

43 Jornadas Nacionales de Administración Financiera
Septiembre 21 y 22, 2023

Valuación de inmuebles residenciales

Modelo multinomial para valorar y analizar la deci- sión de vender o alquilar

Ricardo A. Yagüe

Universidad Nacional de Cuyo

Gastón S. Milanesi

Universidad Nacional del Sur

SUMARIO

1. Introducción
2. El modelo
3. Metodología
4. Resultados
5. Conclusiones

1. Introducción

La inversión inmobiliaria tiene un alto grado de irreversibilidad e inmoviliza un gran monto de capital del inversor desde la perspectiva de las finanzas personales. Los modelos empleados para analizar y valorar inversiones en valores inmobiliarios, lo hacen desde la perspectiva del desarrollador de tierras (Titman, 1986; Grenadier, 2002). No obstante, la valuación de inmuebles usados, es analizada a través de sencillos modelos como múltiplos de mercado o descuento de flujo de fondos (Damodaran, 2012). Desde la perspectiva del propietario, los modelos no incorporan la flexibilidad estratégica de la opción de venta o de continuar con su posesión. Para ello es menester analizar el problema de valoración en términos de opcionalidad, en el marco de la teoría de opciones reales.

Se propone un modelo analítico de valoración multinomial para analizar la decisión de conservar o vender la propiedad con dos variables de estado. En tal sentido el problema de valoración se reduce a considerar el valor de una propiedad como una opción de venta, donde una variable de estado está dada por el valor locativo esperado, y la segunda se encuentra representada por el valor esperado de venta. El modelo propuesto trabaja en un único punto de decisión. Los valores locativos proyectados se obtienen a partir de un régimen trinomial, a partir del cual se estima valor actual de la corriente de alquileres esperados. Este valor es calculado a través de una tasa de capitalización que involucra rendimiento y crecimiento esperado (Damodaran, 2012). La segunda variable de estado, involucra los potenciales precios de venta del inmueble para cada escenario, y es proyectada suponiendo un comportamiento trinomial. Existen múltiples desarrollos en la literatura sobre rejillas binomiales con dos o más variables de estado (Boyle, 1988; Kamrad & Ritchken, 1991; Tian, 1993; Copeland & Antirakov, 2003), entre otros. En este caso, el modelo es enriquecido con las propuestas de Herath & Kumar (2006, 2007) a fin de evitar que las probabilidades de transición sean negativas.

En la siguiente sección se desarrolla el modelo analítico multinomial de valoración de las variables de estado (valor de venta del inmueble, valor actual de la corriente de alquileres). En la sección 3 se presentan las variables utilizadas para la valoración de un caso de aplicación y en la sección 4 los resultados obtenidos.

2. El modelo

2.1 Rejillas trinomiales y multinomiales

El modelo de valoración multinomial con dos variables de estados y volatilidad cambiante en el precio es una combinación de dos planteos. Por una parte, el modelo trinomial modificado KR (Kamrad & Ritchken 1991) con una variable de estado (precio), desde $t=1$ hasta $T=n$ con volatilidad cambiante. Y desde $t=1$ hasta $t=0$ la rejilla trinomial se empalma con el modelo multinomial, sumando como variable las cantidades MKR (Herath & Kumar, 2007) para dos variables de estado (precio y cantidades).

La proyección de la variable precio del inmueble X_1 y valor actual de la corriente de ingresos por alquileres V_1 se proyectan desde $t = 0 \rightarrow 1$, con un régimen trinomial. En ambos casos presentan la misma pendiente μ_x, μ_v y volatilidad $\sigma_x \sigma_v$.

Cada variable de estado requiere de una rejilla trinomial para luego consolidar en una rejilla multinomial. El desarrollo de la rejilla trinomial con una sola variable de estado sigue el modelo de Kamrad & Ritchken (KR) (1991), con ajuste en el parámetro λ (Herath & Kumar, 2007), conocido como MKR.

2.2 Desarrollo del modelo para una variable de estado

El punto de partida está dado por el valor actual corriente de los alquileres y el precio del inmueble. En el primer caso, este se estima tomando el valor proyectado a un año de alquileres, tasa de rendimiento y tasa de crecimiento esperada (Damodaran, 2012), tal que

$$V_0 = E(A) \times \left(\frac{r - g}{(1 + g)} \right) \quad \text{Ec 1}$$

Donde $E(A)$ representa la corriente anual de alquileres esperados, r tasa de rendimiento requerido y g tasa de crecimiento.

El comportamiento estocástico de esta variable a un periodo se estima. En el caso del precio de venta, se parte de su valor observado en el mercado estimado mediante la siguiente ecuación

$$X_0 = v \times m^2 \quad \text{Ec 2}$$

Donde v representa el valor promedio histórico por metros cuadrados y m^2 los metros cuadrados del inmueble.

Las variables valor actual $\zeta^V(1)$ y precio $\zeta^X(1)$ adoptan tres estados

$$\zeta^{V,X}(1) = \{u \text{ con probabilidad } p_u, m \text{ con probabilidad } p_m, d \text{ con probabilidad } p_d\} \quad \text{Ec 3}$$

El movimiento ascendente responde a la siguiente expresión

$$u = e^{\lambda \sigma \sqrt{t}} \quad \text{Ec 4}$$

El movimiento descendente se obtiene de la expresión $d = 1/u$ y la centralidad determinada por $m = u \cdot d = 1$. El coeficiente de variación correspondiente a la variable precio es $1/\theta$, donde $\theta = \mu_p / \sigma_{p_{\max}(t=1)}$. En el caso del modelo KR no provee un camino explícito para seleccionar el valor de λ , impuesto arbitrariamente. Al establecer un valor ad-hoc para λ , no se garantiza un confiable conjunto de probabilidades. La propuesta de Herath & Kumar (2007) subsana los inconvenientes, asegurando un conjunto de probabilidades positivas ($0 \leq p_i \leq 1$). Los autores imponen la siguiente condición sobre el parámetro debe λ :

$$\sqrt{1 + \theta^2 \Delta t} \leq \lambda \leq \frac{1 + \theta^2 \Delta t}{\theta \sqrt{\Delta t}} \quad \text{Ec 5}$$

Aplicando la ecuación 4 y la restricción de que $\sum p_i^{\sigma(t)} = 1$, se obtienen las expresiones correspondientes a las probabilidades de transición para cada variable de estado.

$$p_u = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\lambda^2} + \frac{\theta \sqrt{\Delta t}}{\lambda} + \frac{\theta^2 \Delta t}{\lambda^2} \right] \quad \text{Ec 6.1}$$

$$p_m = 1 - \left[\frac{1}{\lambda^2} + \frac{\theta^2 \Delta t}{\lambda^2} \right] \quad \text{Ec 6.2}$$

$$p_u = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\lambda^2} + \frac{\theta \sqrt{\Delta t}}{\lambda} + \frac{\theta^2 \Delta t}{\lambda^2} \right] \quad \text{Ec 6.3}$$

El valor terminal de la opción de conservar o vender se asemeja a una opción de venta exótica, en donde el precio de ejercicio está dado por la variable de estado valor de venta (ecuación 2). El valor terminal en $t=1$ se calcula de la siguiente manera,

$$\zeta(VX)_{(t=1)} = \max[\zeta(V)_{(1)}; \zeta(X)_{(1)}] \quad \text{Ec 7}$$

2.3 Desarrollo del modelo para dos variables de estado

La resolución recursiva requiere emplear una rejilla multinomial. Implica combinar dos variables de estado $\zeta(V)_{(1)}; \zeta(X)_{(1)}$, desde el momento $t = 1$ hasta $t = 0$. En tal sentido se plantean los diferentes estados de cada variable y los parámetros para obtener los coeficientes equivalentes ciertos acordes con el modelo MKR.

Tabla 1: Estados correspondientes a las variables

$\zeta(V)_{(1)}; \zeta(X)_{(1)}$		
$\zeta(V)_{(1)}$	$\zeta(X)_{(1)}$	p
$\zeta_1^V(u)$	$\zeta_1^X(u)$	p_1
$\zeta_1^V(d)$	$\zeta_1^X(d)$	p_2
$\zeta_1^V(u)$	$\zeta_1^X(d)$	p_3
$\zeta_1^V(d)$	$\zeta_1^X(u)$	p_4
$\zeta_1^V(m)$	$\zeta_1^X(m)$	p_5

Cada variable en $t = 1$ presenta movimientos ascendente ($u_i = e^{\lambda_i \sigma_i \sqrt{\Delta t}}$), descendente ($d = 1/u_i$), centralidad $m_i = u_i \cdot d_i = 1$. Tiene su coeficiente de variación, igual a $1/\theta_i$, siendo $\theta = \mu_i/\sigma_i$. Estas permiten derivar los parámetros λ_1 y λ_2 , cuyas condiciones de borde son,

$$\lambda_1 = \sqrt{1 + \theta_1^2 \Delta t} \quad \text{Ec 8.1}$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 \frac{\sqrt{1 + \theta_2^2 \Delta t}}{\sqrt{1 + \theta_1^2 \Delta t}} \quad \text{Ec 8.2}$$

Para la rejilla multinomial, las probabilidades de transición resultan ser las siguientes,

$$p_1 = \frac{1}{4} \left[\frac{\theta_1 \sqrt{\Delta t}}{\lambda_1} + \frac{\theta_2 \sqrt{\Delta t}}{\lambda_2} + \frac{1 + \theta_1^2 \Delta t}{\lambda_1^2} + \frac{\rho + \theta_1 \theta_2 \Delta t}{\lambda_1 \lambda_2} \right] \quad \text{Ec 9.1}$$

$$p_2 = \frac{1}{4} \left[\frac{\theta_1 \sqrt{\Delta t}}{\lambda_1} - \frac{\theta_2 \sqrt{\Delta t}}{\lambda_2} + \frac{1 + \theta_1^2 \Delta t}{\lambda_1^2} - \frac{\rho + \theta_1 \theta_2 \Delta t}{\lambda_1 \lambda_2} \right] \quad Ec 9.2$$

$$p_3 = \frac{1}{4} \left[-\frac{\theta_1 \sqrt{\Delta t}}{\lambda_1} - \frac{\theta_2 \sqrt{\Delta t}}{\lambda_2} + \frac{1 + \theta_1^2 \Delta t}{\lambda_1^2} + \frac{\rho + \theta_1 \theta_2 \Delta t}{\lambda_1 \lambda_2} \right] \quad Ec 9.3$$

$$p_4 = \frac{1}{4} \left[-\frac{\theta_1 \sqrt{\Delta t}}{\lambda_1} + \frac{\theta_2 \sqrt{\Delta t}}{\lambda_2} + \frac{1 + \theta_1^2 \Delta t}{\lambda_1^2} - \frac{\rho + \theta_1 \theta_2 \Delta t}{\lambda_1 \lambda_2} \right] \quad Ec 9.4$$

$$p_5 = 1 - \left[\frac{1 + \theta_1^2 \Delta t}{\lambda_1^2} \right] \quad Ec 9.5$$

Las variables de estado no son independientes, se encuentran correlacionadas, asumiendo que la correlación es negativa. Donde ρ representa el coeficiente de correlación entre las fuentes de incertidumbre.

Para la resolución recursiva el modelo multinomial con dos variables de estado presenta cinco nodos a partir de combinar los escenarios de precio y cantidades. El valor actual de la estrategia se estima de la siguiente manera

$$V_{(t=0)} = \left\{ \left[VX_{(uu,t=1)} \times p_{uu}^1 + VX_{(ud,t=1)} \times p_{ud}^2 + VX_{(dd,t=1)} \times p_{dd}^3 + VX_{(du,t=1)} \times p_{du}^4 + VX_{(mm,t=1)} \times p_{mm}^5 \right] \times e^{-r} \right\} \quad Ec 10$$

El valor estratégico de la propiedad incorpora los posibles valores derivados de las elecciones proyectadas según la ecuación 7. El valor estratégico debe compararse con el precio hoy de mercado ($P_{(t=0)}$)

$$D = \text{Max} [V_{(t=0)}; P_{(t=0)}] \quad Ec 11$$

En el caso de que $V_{(t=0)} > P_{(t=0)}$, con la información disponible en el presente se debe conservar, en caso contrario se debe vender.

3. Metodología

Se aplica el modelo al análisis de una muestra de inmuebles tomando valores testigos en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y la ciudad de San Rafael, Provincia de Mendoza. A los efectos de simplificar el análisis los valores se encuentran expresados o re expresados en dólares estadounidenses.

Cabe destacar que solamente se disponen de series históricas en relación a la evolución del metro cuadrado para CABA. En tal sentido, se supone que la variabilidad es similar en los casos analizados para inmuebles localizados en la ciudad de San Rafael. Esto nos permite suponer que la correlación entre precios y valor de los alquileres es la misma. En cuanto al valor de los alquileres y de las propiedades inmobiliarias en CABA, se utilizan datos para el período de

comprendido entre enero de 2015 y junio de 2023. A continuación se detallan las fuentes de procedencia de cada uno de ellos.

El precio de venta de mercado y el precio de alquiler se toma de los informes estadísticos publicados por el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires en su página web de Estadísticas y Censos. Los mismos corresponden al precio promedio para un departamento de 70 metros cuadrados, de dos ambientes, ubicado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) (ver anexos II y III).

El valor de mercado se encuentra expresado en dólares estadounidenses, mientras que el precio de alquiler se expresa en pesos argentinos, por lo que se convierten a dólares estadounidenses utilizando el valor del dólar blue informado por el sitio web dolarito.ar para el período bajo análisis. Se utiliza el valor del dólar informal (blue), puesto que las otras alternativas como el dólar oficial, el dólar contado con liquidación, el dólar MEP y otras versiones están sujetas a intervenciones por parte del Estado que introducen “ruidos” en los cálculos. Al realizar la valuación en dólares estadounidenses se recurre a la tasa de rentabilidad promedio histórica para los inmuebles. La tasa de actualización empleada corresponde al rendimiento histórico del inmueble, determinado por los alquileres con respecto al precio de venta del activo (García Malbrán, 2022).

A partir de los valores antes mencionados para el precio de las propiedades en dólares y el precio de los alquileres en pesos (convertidos a dólares) se determina el rendimiento y la volatilidad promedio de los alquileres. Se utilizan datos de fuentes primarias obtenidos a través de entrevistas a propietarios de inmobiliarias de la ciudad de San Rafael (Mendoza), consultando tanto los precios de propiedades de 70 m² cubiertos y dos habitaciones (casas y departamentos) en distintas ubicaciones de la ciudad, como también los precios estimados de alquiler de esas propiedades observados y estimados para lo que resta de 2023. La entrevista se realizó durante el mes de julio 2023 (ver anexo I).

Existen gastos relacionados con el mercado inmobiliario (impuestos territoriales, seguros, reparaciones, mantenimiento, gastos de contratación) que deben preverse y que pueden afectar la rentabilidad del negocio. Si bien existen gastos sobre los que el propietario puede obtener reembolsos por parte del inquilino de acuerdo con el contrato que hayan pactado las partes, existen otros a cargo del propietario. En este sentido, los impuestos pueden ser una carga muy importante para el propietario. Por esto, se detrae del monto de los alquileres anuales un 25% en concepto de gastos e impuestos. El precio de venta de las propiedades se expone para cada caso neto de impuestos.

4. Resultados

4.1 Valoración de la decisión de conservar y alquilar o vender, caso testigo CABA

En la tabla 2 se presentan las variables empleadas para la implementación del modelo. La pendiente μ , la volatilidad σ y el parámetro θ surgen de la media aritmética correspondiente a los rendimientos observados de las variaciones entre alquileres anuales en dólares estadounidenses y precio del metro cuadrado para departamento de dos habitaciones y 70 metros cuadrados en CABA.

Los límites inferiores y superiores del parámetro λ para el modelo MKR se obtiene mediante las ecuaciones 8.1 y 8.2. La tasa libre de riesgo es la media aritmética nominal correspondiente a la serie de tiempo 1928-2022 de bonos del tesoro norteamericano, publicadas en Damodaran online.¹ Los coeficientes de ascenso, descenso y centralidad surgen de la ecuación 3. El valor del alquiler anual esperado se expresa en dólares constantes estadounidenses y surge de la última observación (segundo trimestre 2023). Similares consideraciones corresponden al precio del metro cuadrado. Finalmente, para estimar la correlación (ρ) entre variables de estado se relacionó la serie histórica de alquileres anuales en pesos y valor metro cuadrado en dólares de la propiedad.²

Tabla 2: Análisis de correlación entre el valor de los alquileres y el precio de venta históricos

Variables	V	X
μ	2,1675%	3,11%
σ	1,79823%	4%
Θ	1,20538075	0,78654504
λ Inferior	1,56618733	1,27226298
λ Superior	2,03499413	2,05792805
r	4,870%	4,870%
t	1	1
λ	1,56618733	1,27226298
u	1,02856394	1,05163161
d	0,9722293	0,95090333
A, \$mt	\$ 3.265,64	\$ 2.124,93
$m=u.d$	1	1
ρ	-0,471	

Las siguientes tablas exponen las rejillas trinómicas correspondientes al valor actual de alquileres y al precio de venta.

Tabla 3: Rejilla trinomial correspondiente al valor actual de los alquileres

V (valor actual corriente alquileres)		
0	1	
\$ 141.956,27	\$ 149.285,70	u
	\$ 141.956,27	m
	\$ 134.986,69	d

¹ Se puede obtener el archivo de MS Excel® del sitio web de Damoradan Online: https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datacurrent.html#discrate

² Si bien puede existir un problema de nominalidad, los alquileres generalmente se pactan y publicitan en moneda de curso legal a diferencia del valor de las propiedades.

Para estimar el valor del precio de venta se utilizan las ecuaciones 1, 3 y 4. El valor inicial V_0 surge de la corriente de alquileres $E(A)$ expuesta en la tabla anterior y la tasa de capitalización c del 2.30%. Esta se obtiene tomar un rendimiento r histórico en propiedades para Argentina del 5.48% en dólares³ y una tasa de crecimiento g del 3.41% que representa la inflación promedio histórica durante el intervalo 1928-2022 (según sitio web Damodaran online).

Tabla 4: *Rejilla trinomial correspondiente al valor actual del precio de venta*

X		70 mts ²	
0		1	
\$ 148.744,92	\$ 156.424,86	u	
	\$ 148.744,92	m	
	\$ 141.442,04	d	

El precio de venta surge de aplicar las ecuaciones 2, 3 y 4. El valor por metro cuadrado es multiplicado por las medidas promedios para la unidad de análisis tomada en el presente trabajo. Seguidamente se presenta el valor terminal y la decisión adoptada, conforme surge de aplicar la ecuación 7.

Tabla 5: *Valor estratégico para cada escenario en t+1*

1		
\$ 156.424,86	uu	vende
\$ 149.285,70	ud	mantiene
\$ 156.424,86	du	vende
\$ 141.442,04	dd	vende
\$ 148.744,92	mm	vende

El proceso recursivo requiere estimar las probabilidades de transición que surgen del conjunto de ecuaciones 9.1 a 9.5. Estas se exponen la tabla 6.

Tabla 6: *Probabilidades de escenarios*

V	X		$p(i)$
u	u	p1	0,729327759
u	d	p2	0,155485962
d	d	p3	0,035401438
d	u	p4	0,079784841
0	0	p5	0,000000000
Total			1,00

³ Se estima el rendimiento promedio de los últimos 30 años para el mercado inmobiliario utilizando como fuente García Malbrán (2022).

De combinar las tablas 5 y 6 existe un 15,5% de probabilidades de mantener el inmueble atendiendo a la tasa de capitalización y valor esperados de los alquileres. En 85,5% de los casos, la decisión es vender. Finalmente, aplicando la ecuación 10 se obtiene el valor intrínseco del inmueble incorporando la decisión de venta.

Tabla 7: *Rejilla trinomial promedio para propiedades en CABA*

0	1		
	\$ 156.424,86	uu	<i>vende</i>
	\$ 149.285,70	ud	<i>mantiene</i>
\$ 146.793,63	\$ 156.424,86	du	<i>vende</i>
	\$ 141.442,04	dd	<i>vende</i>
	\$ 148.744,92	mm	<i>vende</i>

El valor estratégico asciende a USD 146.793, siendo un ajuste al precio de venta observado. Esto es así, debido a que se incorporan los posibles estados de dos variables estocásticas como el precio y alquileres. Comparando precio testigo y valor intrínseco la alternativa en el presente es la venta, pues indica que aún se encuentra sobre valorados los inmuebles, atendiendo a la velocidad con la cual evoluciona el tipo de cambio, el precio de los alquileres y el valor de la propiedad.

El modelo es aplicado a las propiedades analizadas en la ciudad de San Rafael, extrapolando del caso anterior la variable volatilidad, dada la inexistencia de series históricas de precios por metro cuadrados.

4.2 Valoración de la decisión de conservar y alquilar o vender, casos San Rafael

A continuación, se exponen tres casos seleccionados de una muestra mayor para los que se utilizan los datos acompañados en anexo I. Se presentan estos casos al solo efecto expositivo, sin embargo, el modelo puede aplicarse a todos ellos.

En la tabla posterior se acompañan los resultados que el modelo arrojó para todas las propiedades bajo análisis.

a) Edificio Mur. Se trata de un edificio céntrico cerca del radio urbano pero muy antiguo. En este caso el valor de la propiedad representa un ajuste por sobre el valor de mercado observado por la incorporación de las variables estocásticas de precio y alquileres. Comparando el precio testigo (USD 50.000), y el valor intrínseco, la alternativa en este caso es mantener el inmueble atento a que se encuentra subvaluado respecto del valor del inmueble como negocio.

b) Edificio López Martín. Se trata de un edificio céntrico cerca del radio urbano pero muy antiguo. El valor estratégico asciende a USD 27.812, siendo un ajuste al precio de venta observado. Comparando precio testigo (USD 28.000) y valor intrínseco la alternativa en el presente es la venta, pues indica que se encuentra sobre valorado el inmueble.

c) Departamentos en Barrio Garbín. Se trata de un inmueble ubicado en un barrio exclusivo de la ciudad de San Rafael. El valor estratégico asciende a USD 97.907, siendo un ajuste al

precio de venta observado. Comparando precio testigo (USD 100.000) y valor intrínseco la alternativa en el presente es la venta, pues indica que se encuentra sobre valorado el inmueble. Seguidamente se exponen los cuadros que sintetizan los resultados expresados en las rejillas precedentes.

Tabla 8: Rejilla multinomial edificio Mur

0	1		
	\$ 61.884,53	uu	<i>mantiene</i>
	\$ 61.884,53	ud	<i>mantiene</i>
\$ 58.293,65	\$ 55.957,05	du	<i>mantiene</i>
	\$ 55.957,05	dd	<i>mantiene</i>
	\$ 58.846,21	mm	<i>mantiene</i>

Tabla 9: Rejilla multinomial Edificio López Martín

0	1		
	\$ 29.445,69	uu	<i>vende</i>
	\$ 29.313,81	ud	<i>mantiene</i>
\$ 27.812,18	\$ 29.445,69	du	<i>vende</i>
	\$ 26.625,29	dd	<i>vende</i>
	\$ 28.000,00	mm	<i>vende</i>

Tabla 10: Rejilla multinomial Edificio en Barrio Garbín

0	1		
	\$ 105.103,16	uu	<i>vende</i>
	\$ 95.090,33	ud	<i>vende</i>
\$ 97.907,23	\$ 105.163,16	du	<i>vende</i>
	\$ 95.090,33	dd	<i>vende</i>
	\$ 100.000,00	mm	<i>vende</i>

Resumen. Como puede observarse en la tabla 11, en la mayoría de los casos analizados la alternativa resultante fue mantener el inmueble. Solo en cuatro casos el resultado recomendaba la venta.

5. Conclusiones

La valuación de inmuebles residenciales urbanos considera la flexibilidad estratégica contenida en los posibles destinos a brindarle a la unidad. No obstante, es de uso generalizado utilizar valores de referencia o comparables de mercado para realizar la valoración. En este caso

Tabla 11: Rejilla trinomial resumen de propiedades*

Departamentos								
Propiedad	uu	ud	du	dd	mm	VE	Decisión	%
Mur	\$ 61.884,53	\$ 61.884,53	\$ 55.957,05	\$ 55.957,05	\$ 58.846,21	\$ 58.292,65	Mantiene	100%
López Martín	\$ 29.445,69	\$ 29.313,81	\$ 29.445,69	\$ 26.625,29	\$ 28.000,00	\$ 27.812,18	Vende	84%
Garbín	\$ 105.163,16	\$ 95.090,33	\$ 105.163,16	\$ 95.090,33	\$ 100.000,00	\$ 97.907,23	Vende	100%
Sirio Libanés	\$ 97.712,70	\$ 97.712,70	\$ 89.388,69	\$ 88.353,50	\$ 92.915,34	\$ 92.076,21	Mantiene	96%
Leo	\$ 47.323,42	\$ 42.790,65	\$ 47.323,42	\$ 42.790,65	\$ 45.000,00	\$ 44.058,25	Vende	100%
Comodoro Pi	\$ 53.741,99	\$ 53.741,99	\$ 48.594,43	\$ 48.594,43	\$ 51.103,43	\$ 50.622,72	Mantiene	100%
Casas								
Propiedad	uu	ud	du	dd	mm	VE	Decisión	%
B° Unimev	\$ 65.467,51	\$ 65.467,51	\$ 59.196,85	\$ 59.196,85	\$ 62.253,27	\$ 61.667,67	Mantiene	100%
B° Docente	\$ 97.712,70	\$ 97.712,70	\$ 88.353,50	\$ 88.353,50	\$ 92.915,34	\$ 92.041,30	Mantiene	100%
B° San Rafael	\$ 48.856,35	\$ 48.856,35	\$ 44.176,75	\$ 44.176,75	\$ 46.457,67	\$ 46.020,65	Mantiene	100%
B° TAC	\$ 97.712,70	\$ 97.712,70	\$ 88.353,50	\$ 88.353,50	\$ 92.915,34	\$ 92.041,30	Mantiene	100%
Barrio Garbín	\$ 420.652,64	\$ 380.361,33	\$ 420.652,64	\$ 380.361,33	\$ 400.000,00	\$ 391.628,90	Vende	100%
B° SAT (low)	\$ 65.467,51	\$ 65.467,51	\$ 63.097,90	\$ 59.196,85	\$ 62.253,27	\$ 61.799,21	Mantiene	96%
B° SAT (High)	\$ 97.712,70	\$ 97.712,70	\$ 88.353,50	\$ 88.353,50	\$ 92.915,34	\$ 92.041,30	Mantiene	100%
B° Parque Norte	\$ 53.741,99	\$ 53.741,99	\$ 48.594,43	\$ 48.594,43	\$ 51.103,43	\$ 50.622,72	Mantiene	100%
Pueblo Diamante	\$ 19.542,54	\$ 19.542,54	\$ 17.670,70	\$ 17.670,70	\$ 18.583,07	\$ 18.408,26	Mantiene	100%

* Las columnas resumen estados de la naturaleza cuyos resultados se exponen para cada propiedad siendo:

uu: El escenario donde el precio de los alquileres y de las propiedades sube

ud: El escenario donde el precio de los alquileres sube y el de las propiedades baja

du: El escenario donde el precio de los alquileres baja y el de las propiedades sube

dd: El escenario donde el precio de los alquileres baja y el de las propiedades baja

mm: El escenario donde el precio de los alquileres y de las propiedades se mantienen constantes

VE: de la asignación de probabilidades para cada escenario y a través de la ponderación de los mismos, se obtiene el Valor Esperado de cada propuesta.

Finalmente, en la Columna "Decisión" se expone la sugerencia de acuerdo con los datos que arroja el modelo y en la columna "%" el valor porcentual de validación de la sugerencia en el modelo.

se propone un modelo basado en la teoría de opciones reales. Este permite analizar la flexibilidad contenida en la decisión de conservar el inmueble o venderlo en el horizonte de un periodo anual. El modelo adopta la estructura de rejillas multinomiales con dos variables de estados: el potencial precio del inmueble y los posibles valores de alquileres a renegociar en el horizonte de decisiones. En cada uno de los estados proyectados el valor de conservar el inmueble se calcula como una perpetuidad, asumiendo una tasa de rendimiento y crecimiento. El precio de venta surge para cada estado en función a los movimientos proyectados para el metro cuadrado en la rejilla trinomial de dicha variable. El valor actual obtenido surge de la combinación de los posibles estados proyectados por las rejillas, y sintetiza con la información disponible en el

presente, el valor actual estratégico del inmueble. Este debe compararse con el precio de mercado o de negociación presente. Si el último es mayor al valor teórico la decisión es vender, caso contrario conservar.

En la mayoría de los casos analizados la alternativa resultante fue mantener el inmueble. Solo en cuatro casos el resultado recomendaba la venta. Entendemos que el ajuste a la baja del precio de las propiedades, combinado con la escasa disponibilidad de inmuebles para alquiler, hace que el valor esperado de mantener sea superior al potencial precio de venta, siendo la decisión conservar el inmueble.

Los resultados del modelo son indicativos y deben considerarse como estimaciones que permiten dar información al decisor y cuya bondad dependerá de qué tan bien expresen los guarismos pasados las alternativas que podrían replicarse en el futuro. Ante la existencia de una oferta concreta, la decisión de mantener implica un compromiso por un período que puede extenderse en el tiempo haciendo difícil concretar la venta si los precios se comportan de manera distinta a lo esperado.

REFERENCIAS

- Boyle, P. (1988). *A lattice framework for option pricing with two state variables*. Journal of Finance and Quantitative Analysis, 23 (1): 1-12.
- Copeland, T. & Antikarov, V. (2003). *Real options: A practitioner's guide*. Texere.
- Damodaran, A. (2012). *Investment valuation: Tools and techniques for determining de value of any asset*, 3rd Ed. Wiley.
- Haahtela, T. (2010). *Recombining trinomial tree for real option valuation with changing volatility*. Working paper.
- Haahtela, T. (2011). *Estimating changing volatility in cash flow simulation based real options valuation with regression sum of squared error method*. Working paper.
- Herath, H. & Kumar, P. (2006). *Multinomial approximating models for options*. Working paper.
- Herath, H. & Kumar P. (2007). *On a simple binomial approximations for two variable functions in finance applications*. En Lee, C-F., *Advances in quantitative analysis of finance & accounting*, vol. 5 World Scientific Publ., págs. 163-179.
- Kamrad, B. & Ritchken, P. (1991). *Multinomial approximating models for options with k state variables*. Management Science, 37 (12): 1640-1653.
- Milanesi, G. (Enero - Marzo de 2022). *Opciones reales secuenciales cuadrinomiales y volatilidad cambiante: Incertidumbres tecnológicas y de mercado en desarrollos de inversiones biotecnológicas*. REMEF Revista Mexicana de Economía y Finanzas, 17 (1): 24-49.
- Tian, Y. (1993). *A modified lattice approach to option pricing*. The Journal of Futures Markets, 13 (5): 563-577.

Sitios web

- Damodaran Online. pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datacurrent.html#discrete
- Dirección General de Estadística y Censos (DGESYC) (2023). *Precio promedio de publicación (pesos) de departamentos en alquiler de 1, 2 y 3 ambientes usados y a estrenar*. En estadisticaciudad.gob.ar.

Dirección General de Estadística y Censos (DGESYC) (2023). *Precio promedio de publicación del metro cuadrado (dólares) de departamentos en venta de 2 ambientes usados por comuna*. En estadisticaciudad.gob.ar

Dolarito (s.f.). *Cotización del dólar blue*. www.dolarito.ar/

García Malbrán, M. (2022). *Mercado inmobiliario: ¿cuál es la rentabilidad de los alquileres?* En sitio web ambito.com, 04-09-2022.

ANEXOS

Anexo I

Precio observado para contratos de alquiler 2023 y precio de mercado de las propiedades bajo análisis 2023 (San Rafael – Mendoza)

Los alquileres están expresados en pesos y fueron obtenidos de un relevamiento realizado en inmobiliarias de la ciudad de San Rafael durante el mes de Julio de 2023.

Los precios de venta están expresados en dólares y fueron obtenidos de un relevamiento realizado en inmobiliarias de la ciudad de San Rafael durante Julio de 2023.

<i>Ubicación</i>	<i>Primer semestre</i>	<i>Segundo semestre</i>	<i>Precio USD</i>
Edificio MUR	50.000	75.000	50.000
López Martín	30.000	45.000	28.000
Barrio Garbín	67.000	100.000	100.000
Sirio Libanés	100.000	150.000	85.000
Edificio Leo	43.000	65.000	45.000
Comodoro Pi	55.000	82.500	40.000

Casas

<i>Ubicación</i>	<i>Primer semestre</i>	<i>Segundo semestre</i>	<i>Precio USD</i>
Barrio Unimev	67.000	100.000	50.000
Barrio Docente	100.000	150.000	50.000
Barrio San Rafael	50.000	75.000	28.000
Barrio TAC	100.000	150.000	80.000
Barrio Garbín	170.000	250.000	400.000
Barrio SAT (low)	67.000	100.000	60.000
Barrio SANT (High)	100.000	150.000	75.000
Barrio Parque Norte	55.000	82.500	45.000
Pueblo Diamante	20.000	30.000	7.000

Anexo II*Precio promedio en pesos para departamentos en alquiler en Ciudad Autónoma de Buenos Aires*

Precio promedio de publicación (pesos)

Departamentos en alquiler de 1, 2 y 3 ambientes usados y a estrenar.

Ciudad de Buenos Aires. Marzo de 2010/junio de 2023

Para el cálculo de precio promedio por unidad se considera una superficie de 30 m² para 1 ambiente; 43 m² para 2 ambientes; y para 3 ambientes, 70 m².

Fuente: Dirección General de Estadística y Censos (Ministerio de Hacienda y Finanzas GCBA) sobre la base de datos del sistema Buscainmueble (hasta septiembre 2011), Adinco (desde octubre 2011 hasta junio 2015) y Argenprop (a partir de julio 2015).

Fuente: <https://www.estadisticaciudad.gob.ar/eyc/>

	Período	Precio			
		1 ambiente	2 ambientes	3 ambientes	
2010	Marzo	1.235	1.725	2.820	
	Abril	1.252	1.741	2.799	
	Mayo	1.298	1.760	2.852	
	Junio	1.318	1.748	2.897	
	Julio	1.315	1.776	2.918	
	Agosto	1.306	1.817	3.015	
	Septiembre	1.348	1.855	2.961	
	Octubre	1.384	1.906	3.127	
	Noviembre	1.412	1.927	3.130	
	Diciembre	1.379	1.931	3.191	
	2011	Enero	1.425	1.948	3.214
		Febrero	1.477	1.959	3.217
Marzo		1.488	2.008	3.509	
Abril		1.478	2.101	3.470	
Mayo		1.501	2.148	3.546	
Junio		1.537	2.181	3.640	
Julio		1.530	2.175	3.619	
Agosto		1.552	2.177	3.637	
Septiembre		1.641	2.224	3.859	
Octubre		1.526	2.133	3.573	
Noviembre		1.557	2.206	3.902	
Diciembre		1.634	2.199	3.616	
2012	Enero	1.636	2.277	3.713	
	Febrero	1.666	2.157	3.191	
	Marzo	1.715	2.341	3.746	
	Abril	1.747	2.186	3.457	
	Mayo	1.652	2.224	3.239	
	Junio	1.826	2.437	3.610	

Período	Precio		
	1 ambiente	2 ambientes	3 ambientes
Julio	1.782	2.432	3.860
Agosto	1.786	2.404	3.850
Septiembre	1.849	2.458	3.894
Octubre	1.879	2.516	3.922
Noviembre	1.870	2.465	3.834
Diciembre	1.923	2.584	3.997
2013 Enero	1.898	2.579	3.861
Febrero	2.004	2.623	3.996
Marzo	1.938	2.697	4.075
Abril	2.052	2.768	4.445
Mayo	2.097	2.770	4.266
Junio	2.100	2.808	4.310
Julio	2.169	2.924	4.467
Agosto	2.163	2.892	4.381
Septiembre	2.227	2.963	4.497
Octubre	2.232	2.964	4.667
Noviembre	2.231	3.050	4.808
Diciembre	2.277	3.101	4.640
2014 Enero	2.364	3.093	4.531
Febrero	2.420	3.248	4.928
Marzo	2.532	3.359	5.134
Abril	2.546	3.469	5.439
Mayo	2.583	3.451	5.201
Junio	2.713	3.696	5.589
Julio	2.796	3.671	5.633
Agosto	2.808	3.724	5.626
Septiembre	2.865	3.838	5.762
Octubre	2.869	3.832	6.147
Noviembre	2.957	3.887	6.115
Diciembre	3.006	4.027	6.540
2015 Enero	2.995	4.008	6.612
Febrero	3.120	4.105	6.503
Marzo	3.203	4.239	6.753
Abril	3.249	4.365	6.852
Mayo	3.373	4.827	7.684
Junio	3.418	4.978	7.793
Julio	3.559	5.086	7.921
Agosto	3.437	5.121	8.092
Septiembre	3.783	5.292	8.402
Octubre	3.623	5.118	8.120
Noviembre	3.856	5.580	8.126
Diciembre	4.078	5.538	9.066

Período	Precio			
	1 ambiente	2 ambientes	3 ambientes	
2016	Enero	4.312	5.822	9.280
	Febrero	4.345	5.959	9.513
	Marzo	4.364	6.106	9.817
	Abril	4.446	6.121	10.312
	Mayo	4.748	6.597	10.160
	Junio	4.752	6.638	11.019
	Julio	4.828	6.893	10.723
	Agosto	4.987	7.194	10.872
	Septiembre	5.300	7.258	11.633
	Octubre	5.250	7.315	11.687
	Noviembre	5.252	7.407	12.028
	Diciembre	5.364	7.485	12.268
2017	Enero	5.565	7.602	11.535
	Febrero	5.764	7.835	13.121
	Marzo	5.978	8.056	13.009
	Abril	6.104	8.241	13.175
	Mayo	6.197	8.503	13.749
	Junio	6.375	8.719	13.671
	Julio	6.364	8.810	13.823
	Agosto	6.618	9.090	14.667
	Septiembre	6.853	9.536	15.326
	Octubre	7.158	9.865	15.481
	Noviembre	7.205	9.683	15.334
	Diciembre	7.261	9.887	15.669
2018	Enero	7.715	10.312	16.462
	Febrero	7.622	10.490	16.907
	Marzo	8.040	10.687	16.973
	Abril	8.353	11.091	17.173
	Mayo	8.290	11.260	17.243
	Junio	8.615	11.657	17.253
	Julio	8.608	11.986	18.056
	Agosto	8.971	12.152	18.224
	Septiembre	9.306	12.562	18.413
	Octubre	9.598	12.615	18.651
	Noviembre	9.779	12.792	19.126
	Diciembre	9.705	12.839	19.988
2019	Enero	10.170	13.336	20.668
	Febrero	10.410	13.953	20.362
	Marzo	10.666	14.287	20.969
	Abril	10.986	14.382	21.071
	Mayo*	11.172	14.602	22.112
	Junio*	11.532	15.212	22.709

Período	Precio		
	1 ambiente	2 ambientes	3 ambientes
Julio*	11.731	15.471	22.883
Agosto*	12.129	16.219	23.498
Septiembre*	12.344	16.342	24.521
Octubre*	12.783	16.678	24.371
Noviembre*	12.920	17.014	25.175
Diciembre*	13.253	17.327	24.937
2020			
Enero*	13.777	18.005	26.608
Febrero*	14.178	17.815	27.337
Marzo*	13.948	18.776	27.549
Abril*	13.934	18.332	26.919
Mayo*	15.254	20.020	29.451
Junio*	15.876	20.283	31.545
Julio*	16.842	22.515	33.324
Agosto*	17.654	23.784	36.268
Septiembre*	18.551	24.715	39.143
Octubre*	19.212	25.436	39.191
Noviembre*	19.914	26.202	41.181
Diciembre*	20.459	26.576	41.319
2021			
Enero*	21.019	27.513	42.960
Febrero*	22.006	28.597	45.681
Marzo*	22.899	30.471	46.917
Abril*	23.946	31.758	47.482
Mayo*	24.848	33.078	50.932
Junio*	25.501	33.981	52.250
Julio*	26.485	35.599	54.352
Agosto*	27.272	36.844	56.471
Septiembre*	27.960	37.695	59.081
Octubre*	28.890	38.872	60.071
Noviembre*	29.611	39.929	62.617
Diciembre*	30.904	41.759	65.885
2022			
Enero*	32.579	43.314	69.126
Febrero*	34.943	45.712	72.490
Marzo*	35.893	49.936	74.942
Abril*	38.296	52.304	79.322
Mayo*	42.152	57.761	83.879
Junio*	43.781	59.015	88.869
Julio*	46.717	63.654	95.044
Agosto*	51.069	68.149	99.854
Septiembre*	53.596	71.459	103.846
Octubre*	57.187	73.390	111.738
Noviembre*	60.545	79.781	117.208
Diciembre*	63.948	84.042	123.835

Período	Precio		
	1 ambiente	2 ambientes	3 ambientes
2023			
Enero*	70.218	89.615	136.103
Febrero*	75.538	95.815	152.089
Marzo*	83.455	108.650	160.633
Abril*	91.241	120.654	178.066
Mayo*	99.728	132.719	186.746
Junio*	104.826	149.117	216.738

* Dato provisorio.

Anexo III

Precio promedio para el metro cuadrado en Ciudad Autónoma de Buenos Aires desde el 1er trimestre de 2015 al 2do trimestre de 2023

Precio promedio de publicación del metro cuadrado (dólares) de departamentos en venta de 2 ambientes usados por comuna. Ciudad de Buenos Aires. 1er. trimestre 2015/2do trimestre 2023

Fuente: Adaptado de <https://www.estadisticaciudad.gob.ar/eyc/>

Periodo	Total	
2015	1er. trim.	2.224
	2do. trim.	2.233
	3er. trim.	2.243
	4to. trim.	2.254
2016	1er. trim.	2.337
	2do. trim.	2.351
	3er. trim.	2.394
	4to. trim.	2.405
2017*	1er. trim.	2.484
	2do. trim.	2.518
	3er. trim.	2.578
	4to. trim.	2.691
2018*	1er. trim.	2.841
	2do. trim.	2.867
	3er. trim.	2.873
	4to. trim.	2.878
2019*	1er. trim.	2.862
	2do. trim.	2.831
	3er. trim.	2.783
	4to. trim.	2.750

	<i>Periodo</i>	<i>Total</i>
2020*	1er. trim.	2.725
	2do. trim.	2.696
	3er. trim.	2.644
	4to. trim.	2.593
2021*	1er. trim.	2.531
	2do. trim.	2.482
	3er. trim.	2.405
	4to. trim.	2.330
2022*	1er. trim.	2.265
	2do. trim.	2.221
	3er. trim.	2.170
	4to. trim.	2.125
2023*	1er. trim.	2.125
	2do. trim.	2.107

* Dato provisorio.