

PROYECCIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO URBANO MEDIANTE
TÉCNICAS DE MICROSIMULACIÓN, BAJO UN ESCENARIO DE ESCASEZ DE
DATOS EN EL SECTOR DE SAN CARLOS, HUANCAYO, PERÚ 2018- 2028

Gonzalo Peña Zamalloa¹
Universidad Continental
gzamalloa@outlook.com

Fecha de recepción: 8 de noviembre de 2017

Fecha de aceptación: 26 de octubre de 2018

RESUMEN

La proyección urbana de corto y mediano plazo es una herramienta útil para la planificación de la ciudad. Sin embargo, muchos gobiernos locales de ciudades Latinoamericanas pequeñas cuentan con muy poca información sobre el entorno edificado y el uso de suelo urbano. El estudio se sitúa en este contexto, específicamente en el sector de San Carlos, en la ciudad de Huancayo, en Perú —un espacio que muestra una alta consolidación y gran dinámica urbana—.

El objetivo del estudio es presentar un método de microsimulación práctico que puede proyectar efectivamente un escenario posible dentro del entorno urbano, bajo una realidad de escasez de datos. El modelo incorpora funciones binarias y multinominales, así como el uso de simples autómatas, programados con reglas de propósito para el ajuste de la proyección.

Se establece un marco de referencia de datos apoyado en métodos mixtos de recolección de datos como imágenes satelitales, observación directa, revisión de registros digitales libres y el juicio experto. Se utiliza una diversidad de herramientas de *software* para el proceso de proyección como ArcGIS, SPSS, MS Excel y scripts programados.

Los resultados indicarían una evolución marcada del sector, con cambios importantes en la configuración de las viviendas unifamiliares que favorecen la aparición de la vivienda multifamiliar de baja densidad. Asimismo, se distingue un aumento de edificaciones destinadas a actividades económicas de servicio y comercio, además de una tendencia clara de crecimiento vertical y reducción del área libre.

El procedimiento es sencillo y favorece el uso de herramientas de soporte tecnológico para la recolección de datos en busca de mejorar la planificación urbana. Sin embargo, también se revela la necesidad de contar con más investigaciones en el área.

Palabras clave: microsimulación, planificación urbana, uso de suelo, vivienda, urbanismo.

¹ Ingeniero informático y arquitecto.



Urban Land Use Change Projection Using Micro-Simulation Techniques under a Scenario of Data Limitations in the San Carlos Sector, Huancayo, Peru 2018-2028

ABSTRACT

Short and mid-term urban projections are useful tools for the planning of a city, although many local governments of Latin American cities have very little information. Such is the context of this study. Specifically, we will study the sector of San Carlos in the city of Huancayo, Peru, which shows high consolidation and great urban dynamism.

The purpose of this study is to present practical methods of micro-simulation that can effectively project possible scenarios inside urban environment under conditions of data scarcity. The model incorporates binary and multinominal functions. It uses a simple programmed agent with purpose rules used to adjust the projections. A data reference framework is established, supported by mixed methods of data collection such as satellite images, direct observation, use of open digital records and expert's judgement. A diversity of software tools was used in the projection process, like ArcGIS, SPSS, MS Excel and programmed scripts.

The results show a distinctive development of the sector of San Carlos with important changes in the settings of single family houses that favor the emergence of low density multi-family houses. At the same time the sector experiences an increase of buildings for economic and service uses. A trend in vertical urban growth and a free area reduction are clearly identified.

The procedures of the study are clear and encourage the use of technological tools to support the collection of data, with the purpose of developing better urban plans. This study also shows that there is a need to have more research done in this area.

Keywords: micro-simulation, urban planning, land use, housing, urbanism.

INTRODUCCIÓN

Conocer y proyectar la tendencia del tipo de uso de suelo urbano, así como los elementos edificados, es relevante para poder pensar en una planificación urbana estratégica. La identificación de los principales retos que afronta la planificación de ciudades conduce inexorablemente a la necesidad de explorar nuevos modelos que regeneren el ámbito de la planificación y la gestión urbanística (Güell, 2006, p. 9). Además, Müller, Aschwanden y Halatsch (2012, p. 162) comentan que las ciudades no están diseñadas como absolutas u objetos completamente especificados.

El proceso de urbanización en las ciudades de países en desarrollo es muchas veces poco planificado y pobremente coordinado, sus ciudades son por ello inherentemente caóticas y espacialmente discontinuas, de rápido y desorganizado proceso de crecimiento. (Barros, 2003, p. 2).

Las ciudades de hoy son el resultado del esfuerzo de muchas generaciones. Simmonds, Waddell y Wegener (2011, p. 2) señalan que aún en periodos de rápido crecimiento, el total de edificios en las ciudades no cambia usualmente por más de

1 a 2% por año. Sin embargo, hay cambios acelerados en las formas en que estos edificios son utilizados. Muchas ciudades del Perú y América Latina, como Huancayo, responden a este tipo de organización, de usos mixtos poco regulados y un alto grado de desconocimiento del escenario actual.

Un escenario urbano con una pobre infraestructura tecnológica no permite el registro de un amplio volumen de datos. Palme y Ramírez (2013), comentan que muchas ciudades del hemisferio sur tienen una baja capacidad de gestión tecnológica y que la búsqueda de un enfoque de resiliencia y solidez podría ser parte de la solución. Para este propósito se debe explotar la condición de escasez, y no solamente depender de una infraestructura tecnológica operativa.

Debido a la acelerada evolución del entorno urbano en la provincia de Huancayo —especialmente en el sector comprendido entre las avenidas San Carlos y Calmell del Solar— el uso del terreno se ha diversificado dramáticamente, desarrollando nuevas oportunidades y modificando la concepción tradicional de vivienda en el sector. Conocer la situación de los lotes y el uso de las edificaciones en los mismos en los siguientes años es una tarea esencial para poder anticipar las necesidades futuras.

La condición actual requiere el uso de un método de proyección no tradicional. La microsimulación permite hacer uso de escasos datos históricos para generar proyecciones aproximadas. El modelamiento micro-simulado es una herramienta de simulación con una metodología basada en el uso de micro unidades de análisis (O’Donoghue, 2014).

Burlacu, O’Donoghue y Sologon (2014, p. 23) indican que los modelos de micro-simulación basados en datos hipotéticos ofrecen una útil visión a pesar de su simplicidad. En términos generales en modelamiento urbano, el modelo se introdujo para la micro-simulación de cambios en el uso de suelo (Rui, 2013, p.3).

METODOLOGÍA

El proceso de recolección de datos bajo un escenario de escasez de datos históricos requiere la identificación de múltiples fuentes de registros verídicos, entre los que se encuentran el uso de una base de datos demográfica y la observación directa.

Se utilizaron los datos poblacionales presentados por el INEI (2017) en sus estimaciones y proyecciones 2009-2015, y los datos de los gráficos de densidad por manzana presentados en el Diagnóstico Territorial de Huancayo Metropolitano presentado por la Municipalidad Provincial de Huancayo (MPH, 2016).

Mucha información se pudo recolectar a partir de la observación de lotes desde la calle. El recorrido se hizo a pie y se registraron datos de 3705 lotes, de los cuales 3684 son lotes privados y 21 lotes son de uso público. Las observaciones se realizaron en recorridos durante el mes de octubre de 2016. Los datos de los lotes de diciembre de

2013 fueron obtenidos de la observación de los recorridos del archivo de Google Maps Street View (Google, 2016 b).

El proceso de digitalización de los datos de los lotes se realizó con el *software* de sistema de información geográfica conocido como ArcGIS 10.3 for Desktop. El procesamiento de los atributos de interés y el refinamiento del modelo se ejecutó con la herramienta SPSS v.23. Los *scripts* de ejecución de los autómatas y la inserción de reglas de propósito se elaboraron VBA y MS Excel.

La lógica de la microsimulación

La proyección basada en la microsimulación usa técnicas estadísticas y reglas de propósito que alimentan la información de agentes programados y definen el entorno urbano programado.

Debemos recordar que en años recientes el uso de modelos basados en sistemas con agentes y autómatas se da en muchas investigaciones multidisciplinarias, incluyendo planeamiento y administración urbana, contribuyendo a la toma de decisiones en estas áreas (Osaragi y Aoki, 2006, p. 69).

Rahman y Harding (2017) comentan que las técnicas de micro-simulación son útiles para evaluar escenarios socioeconómicos, estas involucran procedimientos complejos subsecuentes. El entorno urbano es un escenario de actividades socioeconómicas que se adhiere a este enfoque. Por otro lado, Rahman et al. (2017) afirman que el enfoque de modelamiento en microsimulación combina micro data depositada en elementos individuales y, en casos donde los datos estén solo disponibles en áreas amplias, estos se pueden desagregar para estimaciones en áreas menores.

Müller et al. (2012, p.161) comentan que en simulación urbana existe una tendencia hacia la idea de modelamiento de la conducta, implementando opciones que reflejan estadísticamente las probabilidades de selección de opciones. Además, según Iordache (2011, p.11), los parámetros necesarios para la simulación deben obedecer al tipo de proceso que ha de ser simulado. Esta idea incorpora las características aleatorias para sistemas complejos. Estudios como el de Waddell et al. (2003) confirman el uso de dichas técnicas.

Rahman et al. (2017) indican que la micro data puede ser utilizada para probar teorías de microsimulación espacial y la mejora de métodos empíricos como la revaloración de la utilidad de un atributo del modelo.

En la presente investigación, nos centramos en la determinación del cambio de uso de suelo a través de métodos de microsimulación, usando el lote como la unidad del modelo, ciclos iterativos con autómatas programados y reglas de propósito.

Las variables del modelo de microsimulación

La variable «tipo de uso de lote», es considerada una variable dependiente principal, debido a que el resultado de las iteraciones generadas por los autómatas programados resulta en la actualización del valor de esta variable. La tabla 1 enlista los valores considerados.

Tabla 1. Valores de la variable tipo de uso de lote

Tipo de uso	Descripción
Libre	Lote vacío
Vivienda	Vivienda unifamiliar
	Vivienda multifamiliar de baja densidad
	Residencia y habitaciones
	Vivienda multifamiliar de alta densidad
	Vivienda temporal (casa hospedaje, hoteles, hostales y moteles)
	Vivienda en condominio
Oficinas	Oficinas independientes, edificio estado, entidades financieras, juzgado, salón comunitario, galería, aulas, biblioteca, centro salud, etc.
Comercial	Lugares de culto religioso, congregaciones, capillas, centro comercial, gimnasios, tiendas, clubes, salones, tabernas y bares y salas de juego, restaurante, café, comida rápida, panadería.
Industrial	Cocheras, fábrica, constructora, o mecánica automotriz, empresa de productos químicos, empresa de almacén de productos diversos.
Educación	Centro educativo de habilidades extracurriculares, centro educativo de formación inicial, centro educativo de formación básica, centro educativo de formación superior.
Espacio público	Parques, áreas públicas, tribunas, estadios públicos y terminales.

Las variables dependientes secundarias se recalculan en cada proyección haciendo uso de reglas de propósito. Los atributos variables se listan en la tabla 2.

Tabla 2. Atributos variables

Variable	Descripción
Año de la última modificación	Año en el que se da la última actualización.
Pisos edificados	Altura en número de niveles de la edificación
Pisos edificados en lote vecino	Altura mayor en número de pisos de la edificación de lotes adyacentes
Pisos promedio por manzana	Altura promedio superior en número de niveles de las edificaciones de la manzana
Área libre	Porcentaje de área libre disponible en el lote.

Variable	Descripción
Con actividad económica	Mantiene actividad económica comercial, productiva o de servicio (0 = Sí/ 1 = No)
Tipo de actividad	Tipo de actividad de la edificación (0 = vivienda, 1 = vivienda con actividad económica, 2 = establecimiento especializado, y 3 = espacio/establecimiento público)
Material de edificación	Material de construcción de la edificación (0 = mampostería, 1 = concreto, 2 = adobe, 3 = otros)
Estado edificación	Estado de la edificación (0 = Muy deteriorado, 1 = Deterioro, 2 = Regular, 3 = Bueno, 4 = Muy bueno)

Además de los atributos variables, se han considerado atributos constantes, determinados bajo criterios de homogeneidad de la estructura urbana y características concernientes a su actual reglamentación urbana. Esto permite añadir un conjunto de criterios iniciales de modelamiento. Estos atributos se enlistan en la Tabla 3.

Tabla 3. Constantes del modelo

Constante	Descripción
Zona urbana	Zona en la que se encuentra ubicado el lote.
Polígono del lote	Poligonal que da forma al lote, de este se obtiene la medida del perímetro y el área.
Índice de valor	Índice de valor atractivo comercial del lote (1.0 = muy valioso, 0.0 = sin valor comercial)
Distancia a vía	Distancia de lote de la vía activa importante más cercana (0 = 0 a 50 m, 1 = 51 a 100 m, 2 = 101 a 150 m, 3 = 151 a 200 m, 4 = 201 a 300 m, 5 = 301 a 350 m y 6 = 351 m a más..)
Densidad de población de la manzana	Es la densidad de población de la manzana, el incremento de su densidad se dará en base a un factor desagregado de la proyección de la población.

La función logística o Logit

El proceso de selección de opciones basadas en probabilidades requiere de técnicas demostradas en escenarios de alta incertidumbre. Se escogió usar la función logística. Kleinbaum y Klein (2010, p. 24) señalan que la función logística describe la forma matemática en la que se basa el modelo logit. Este modelo describe una probabilidad siempre se encontrará entre 0 y 1.

$$z = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

$$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-iz}}$$

$$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \sum \beta_i X_i)}}$$

Donde:

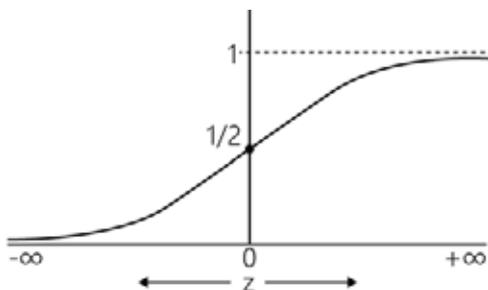
X_i = Valor de un atributo del modelo

β_i = Coeficiente del atributo X_i

α = Constante

De acuerdo a la función logística, los términos α y β_i representan parámetros desconocidos que necesitan ser estimados sobre los datos de X_n . En base a estos resultados se puede definir un cambio en la altura de la edificación o en el uso del terreno. El gráfico resultante de la función logística define una curva mostrada en el gráfico 1 que se mantiene entre los valores de 0 y 1. Eso es ideal para escenarios de proyección probabilística.

Figura 1. Valores alcanzados por la función logit



Fuente: Elaborado sobre la base de Kleinbaum et al. (2010).

La principal suposición es que la forma de la distribución tanto como los errores son independientes uno del otro. Esta independencia significa que la porción no observada de utilidad para una alternativa no está relacionada con la proporción no observada de otra alternativa (Train, 2002, p. 21).

La opción multinomial es una simple extensión del modelo logit original. Con la opción extra es posible determinar la probabilidad de escoger cierto tipo de opción nominal. La función se describe como:

$$P_{ij} = \frac{e^{(\sum_{j=1}^k \alpha + \beta_{kj} X_{kji})}}{\sum_{j=1}^J e^{\sum_{j=1}^k \alpha + \beta_{kj} X_{kji}}}$$

Donde:

P_{ij} = Probabilidad de escoger

i = Casos

j = Categorías

k = Variables independientes

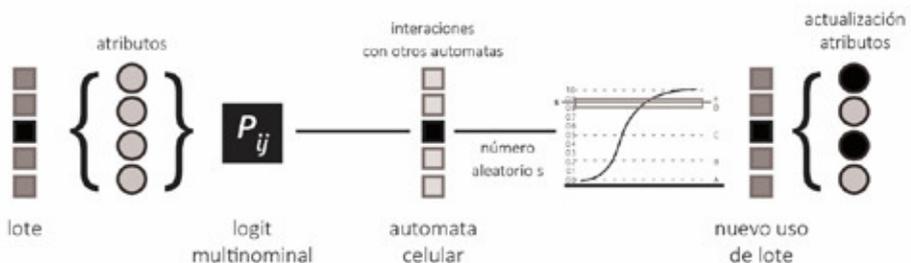
Así podemos ver claramente que para una variable dependiente con J categorías que es posible la aplicación de una función representada por:

$$\sum_{j=1}^J P_{ij} = P_{i1} + P_{i2} + \dots + P_{ij} = 1$$

El modelo logit multinomial puede representar variaciones sistemáticas, pero no diferencias aleatorias. Train (2002) enfatiza que el modelo implica una substitución proporcional de la utilidad entre alternativas y que tampoco puede trabajar con situaciones en las que los factores se correlacionan en el tiempo. Al obtener la probabilidad mediante el modelo logit multinomial insertado en el agente programado, y habiendo establecido las relaciones de adyacencia con otros agentes, estos son capaces de ejecutar un ciclo, cuyo resultado se somete a un valor aleatorio. Schiff (2008, p. 23) indica que, en un sentido general, decimos que algo es aleatorio si no tiene un patrón regular o es impredecible.

Debido a que el modelo logit multinomial no puede usarse para proyectar opciones en diferentes periodos, este debe alimentar los resultados en un escenario definido bajo atributos independientes. Estos resultados fueron insertados en los autómatas o agentes programados; estos generan interacciones periódicas. El lote es la unidad del proceso de simulación, y la definición de su nuevo uso se determinará bajo la probabilidad de que ciertos atributos cambien en cierta interacción. Finalmente, el valor obtenido se convierte en el nuevo tipo de uso del lote. La figura 2 muestra la secuencia descrita.

Figura 2. Secuencia de uso del modelo logit multinomial



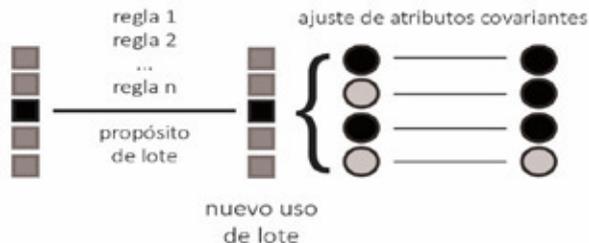
Adicionalmente, Yan et al. (2018) señalan que el solo uso de técnicas booleanas con análisis de pesos para los atributos tienden a simplificar la complejidad del proceso; por ello, es necesario incorporar procesos de toma de decisiones de múltiples criterios. Sin embargo, al tener escasa información sobre el lugar, estas se han diseñado cuidadosamente y se presentan como reglas de propósito, que son reglas simples que los autómatas programados tendrán en cuenta.

Las reglas de propósito

El proceso de simulación para el diseño urbano no solo requiere un rendimiento de criterios explícitos de estándares de planificación sino también una síntesis de objetivos implícitos, que son llamados reglas de propósito con una aproximación computacional (Müller et al., 2012, p. 160).

Las reglas de propósito permiten ajustar el cálculo de las variables dependientes en base al resultado de uso de suelo proyectado durante una iteración; estas se realizarán en periodos de tres años. la figura 3 ilustra la adecuación de las reglas de propósito.

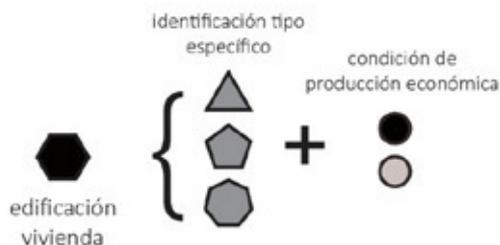
Figura 3. Ajuste de la condición del lote y atributo usando reglas de propósito



Según Parmeter y Pope (2013), la vivienda exhibe una sustancial heterogeneidad; es así que los economistas han pensado en ella como un producto parte de un mercado diferenciado, más que un producto homogéneo. Los lotes con edificaciones que funcionan como vivienda poseen características especiales que no pueden considerarse como solo elementos de producción económica sino también como una edificación con potencial de cambio de uso hacia una actividad económica. La figura 4 representa dicha diferenciación.

Simmonds et al. (2011, p.6) mencionan que las inversiones en transporte tienden a ser las más duraderas; lo mismo es cierto para la apropiación de espacios abiertos. Por ello, cambios en la configuración de las calles, las áreas públicas, las manzanas y las urbanizaciones no fueron tomadas en cuenta para la programación de las reglas.

Figura 4. Asignación de tipo de vivienda y actividad económica



Kuminoff y Pope (2012, p.10) afirman que, durante los ciclos de crecimiento inmobiliario, el marco de asignación de costos tiende a atribuir la mayoría de los cambios del valor de la propiedad a la especulación del terreno. El precio del terreno se establece con un factor que no distingue un precio monetario estable sino una apreciación valorativa que en el estudio se identifica con un valor entre 0 a 10, siendo 10 la calificación de un terreno muy atractivo, y 0 sin ningún atractivo de comercialización.

El lugar de estudio

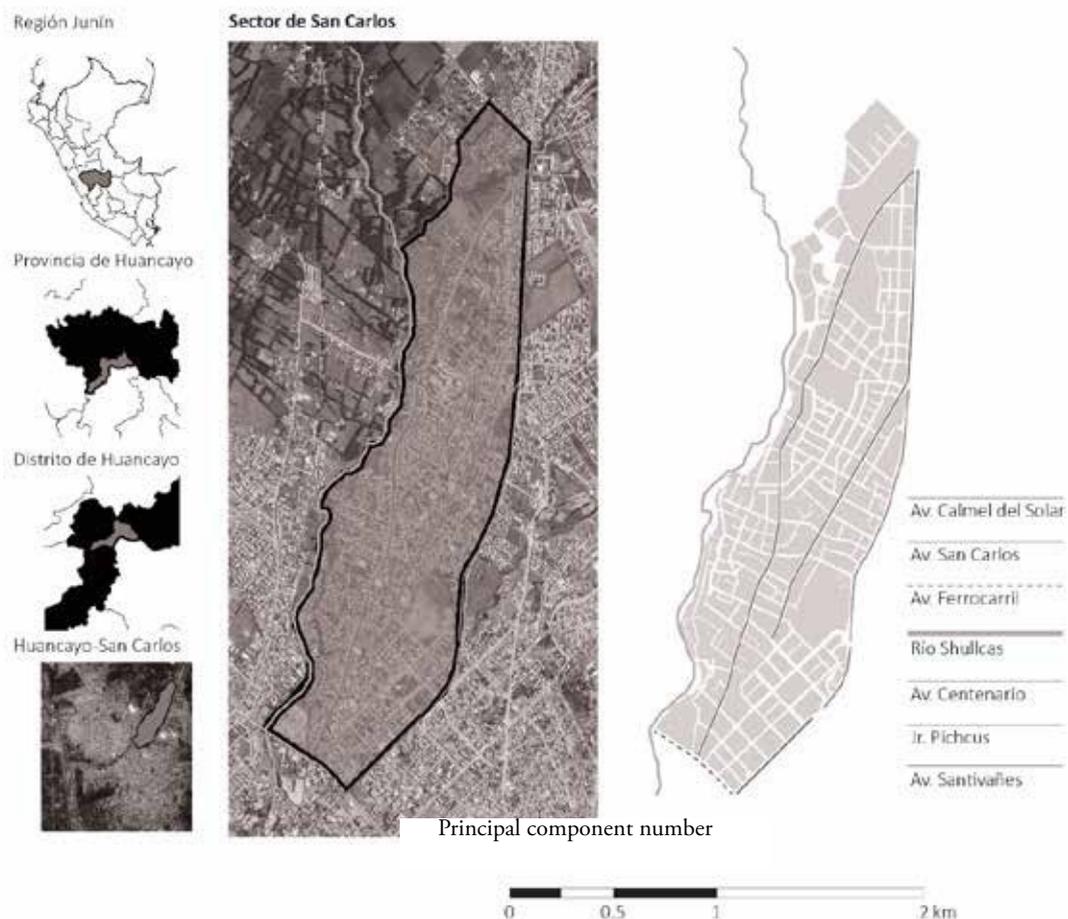
El sector de San Carlos se encuentra dentro del distrito y provincia de Huancayo, región Junín, en el Perú. Se ha definido el espacio de estudio central entre las avenidas San Carlos y Calmell del Solar, y las manzanas cercanas que se consideran relacionadas directamente al sector delimitado en la figura 5.

Valorización de los atributos constantes

Los valores obtenidos a través de la observación directa de las edificaciones y lotes correspondiente a la clasificación de las zonas se muestran en la figura 6. El índice de valor se visualiza en la figura 7. La distancia a la vía principal más cercana se visualiza en la figura 8.

De acuerdo a la base de datos demográficos, se estableció la densidad poblacional inicial para las manzanas del sector. Esto se ajustaría con el índice de crecimiento poblacional por ciclos de tres años. Fue necesario extender la proyección a tres ciclos más bajo un criterio de regresión lineal simple, y posteriormente desagregar la estimación como un factor de crecimiento de la densidad poblacional de las manzanas del sector. Los resultados se muestran en la tabla 4.

Figura 5. Delimitación del sector de San Carlos



Fuente: Elaboración propia sobre la base de la imagen satelital de Google (2016 a).

Tabla 4. Factor de ajuste para la densidad por manzana

Año	Población proyectada del distrito de Huancayo	Factor de ajuste para densidad por manzanas
2010	116 880	1,0016
2013	116 930	1,0004
2016	117 692	1,0065
2019	118 192	1,0043
2022	118 693	1,0042
2025	119 194	1,0042

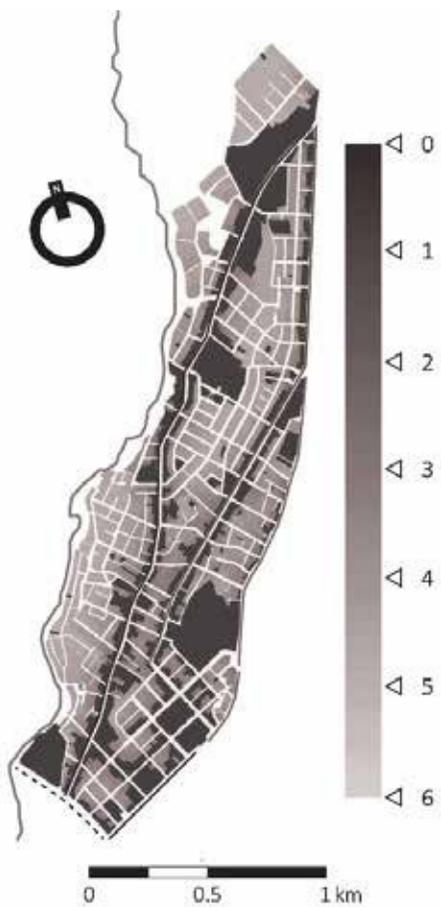
Fuente: Elaboración propia sobre los datos del INEI (2017) y MPH (2016).

Figura 6. Clasificación de zonas urbanas en el sector



Fuente: Elaboración propia basada en las fichas de observación y juicio experto.

Figura 7. Índice de valor de los lotes en el sector



Fuente: Elaboración propia basada en las fichas de observación y juicio experto.

Figura 8. Distancia de lote a vía principal más cercana



Fuente: Elaboración propia basada en las fichas de observación y juicio experto.

Debido a la naturaleza de la vivienda, el modelo incorpora una regla de decisión binaria probabilística, que permite identificar la decisión de convertir el uso de la edificación a otro que no sea considerado un tipo de vivienda. Este parámetro permite la fácil diferenciación entre edificaciones.

El modelo básico logit se ejecutó con el uso de la aplicación SPSS, con los datos recuperados de los años 2013 y 2016. Los coeficientes B y la constante para cada categoría de tipo de uso se detallan en la tabla 5.

Tabla 5. Valor de coeficientes B de los atributos variables de la función

Atributo Función	Uso de edificación				
	Lote libre	Vivienda unifamiliar	Vivienda multifamiliar Baja densidad	Vivienda de habitaciones	Vivienda multifamiliar Alta densidad
	Coef. B	Coef. B	Coef. B	Coef. B	Coef. B
Constante	-288,41	-283,10	-335,21	-423,94	-380,88
Distancia a vía	-0,01	0,00	0,06	0,10	0,28
Pisos edificación	-0,03	0,00	-0,01	1,29	0,09
Pisos manzana	0,16	-0,05	0,27	3,71	0,13
Pisos vecino	-0,09	0,00	-0,07	1,35	0,34
Población	-0,01	0,01	-0,07	-0,09	-0,01
Área lote	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Área libre	-0,03	-0,08	0,91	-4,83	4,37
Año modificación	0,00	0,00	0,02	0,06	0,04
Índice de valor	0,65	-0,25	1,68	-4,58	6,73

Atributo Función	Uso de edificación					
	Vivienda temporal	Vivienda en condominio	Oficina	Comercio	Industria	Educación
	Coef. B	Coef. B	Coef. B	Coef. B	Coef. B	Coef. B
Constante	-264,83	-292,53	-314,75	-297,05	-286,33	-291,36
Distancia a vía	-0,38	0,00	0,06	-0,05	-0,08	0,00
Pisos edificación	0,48	0,00	-0,12	-0,03	-0,22	0,00
Pisos manzana	0,52	0,00	0,35	0,34	-0,09	0,00
Pisos vecino	-0,35	0,00	0,09	0,13	-0,02	0,00
Población	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,00
Área lote	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Área libre	-0,75	0,00	-0,10	-0,02	-0,55	0,00
Año modificación	-0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Índice de valor	-0,16	0,00	2,12	-0,07	-0,93	0,00

Fuente: Elaboración propia sobre los resultados procesados con el *software* SPSS v. 23.

De los coeficientes obtenidos en la tabla 5, se destaca la influencia de la cantidad de pisos promedio por manzana por sobre la decisión de cambio de uso de los lotes libres, con un coeficiente de 0,16, y el índice de valor con un coeficiente de 0,65.

En el caso de las viviendas de habitaciones se relaciona al área libre disponible, con un coeficiente de -4,83. Este tipo de edificaciones también es afectado fuertemente por la cantidad de pisos promedio en la manzana, alcanzando un coeficiente de 3,71.

En el caso de todas las edificaciones con uso de vivienda, el índice de valor es significativo y particularmente alto para las viviendas multifamiliares de alta densidad, con un coeficiente de 6,73. Esto sugiere una relación directa de la aparición de este tipo de vivienda en los terrenos más cotizados.

Los coeficientes indicados en la tabla 5 conforman la primera parte de la función. Esta se complementa con los coeficientes adecuados para los atributos de uso del lote, que se selecciona en forma condicional. Identificamos los valores en la tabla 6.

El último componente de la función se establece al incluir la influencia de la zona dentro de la función. Este valor modifica ligeramente la opción de cambio de tipo de uso ya que cada zona impulsa cierto tipo de actividad económica o cierta tipología de vivienda. Los coeficientes por zona se encuentran en la tabla 7.

Los resultados de las zonas enlistados en la tabla 7 indican que las zonas 1, 2, 9, 14 y 15 favorecen el uso de viviendas multifamiliares de baja densidad con coeficientes de -1,14, -1,07, 1,22, -1,44 y -1,51 respectivamente. Por otro lado, las zonas 1, 6, y en especial la 11 favorecen la aparición de viviendas multifamiliares de alta densidad con coeficientes de -1,59, 1,71 y 4,63, respectivamente. Es importante destacar que las viviendas en condominio son los proyectos con la menor posibilidad con un coeficiente de 0, y cuya emergencia está sujeta a la especulación directa.

Entre las actividades económicas mostradas en la tabla 8, la zona 12 impulsa el desarrollo de oficinas con un coeficiente de 1,22. La zona 11 y 14 promueven la aparición de comercios, con un coeficiente de 4,09.

Resultados de la proyección

Los datos recopilados reales se registran entre los años 2013 y 2016. Los periodos proyectados se encuentran entre 2019 y 2028 en ciclos de tres años. En esta sección se muestran y comentan los resultados obtenidos después del proceso de microsimulación.

La tabla 8 indica que el cambio más dramático se daría en el área libre disponible, que se reduciría al rango de menos de 10% de área libre en el 91,3% de los lotes para el año 2028. Un aspecto preocupante sería que entre 2019 y 2022 las edificaciones con 20% a 30% de área libre se reducirían llegando a solo al 4,0%, y que hacia 2028 solo serían el 0,6% de las edificaciones en el sector.

Dentro de los lotes con más del 80% de área libre, no se proyectan cambios significativos, de representar el 9,0% con 332 lotes en 2013 a 7,5% con 278 lotes del total. Los lotes libres podrían asumir precios que dificultarían su negociación.

Tabla 6. Valor de coeficiente B de atributos basados en el tipo de uso

Uso previo	Uso de edificación				
	Lote libre	Vivienda unifamiliar	Vivienda		
Lote libre	318,30	292,89	292,47	292,46	293,18
V. unifam,	292,94	293,89	293,55	290,05	296,35
V. multifam, baja d.	292,87	292,77	315,71	288,25	295,72
V. habitacion	292,81	292,75	292,99	287,37	392,95
V. multifam alta d.	292,96	292,73	293,15	288,21	296,00
V. temporal	292,89	292,74	293,19	290,55	295,87
V. condom,	292,88	292,78	292,90	288,75	295,70
Oficina	292,88	292,82	292,85	288,55	295,42
Comercio	292,87	292,77	293,08	290,00	300,98
Industria	292,78	292,76	292,93	290,74	294,78
Educación	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Uso previo	Uso de edificación					
	Vivienda temporal	Vivienda en condominio	Oficina	Comercio	Industria	Educación
	Coef, B	Coef, B	Coef, B	Coef, B	Coef, B	Coef, B
Lote libre	291,16	292,75	293,05	293,67	291,84	292,75
V. unifam,	290,98	292,75	293,15	292,37	291,56	292,75
V. multifam, baja d,	290,13	292,75	292,61	292,27	291,39	292,75
V.Habitacion	290,86	292,75	292,55	292,49	291,34	292,75
V. multifam alta d,	457,52	292,75	292,85	292,36	291,42	292,75
V. temporal	290,16	526,95	292,61	292,00	291,39	292,75
V. condom,	289,44	292,75	328,96	291,64	291,55	292,75
Oficina	287,97	292,75	292,09	352,88	291,38	292,75
Commercio	289,09	292,75	292,84	291,34	365,20	292,75
Industria	290,06	292,75	292,83	292,41	291,68	365,94
Educación	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Elaboración propia sobre los resultados procesados con el *software* SPSS v. 23.

Tabla 7. Valor de coeficiente B del atributo constante de zona

Atributo Función	Uso de edificación				
	Lote libre	Vivienda unifamiliar	Vivienda multifamiliar Baja densidad	Vivienda de habitaciones	Vivienda multifamiliar Alta densidad
	Coef. B	Coef. B	Coef. B	Coef. B	Coef. B
Zona 1	-0,35	0,09	-1,14	1,40	-1,59
Zona 2	0,19	0,07	-1,07	-0,98	-0,72
Zona 3	0,09	-0,01	0,02	-1,65	-0,42
Zona 4	-0,10	0,01	-0,32	-0,46	-0,17
Zona 5	0,17	-0,05	0,02	6,51	0,52
Zona 6	0,06	-0,09	0,71	2,14	1,71
Zona 7	0,18	0,01	-0,50	0,12	0,11
Zona 8	0,09	0,00	-0,30	1,04	-0,69
Zona 9	0,25	-0,09	1,22	1,05	-0,07
Zona 10	0,14	0,01	-0,34	0,12	-0,26
Zona 11	0,02	-0,05	-0,45	-1,23	4,63
Zona 12	0,21	-0,08	0,61	-0,01	-0,65
Zona 13	0,81	-0,02	-0,06	-0,70	-0,75
Zona 14	-1,86	0,09	-1,44	-0,55	-0,46
Zona 15	0,03	0,07	-1,51	2,01	0,04
Zona 16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zona 17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Atributo Función	Uso de edificación					
	Vivienda temporal	Vivienda en condominio	Oficina	Comercio	Industria	Educación
	Coef. B	Coef. B	Coef. B	Coef. B	Coef. B	Coef. B
Zona 1	-0,35	0,00	-0,32	0,16	0,80	0,00
Zona 2	-0,33	0,00	-0,22	-0,40	0,33	0,00
Zona 3	-0,10	0,00	0,32	-0,12	0,26	0,00
Zona 4	0,69	0,00	0,39	-0,05	0,08	0,00

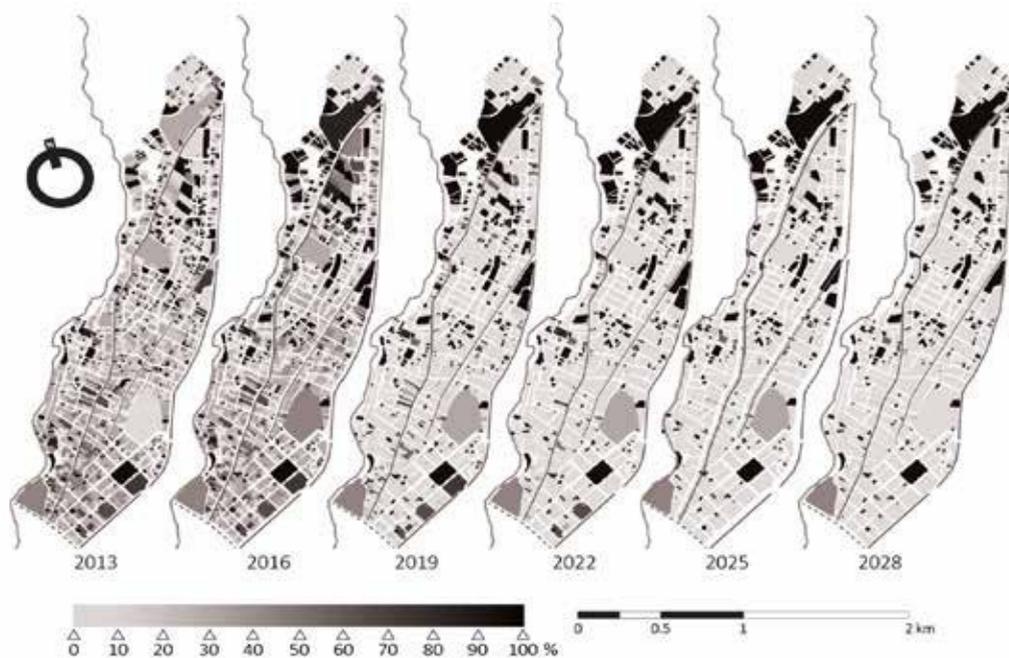
Atributo Función	Uso de edificación					
	Vivienda temporal	Vivienda en condominio	Oficina	Comercio	Industria	Educación
	Coef, B	Coef, B	Coef, B	Coef, B	Coef, B	Coef, B
Zona 5	0,89	0,00	0,40	0,27	0,03	0,00
Zona 6	1,05	0,00	0,53	0,14	0,03	0,00
Zona 7	-0,23	0,00	0,20	-0,06	0,02	0,00
Zona 8	0,44	0,00	0,24	0,15	0,33	0,00
Zona 9	-0,13	0,00	0,26	0,08	0,08	0,00
Zona 10	-0,10	0,00	0,07	-0,15	0,10	0,00
Zona 11	0,26	0,00	0,05	3,77	-4,00	0,00
Zona 12	0,32	0,00	1,22	-0,04	0,15	0,00
Zona 13	0,16	0,00	-0,05	-0,03	0,26	0,00
Zona 14	0,14	0,00	-0,22	4,09	-0,01	0,00
Zona 15	0,04	0,00	0,15	-0,06	-0,12	0,00
Zona 16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zona 17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia sobre los resultados procesados con el *software* SPSS v. 23.

Tabla 8. Cantidad de lotes por porcentaje de área libre

Año	Porcentaje de área libre en lotes										Total
	Menos de 10%		20% a 30%		40% a 50%		60% a 70%		Mas de 80%		
	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	
2013	1095	29,7	1848	50,2	343	9,3	66	1,8	332	9,0	3684
2016	1263	34,3	1738	47,2	322	8,7	63	1,7	298	8,1	3684
2019	2645	71,8	643	17,5	63	1,7	28	0,8	305	8,3	3684
2022	3200	86,9	146	4,0	29	0,8	12	0,3	297	8,1	3684
2025	3334	90,5	41	1,1	19	0,5	8	0,2	282	7,7	3684
2028	3365	91,3	23	0,6	13	0,4	5	0,1	278	7,5	3684

Figura 9. Porcentaje de área libre en lotes



La figura 9 muestra que un proceso de desaparición del área libre de las edificaciones podría ocurrir rápidamente antes del año 2025. Esto se podría expresar en su forma mínima como ductos de ventilación e iluminación.

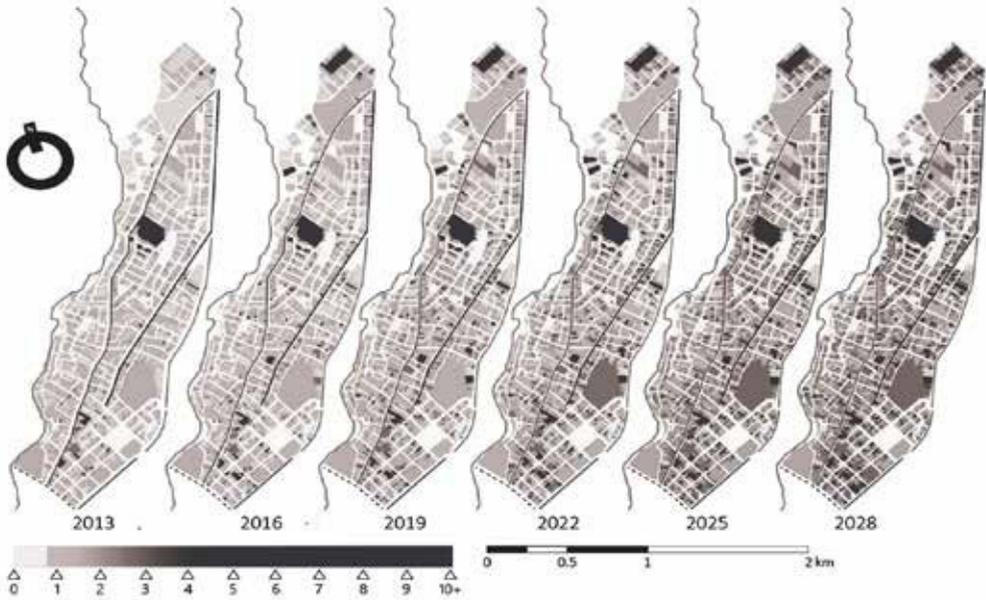
Tabla 9. Cantidad de lotes por número de pisos construidos

	Número de pisos de edificaciones								Total
	1ª a 2 pisos		3 a 4 pisos		5 a 6 pisos		7 a más		
	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	
2013	2963	81,4%	639	17,6%	35	1,0%	3	0,1%	3640
2016	2737	75,1%	824	22,6%	73	2,0%	12	0,3%	3646
2019	1871	51,3%	1644	45,1%	93	2,5%	40	1,1%	3648
2022	1236	33,8%	2243	61,4%	108	3,0%	66	1,8%	3653
2025	847	23,2%	2579	70,5%	134	3,7%	97	2,7%	3657
2028	594	16,2%	2746	75,0%	191	5,2%	128	3,5%	3659

^a Lotes vacíos cercados de un piso han sido incluidos en este conteo.

En la tabla 9 se distingue un crecimiento vertical acelerado entre el periodo 2022 y 2028. Las edificaciones de 3 a 4 pisos pasarían de ser el 17,6% al 75,0% del total; esto se relaciona con el incremento de viviendas multifamiliares de baja densidad. Además, para 2028 se contaría con 128 edificaciones de 7 a más pisos, marcando un hito importante en la tendencia del sector.

Figura 10. Altura de pisos proyectados



La figura 10 revela que entre las zonas de crecimiento vertical más acelerado están la zona 3 y 4, cuyo crecimiento vertical iniciaría en el año 2022. Las zonas 11 a 16 mantendrían un crecimiento constante y mostrarían la presencia de edificaciones con más de 7 pisos. Entre ellos se puede suponer la aparición de multifamiliares y edificios de oficinas.

Tabla 10. Cantidad de edificaciones por tipo de actividad

Año	Tipo de actividad						Total edif.
	V. sin actividad económica		V. con actividad económica		Edificaciones especializadas		
	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	
2013	2599	77,7%	553	16,5%	194	5,8%	3346
2016	2548	75,5%	610	18,1%	215	6,4%	3373
2019	2492	73,8%	667	19,8%	218	6,5%	3377
2022	2422	71,5%	742	21,9%	223	6,6%	3387
2025	2357	69,4%	810	23,8%	231	6,8%	3398
2028	2301	67,5%	873	25,6%	234	6,9%	3408

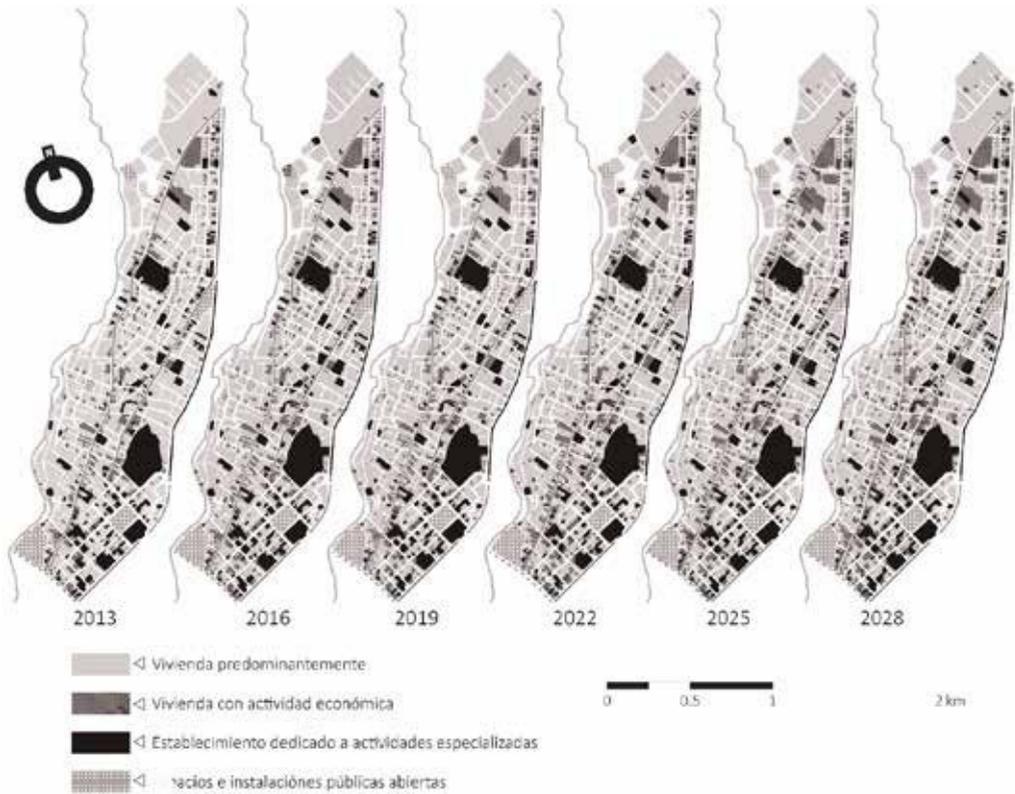
Entre las actividades desarrolladas en el sector, la tabla 10 permite identificar que la vivienda con actividad económica mostraría un alto incremento: va de 553 edificaciones —que representaban el 16,5% en el año 2013—, a 873 edificaciones, que representarían el 25,6% en el año 2028.

En la figura 11 se distingue un cambio de las viviendas que conformarían actividades económicas especializadas, aunque no se distingue una fuerte relación espacial directa con las vías principales. Más bien observamos un surgimiento aleatorio en las zonas 10 a 16. Las zonas 2 y 3 concentrarían una gran cantidad de viviendas con actividad económica.

Tabla 11. Cantidad de edificaciones proyectadas por tipo de vivienda

Año	Tipo de uso de vivienda												Total de vivienda
	V. unifamiliar		V. multifam. Baja densidad		V. de habitaciones		V. multifam. Alta densidad		V. temporal		V. condominio		
	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	
2013	2923	92,7	139	4,4	54	1,7	8	0,3	11	0,3	17	0,5	3152
2016	2802	88,7	227	7,2	75	2,4	22	0,7	16	0,5	16	0,5	3158
2019	2615	82,8	371	11,7	95	3,0	36	1,1	24	0,8	18	0,6	3159
2022	2464	77,9	513	16,2	104	3,3	39	1,2	26	0,8	18	0,6	3164
2025	2322	73,3	646	20,4	113	3,6	40	1,3	28	0,9	18	0,6	3167
2028	2172	68,4	788	24,8	120	3,8	45	1,4	30	0,9	19	0,6	3174

Figura 11. Tipos de actividad económica proyectada



En la figura 11 se distingue un cambio de las viviendas que conformarían actividades económicas especializadas, aunque no se distingue una fuerte relación espacial directa con las vías principales. Más bien observamos un surgimiento aleatorio en las zonas 10 a 16. Las zonas 2 y 3 concentrarían una gran cantidad de viviendas con actividad económica.

La composición de vivienda cambiaría dramáticamente por lo mostrado en la tabla 11. Las viviendas unifamiliares sufrirían una reducción importante de conformar el 92,7% en 2013 a 68,4% del total de viviendas para el año 2028. Se cree que muchas de estas viviendas se transformarían en viviendas multifamiliares de baja densidad. Estas últimas pasarían de ser solo el 4,4% del total a 24,8% del total de edificaciones de vivienda.

Las viviendas multifamiliares de alta densidad mantienen un crecimiento constante, siendo solo 54 edificios a 2013 y con una proyección de 120 edificaciones al 2028.

Tabla 12. Cantidad de edificaciones por tipo de actividad económica

Año	Tipos de uso con actividad económica								Total edif.
	Oficina		Comercial		Industria		Educativo		
	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	
2013	50	25,8	44	22,7	49	25,3	51	26,3	194
2016	61	28,4	49	22,8	49	22,8	56	26,0	215
2019	64	29,4	49	22,5	49	22,5	56	25,7	218
2022	66	29,6	51	22,9	50	22,4	56	25,1	223
2025	69	29,9	55	23,8	51	22,1	56	24,2	231
2028	70	29,9	55	23,5	52	22,2	57	24,4	234

Según los datos de la tabla 12, la composición de actividades económicas en edificaciones se proyecta de forma gradual, especialmente en la actividad de oficinas. De 50 predios dedicados a actividades de oferta de servicios se aumentaría a 70, representando el 25,8% al 29,9% del total.

La zona 6 sería una de las menos dinámicas hasta 2028. Los cambios más cercanos ocurrirían en la dirección sur del sector en las zonas 10 al 16. Entre 2019 y 2022 las zonas 11 y 12 experimentarían una transformación de vivienda unifamiliar a viviendas residenciales y a viviendas multifamiliares de baja densidad. La zona 9 mantendría su configuración actual.

Para el año 2028 edificaciones de vivienda cambiarían su uso hacia una marcada tendencia a la vivienda multifamiliar de baja densidad, que implementaría alguna actividad económica en su interior. Es posible especular sobre la situación de los sectores al norte sobre la posibilidad de expansión de viviendas multifamiliares según muestra la tendencia.

CONCLUSIONES

Los resultados de la proyección se ajustan a la realidad visible y complementan elementos específicos en la conducta urbana del sector. Este nivel de detalle permite tener en cuenta una planificación más precisa de las regulaciones de los Planes de Desarrollo Urbano, los planes asociados al transporte urbano e identificar las zonas que requieren una intervención preventiva.

Confirmamos la idea de que el sector de San Carlos sufre una alteración significativa: la tendencia de vivienda unifamiliar se encuentra en un rápido proceso de densificación y crecimiento vertical. Por otro lado, es evidente observar que el área libre fuera y dentro de los lotes disminuyen alarmantemente, y se convierten en agujeros de acceso a la ventilación e iluminación mínima.

Proyecciones que hacen uso de cantidades mínimas de datos no pueden mostrar escenarios a largo plazo, pero complementadas de reglas socioeconómicas definidas y un adecuado marco de referencia de la dinámica urbana local es viable la proyección de escenarios en el mediano plazo con mayor precisión.

Los municipios locales requieren considerar la implementación de catastros digitales y estructuras tecnológicas para el soporte de iniciativas como la propuesta en el presente trabajo, siendo vital su entendimiento para afrontar los acelerados cambios comunes en la sociedad y ciudades contemporáneas.

REFERENCIAS

- Barros, J. (2003). *Simulating Urban Dynamics in Latin American Cities*. Londres, Inglaterra: University College London.
- Burlacu, I., O'Donoghue, C. y Sologon, D. (2014). Hypothetical Models. En C. O'Donoghue, *Handbook of Microsimulation Modelling* (pp. 23-46). Bingley, Inglaterra: Emerald Group Publishing. <https://doi.org/10.1108/S0573-855520140000293000>
- Google. (2016 a). *Satellite View Satellite*. Obtenido de Google Maps: <https://www.google.com/maps/@-12.056674,-75.2068258,15z>
- Google. (2016 b). *Street View dic. 2013*. Obtenido de Google Maps: <https://www.google.com/maps/@-12.056674,-75.2068258,16z>
- Güell, J. F. (2006). *Planificación estratégica de ciudades*. Barcelona, España: Reverte.
- INEI. (20 de abril de 2017). Estimaciones y Proyecciones de Población. *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Recuperado de <https://www.inei.gov.pe/estadisticas/indice-tematico/population-estimates-and-projections/>
- Iordache, O. (2011). *Modeling Multi-Level Systems*. Berlín, Alemania: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17946-4>
- Kleinbaum, D. y Klein, M. (2010). *Logistic Regression a Self-Learning Text*. Nueva York, NY: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1742-3>
- Kuminoff, N. V. y Pope, J. C. (2012). *The Value of residential land and structures during the great housing boom and bust. April, 2012*. Recuperado de http://jarenpope.weebly.com/uploads/2/9/7/3/29731963/2013_kuminoff_pope_land.pdf
- MPH. (2016). Diagnóstico Territorial del Área Metropolitana de Huancayo: Municipalidad Provincial de Huancayo.
- Müller, S., Aschwanden, G. y Halatsch, J. (2012). *Digital Urban Modeling and Simulation*. Londres, Inglaterra: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29758-8>
- O'donoghue, C. (2014). Handbook of Microsimulation Modelling. En C. O'donoghue, *Handbook of Microsimulation Modelling* (pp. 1-22). Bingley, Inglaterra: Emerald Group. <https://doi.org/10.1108/S0573-85552014293>

- Osaragi, O. y Aoki, Y. (2006). A Method for Estimating Land Use Transition Probability Using Raster Data. En J. V. Leeuwen, y H. Timmermans, *Innovations in Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning* (pp. 69-84). Dordrecht, Holanda: Springer.
- Palme, M. y Ramirez, J. (2013). A critical assessment and projection of urban vertical growth in Antofagasta. *Sustainability*, 5(7), 2840-2855. <https://doi.org/10.3390/su5072840>
- Parmeter, C. y Pope, J. C. (2013). Quasi-experiments and hedonic property value methods. En J. List y M. Price (Eds.), *Handbook of experimental economics and the environment* (pp. 3-65). Cheltenham: Edward Elgar <https://doi.org/10.4337/9781781009079.00007>
- Rahman, A. y Harding, A. (2017). *Small area estimation and microsimulation modeling*. Boca Raton, FL: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315372143>
- Rui, Y. (2013). *Urban Growth Modeling Based on Land-use Changes and Road Network Expansion*. Estocolmo, Suecia: Royal Institute of Technology.
- Schiff, J. (2008). *Cellular Automata A Discrete View of the World*. Nueva Jersey, Estados Unidos: Wiley.
- Simmonds, D., Waddell, P. y Wegener, M. (2011). *Equilibrium v. dynamics in urban modelling*. Londres, Inglaterra: University of Cambridge.
- Train, K. (2002). *Discrete Choice Methods with Simulation*. Berkeley, CA: University of California.
- Waddell, P., Borning, A., Noth, M., Freier, N., Becke, M. y Ulfarsson, G. (2003). *Microsimulation of Urban Development and Location Choices: Design and Implementation of UrbanSim*. Washington, Estados Unidos: University of Washington.
- Yan, Y., Zhou, R., Ye, X., Zhang, H. y Wang, X. (2018). Suitability evaluation of urban construction land based on an approach of vertical-horizontal processes. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(5), 198. <https://doi.org/10.3390/ijgi>