicos ¾", Tubos plásticos hidráulicos 1", Tubos plásticos sanitarios 40 mm, Tubos plásticos sanitarios 50 mm, Tubos plásticos sanitarios 75 mm, Tubos plásticos sanitarios 100 mm, Conexiones plásticas eléctricas ½", Conexiones plásticas eléctricas ¾", Conexiones plásticas eléctricas 1", Conexiones plásticas hidráulicas ½", Conexiones plásticas hidráulicas ¾", Conexiones plásticas hidráulicas 1", Conexiones plásticas sanitarias 40 mm, Conexiones plásticas

	<p>sanitarias 50 mm, Conexiones plásticas sanitarias 75 mm, Conexiones plásticas sanitarias 100 mm, Llaves plásticas para agua, Válvulas plásticas 40 mm, Válvulas plásticas 50 mm, Válvulas plásticas 75 mm, Válvulas plásticas 50 mm, Válvulas plásticas 75 mm, Cajas plásticas eléctricas de 2" x 4", Cajas plásticas eléctricas de 4" x 4".</p>
<p><b>G5. Productos de hormigones y morteros hidráulicos</b></p>	<p>Bloques hormigón de 40 x 20 x 10 cm, Bloques hormigón de 40 x 20 x 15 cm, Bloques hormigón de 40 x 20 x 20 cm, Bloques de cerramiento de hormigón 20 cm, Bloques de cerramiento de hormigón 15 cm, Losetas hidráulica (mosaicos) un color 25 x 25 cm, Losetas hidráulica (mosaicos) jaspe 25 x 25 cm, Losetas hidráulica (mosaicos) 2 colores 25 x 25 cm, Losetas hidráulica (mosaicos) coloniales 25 x 25 cm, Losetas hidráulicas (tochos), Losetas hidráulicas (0.8 x 25 cm) rodapiés, Pasos de escalera 25 x 30 cm, Baldosas de terrazo de 25 x 25 cm, Baldosas de terrazo de 30 x 30 cm, Baldosas de terrazo de 40 x 40 cm, Baldosas de terrazo (0.8 x 30 cm) rodapiés, Viguetas hormigón 3.60m, Viguetas hormigón 4.10 m, Plaquetas hormigón, Losa canal hormigón, Marcos de hormigón de puertas, Marcos de hormigón de ventanas, Celosías hormigón, Tejas de micro concreto TEVI, Losa hexagonal de hormigón, Balaustres hormigón, Mesetas hormigón con hueco, Mesetas hormigón sin hueco, Fregaderos hormigón, Lavaderos hormigón sencillo, Lavaderos hormigón doble, Tanques de hormigón para agua, Tapas de hormigón para tanques, Mesetas de terrazo con hueco, Mesetas de terrazo sin hueco, Lavaderos sencillos de terrazo, Lavaderos doble de terrazo, Columna de esquina C-1 sistema SANDINO, Columna de esquina C-2 sistema SANDINO, Columna de esquina C-3 sistema SANDINO, Columna de esquina C-4 sistema SANDINO, Columna de esquina C-5 sistema SANDINO, Panel liso sistema SANDINO, Panel Tee sistema SANDINO, Vaso cimiento columna sistema SANDINO, Dovelas de hormigón, Vigas TP1 y TP2.</p>

<b>G6. Productos de Madera</b>	Puertas y ventanas de madera, Marcos de puertas y ventanas de madera, Tablillas de madera p/persianas, Brochas de henequén, Brochas de cerdas, Frotas de madera, Cabos de madera para herramientas, Vigas y viguetas de madera p/ cubiertas, Tableros de madera p/ cubiertas, Tableros de madera p/ encofrados, Reglas de madera p/ albañilería, Cajón de madera p/ albañil.
<b>G7. Productos metálicos (acero, aluminio y zinc)</b>	Puertas y ventanas de aluminio, Puertas y ventanas de zinc, Bisagras, Escuadra para ventanas, Pines para ventanas, Pestillos de cierre, Llanas, Cucharas de albañil, Cinceles, Rejilla baño, Moldes de aluminio.



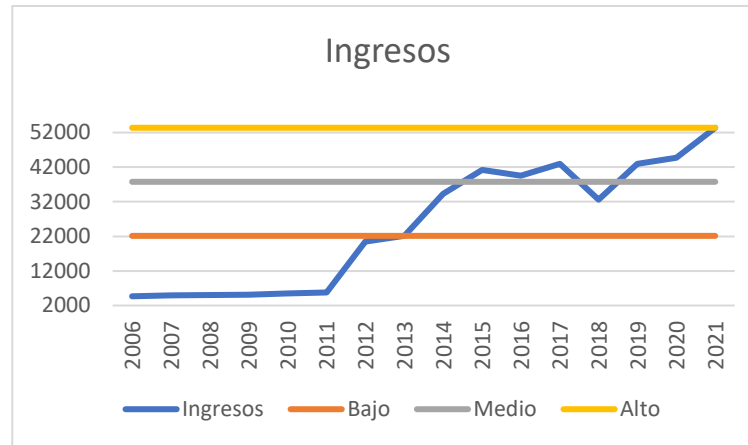
**Anexo 13.** Tabla resumen de los principales problemas relacionados con la construcción de viviendas en Cienfuegos.

Artículo	Fuente	Problemas identificados
Castro Martínez (2013)	Tesis en opción al título de Máster en Dirección Empresarial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realizan ajustes en los planes anuales sin tener en cuenta la demanda real, ni las capacidades de producción instaladas.</li> <li>• El sistema de trabajo de la provincia de Cienfuegos para el desarrollo del PLPVMC a no garantiza el desarrollo de las potencialidades del territorio.</li> </ul>
Figueredo Reinaldo & Garaycoa Martínez (2016)	CUBADEBATE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insuficiente aseguramiento a los centros de producción</li> <li>• Alta descapitalización de unidades productivas</li> <li>• Baja calificación en el desempeño del PLPVMC en la provincia.</li> </ul>
Martínez Molina (2016)	Periódico Granma	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La oferta es insuficiente con relación a la demanda</li> </ul>
Iser Capote, (2016)	Tesis en opción al título de Ingeniero Industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Población insatisfecha con los productos ofertados por la cadena de suministros de materiales de la construcción</li> <li>• La oferta es insuficiente con relación a la demanda</li> <li>• Se desconocen las demandas de los productos necesarios en las comercializadoras.</li> </ul>
Oviedo (2017)	Tesis en opción al título de Ingeniero Industrial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La información relacionada con el otorgamiento de licencias de construcción no es utilizada por el programa para la planificación de sus producciones.</li> </ul>
Martínez Curbelo, Castro Martínez, & Mena Chacón (2017)	Revista Universidad y Sociedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realizan ajustes en los planes anuales sin tener en cuenta la demanda real, ni las capacidades de producción instaladas.</li> <li>• El sistema de trabajo de la provincia de Cienfuegos para el desarrollo del PLPVMC a no garantiza el desarrollo de las potencialidades del territorio.</li> </ul>
Montalvo Martel & Martínez Díaz (2018)	Tesis en opción al título de Ingeniero Industrial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La información relacionada con el otorgamiento de licencias de construcción no es utilizada por el programa para la planificación de sus producciones.</li> <li>• El sistema de trabajo de la provincia de Cienfuegos para el desarrollo del PLPVMC a no garantiza el desarrollo de las potencialidades del territorio.</li> </ul>
Pérez García & Valladares Alonso (2018)	Tesis en opción al título Ingeniero Industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No existe una distribución de los suministros a los centros de producción en función de la realización de acciones constructivas.</li> </ul>
Duleyvis Hurtado Yacobet (2019)	Tesis en opción al título de Máster en Ingeniería Industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los planes de surtido están definidos por el programa nacional sobre la base de sus capacidades y no de sus demandas.</li> </ul>
Toscano Jerez (2020)	Periódico 5 de septiembre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escaso abastecimiento de los productos más demandados en las comercializadoras</li> <li>• Los productos vendidos no presentan la calidad requerida.</li> </ul>

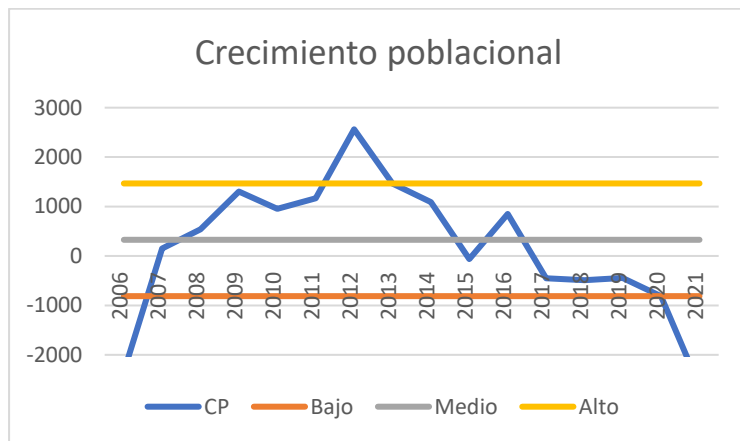
Cabrera (2021)	Periódico 5 de septiembre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La construcción o reparación de viviendas se atrasa debido a la falta de materiales.</li> </ul>
Martínez Molina, (2021)	Periódico Granma	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Población insatisfecha con los productos ofertados por la cadena de suministros de materiales de la construcción.</li> </ul>
Martínez Curbelo, Feitó Cespón, & Medina León (2021)	Revista GECONTEC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El abastecimiento a las comercializadoras no se realiza teniendo en cuenta los productos que se demandan en tipo y cantidades</li> <li>• El cumplimiento de los planes económicos no se realiza por volúmenes, surtidos y calidad, solo por ventas.</li> </ul>
Cutiño Duany & Fernández Chaviano (2021)	Tesis en opción al título de Ingeniero Industrial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No existe una distribución de los suministros a los centros de producción en función de la realización de acciones constructivas</li> <li>• Los planes de surtido están definidos por el programa nacional sobre la base de sus capacidades y no de sus demandas.</li> </ul>
Martínez Curbelo et al., (2021)	Revista Universidad y Sociedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existen en los planes de producción planificaciones mayores que las capacidades instaladas en algunos surtidos de los municipios de la provincia.</li> </ul>
Ferrán (2022)	Periódico Trabajadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escaso abastecimiento de los productos más demandados en las comercializadoras.</li> </ul>
Martínez Molina (2022)	Periódico Granma	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incumplimiento de las producciones de elementos fundamentales como pared, techo y piso.</li> </ul>
Covas Varela, Martínez Curbelo, & González Hernández (2022)	Revista Ciencias Administrativas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No existe una oferta balanceada para todos los productos</li> <li>• No existe correspondencia entre lo que se oferta en las comercializadoras y las licencias de construcción aprobadas</li> <li>• Incumplimiento en los planes de venta.</li> </ul>
Rodríguez (2022)	Tesis en opción al título de Máster en Ingeniería Industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajas capacidades en unidades productivas por mantenimientos y roturas</li> <li>• Alta descapitalización de unidades productivas.</li> </ul>

**Anexo 14.** Tendencia de las variables influyentes en la demanda.

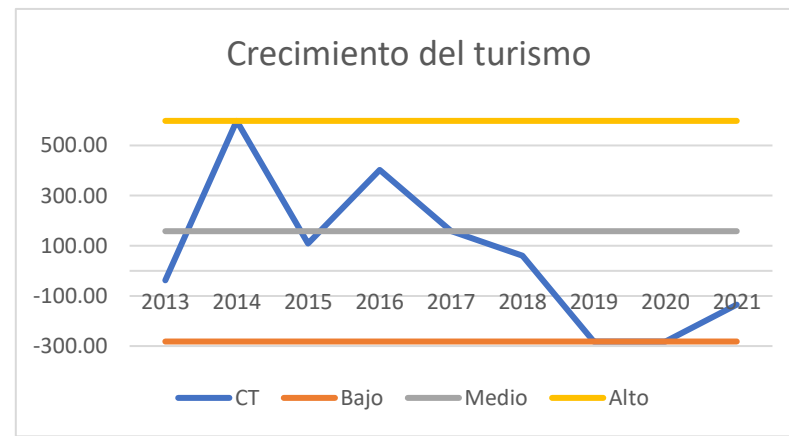
a) Ingresos, b) Crecimiento poblacional, c) Crecimiento del turismo, d) Fondo habitacional, e) Desastres naturales, f) Nuevas viviendas, g) Acciones constructivas



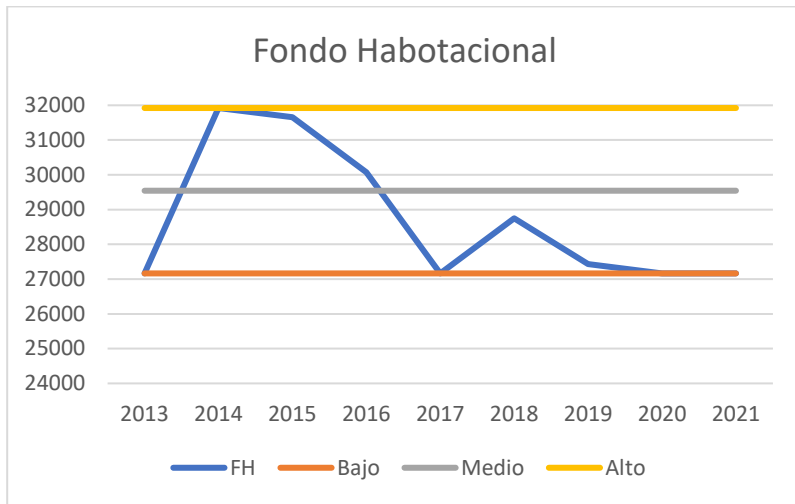
a)



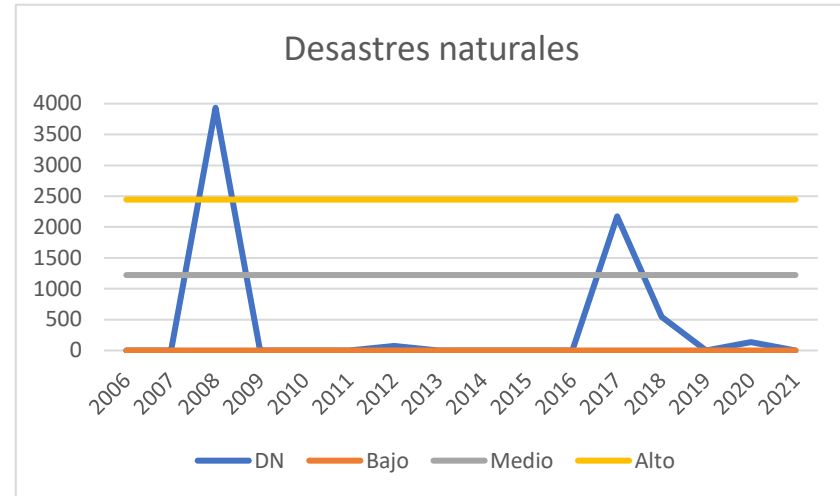
b)



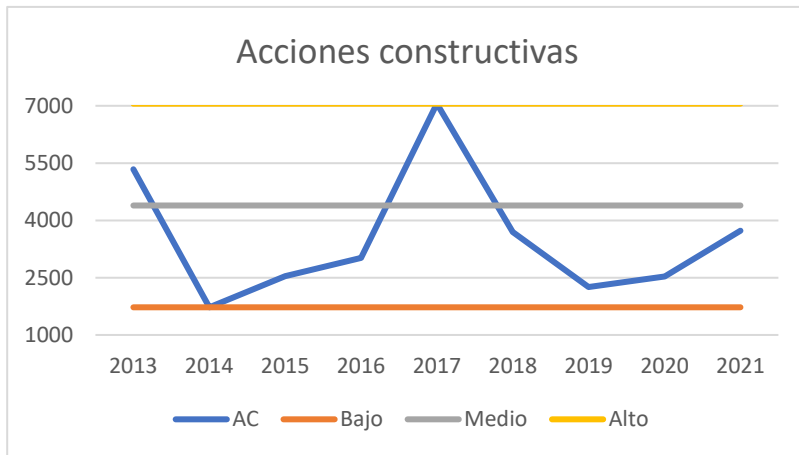
c)



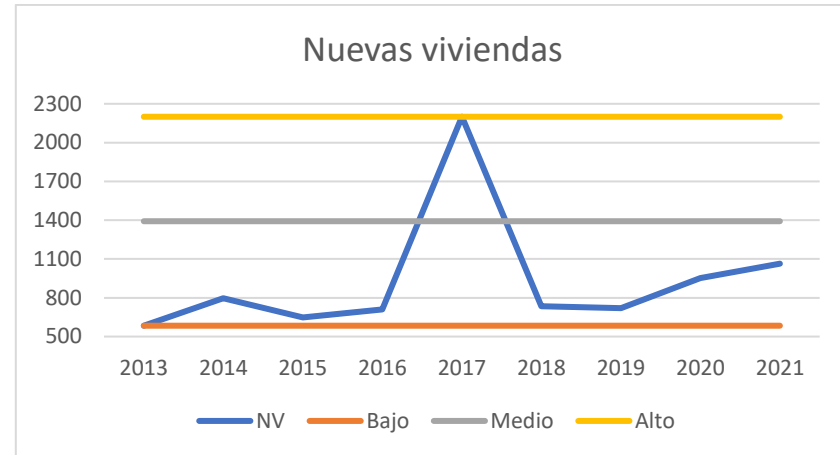
d)



e)



f)



g)



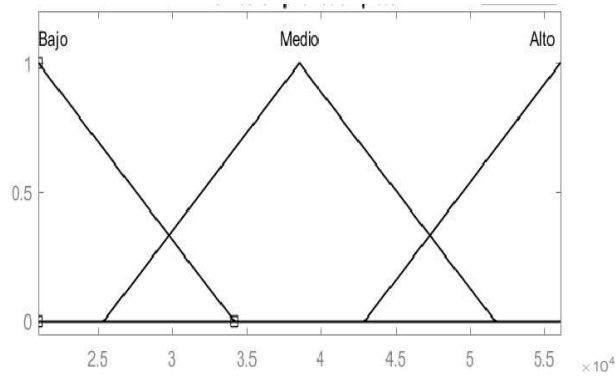
2020	B	2716 4	B	27164	B	2716 4	B	27164	B	27164	B	27164	B	27164	B	27164	B	27164	27164
2021	B	2716 4	B	27164	B	2716 4	B	27164	B	27164	B	27164	B	27164	B	27164	B	27164	27164
2022	B	2716 4	B	27164	B	2716 4	B	27164	B	27164	B	27164	B	27164	B	27164	B	27164	27164
	<b>DN</b>																		
2015	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	0
2016	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	0
2017	A	2445	A	2445	A	2445	A	2445	A	2445	A	2445	A	2445	A	2445	A	2445	2173
2018	M	1223	M	1223	B	0	B	0	M	1223	M	1223	B	0	M	1223	B	0	543
2019	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	0
2020	B	0	M	1223	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	M	1223	B	0	136
2021	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	B	0	0
2022	M	1223	M	1223	M	1223	M	1223	M	1223	M	1223	M	1223	M	1223	M	1223	1087
	<b>I</b>																		
2015	M	3776 2	A	53387	M	3776 2	A	53387	M	37762	M	37762	M	37762	M	37762	M	37762	41234
2016	M	3776 2	M	37762	M	3776 2	M	37762	M	37762	A	53387	M	37762	M	37762	M	37762	39498
2017	A	5338 7	M	37762	M	3776 2	A	53387	M	37762	M	37762	M	37762	M	37762	A	53387	42970
2018	M	3776 2	B	22136	B	2213 6	M	37762	M	37762	B	22136	M	37762	M	37762	M	37762	32553
2019	A	5338 7	M	37762	M	3776 2	A	53387	M	37762	M	37762	M	37762	M	37762	A	53387	42970
2020	A	5338 7	M	37762	M	3776 2	A	53387	M	37762	M	37762	M	37762	A	53387	A	53387	44706
2021	A	5338 7	A	53387	A	5338 7	A	53387	A	53387	A	53387	A	53387	A	53387	A	53387	53387
2022	A	5338 7	A	53387	M	3776 2	M	37762	A	53387	M	37762	A	53387	A	53387	A	53387	48178

**Anexo 16.** Variables lingüísticas del sistema.

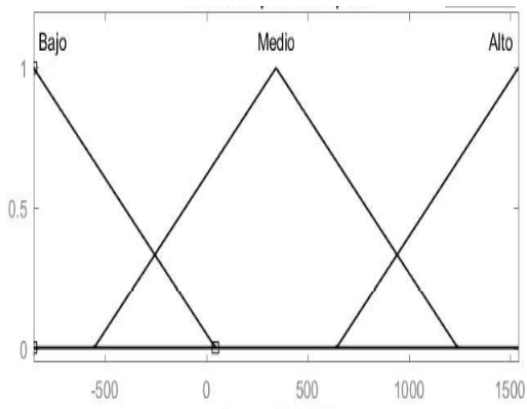
<b>Variables lingüísticas de entrada</b>	<b>Universo del discurso</b>	<b>Variable Base</b>	<b>Valores lingüísticos</b>
<b>Crecimiento poblacional</b>	[-853 1540]	Diferencia de densidad poblacional (habitantes/km2)	Alto [-853 -853 44] Medio [-554 344 1241] Bajo [643 1540 1540]
<b>Crecimiento turismo</b>	[-296, 628]	Diferencia entre la cantidad de casa en arrendamiento	Bajo [-296 -296 51] Medio [-180 166 512] Alto [281 628 628]
<b>Estado del fondo habitacional</b>	[25806 33518]	Estado del fondo habitacional	Bueno [25806 25806 28698] Regular [26770 29662 32554] Malo [30626 33518 33518]
<b>Viviendas afectadas por desastres naturales</b>	[0 2567]	Se tiene en cuenta la cantidad de afectaciones por ocurrencia de eventos meteorológicos	Bajo [0 0 963] Medio [321 1284 2246] Alto [1605 2567 2567]
<b>Ingresos</b>	[21030 56057]	Ingresos por concepto de salario, subsidios, créditos, remesas familiares (pesos)	Bajo [21030 21030 34165] Medio [25408 38543 51678] Alto [42922 56057 56057]
<b>Acciones Constructivas</b>	[1638 7406]	Se contabilizan a partir de las licencias de construcción otorgadas para la rehabilitación, remodelación y ampliación de viviendas.	Bajo [1638 1638 2413] Medio [1896 2671 3446] Alto [2929 3704 4479] Excepcional [3704 7409 7409]
<b>Nuevas viviendas</b>	[555 2310]	Se contabilizan a partir de las licencias de construcción otorgadas para la construcción de viviendas nuevas	Bajo [555 555 780] Medio [630 855 1080] Alto [930 1155 1380] Excepcional [1155 2310 2310]

**Anexo 17.** Funciones de membresía de los conjuntos difusos.

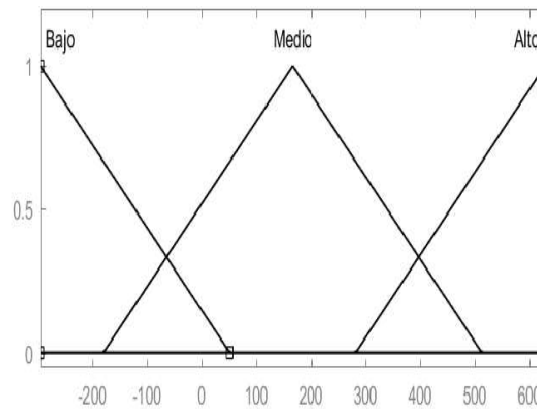
a) Ingresos, b) Crecimiento poblacional, c) Crecimiento del turismo, d) Estado del fondo habitacional, e) Desastres naturales, f) Demanda de NV, g) Demanda de AC



a)

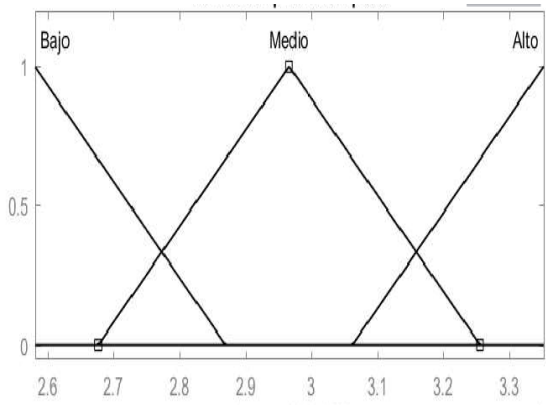


b)

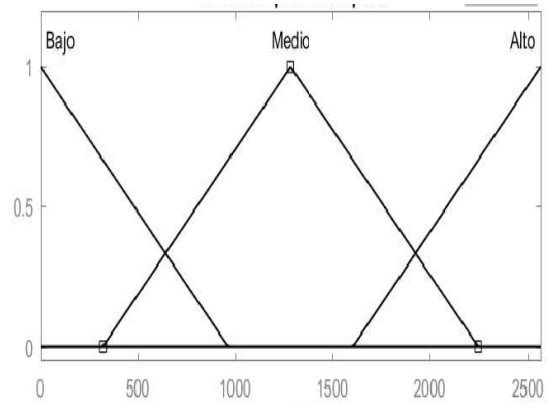


c)

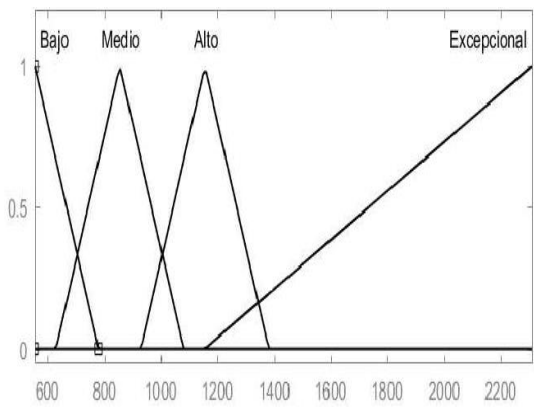




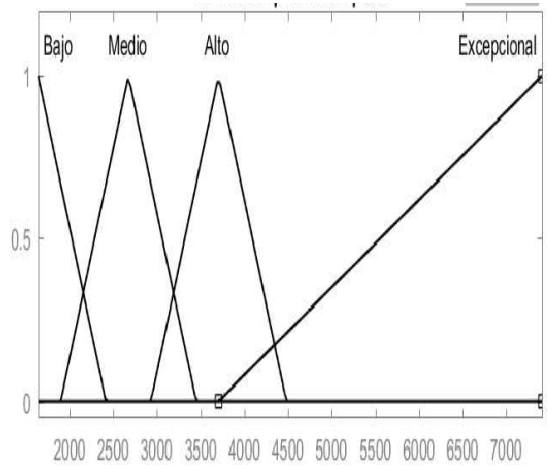
d)



e)



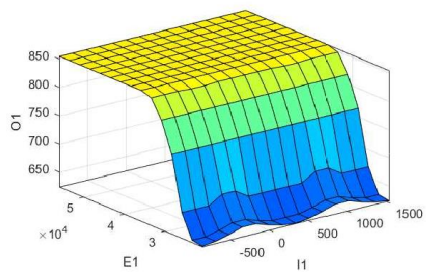
f)



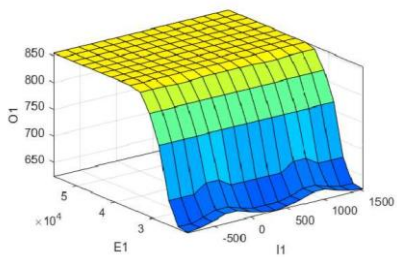
g)

**Anexo 18.** Esquema de superficies.

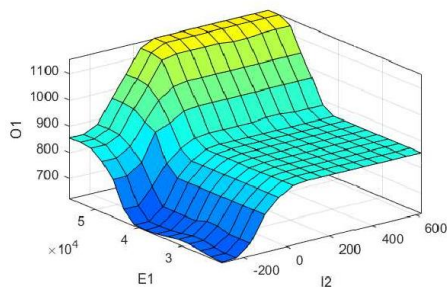
a) Ingresos, b) Crecimiento Poblacional, c) Crecimiento del turismo, d) Estado del fondo habitacional, e) Efecto de los desastres naturales, f) Nuevas viviendas, g) Acciones constructivas



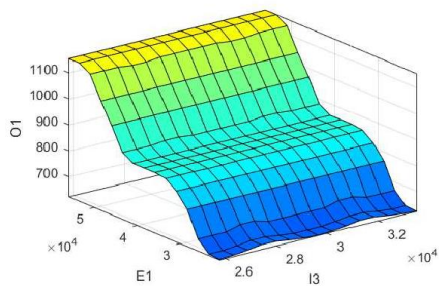
a)



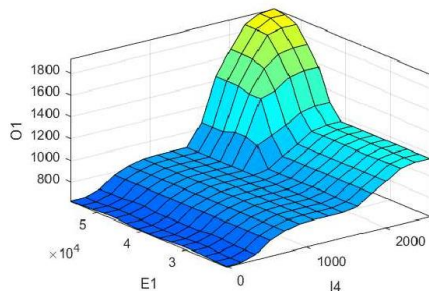
b)



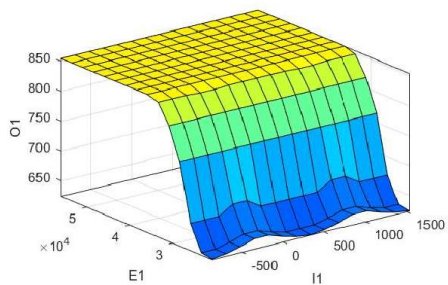
c)



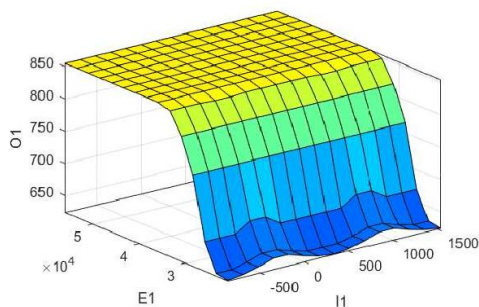
d)



e)



f)



g)

**Anexo 19.** Ponderación de la demanda municipal.

<b>Cienfuegos</b>									
Años	NV				AC				$PM_1$
	$Q_{11}$	$Q_{21}$	$Q_{31}$	$Q_{41}$	$Q_{11}$	$Q_{21}$	$Q_{31}$	$Q_{41}$	
2015	0,088	0,326	0,506	0,080	0,075	0,543	0,302	0,080	0,4380
2016	0,088	0,326	0,506	0,080	0,075	0,543	0,302	0,080	0,4380
2017	0,078	0,145	0,106	0,671	0,076	0,488	0,305	0,131	0,4380
2018	0,078	0,372	0,400	0,150	0,077	0,491	0,322	0,110	0,4380
2019	0,078	0,300	0,542	0,080	0,077	0,405	0,438	0,080	0,4380
2020	0,088	0,023	0,789	0,100	0,075	0,050	0,765	0,110	0,4380
2021	0,088	0,023	0,801	0,088	0,075	0,050	0,787	0,088	0,4380
2022	0,08	0,026	0,806	0,088	0,073	0,052	0,787	0,088	0,4380
<b>Cumanayagua</b>									
Años	NV				AC				$PM_2$
	$Q_{12}$	$Q_{22}$	$Q_{32}$	$Q_{42}$	$Q_{12}$	$Q_{22}$	$Q_{32}$	$Q_{42}$	
2015	0,057	0,303	0,559	0,081	0,073	0,363	0,401	0,163	0,1188
2016	0,057	0,303	0,559	0,081	0,073	0,363	0,401	0,163	0,1188
2017	0,055	0,307	0,446	0,192	0,071	0,315	0,351	0,263	0,1188
2018	0,055	0,324	0,512	0,109	0,071	0,311	0,409	0,209	0,1188
2019	0,055	0,295	0,569	0,081	0,071	0,155	0,611	0,163	0,1188
2020	0,059	0,023	0,807	0,111	0,075	0,027	0,693	0,205	0,1188
2021	0,059	0,023	0,809	0,109	0,079	0,027	0,685	0,209	0,1188
2022	0,057	0,023	0,811	0,109	0,077	0,027	0,687	0,209	0,1188
<b>Aguada de Pasajero</b>									
Años	NV				AC				$PM_3$
	$Q_{13}$	$Q_{23}$	$Q_{33}$	$Q_{43}$	$Q_{13}$	$Q_{23}$	$Q_{33}$	$Q_{43}$	
2015	0,082	0,216	0,628	0,074	0,114	0,120	0,612	0,154	0,0783
2016	0,082	0,216	0,628	0,074	0,114	0,120	0,612	0,154	0,0783
2017	0,082	0,116	0,718	0,084	0,114	0,120	0,562	0,204	0,0783
2018	0,073	0,269	0,578	0,080	0,090	0,230	0,502	0,178	0,0783
2019	0,071	0,209	0,646	0,074	0,101	0,220	0,525	0,154	0,0783
2020	0,082	0,015	0,823	0,080	0,100	0,023	0,662	0,215	0,0783
2021	0,082	0,015	0,829	0,074	0,100	0,023	0,723	0,154	0,0783
2022	0,080	0,015	0,831	0,074	0,080	0,023	0,743	0,154	0,0783
<b>Rodas</b>									
Años	NV				AC				$PM_4$
	$Q_{14}$	$Q_{24}$	$Q_{34}$	$Q_{44}$	$Q_{14}$	$Q_{24}$	$Q_{34}$	$Q_{44}$	
2015	0,082	0,216	0,628	0,074	0,114	0,120	0,612	0,154	0,0825
2016	0,082	0,216	0,628	0,074	0,114	0,120	0,612	0,154	0,0825
2017	0,082	0,116	0,718	0,084	0,114	0,120	0,562	0,204	0,0825
2018	0,073	0,269	0,578	0,080	0,090	0,230	0,502	0,178	0,0825

2019	0,071	0,209	0,646	0,074	0,101	0,220	0,525	0,154	0,0825
2020	0,082	0,015	0,823	0,080	0,100	0,023	0,662	0,215	0,0825
2021	0,082	0,015	0,829	0,074	0,100	0,023	0,723	0,154	0,0825
2022	0,080	0,015	0,831	0,074	0,080	0,023	0,743	0,154	0,0825
<b>Palmira</b>									
Años	NV				AC				$PM_5$
	$Q_{15}$	$Q_{25}$	$Q_{35}$	$Q_{45}$	$Q_{15}$	$Q_{25}$	$Q_{35}$	$Q_{45}$	
2015	0,082	0,216	0,628	0,074	0,114	0,120	0,612	0,154	0,0802
2016	0,082	0,216	0,628	0,074	0,114	0,120	0,612	0,154	0,0802
2017	0,082	0,116	0,718	0,084	0,114	0,120	0,562	0,204	0,0802
2018	0,073	0,269	0,578	0,080	0,090	0,230	0,502	0,178	0,0802
2019	0,071	0,209	0,646	0,074	0,101	0,220	0,525	0,154	0,0802
2020	0,082	0,015	0,823	0,080	0,100	0,023	0,662	0,215	0,0802
2021	0,082	0,015	0,829	0,074	0,100	0,023	0,723	0,154	0,0802
2022	0,080	0,015	0,831	0,074	0,080	0,023	0,743	0,154	0,0802
<b>Lajas</b>									
Años	NV				AC				$PM_6$
	$Q_{16}$	$Q_{26}$	$Q_{36}$	$Q_{46}$	$Q_{16}$	$Q_{26}$	$Q_{36}$	$Q_{46}$	
2015	0,082	0,216	0,628	0,074	0,114	0,120	0,612	0,154	0,0533
2016	0,082	0,216	0,628	0,074	0,114	0,120	0,612	0,154	0,0533
2017	0,082	0,116	0,718	0,084	0,114	0,120	0,562	0,204	0,0533
2018	0,073	0,269	0,578	0,080	0,090	0,230	0,502	0,178	0,0533
2019	0,071	0,209	0,646	0,074	0,101	0,220	0,525	0,154	0,0533
2020	0,082	0,015	0,823	0,080	0,100	0,023	0,662	0,215	0,0533
2021	0,082	0,015	0,829	0,074	0,100	0,023	0,723	0,154	0,0533
2022	0,080	0,015	0,831	0,074	0,080	0,023	0,743	0,154	0,0533
<b>Cruces</b>									
Años	NV				AC				$PM_7$
	$Q_{17}$	$Q_{27}$	$Q_{37}$	$Q_{47}$	$Q_{17}$	$Q_{27}$	$Q_{37}$	$Q_{47}$	
2015	0,082	0,216	0,628	0,074	0,114	0,120	0,612	0,154	0,0733
2016	0,082	0,216	0,628	0,074	0,114	0,120	0,612	0,154	0,0733
2017	0,082	0,116	0,718	0,084	0,114	0,120	0,562	0,204	0,0733
2018	0,073	0,269	0,578	0,080	0,090	0,230	0,502	0,178	0,0733
2019	0,071	0,209	0,646	0,074	0,101	0,220	0,525	0,154	0,0733
2020	0,082	0,015	0,823	0,080	0,100	0,023	0,662	0,215	0,0733
2021	0,082	0,015	0,829	0,074	0,100	0,023	0,723	0,154	0,0733
2022	0,080	0,015	0,831	0,074	0,080	0,023	0,743	0,154	0,0733
<b>Abreu</b>									
Años	NV				AC				$PM_8$
	$Q_{18}$	$Q_{28}$	$Q_{38}$	$Q_{48}$	$Q_{18}$	$Q_{28}$	$Q_{38}$	$Q_{48}$	
2015	0,082	0,216	0,628	0,074	0,114	0,120	0,612	0,154	0,0756
2016	0,082	0,216	0,628	0,074	0,114	0,120	0,612	0,154	0,0756

2017	0,082	0,116	0,718	0,084	0,114	0,120	0,562	0,204	0,0756
2018	0,073	0,269	0,578	0,080	0,090	0,230	0,502	0,178	0,0756
2019	0,071	0,209	0,646	0,074	0,101	0,220	0,525	0,154	0,0756
2020	0,082	0,015	0,823	0,080	0,100	0,023	0,662	0,215	0,0756
2021	0,082	0,015	0,829	0,074	0,100	0,023	0,723	0,154	0,0756
2022	0,080	0,015	0,831	0,074	0,080	0,023	0,743	0,154	0,0756

**Anexo 20.** Tablas resúmenes de las soluciones del problema de optimización.

**Tabla 1.** Flujo de suministros de la industria nacional a los centros de producción.

SUMINISTRADORES	CP Bloquera Guaos	CP Mosaicos	EPMC Abreu	EPMC Altamira	EPMC Balboa	EPMC Camarones	EPMC Caracas	EPMC Cruces	EPMC Cumanayagua	EPMC Espartaco	EPMC Lajas	EPMC NUMANCIA	EPMC Rodas	EPMC Sierrita	MINAGRI Aguada	MINAGRI Arimao	MINAGRI Constanza	MINAGRI EMA	MINAGRI Espartaco	TOTAL
ACINOX Cienfuegos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1066	2	0	0	20	249	0	2	1339 (t/acero)
Canal Arimao	6	28	390	2	0	4	16	23	0	0	255	466	323	20	163	0	35	0	26	1757 (m <sup>3</sup> /áridos)
Canal Cumanayagua	0	0	0	14	3	2	2	0	142	46	2	0	0	9	0	249	6	283	0	758 (m <sup>3</sup> /áridos)
Fabrica Cemento Cienfuegos	4	372	195	8	2	3	9	12	170	23	129	238	165	30	163	158	28	145	16	1870 (t/cemento)
Fabrica Cemento Siguaney	0	9	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	6	22	0	0	0	0	49 (t/cemento)
Cantera 500 Guaos	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	22 (m <sup>3</sup> /áridos)

**Tabla 2.** Flujo de suministros de la industria nacional a los centros de comercialización de los materiales de construcción.

SUMINISTRADORES	Comercializadora Abreu	Comercializadora Aguada	Comercializadora Cienfuegos	Comercializadora Cruces	Comercializadora Cumanayagua	Comercializadora Lajas	Comercializadora Palmira	Comercializadora Rodas	TOTAL
ACINOX Cienfuegos	771	40	68	16	29	39	19	76	1058 (t/acero)
Canal Arimao	48	736	316	0	0	0	496	415	2011 (m <sup>3</sup> /áridos)
Canal Cumanayagua	0	0	0	100	32	114	0	0	246 (m <sup>3</sup> /áridos)
Fabrica Cemento Cienfuegos	2066	406	667	172	295	401	184	776	4967 (t/cemento)
Cantera 500 Guaos	0	0	281	0	64	0	0	0	345 (m <sup>3</sup> /áridos)
Cantera de Arriete	0	187	0	0	0	5	0	515	707 (m <sup>3</sup> /áridos)

**Tabla 3.** Flujo de suministros de la industria local a los centros de producción.

SUMINISTRADORES	EPMC Abreu	EPMC Altamira	EPMC Balboa	EPMC Camarones	EPMC Caracas	EPMC Cruces	EPMC Cumanayagua	EPMC Espartaco	EPMC Lajas	EPMC NUMANCIA	EPMC Rodas	EPMC Sierrita	MINAGRI Aguada	MINAGRI Arimao	MINAGRI Constanza	MINAGRI EMA	MINAGRI Espartaco	CP Bloquera Guaos	CP Mosaicos	TOTAL
IL Abreu	516												22		48			8.2	317	911 (m <sup>3</sup> /áridos)
IL Aguadas													338							338 (m <sup>3</sup> /áridos)
IL Cienfuegos										600				24					33	657 (m <sup>3</sup> /áridos)
IL Cruces			4		23	31			3											61 (m <sup>3</sup> /áridos)
IL Cumanayagua							287					48		281		367			9	992 (m <sup>3</sup> /áridos)
IL Lajas		3							334			12								349 (m <sup>3</sup> /áridos)
IL Palmira		18		8				63									32			121 (m <sup>3</sup> /áridos)
IL Rodas											402									402 (m <sup>3</sup> /áridos)

**Tabla 4.** Flujo de suministros de la industria local a los centros de comercialización de los materiales de construcción.

SUMINISTRADORES	Comercializadora Abreu	Comercializadora Aguada	Comercializadora Cienfuegos	Comercializadora Cruces	Comercializadora Cumanayagua	Comercializadora Lajas	Comercializadora Palmira	Comercializadora Rodas	TOTAL
IL Abreu	474	0	637	0	463	0	0	858	2432 (m <sup>3</sup> /áridos)
IL Aguadas	0	850	0	0	0	0	333	173	1356 (m <sup>3</sup> /áridos)
IL Cienfuegos	350	0	1148	0	0	0	0	217	1715 (m <sup>3</sup> /áridos)
IL Cruces	0	0	462	578	0	383	39	0	1462 (m <sup>3</sup> /áridos)
IL Cumanayagua	0	0	992	0	1384	0	0	0	2376 (m <sup>3</sup> /áridos)
IL Lajas	0	176	0	521	0	1224	107	419	2447 (m <sup>3</sup> /áridos)
IL Palmira	0	0	1166	40	0	0	286	0	1492 (m <sup>3</sup> /áridos)
IL Rodas	294	0	600	0	0	0	206	331	1431 (m <sup>3</sup> /áridos)

**Tabla 5.** Flujo de suministros de los centros de producción a los centros de comercialización de los materiales de construcción.

<b>CENTROS DE PRODUCCIÓN</b>	<b>Comercializadora Abreu</b>	<b>Comercializadora Aguada</b>	<b>Comercializadora Cienfuegos</b>	<b>Comercializadora Cruces</b>	<b>Comercializadora Cumanayagua</b>	<b>Comercializadora Lajas</b>	<b>Comercializadora Palmira</b>	<b>Comercializadora Rodas</b>	<b>TOTAL</b>
EPMC Abreu	13918	40506	0	785	1187	0	0	34850	91247 (unidades de productos)
EPMC Altamira	0	0	0	0	594	0	374	0	968 (unidades de productos)
EPMC Camarones	0	0	300	0	0	379	0	413	1092 (unidades de productos)
EPMC Caracas	2007	2581	17248	10053	0	3243	7185	1382	43699 (unidades de productos)
EPMC Cruces	0	0	0	0	1603	0	5508	827	7938 (unidades de productos)
EPMC Cumanayagua	3686	816	1537	5875	21296	12081	13898	7429	66618 (unidades de productos)
EPMC Espartaco	0	2015	19754	2652	441	810	2423	413	28508 (unidades de productos)
EPMC Lajas	2391	2246	6694	1570	1589	61810	875	1488	78664 (unidades de productos)
EPMC NUMANCIA	1864	1633	102215	151	103	1830	16324	93	124211 (unidades de productos)
EPMC Rodas	0	0	4932	6061	0	758	7016	78736	97503 (unidades de productos)
EPMC Sierrita	1206	735	0	0	0	413	1178	669	4200 (unidades de productos)
MINAGRI Aguada	3488	32771	4203	0	0	0	0	32888	73350 (unidades de productos)
MINAGRI Arimao	253	0	4203	0	6400	728	1141	6764	19490 (unidades de productos)
MINAGRI Constancia	4579	847	0	0	0	0	0	66	5492 (unidades de productos)
MINAGRI EMA	0	0	0	13196	31593	2342	0	519	47650 (unidades de productos)
MINAGRI Espartaco	0	0	0	754	0	0	0	0	754 (unidades de productos)
CP Bloquera Guao	0	0	1079	0	0	0	0	0	1079 (unidades de productos)
CP Mosaicos	11254	28215	82261	8484	16900	27174	12560	28778	215625 (unidades de productos)



**Anexo 21.** Tablas resúmenes de las soluciones difusas del problema de optimización.

**Tabla 1.** Flujo de suministros de la industria nacional a los centros de producción.

Suministradores	CP Bloquera Guaos	CP Bloquera ZI	CP Mosaicos	EPMC Abreu	EPMC Altamira	EPMC Balboa	EPMC Camarones	EPMC Caracas	EPMC CEN	EPMC Cruces	EPMC Cumanayagua	EPMC Espartaco	EPMC Lajas	EPMC NUMANCIA	EPMC Rodas	EPMC Sierrita	MINAGRI Aguada	MINAGRI Arimao	MINAGRI Constancia	MINAGRI EMA	MINAGRI Espartaco	MINAGRI Jaragua	MINAGRI Mal tiempo	MINAGRI Potrerillo	Total	
ACINOX Cienfuegos	0	0	0	0	9	0	11	0	106	0	22	14	0	93	48	0	28	155	84	160	18	163	0	0	8187 (t/acero)	
Canal Arimao	219	138	14	42	44				176		11			58	11	5	24		43		20		320	0	0	8275 (m <sup>3</sup> /áridos)
Canal Cumanayagua	401	282	0			12	47	42		140	11	14	16			31		265	0	116	0	0	0	24	19	7192 (m <sup>3</sup> /áridos)
Fábrica Cemento Cienfuegos	134	215	69	21	23	60	24	21	930	703	33	87	80	33	71	37	57	142	25	6	70	8	167	0	97	9625 (t/cemento)
Fábrica Cemento Siguaney	0	0	85								12					6	23	0	0	0	0	0	0	0	0	126 (t/cemento)
Cantera 500 Guaos	0	0	85								12						46	0	27	0	0	0	0	0	0	174 (m <sup>3</sup> /áridos)
Cantera Arriete	0	0	45											16	3			0	0	0	45	0	0	0	0	255 (m <sup>3</sup> /áridos)
Yacimiento Macagua	287	510	0						116	608				55		44		272	77	77	0	379	0	24	3	11803 (m <sup>3</sup> /áridos)

**Tabla 2.** Flujo de suministros de la industria nacional a los centros de comercialización de los materiales de construcción.

<b>SUMISTRADORES</b>	<b>Comercializadora Abreu</b>	<b>Comercializadora Aguada</b>	<b>Comercializadora Cienfuegos</b>	<b>Comercializadora Cruces</b>	<b>Comercializadora Cumanayagua</b>	<b>Comercializadora Lajas</b>	<b>Comercializadora Palmira</b>	<b>Comercializadora Rodas</b>	<b>TOTAL</b>
ACINOX Cienfuegos	294	329	1875	295	431	266	367	356	4213 (t/acero)
Canal Arimao	1383	1412	8185	1295	2038	914	1826	1489	18541
Canal Cumanayagua	925	1279	7503	438	261	1640	1476	1477	14999 (m <sup>3</sup> /áridos)
Fábrica Cemento Cienfuegos	612	881	5210	704	621	1067	1230	1027	11352 (t/cemento)
Cantera 500 Guaos	446	960	5050	134	352	538	1049	646	9176 (m <sup>3</sup> /áridos)
Cantera Arriete	0	88	112	428	67	110	28	188	1023 (m <sup>3</sup> /áridos)

