DOCENTES DE ADMINISTRACIÓN FINANCIERA

46 Jornadas Nacionales de Administración Financiera

Septiembre 17 y 18, 2026

Modelos numéricos en opciones reales y juegos

Combinación de estrategias en el sector de la construcción

Gastón S. Milanesi

Universidad Nacional del Sur

Carlos Aire

Simón García

Universidad de Buenos Aires

SUMARIO

1. Introducción
2. El modelo. Marco conceptual
3. Análisis de caso
4. Resultados
5. Conclusiones

Para comentarios:
milanesi@uns.edu.ar
airecarlosesteban@gmail.com

Resumen

Se desarrolla un modelo numérico para la valuación de decisiones estratégicas en proyectos inmobiliarios, integrando opciones reales y teoría de juegos con el fin de capturar la flexibilidad de invertir, diferir o vender. El marco teórico formaliza la dinámica estocástica del precio mediante ecuaciones diferenciales estocásticas (EDE) y su transformación en ecuaciones diferenciales parciales (EDP). Metodológicamente, el estudio emplea dos métodos numéricos: rejillas binomiales, que permiten modelar la flexibilidad estratégica en tiempo discreto, y simulación Monte Carlo, utilizada para contrastar la distribución de los flujos proyectados, y como variable de control el modelo Black-Scholes-Merton.

El caso de estudio analiza un desarrollo inmobiliario en la provincia de Buenos Aires, donde las alternativas del proyecto se representan mediante un conjunto de estrategias de opciones (inversión, diferimiento y abandono) equivalente a un *straddle*. Los resultados muestran que las estrategias dominantes conducen a un equilibrio de Nash que respalda el diferimiento óptimo del proyecto, preservando valor y evitando decisiones prematuras de abandono.

1. Introducción

La valoración de relaciones contractuales y valor económico de las decisiones requiere del planteo de modelos integrales. Estos deben tener la capacidad de calcular el valor esperado de la relación contractual a partir de los posibles cursos de acción de las partes intervinientes, como las penalidades frente a la conducta maliciosa de las partes. En tal sentido los contratos económicos se pueden asimilar a un "juego", donde la elección de la mejor estrategia, es una función de su valor intrínseco ajustado a las posibles respuestas los agentes que interactúan entre sí.

El marco teórico lo brindan la teoría de opciones reales y teoría de juegos. La primera proporciona el marco conceptual para valorar la flexibilidad estratégica contenida en las decisiones de inversión. En forma aislada solo considera dos fuentes de incertidumbre en forma activa: riesgo de las decisiones de los agentes y de los estados de la naturaleza. En estos modelos, las acciones de los agentes son tratadas como variables dadas. Este análisis es enriquecido por la teoría de juegos, ya que brinda el marco teórico para modelar las potenciales conductas, sobre la base de soluciones de equilibrio.

El resultado de conjugar la teoría de opciones reales con teoría de juegos [1] da como resultado un conjunto de modelos. Estos se pueden clasificar de la siguiente manera (Smit & Trigeorgis, 2004):

[1] Un aspecto que diferencia a la teoría de juegos con los SROG está dado por la manera de estimar los pagos (flujos) esperados, donde en los modelos SROG son calculados aplicando teoría de opciones reales, cosa que no sucede en un planteo tradicional de juegos.

a. *Modelos simples de teoría de juego y opciones reales* (SROG, *standard real options games*). Los primeros trabajos corresponden a Smit & Ankum (1993), Dixit & Pindyck (1994), Grenadier (1996), Kulatilaka & Perotti (1998) y Smit (2003), entre otros. El común denominador de estos modelos está dado por los supuestos básicos: el valor de la inversión es una variable aleatoria (subyacente) que sigue un proceso estocástico (por lo general geométrico y aritmético browniano con modificaciones).

   El proceso puede plantearse de manera discreta o continua y los agentes son neutrales al riesgo. El costo de la inversión es hundido y cierto. El problema se estudia de manera aislada, donde se analiza el curso de acción y se valora mediante modelos de opciones. Seguidamente se analiza la interacción estratégica entre los competidores, planteando soluciones de equilibrio que permitan anticipar y explicar conductas.

   En estos juegos, las conductas cooperativas permiten acceder situaciones superiores, en relación a los resultados de suma cero (Axelrod, 1986). En términos de cursos de acción de empresas implica promover la concreción de acuerdos estratégicos, estableciendo penalizaciones que promuevan incentivos de cumplimiento (Milanesi yThomé, 2015; Milanesi, 2021; Perez *et al*, 2022; Milanesi, 2023; Milanesi, 2025).

b. *Modelos complejos de teoría de juegos y opciones reales* (NSROG, *non-standard real options games*). Presentan dos o más variables estocásticas, y las decisiones no se toman en un punto del tiempo determinado. Se conjugan modelos microeconómicos sobre estructuras de mercados con opciones de salidas, asimetrías entre firmas, estructuras informativas (perfectas/imperfectas), cooperación entre firmas, participaciones en el mercado, entre otras situaciones de mercado-competencia.

   Se pueden citar trabajos como los de Ghemawat & Nalebuff (1985), Fudenberg & Tirole (1986), Lambrecht (2001), Grenadier (2002), Paxson & Pinto (2003) Murto (2004), Pawlina & Kort (2006), Hsu & Lambrecht (2007), Armada *et al* (2009), Thijssen (2010), Graham (2011) y Boyer *et al* (2012).

La evaluación de proyectos inmobiliarios suele apoyarse en el flujo de fondos descontado y en indicadores como el valor actual neto. Ese enfoque es útil porque ordena ingresos, egresos, impuestos y tasa de descuento en una sola métrica comparable. Sin embargo, no contempla todas las flexibilidades estratégicas de la decisión. En un desarrollo inmobiliario, comprar un terreno y pagar el proyecto técnico otorga al desarrollador una opción de espera. Esa flexibilidad permite acotar la incertidumbre de la decisión: dinámica de precios y demanda.

Por otro lado, es necesario analizar el potencial comportamiento de la competencia antes de comprometer la obra completa. En tal sentido se propone un modelo numérico a través del método de diferencia finitas, empleando árboles binomiales para resolver las decisiones vinculadas a un proyecto de desarrollo inmobiliario, combinado con simulación y tomando como variable de control el modelo de Black-Scholes-Merton aplicando el algoritmo de Datar & Mathews (2004). El comportamiento de los agentes externos, en el caso de no ser propietario de la opción es modelado en un simple juego con información perfecta y simétrica, de defección sin repetición (Aguado Franco, 2007).

En tal sentido la estructura del trabajo es la siguiente: la siguiente sección desarrolla formalmente el modelo, planteado a partir del concepto de ecuación diferencial estocástica (EDE), ecuación en diferencia parcial (EDP) aplicadas en finanzas. La solución numérica esta dada por el método de diferencias finitas (MDF), simulación e integración numérica (IN). Para el planteo

del modelo, asimilando las estrategias a un *straddle americano*, se emplean el método binomial (MDF) y la simulación como variable de control en la ecuación BSM.

Metodológicamente se aplica el análisis de casos en administración (Castro Monge, 2010), sobre un proyecto de desarrollo inmobiliario en la región del interior provincial de Buenos Aires (Argentina). Los resultados obtenidos del modelo y las estrategias dominantes que conducen al equilibrio de Nash sirven para justificar el diferimiento temporal del proyecto y no su abandono. Finalmente, se exponen las principales conclusiones.

2. El modelo. Marco conceptual

En la presente sección se presentan los fundamentos matemáticos del modelo binomial, para valorar un conjunto de opciones reales contenidas en el proyecto. Estas se asemejan a un *straddle americano*, a partir de las opciones de invertir, diferir o venta.

2.1 Descuento de flujo de fondos

La valuación determinística se realiza aplicando el modelo de descuento de flujos de fondos (Ruback, 2002), conforme la siguiente expresión:

$$V = \frac{\sum_{t=1}^{n} E(FF)_t}{(1+k)^t} + FF_{t=0} \qquad \textit{Ec 1}$$

En la expresión anterior, los flujos de fondos constituyen valores esperado $E(FF_t)$. El recorrido de esta variable aleatorio es generado a partir de las diferentes herramientas empleadas para analizar el riesgo en los proyectos (Milanesi & Pesce, 2022).[2] El factor de descuento k representa la tasa del costo del capital para inversiones de riesgo similar. El valor presente obtenido sintetiza el conjunto de acciones futuras proyectadas, sin incorporar flexibilidad estratégica, ajustando por riesgo desde la perspectiva del inversor que diversifica eficientemente su riqueza (Dixit & Pindyck, 1994; Trigeorgis, 1988, 1993, 1997). Para ello es menester aplicar el marco conceptual de la teoría de opciones reales y sus correspondientes métodos numéricos.

2.2 Métodos numéricos en finanzas cuantitativas

El comportamiento estocástico de los activos financieros se modela (proyecta) mediante ecuaciones diferencias estocásticas (EDE). Su valoración se realiza mediante ecuaciones diferenciales parciales (EDP) (Wilmott, 2009) como acontece en el modelo de Black-Scholes-Merton (Black & Scholes, 1972; Black & Scholes, 1973; Merton, 1973).

La principal diferencia reside en que una EDE describe el movimiento aleatorio del precio de un activo a lo largo del tiempo, mientras que una EDP describe el valor teórico y determinista de un derivado financiero (como una opción) basado en ese activo. Ahora, bien los métodos numéricos para resolver este tipo de funciones son:

[2] Existen diversos métodos para generar posibles valores o recorridos de la variable aleatoria flujos de fondos, dentro de ellos los clásicos son: escenarios, sensibilidad y simulación.

a. *Métodos de diferencias finitas (MDF):* Transforman las ecuaciones diferenciales continuas en ecuaciones algebraicas discretas (en diferencias) evaluadas sobre una rejilla temporal y espacial. Es el enfoque determinista por excelencia para resolver EDP de opciones de baja complejidad (pocas dimensiones: ejercicios anticipados, dos o tres variables de estado, o el caso de opciones barreras). En este caso se encuentran los modelos numéricos binomiales y multinomiales. (Brockman & Turtle, 2003; Milanesi, 2019).
b. *Simulación de Montecarlo (SM):* Es un enfoque probabilístico que genera miles de trayectorias aleatorias posibles para el precio del activo subyacente para promediar los resultados del pago (*payoff*). Es el método ideal para resolver problemas complejos donde existen dependencias de la trayectoria, horizontes multidimensionales, o múltiples activos aleatorios (Milanesi & Tennina, 2024).
c. *Integración numérica (IN)*: No es un método de común uso en la valoración de derivados. Implica escribir la solución de un problema de precios de opciones en forma de integral múltiple. Se deben darse las siguientes condiciones: La opción tiene que ser europea, la EDE subyacente debe ser explícitamente integrable, con proceso geométrico browniano y el pago normalmente no debe depender de la trayectoria.

En síntesis, el problema a resolver toma la forma de EDE y EPD, las herramientas o modelos numéricos son MDF; SM, IN. Es menester considerar qué se entiende por EDE y su transformación en EPD para entender el modelo Black-Scholes-Merton (BSM).

1) Ecuaciones diferenciales estocásticas

Las EDE modelan variables aleatorias (precio del activo financiero) que cambian con el tiempo y que tienen un componente de incertidumbre o azar (ruido blanco). Su componente clave es contener un término de movimiento aleatorio conocido como proceso de Wiener introduciendo el componente "ruido blanco"

Este es un proceso estocástico en tiempo continuo que modela el error aleatorio. Sus tres propiedades matemáticas son:

a. Inicio con valor cero: $W_0 = 0$;
b. Incrementos independientes: P_t es independiente de P_{t-1} (eficiencia semi-fuerte de mercado)
c. Comportamiento normal (gaussiano): la variación en el proceso entre dos instantes temporales sigue un comportamiento normal con media cero y varianza constante amplificada por el tiempo transcurrido: $dW \sim N(0,1 \times dt) \leftrightarrow dW = Z\sqrt{dt}$ donde Z es una variable aleatoria normal estándar $N(0,1)$

El empleo del proceso de Wiener dentro de esta ecuación matemática tiene tres implicaciones que explican la percepción relativa al comportamiento de los precios de activos financieros en mercados de capitales, a saber:

a. *Función de precio continua no diferenciable:* El precio de la acción se mueve de forma continua, con trayectoria aleatoria, provocada por la caminata aleatoria. Es imposible aproximar simplemente derivando y calculando el incremental o tangente de la función precio.

b. *Efecto de la raíz cuadrada del tiempo:* Dado que $dW = Z\sqrt{dt}$ la incertidumbre y el riesgo de la acción no crecen de forma lineal con el tiempo, sino a partir de la raíz cuadrada del tiempo $\sqrt{t}$. Consecuentemente, la volatilidad de un activo financiero no es proporcional en el tiempo, sin no proporcional a $\sqrt{t}$

Consecuentemente se supone que un activo financiero sigue un movimiento geométrico browniano, utilizando como insumo el proceso de Wiener.

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dW_t \qquad \textit{Ec 2}$$

Donde S_t es el precio hoy de la acción, dS_t es el cambio infinitesimal en el precio de la acción, μ es la pendiente o deriva (*drift*) rendimiento esperado del activo, σ volatilidad del activo y dW_t es el proceso de Wiener, introduce los cambios inesperados en el mercado. El nombre de geométrico reside en que el cambio es proporcional, si la ecuación 2 es reescrita dividiendo todo por el precio actual se tiene el cambio proporcional,

$$\frac{dS_t}{S_t} = \mu dt + \sigma dW_t \qquad \textit{Ec 3}$$

Esto significa que la pendiente (μ), la volatilidad (σ); y el error aleatorio (dW_t), impacto de las sorpresas del mercado) dependen proporcionalmente del nivel de precios actual, escalando geométricamente.[3] Las propiedades fundamentales del modelo son:

a. Asegura precios positivos: Su ecuación fundamental es, $S_t = S_0 e^{\left[\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)t + \sigma W_t\right]}$ El precio final está determinado por una función exponencial, el valor del activo siempre es $S_t \geq 0$.
b. Los precios futuros del activo siguen una distribución log-normal: $\infty \geq S_t \geq 0$.
c. Eficiencia de mercado, donde el activo sigue una caminata aleatoria (*random walk*). Dado un dW_t el precio esperado es función del precio hoy más error aleatorio, no generando un aporte incrementa la información pasada.

En el caso de una acción con precio S=$100, horizonte t=1. $\mu = 0{,}08$ y $\sigma = 0{,}2$ se tiene el gráfico que se muestra en la ilustración 1.

La distribución no tiene forma de campana, tiene un sesgo a la derecha propia del comportamiento lognormal del precio.

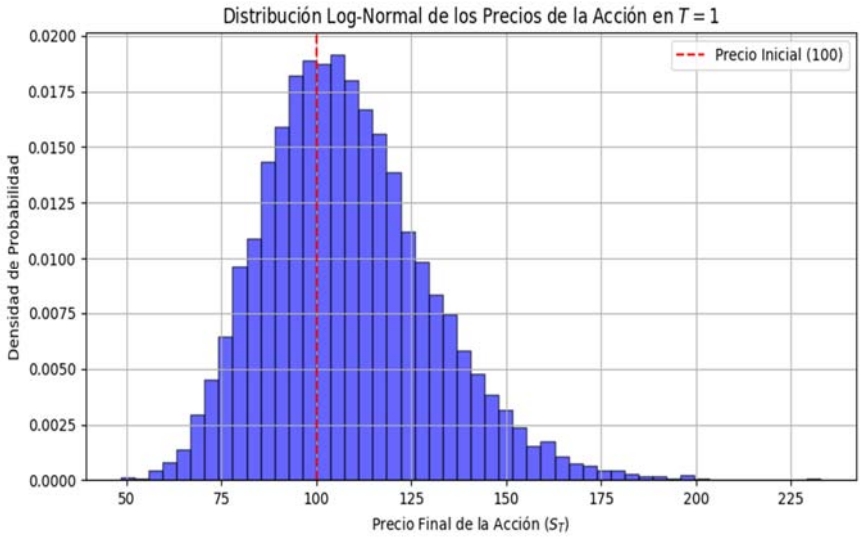
El geométrico browniano implica suponer un mundo normal con series de precios y rendimientos independientes, normales e idénticamente distribuidas (*iid*) y este es una de las principales limitaciones, ya que:

a. Asimetría y curtosis: distribuciones de probabilidad que escapan al concepto normal donde es menester incorporar momentos estocásticos de orden superior, para explicar cisnes negros (Milanesi, 2013; Milanesi, 2014; Milanesi *et al*., 2016).
b. Volatilidad constante: El modelo supone que σ es fija a lo largo del tiempo, pero en los mercados reales la volatilidad cambia constantemente, originando diferentes medidas de volatilidad (Wilmott, 2009;[4] Milanesi, 2021; Milanesi, 2022).

[3] Si una acción vale $50 nueva información de mercado provoca una variación en $2.5, si su valor asciende a $100 la misma información provoca una variación proporcional en $5.

[4] Por ejemplo, histórica, implícita, de cobertura (*greek letters*), estocástica con modelos econométricos.

Ilustración 1: Simulación para 10.000 iteraciones

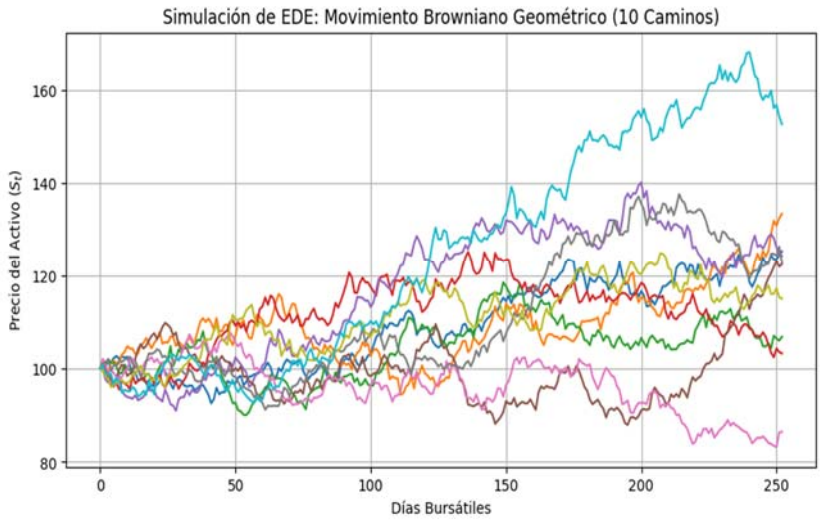


Fuente: realizado con Google Colab Python

c. Procesos estocásticos con saltos: Los precios reales a veces experimentan saltos, donde las discontinuidades no son capturadas por el modelo, en tales casos se corrige con modelos como procesos de Poisson incorporando tales comportamientos (Cunchala, 2024).

La simulación Montecarlo es un método numérico eficiente empleado para resolver EDE. En el caso de una acción con precio S = $ 100, horizonte t = 1, μ = 0,08 y σ = 0,2, n= 252 ruedas dt = t/n tamaño de los pasos 1/252, para 10 trayectorias se obtienen recorridos como los que se muestran en la ilustración 2.

Ilustración 2: Simulación para dt=1/252 10 trayectorias



Fuente: realizado con Google Colab Python

Cada trayectoria representa el comportamiento esperado del precio del activo mediante la estructura de la EDE (ecuaciones 2 y 3). La smulación de Montecarlo toma el promedio de los pagos finales para calcular el precio de una opción hoy. En cambio, EDP no emplea aleatoriedad en el planteo, resuelve con ecuación cerrada, con diferencias finitas o integración numérica la EDE. En el caso de la valoración de opciones resuelve de forma matemática el valor de la opción en cada punto del espacio tiempo, asegurando que no existan oportunidades de arbitraje.

2) Ecuaciones diferenciales parciales (EDP)

La conexión matemática para pasar de una EDE a la clásica EDP BSM implica utilizar el lema de Itô (Wilmott, 2009). Es la herramienta que nos permite transformar la EDE de una acción en la EDP de Black-Scholes. Si el precio de la acción se explica por una EDE (ecuación 1 y 2), y se quiere conocer como varia el valor de una opción $V(S,t)$ que depende del precio de la acción S, el lema de Itô establece que un cambio

$$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial t} + \mu S\frac{\partial V}{\partial S} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2\frac{\partial^2 V}{\partial S^2}\right)dt + \sigma S\frac{\partial V}{\partial S} + dW \qquad \textit{Ec 4}$$

La clave del modelo BSM es armar una cartera de cobertura $\Delta = \frac{\partial V}{\partial S}$ el término dW se elimina y la cartera de cobertura rinde la tasa libre de riesgo (r). La ecuación queda planteada como

$$\frac{\partial V}{\partial t} + rS\frac{\partial V}{\partial S} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2\frac{\partial^2 V}{\partial S^2} - rV = 0 \qquad \textit{Ec 5}$$

Para resolver una EDP, el proceso es recursivo, es menester establecer el valor del contrato en el último instante de tiempo (T). Para una opción de compra o venta europea, la condición final (o *payoff*) al vencimiento es:

$$V(S,T) = \max(S_t - X, 0) \text{ (compra)} \qquad \textit{Ec 6.1}$$

$$V(S,T) = \max(X - S_t, 0) \text{ (venta)} \qquad \textit{Ec 6.2}$$

Donde X es el precio de ejercicio y S_t es el valor del activo al vencimiento.

Seguidamente se deben redefinir las variables. La EDP de BSM es compleja porque tiene coeficientes variables. Estos son (S) y (S^2) que multiplican a las derivadas. Para simplificarla, se realiza un cambio de variables logarítmico para transformar el precio en una línea recta y el tiempo en tiempo remanente (τ) (letra griega tau que denota hacia atrás desde el vencimiento o recursivo):

a) Espacio: $x = \ln(S/X)$
b) Tiempo: $\tau = \frac{1}{2}\sigma^2(T - t)$
c) Función: $V(S,t) = Xu(x,\tau)e^{\alpha x + \beta t}$

La función se transforma en la ecuación de difusión de calor de la física clásica, $\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$. Esta ecuación tiene una solución analítica. conocida en física que utiliza la función de Green (una integral con una función gaussiana/normal que es la respuesta impulsional de un operador diferencial lineal no homogéneo definido en un dominio con condiciones iniciales o condiciones de contorno especificadas. Explica entre otros el proceso de difusión de calor.).

La solución general para un estado inicial es

$$u(x,\tau) = \frac{1}{\sqrt{4\pi\tau}} \int_{-\infty}^{\infty} u_0(y) e^{-\frac{(x-y)^2}{4\tau}} dy$$

Al deshacer el cambio de variables y regresar al mundo financiero (S) y (t) esta integral se convierte en una esperanza matemática bajo la distribución lognormal del precio del subyacente. La integral se divide naturalmente en dos partes, debido a la condición de pago al vencimiento, $\max(S_t - K, 0)$, dejando de lado escenarios donde no tiene valor la opción de compra. Al resolverse los límites de integración de la función gaussiana, la ecuación es EDP conocida como [5]

$$C = S_0 N(d_1) - X e^{-rt} N(d_2) \text{ (compra)} \qquad \textit{Ec 7.1}$$

$$P = X e^{-rt} N(-d_2) + S_0 N(-d_1) \text{ (venta)} \qquad \textit{Ec 7.2}$$

Donde $d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)t}{\sigma\sqrt{t}}$ y $d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t}$.

S_0 es el precio del activo subyacente, X es el precio de ejercicio, r tasa libre de riesgo, t tiempo al vencimiento, $N(.)$ distribución normal, d_1 y d_2 variables estándares. Estas, normalizadas, arrojan:

a. $N(d_1)$: mide la sensibilidad del precio de la opción ante cambios en el precio de la acción, conocida como ratio delta de cobertura. Si $N(d_1) = 0.60$ significa que si S sube \$1, C \$0.60. Representa cantidad de subyacente a comprar para armar una cartera de cobertura combinan acciones y lanzando opción de compra $(\Delta S - c)$.
b. $N(d_2)$ dado que supera el precio de ejercicio sea ejercida la opción.

$X e^{-rt} N(d_2)$ es valor actual del ejercicio por la probabilidad condicionada de ejercer el derecho y $S_0 N(d_1)$ valor condicional probable de la acción, condicionado a que $S > X$. La diferencia es el valor del derecho.

3) Resolución con el método de diferencias finitas (MDF). El paso al modelo binomial y su aplicación en opciones reales

El modelo binomial es el planteo en términos discretos por MDF del modelo BSM. Originalmente desarrollado por (Cox *et al*, 1979), presenta diferentes derivaciones en función al planteo de las variables de estado (van der Hoek & Elliott, 2006; Chance, 2007). En su versión binomial, la ecuación 7 presenta las siguientes transformaciones en tiempo discreto. El sistema de ecuaciones que deben satisfacerse para la media y varianza es

$$E\left(\ln\left(\frac{S_t}{S_0}\right)\right) = p\ln(u) + (1-p)\ln\ln(d) = u.\Delta t = e^{r\Delta t} \qquad \textit{Ec 8}$$

$$Var\left(\ln\left(\frac{S_t}{S_0}\right)\right) = p(1-p)\left[\ln\frac{u}{d}\right]^2 = \sigma^2.\Delta t = e^{(2r+\sigma^2)\Delta t} \qquad \textit{Ec 9}$$

[5] La expresión para la opción de venta equivalente surge de la ecuación de paridad C-P=S_0-Xe-rt operando, se tiene $P = C - S_0 + Xe^{-rt}$, remplazando $C = S_0 N(d_1) - Xe^{-rt} N(d_2)$ se tiene $P = S_0 N(d_1) - Xe^{-rt} N(d_2) - S_0 + Xe^{-rt}$. Operando se llega a la ecuación 7.2.

$$p_u + p_u = 1; 0 < p < 1 \qquad \textit{Ec 10}$$

Donde Δt es igual a T/n, T es el tiempo hasta el horizonte final de proyección y n es el número de pasos.

La otra restricción en las rejillas es la condición de recombinación

$$u.d = d.u = m2 \qquad \textit{Ec 11}$$

Existen 3 ecuaciones y cuatro incógnitas $(p, u, d\ y\ q)$, siendo la cuarta ecuación impuesta de manera arbitraria; Wilmott, (2009). Es aquí donde la variedad y gama de posibles formulaciones de rejillas binomiales varía en función a como se defina la última ecuación.[6]

En el tradicional modelo CRR (Cox, Ross y Rubinstein, 1979) los parámetros para la resolución del sistema de ecuaciones anterior se definen de la siguiente manera [7]

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \qquad \textit{Ec 12}$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} \qquad \textit{Ec 13}$$

$$p = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d} \qquad \textit{Ec 14}$$

El proceso estocástico binomial implica suponer ascensos y descensos simétricos del activo subyacente

$$S_{(ij)(t)} = S_{(ij)(t-1)} \times u; S_{(i,j)(t)} \times d \qquad \textit{Ec 15}$$

Recursivamente y con la condición de limite, max $(S_t - X, 0)$, los posibles valores terminales quedan planteados como

$$\left(C_{(ij)t}\right) = \max\left(E(S_{(ij)t}) - X, 0\right) \text{ (compra)} \qquad \textit{Ec 16.1}$$

$$\left(P_{(ij)t}\right) = \max\left(X - E(S_{(ij)t}), 0\right) \text{ (venta)} \qquad \textit{Ec 16.2}$$

Donde $E(S_{(ij)t})$ es el valor proyectado por MDF binomial y $E\left(C_{(ij)t}\right)$ el valor esperado al vencimiento.

La resolución recursiva, por paso, se concreta con la siguiente expresión

$$C_{t-1} = \left[p \times E\left(C_{u(ij)t}\right);\ 1 - p \times \left(C_{d(ij)t}\right)\right] \times e^{-r} \text{ (compra)} \qquad \textit{Ec 17.1}$$

$$P_{t-1} = \left[p \times E\left(P_{u(ij)t}\right);\ 1 - p \times \left(P_{d(ij)t}\right)\right] \times e^{-r} \text{ (venta)} \qquad \textit{Ec 17.2}$$

Con cálculo combinatorio se realiza de la siguiente manera

$$C_0 = \left\{\sum_{t=h}^{t=T}\left[\frac{t!}{j!(t-j)!}p^j(1-p)^{t-j}\left(u^j; d^{t-j}C_{t,j}\right)\right] \times e^{-r}\right\} \text{ (compra)} \qquad \textit{Ec 18.1}$$

[6] Un desarrollo de todas las variantes del modelo binomial se puede encontrar en (Van der Hoek y Elliot, 2006) (Chance, 2007)

[7] Si $\Delta t > 22$ el modelo da probabilidades negativas porque: $p = er\Delta t\text{-}e\text{-}\sigma\sqrt{\Delta t}te\Delta t\text{-}e\text{-}\sigma\sqrt{\Delta t} > 1$. El modelo tiene la misma media que el proceso lognormal del subyacente, pero, independientemente del tamaño de Δt la varianza solamente coincide en el límite.

$$P_0 = \left\{\sum_{t=h}^{t=T}\left[\frac{t!}{j!(t-j)!}p^j(1-p)^{t-j}\left(u^j; d^{t-j}P_{t,j}\right)\right] \times e^{-r}\right\} \text{(venta)} \qquad \textit{Ec 18.2}$$

2.3 El MDF binomial para valorar flexibilidad estratégica

La valoración de activos reales requiere de modelos dinámicos para capturar el valor potencial de la flexibilidad estratégica del proyecto. La teoría de opciones reales se constituye en una respuesta a tal necesidad, con modelos de solución cerrada empleando ecuaciones diferenciales dinámicas estocásticas en tiempo continuo o discreto.

La valuación de la flexibilidad estratégica en proyectos de inversión, empresas en marcha y activos reales ha quedado reservada preferentemente para los modelos planteados en tiempo discreto. Los modelos seminales o iniciales son utilizados preferentemente en el planteo de modelos de decisión y en la mayoría de las aplicaciones de opciones reales (Trigeorgis, 1997; Luherman, 1998; Amram & Kulatilaka, 1998, Mun, 2004), reconociendo sus raíces en el clásico modelo binomial (Cox, Ross y Rubinstein, 1979).

Debido a su versatilidad, el MDF se adapta a distintas modalidades. Los clásicos trabajos para cada modalidad se pueden sintetizar de la siguiente manera:

a. Binomial, trinomial o multinomial con dos o más variables de estado: Rendleman & Bartter (1979), Jarrow & Rudd (1982), Boyle (1988), Rubinstein (1998), Jabbour *et al.* (2001), Chance (2007), Herath & Kumar (2006), Herath & Kumar (2007), Brandao & Dyer (2009), entre otros
b. Probabilidades objetivas, equivalentes ciertos y probabilidades implícitas: Rubinstein (1994), Derman *et al.* (1996), Arnold & Crack (2004), Arnold *et al.* (2004), entre otros.
c. Momentos estocásticos de orden superior y transformaciones sobre la distribución binomial: Rubinstein (1998), Haahtela (2010), Haahtela (2011), Haahtela (2011), (Haahtela (2011), Milanesi (2013), Milanesi (2014), entre otros.
d. Enfoques para la estimación de la volatilidad (*marketed asset disclaimer* (MAD) - riesgos de mercados y privados-volatilidades cambiantes): Smith & Nau (1995), (Copeland & Antikarov (2001), Copeland & Tufano (2004), Smit & Trigeorgis (2004), árboles Brandao *et al*. (2005), Smith (2005), Haahtela (2011), (Brandao et al. (2012), Pareja Vasseur *et al*. (2019), entre otros.

La toma de decisiones se reduce a comenzar, transferir o diferir la ejecución del proyecto. El valor actual determinístico se encuentra definido por el siguiente flujo de fondos

$$V = \frac{\sum_{t=1}^{n} E(FF)_t}{(1+k)^t} - I_t \qquad \textit{Ec 19}$$

Donde I_t representa la inversión en tierra y tareas de proyección. El flujo de fondos determinístico es la suma algebraica de ingresos y costos en por metro cuadrado neto de impuesto a las ganancias.[8] Las cifras se suponen en dólares constantes, con ausencia de inflación esperada (Milanesi, 2017).

[8] Para mayor simplicidad se supone un esquema de imposición a la renta clásico. Un mayor detalle se puede encontrar en Milanesi & Tennina (2024).

$$\mathrm{FF_t} = [(\mathrm{I_{mt^2}} \times \mathrm{mt^2}) - (\mathrm{C_{mt^2}} \times \mathrm{mt^2})] \times (1 - \mathrm{T}) \qquad \textit{Ec 20}$$

El modelo estocástico desarrollado con el método numérico de simulación presenta la siguiente expresión

$$\mathrm{E(FF_t)} = \{[(\mathrm{I^a_{mt^2}}; \mathrm{I^x_{mt^2}}; \mathrm{I^b_{mt^2}}) \times \mathrm{mt^2}] - [(\mathrm{C^a_{mt^2}}; \mathrm{C^x_{mt^2}}; \mathrm{C^b_{mt^2}}) \times \mathrm{mt^2}]\} \times (1 - \mathrm{T}) \qquad \textit{Ec 21}$$

Los ingresos y costos siguen una distribución triangular, con máximo (a), medio (x), bajo (b) valor. Esta distribución triangular no significa trabajar en un entorno de matemáticas borrosas para modelar la ambigüedad.[9]

En el caso de incorporar la flexibilidad estratégica el modelo numérico adoptado es el clásico binomial. La única variable de estado es el precio por metro cuadrado que sigue el siguiente comportamiento,

$$\mathrm{I^{t+1}_{mt^2(i,j)}} = \mathrm{I^t_{mt^2(i,J)}} \times \mathrm{u}; \mathrm{I^t_{mt^2(i,J)}} \times \mathrm{d} \qquad \textit{Ec 22}$$

En este caso el valor proyectado para el i, j nodo de la rejilla $I^{t+1}_{mt^2(i,j)}$ surge de un proceso binomial con ascenso (u) y descenso (d) a partir del precio del periodo precedente $I^t_{mt^2(i,j)}$.
Los costos tienen un comportamiento determinístico, donde se supone constante el comportamiento de los materiales y variables ajustado por índice el de la mano de obra,

$$\mathrm{C^{t+1}_{mt^2}} = [\underline{\mathrm{CM}}^{\mathrm{t}}_{\mathrm{mt^2}} + \mathrm{CMO^t_{mt^2}} \times \mathrm{e(c)}] \qquad \textit{Ec 23}$$

La alternativa construir implica un flujo de fondos la suma de los flujos de fondos estocásticos y los anticipos de preventa $\underline{AP}^t_{mt^2}$, los cuales son capitalizados para los diferentes pasos a la tasa libre de riesgo (e^{rt}). El flujo de fondos binomial queda planteado como,

$$\mathrm{CFF_{t+1(i,j)}} = \left[\left(\mathrm{I^{t+1}_{mt^2(i,j)}} \times \mathrm{mt^2}\right) - \left(\mathrm{C^{t+1}_{mt^2}} \times \mathrm{mt^2}\right)\right] + \left(\underline{\mathrm{AP}}^{\mathrm{t}}_{\mathrm{mt^2}} \times \mathrm{e^{rt}}\right) \qquad \textit{Ec 24}$$

En aras de simplificar, el modelo adopta el supuesto de correlación y escala perfecta entre el precio del metro cuadrado del desarrollo y el valor de venta del lote y proyecto $(PV_{t+1(i,j)})$ por metros cuadrados terreno Tmt^2 Consecuentemente el proceso estocástico se explica mediante la siguiente expresión,

$$\mathrm{PV_{t+1(i,j)}} = \left(\mathrm{I^{t+1}_{mt^2(i,j)}} \times \mathrm{Tmt^2}\right) \qquad \textit{Ec 25}$$

El valor en cada nodo de la decisión de diferir un periodo $(DFF_{t(i,j)})$, surge del valor actual esperado de los flujos de fondos de los nodos posteriores de construir $(CFF_{t+1(i,j)})$, calculados recursivamente con probabilidades neutrales al riesgo. La expresión empleada es la siguiente,

$$\mathrm{DFF_{t(i,j)}} = \left[\mathrm{CFF_{t+1(i,j)}} \times \mathrm{p} + \mathrm{CFF_{t+1(i,j)}} \times (1 - \mathrm{p})\right] \times \mathrm{e^{-rt}} \qquad \textit{Ec 26}$$

La decisión de iniciar la construcción, vender el lote con proyecto o diferir la ejecución un periodo se asemeja a una opción financiera americana. En este caso es la combinación entre dos opciones de compra: (1) iniciar la construcción; (2) diferir y una opción de venta: (3) venta del lote con proyecto. Analíticamente, para cada nodo se tiene,

[9] El enfoque *fuzzy* o borroso implica abandonar los postulados de la teoría de la probabilidad, y trabajar en un entorno de ambigüedad. Para mayor detalle en el campo de opciones ver Milanesi (2018).

$$Vt_{(i,j)} = Max\left(CFF_{t+1(i,j)}\,;\, DFF_{t(i,j)};\, PV_{t+1(i,j)}\right) \qquad Ec\ 27$$

El modelo plantea un proceso recursivo del tipo americano, en el sentido que el ejercicio de la flexibilidad estratégica se lleva a cabo todos los periodos.

2.4 Teoría de juegos aplicada a simples modelos

En esta sección expone de manera sucinta las variables operativas de la Teoría de Juegos: elementos, representación y forma de resolución.[10]

1) Elementos de un juego. Son los actores, las estrategias a seguir, el momento en que son realizadas las estrategias y los pagos o valores correspondientes a las estrategias (Aguado Franco, 2007). Los actores son los agentes representativos que toman decisiones, influenciadas por los pagos esperados y condicionados por eventos tecnológicos y de mercado conocidos como estados. El momento en que se realizan las estrategias es un punto del tiempo o nodo decisorio. Si la toma de decisión es concomitante el juego es de movimientos simultáneos. Cuando uno de los agentes toma la iniciativa el juego es del tipo secuencial. Las estrategias son el resultado de las "mejores" acciones seleccionadas por el agente, con información completa, simétrica, edificada en el conocimiento común de las acciones de los otros, o con información incompleta con conocimiento parcial y asimétrico. Los pagos representan los flujos asociados a cada estrategia, ya que el agente representativo (empresa) selecciona la alternativa que maximiza su valor. En nuestro caso esos pagos son cuantificados mediante modelos de opciones reales.

2) Representación de un juego. Los juegos se representan en forma extensiva (árboles de decisión) o matricial (matrices) de decisión (Aguado Franco, 2007). Las formas contienen los elementos indicados: agentes, acciones y estrategias, momento de decisión y flujos de fondos asociados a las estrategias.

3) Solución de un juego. La solución es un resultado obtenido a partir de una metodología donde se estima el conjunto de decisiones óptimas para una trayectoria. En principio, y de manera similar a la teoría financiera neoclásica, se supone conducta racional de los actores. Esta racionalidad correspondiente a cada actor es aceptada como un *conocimiento común*, esto significa que cada jugador está seguro del comportamiento racional de la otra parte, por ello decide en consecuencia. Siguiendo a Dixit & Nalebuff (1991), se resumen las siguientes reglas para llegar a un equilibrio en juegos dependiendo de la información y de movimientos simultáneos o secuenciales:

> *a) Resolución por estrategias dominantes:* Para juegos con movimientos simultáneos este tipo de resolución implica determinar la estrategia dominante o superior a otras posibles, sin considerar las posibles reacciones de su competidor. Una estrategia dominada es aquel conjunto de acciones que nunca va a ser mejor, en términos de flujos esperados,

[10] No pretende agotar el tema; para los lectores interesados se sugiere la vasta bibliografía, entre la que se puede citar enfoques como Aguado Franco (2007) y lecturas avanzadas como Guintis (2009).

que la estrategia dominante. La solución al juego se logra eliminando estrategias dominadas de manera sucesiva, o eliminación iterativa. Se comienzan eliminando estrategias dominadas para un jugador y luego lo mismo con la otra parte. Descartadas las dominadas emerge la dominante. Si no existe estrategia dominante para un jugador y sí para el competidor, la respuesta de la firma debe ser la mejor en relación a dicha estrategia dominante. Si no existe solución con estrategias estrictamente dominante puras la resolución se lleva a cabo con estrategias mixtas.[11]

b) Equilibrios de Nash.[12] Un equilibrio de Nash es una combinación de estrategias en la que la opción seleccionada por un jugador es óptima dada la opción seleccionada por el resto.[13] Si se encuentra un equilibrio de Nash, ningún jugador tendrá incentivos individuales para cambiar dicha estrategia. No necesariamente un equilibrio de Nash es de estrategia dominante, pero lo contrario es cierto y será el único equilibrio posible del juego. Los equilibrios de Nash se encuentran subrayando los pagos correspondientes a cada estrategia elegida por jugador en función a lo que pudiera elegir el otro, la que más elecciones reciba es el equilibrio. Cabe destacar que puede existir más de un equilibrio de Nash, se conocen como equilibrios fuertes y débiles, en función de las preferencias intuitivas de los participantes y de sus incentivos a cooperar o competir.[14] Puede ocurrir que no exista equilibrio de Nash con estrategias puras y el equilibrio surge con estrategias mixtas.

c) Equilibrios en juegos dinámicos o secuenciales: En los juegos dinámicos las decisiones no se toman de forma concomitante, si no de manera secuencial. La resolución en juegos dinámicos se logra hallando equilibrios de Nash perfectos en subjuegos.[15] Este tipo de juego se plantea de manera extensiva en el tiempo, donde los participantes anticipan los movimientos de su rival des construyendo las estrategias de manera recursiva. Pueden ser finitos, finalizando con un número de casos, donde se recorre todo el árbol de decisiones para su resolución. Primero se debe determinar la acción óptima del individuo que actuará al final. Quien decida en penúltimo lugar, supone que el precedente actuará de manera racional, así recursivamente. Siempre las decisiones son condicionadas por el último nodo. Cuando un jugador desconoce lo que ha hecho el otro precedentemente la resolu-

[11] Estrategia mixta entendida como una combinación lineal de varias estrategias, con probabilidad de ocurrencia asociada a cada camino alternativo.

[12] En honor a su creador y premio Nobel de Economía John Nash.

[13] El jugador forma su decisión a partir de la creencia acerca de la conducta del rival. Supone que esta frente a un agente representativo racional y todos los jugadores basarán sus elecciones en dicha creencia. En tal sentido las decisiones conducirán a un equilibrio de Nash.

[14] Un equilibrio fuerte puede no ser un óptimo Paretiano, pero sí una solución al juego, atendiendo a los incentivos. Nash (1953) define a los juegos cooperativos como aquellos donde los intereses de las partes no se encuentran totalmente opuestos, pero tampoco alineados en su totalidad. Se supone que los agentes racionales pueden discutir y acordar un plan de acción conjunto bajo alianzas que inducen al cumplimiento. No es cooperativo si las partes no pueden comunicarse o cumplir el acuerdo.

[15] A partir de cualquier punto de información de dominio público de lo acontecido hasta ese momento del tiempo, se define a un subjuego es la fracción del juego que resta jugar.

ción es idéntica a los juegos simultáneos trabajando con conjuntos de información (Guintis, 2009).[16] Si el juego se repite infinitamente, pueden obtenerse resultados cooperativos, en contraste con los juegos finitos (Axelrod, 1986).[17]

4) Valoración de estrategias. El primer paso consiste en valuar cada una de las estrategias propias y del competidor, suponiendo información perfecta, con el modelo de opciones reales multinomiales (ecuación 6). Son valoradas en el momento t+1, resolviendo la incertidumbre tecnológica para cada estado del mercado. Seguidamente se plantea el juego de manera extensiva, adjudicando a cada rama el valor obtenido en el primer paso. Para incorporarlas en la matriz, resta por calcular su valor esperado inicial (t=0), con la siguiente expresión,

$$\mathrm{V_{t=0}} = \frac{\mathrm{p_u} \times \mathrm{V_{i,(t+1)}} + \mathrm{p_d} \times \mathrm{V_{j,(t+1)}}}{1 + \mathrm{r}} \qquad \textit{Ec 28}$$

Donde $V_{ij,(t+1)}$ representa el valor de la estrategia que adoptan los actores del juego para cada estado de la demanda favorable p_u, desfavorable p_d. El valor $V_{t=0}$ es el valor esperado inicial a incorporar en la resolución matricial para la resolución del juego.

2.5 La determinación de penalidades a través de SROG

Para asegurar las acciones cooperativas en juegos finitos deben establecerse incentivos económicos mediante castigos, que sirven de protección a la buena fe de la contraparte (Milanesi y Thomé, 2015). En términos de equilibrio de Nash la penalización monetaria debe ser suficiente para generar incentivos a cumplir. Su valor es el máximo entre el perjuicio sufrido por el agente y el valor actual del beneficio obtenido por el infractor. Suponiendo que el acuerdo implique respetar la estrategia B y la alternativa es la estrategia A

$$\mathrm{MM_{inf}} = \mathrm{Max}\{[\mathrm{VE(A)_{inf(0)}} - \mathrm{VE(B)_{inf(0)}}]; [\mathrm{VE(B)_{perj(0)}} - \mathrm{VEI(A)_{perj(0)}}]\} \qquad \textit{Ec 29}$$

El primero es el beneficio potencial del infractor $[\mathrm{VE(A)_{inf(0)}} - \mathrm{VE(B)_{(0)}}]$ que surge como diferencia entre el valor esperado marginal de la estrategia A en lugar de la B. El segundo flujo está dado por el perjuicio ocasionado a la contraparte, la diferencia entre valor actual de la acción acordada B y el valor de la estrategia A sin tomar la iniciativa con los perjuicios que ello implica.

[16] El juego plantea conjuntos de información como un agrupamiento de nodos, en donde el jugador desconoce en cual se encuentra y debe decidir de manera simultánea.

[17] Por ejemplo en el dilema del prisionero, si se repite un número finito de veces, el equilibrio de Nash será único con la estrategia dominante de traición con pago inferior a la mutua cooperación. En la penúltima jugada ambos proyectan lo que ocurrirá en la última jugada (no cooperación-traición). La cooperación se logra con repeticiones infinitas. Conclusiones a las que arribaron Kreps (1982), Axelrod (1981), Guintis (2009). El hecho que hace posible la cooperación es la posibilidad de coincidencia o encontrarse en el futuro. El futuro puede proyectar una sombra sobre el presente e influir en la situación estratégica actual (Axelrod, 1986).

3. Análisis de caso

El método utilizado para testear el modelo se basa en el análisis de casos en Administración (Castro Monge, 2010). A tales efectos, se toma como unidad de análisis de desarrollo de un complejo de departamentos ubicado en la localidad de Olavarría.

a. *Desarrollo del proyecto:* consiste diez unidades y la superficie es de 652 m². La inversión en terreo asciende a US$ 80.000 [18] y los costos hundidos vinculados al planteo del proyecto (planos, renders, permisos y tareas iniciales de preventa) ascienden a US$ 20.000. Si se adopta la decisión de avanzar y desarrollar el proyecto, se proyecta una duración de 18 meses. Los flujos por venta de unidades se distribuyen temporalmente en dos pagos: 40 % del valor acordado al inicio del proyecto y el 60 % restante contra entrega llave en mano. Se asume que la demanda es cierta para las diez unidades si se decide ejecutar el proyecto. En aras de simplificar, la incertidumbre emerge de la evolución del precio de venta por metro cuadrado. Esta simplificación permite enfocar el análisis en el margen económico y en la decisión de construir, esperar o liquidar.

b. *Decisión de esperar y mantener el lote:* El costo anual de diferir implica abonar los tributos sobre la parcela. Se proyecta en moneda doméstica, a valor de en $ 500.000 anual, (US$ 344,83). El proyecto no se trata como una opción perpetua. La ventana de decisión se acota a dieciocho meses, revisados en tres momentos semestrales. La elección del horizonte no es arbitraria: coincide con la duración de la obra, de manera que en cada nodo la comparación entre construir y esperar se realiza sobre proyectos de idéntica extensión temporal. Acotar la ventana evita además sobredimensionar la flexibilidad, un riesgo frecuente cuando se modela una opción de espera sin vencimiento efectivo.

c. *Decisión de venta del lote:* Si al finalizar cada periodo semestral no se dio inicio al proyecto, el modelo reconoce un valor de recupero por la venta del terreno con el proyecto en carpeta. El valor base de esa salida es de US$ 65.000 y se supone perfectamente correlacionado con el precio de venta de las unidades: si el mercado inmobiliario mejora, el terreno también se revaloriza; si el mercado se deteriora, el recupero cae en la misma proporción. Esta correlación se implementa multiplicando el valor base de venta por el cociente entre el precio del nodo y el precio inicial, y se deja parametrizada de modo que pueda desactivarse para obtener un recupero fijo.

En la tabla 1 se exponen las principales variables del proyecto.

4. Resultados

En esta sección se explica la evaluación del proyecto aplicando los modelos desarrollados en la sección 2.

[18] El modelo está expresado en dólares. Esta elección busca mantener coherencia entre los ingresos, los costos de construcción y el valor del terreno. Se toma un tipo de cambio pesos US$ 1450 (Dólar Oficial BCRA 30/6/2026).

Tabla 1: Variables del proyecto

Corresponde al bloque de supuestos editables de la planilla de cálculo (celdas B5 a B34 de la hoja Cálculos generales).

Variable	*Valor*	*Unidad*
Ubicación	Olavarría, Barrio Pueblo Nuevo	—
Tipo de proyecto	Edificio común de departamentos	—
Unidades vendibles	10 departamentos	—
Superficie vendible	652	m²
Precio de venta base	1.400	USD/m²
Costo de construcción base	1.200	USD/m²
Terreno	80.000	USD
Proyecto, planos, renders y permisos	20.000	USD
Venta de terreno más proyecto (base)	65.000	USD
Anticipo de preventa	40	% de ventas
Impuesto a las ganancias	35	% sobre utilidad positiva
Duración de obra	18	meses
Horizonte de la opción	1,5	años
Paso de decisión	0,5	años
Cantidad de pasos	3	períodos
Costo de espera	500.000	ARS por año
Tipo de cambio	1.450	ARS/USD
Costo de espera semestral	172,41	USD/semestre
Volatilidad del precio por m²	8,00	% anual
Porcentaje de costo congelado	70	% del costo
Porcentaje de mano de obra	30	% del costo
Aumento semestral de mano de obra	3,0700	% por semestre
Venta de terreno correlacionada	Sí	1 = Sí / 0 = No

4.1 Descuento de flujo de fondos

En aras de simplificación se supone perfecta correlación relativa entre monedas, consecuentemente se mantienen valores al tipo de cambio spot, tomando una tasa de costo del capital de 10 % (Milanesi, 2017) La tasa de costo de capital se construye aplicando un modelo *build up* o apilamiento de primas: tasa libre de riesgo (r) T-Bills a tres años (1/7/2026) 4,19 % anual y

riesgo soberano bono CC+ 4,15 % puntos (Damodaran country risk premium)[19]. Se adiciona una prima menor por riesgo propio del desarrollo, iliquidez, escala del proyecto y riesgo comercial, fijada en 1,66 %. En la tabla 2 se presenta el apilamiento de primas para construir la tasa de costo de capital.

Tabla 2: Costo del capital

Elemento	*Valor*	*Uso en el modelo*
Treasury EE.UU. a 3 años	4,19 % anual	Tasa libre de riesgo del árbol binomial y del benchmark Black-Scholes
Riesgo país Argentina	4,15 % anual	Componente de la tasa de descuento del flujo económico
Prima por proyecto e iliquidez	1,66 % anual	Componente de la tasa de descuento del flujo económico
Tasa de descuento del flujo	10,00 % anual	Descuento de cobros, pagos de obra e impuesto dentro de cada nodo
Treasury más riesgo país	8,34 % anual	Tasa alternativa disponible para sensibilidad del árbol

Fuente: Basado en datos https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/

A partir de los datos expuestos en la tabla 1 se proyecta el flujo de fondos (ecuación 1). Con precio base de US$ 1.400 por metro cuadrado, las ventas totales ascienden a US$ 912.800. El costo de construcción base es de US$ 782.400, resultado de multiplicar 652 m² por USD 1.200 por metro cuadrado. El flujo de fondos después de impuestos asciende a US$ 30.400, de donde surge un impuesto de US$ 10.640. El resultado nominal acumulado del proyecto es de US$ 19.760 con valor actual neto de USD 18.806,51.

Análisis del resultado: Aunque el proyecto arroja un resultado positivo, el anticipo del 40 % no cubre la obra completa. La caja acumulada alcanza su punto más negativo en el mes doce, con un déficit de US$ 256.480, que constituye el capital propio máximo que el desarrollador debe tener disponible si logra sincronizar perfectamente cobros y pagos. Por el contrario, si se mide la exposición bruta, sin considerar el anticipo como fuente de financiamiento simultánea de cada certificado de obra, el requerimiento asciende a US$ 517.280, cifra que surge de sumar el costo inicial de la opción al exceso del costo de obra sobre el anticipo cobrado. La distancia entre ambas cifras no es un error: es la medida de cuánto depende el proyecto de que la preventa se cobre efectivamente en tiempo y forma.

[19] https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/

Tabla 3: Flujos de fondos determinísticos y acumulados. Proyección financiera

En la fila Caja acumulada, la última columna informa el mínimo de la serie, es decir el máximo déficit de caja del proyecto. La fila Flujo acumulado descontado acumula los valores presentes de la fila superior, de modo que su última celda coincide con el valor actual neto del proyecto, igual a US$ 18.807.

Concepto	*t = 0*	*t = 0,5*	*t = 1,0*	*t = 1,5*	*Total nominal*
Terreno	(80.000)	—	—	—	(80.000)
Proyecto, planos y renders	(20.000)	—	—	—	(20.000)
Anticipo 40 %	365.120	—	—	—	365.120
Pago de obra 1	—	(260.800)	—	—	(260.800)
Pago de obra 2	—	—	(260.800)	—	(260.800)
Pago de obra 3	—	—	—	(260.800)	(260.800)
Saldo 60 %	—	—	—	547.680	547.680
Impuesto a las ganancias	—	—	—	(10.640)	(10.640)
Flujo neto	*265.120*	*(260.800)*	*(260.800)*	*276.240*	*19.760*
Valor presente al 10 %	*265.120*	*(248.663)*	*(237.091)*	*239.440*	*18.807*
Caja acumulada	*265.120*	*4.320*	*(256.480)*	*19.760*	*(256.480)*
Flujo acumulado descontado	*265.120*	*16.457*	*(220.634)*	*18.807*	*18.807*

Tabla 4: Resumen de resultados

Concepto	*Valor (USD)*	*Celda del modelo*
Valor actual neto de construir hoy	18.806,51	B51
Capital propio máximo requerido (déficit de caja)	256.480,00	B52
Exposición bruta sin sincronizar cobros y pagos	517.280,00	B65
Costo inicial de la opción (terreno más proyecto)	100.000,00	B53
Resultado final nominal	19.760,00	B54

Fuente: con la hoja Cálculos generales de la planilla Ms Excel®.

4.2 Análisis mediante simulación

La incertidumbre se modela con distribución triangular porque resulta cercana a la práctica de proyectos. No se asignan probabilidades fijas a tres escenarios discretos. Se cargan un mínimo, un valor más probable y un máximo, y la distribución asigna mayor densidad alrededor del valor más probable y menor densidad en los extremos, en base a juicio de expertos.

La decisión metodológica más relevante en este punto es la elección en la variable a simular. El precio de venta por metro cuadrado se define como variable de supuesto, con distribución triangular de US$ 1.200, US$ 1.400 y US$ 1.800.[20] El costo de construcción por metro cuadrado, en cambio, no se trata como variable estocástica. Se proyecta mediante un sendero determinístico estimado sobre datos históricos, según se desarrolla en la sección siguiente. La demanda se mantiene fija en diez unidades y 652 m² vendibles. Se definen tres celdas de pronóstico:

a. La primera es el valor actual neto simulado, que replica exactamente la fórmula del flujo tradicional, pero utilizando el precio y el costo sorteados en cada prueba.
b. La segunda es el capital requerido, que mide la exposición financiera bajo cada escenario.
c. La tercera, y la más importante para el encadenamiento del modelo, es el logaritmo natural del cociente entre el precio simulado y el precio base, es decir el log-retorno del precio.

Es esta tercera celda, y no la dispersión del valor actual neto, la que provee el parámetro de volatilidad que consume el árbol binomial.

Tabla 5: Variables estocásticas Simulación

Ambas variables se cargan como celdas de supuesto con distribución triangular.

Variable	*Mínimo*	*Más probable*	*Máximo*	*Rol en el modelo*
Precio de venta por m²	USD 1.200	USD 1.400	USD 1.800	Variable de estado del árbol
Costo de construcción por m²	USD 1.000	USD 1.200	USD 1.600	Análisis de riesgo del flujo

La lectura del bloque de simulación debe hacerse en dos planos. En el plano del riesgo económico, la media del valor actual neto simulado se ubica por debajo del caso base y la mediana por encima, lo que revela una distribución con asimetría negativa: el proyecto tiene más escenarios buenos que malos en términos de frecuencia, pero los escenarios malos son más profundos. La certeza de obtener un resultado positivo, cercana al 62 %, indica que construir hoy es una apuesta con valor esperado positivo, pero con una zona de pérdida relevante que ningún indicador puntual comunica.

En el plano del encadenamiento del modelo, lo que importa es la última fila. El desvío estándar del log-retorno del precio se ubica en 8,44 % y en la planilla se adopta un valor redondeado de 8,00 % anual. Ese redondeo es conservador, porque una menor volatilidad reduce el valor de la opción y por lo tanto hace más exigente la conclusión de diferir. El parámetro así obtenido es el único dato que la simulación transfiere al árbol binomial.

[20] La simulación es realizada con programa Crstal Ball (Oracle)

Tabla 6: Resultados y salidas simulación

Indicador	*Valor*	*Celda de pronóstico*
Cantidad de pruebas	10.000	—
Valor actual neto del caso base	USD 18.806,51	B64
Media del valor actual neto simulado	USD 10.368,23	B64
Mediana del valor actual neto simulado	USD 21.081,47	B64
Desvío estándar del valor actual neto	USD 85.056,86	B64
Mínimo del valor actual neto	USD (300.748,54)	B64
Máximo del valor actual neto	USD 238.272,35	B64
Certeza de valor actual neto mayor a cero	61,63 %	B64
Desvío del log-retorno del precio	*8,44 %*	*B66*
Volatilidad adoptada para el árbol	*8,00 % anual*	*B23*

Fuente: En base a la corrida de Crystal Ball sobre la planilla. (Nota: Las dos últimas filas son las que se conectan con el árbol binomial).

4.3 Pendientes, evolución de variables y proyecciones

Tratar el costo de construcción como determinístico no significa suponerlo constante. Significa reemplazar un proceso aleatorio por una tendencia estimada sobre evidencia histórica. Para ello se construyó una planilla auxiliar con la serie mensual del Índice de la Cámara Argentina de la Construcción desde enero de 2020 hasta mayo de 2026, en seis variantes: el índice general, el capítulo mano de obra y el capítulo materiales, a US$ de equilibrio de mercado. La serie mensual completa, en pesos y en dólares, se reproduce en el Anexo II.[21] Sobre cada serie se calcularon los log-retornos mensuales. El promedio de esos log-retornos se capitalizó para obtener la pendiente (*drift*) semestral y anual mediante la expresión de crecimiento continuo, y el desvío estándar muestral anualizado. Los resultados muestran que todas las series exhiben *drift* positivo en dólares, con magnitudes que van desde 6,23 % hasta 14,21 % anual, y volatilidades elevadas, entre 21 % y 33% anual.

[21] La elección del punto de partida no es neutral. Si la serie se extiende demasiado hacia atrás aparece un período prolongado de estabilidad con leve caída del costo medido en dólares, que diluiría la tendencia reciente. Si se toma como origen el año 2020, en cambio, se observa un proceso de inflación en dólares que persiste a lo largo de todo el período. Se optó por este segundo criterio porque describe mejor el régimen de costos que enfrentará una obra iniciada en el horizonte de decisión analizado.

Tabla 7: Drift y volatilidad de las series de costo en dólares (enero 2020 – mayo 2026)

La fila resaltada corresponde a la serie efectivamente utilizada en el modelo. El *drift* semestral se obtiene como $\exp(\mu \cdot 6) - 1$ y el anual como $\exp(\mu \cdot 12) - 1$, donde μ es el promedio mensual del log-retorno. La serie que da origen a estos estadísticos se reproduce en el Anexo II.

Serie	*Promedio mensual del log-retorno*	*Drift semestral*	*Drift anual*	*Volatilidad anual*
CAC General, dólar oficial	0,7585 %	4,6560 %	9,5287 %	23,6406 %
CAC Mano de obra, dólar oficial	*0,5040 %*	*3,0700 %*	*6,2343 %*	*32,5461 %*
CAC Materiales, dólar oficial	0,8734 %	5,3802 %	11,0498 %	21,4869 %
CAC General, dólar libre	0,9927 %	6,1369 %	12,6504 %	28,2287 %
CAC Mano de obra, dólar libre	0,7917 %	4,8646 %	9,9658 %	30,5919 %
CAC Materiales, dólar libre	1,1076 %	6,8714 %	14,2149 %	28,3905 %

Fuente: Basado en la serie del Índice CAC

De las seis series, el modelo adopta el capítulo mano de obra medido al tipo de cambio oficial, cuyo *drift* semestral es de 3,0700 %. La elección se apoya en dos razones. La primera es de naturaleza contractual: en un desarrollo de esta escala, el componente de materiales suele asegurarse mediante compras anticipadas, acopio o contratos con precio en firme, mientras que la mano de obra se liquida mes a mes y sigue las paritarias del sector.

La segunda es de prudencia: la serie de mano de obra en dólares oficiales presenta el menor drift de las seis alternativas, de modo que su adopción produce la estimación más conservadora del crecimiento del costo y, en consecuencia, la valuación más exigente para la conclusión de esperar.

La estructura del costo se parametriza, entonces, en dos bloques. Un 70% del costo se considera congelado, ya sea porque corresponde a materiales acopiados o contratados, o porque se trata de rubros cuyo precio ya quedó fijado al momento de tomar la decisión. El 30% restante corresponde a mano de obra y crece a la tasa semestral estimada. La expresión que gobierna el costo por metro cuadrado en el momento T de la ventana de decisión combina ambos bloques: el costo base multiplicado por la suma del porcentaje congelado y el porcentaje variable capitalizado t períodos.

Análisis del resultado: El efecto acumulado es moderado pero no despreciable. A lo largo de los tres semestres de la ventana, el costo por metro cuadrado pasa de US$ 1.200 a US$ 1.234,18, un incremento de 2,85%, y el costo total de obra pasa de US$ 782.400 a US$ 804.688,29. Ese aumento de US$ 22.288 es exactamente el precio que el desarrollador paga, en términos de costo de construcción, por conservar la flexibilidad hasta el último momento de la ventana. Es el costo de oportunidad de la espera que el modelo hace visible y que un árbol construido sobre costos constantes ocultaría por completo.

Tabla 8: Proyecciones costos construcción

El costo del momento t se calcula como $1.200 \times [0{,}70 + 0{,}30 \times (1 + 3{,}0700\ \%)^t]$.

Concepto	*t = 0*	*t = 0,5*	*t = 1,0*	*t = 1,5*
Costo por m² (USD)	1.200,00	1.211,05	1.222,44	1.234,18
Costo total de obra (USD)	782.400,00	789.605,94	797.033,11	804.688,29
Incremento acumulado	—	0,92%	1,87%	2,85%

4.4 Valuación de los caminos estratégicos del proyecto. Una estrategia *straddle americana*

En la siguiente sección serán empleadas las ecuaciones 20 a 27 desarrolladas en el apartado 2. La flexibilidad estratégica se define como una opción de desarrollo. La empresa invierte hoy en el terreno y el proyecto, lo que le permite decidir más adelante si ejecuta la obra. El costo inicial de esta opción asciende a US$ 100.000, compuesto por US$ 80.000 de terreno y US$ 20.000 de proyecto, planos, renders y permisos. Ese desembolso no compra un edificio: compra el derecho a decidir durante dieciocho meses, con la particularidad de que el activo subyacente al derecho conserva un valor de reventa.

A diferencia de una formulación estándar en la que el subyacente es el valor presente del proyecto, aquí la variable de estado es el precio de venta por metro cuadrado. Esta elección tiene una consecuencia importante: Para este tipo de inversión, en cada nodo, el modelo no arrastra un valor abstracto, sino un precio de mercado observable, a partir del cual se recalculan íntegramente el ingreso por ventas y el valor de reventa del terreno. El árbol se vuelve así directamente interpretable por quien toma la decisión, que puede leer en cada nodo a qué precio del metro cuadrado corresponde cada recomendación. La siguiente tabla presenta los parámetros del modelo.

Tabla 9: Parámetros de la rejilla binomial

Corresponde a las celdas B70 a B75 de la planilla.

Parámetro	*Valor*	*Construcción*
Factor de suba (u)	1,058199	$\exp(\sigma \sqrt{\Delta t})$, con $\sigma = 8\%$ y $\Delta t = 0{,}5$
Factor de baja (d)	0,945002	$1 / u$
Probabilidad neutral al riesgo (p)	0,672889	$[\exp(r \cdot \Delta t) - d] / (u - d)$, con $r = 4{,}19\%$
Probabilidad complementaria (1 − p)	0,327111	$1 - p$
Tasa semestral del árbol	2,1171%	$\exp(r \cdot \Delta t) - 1$
Costo de espera por semestre	USD 172,41	ARS 500.000 / 1.450 / 2

Con estos parámetros se despliega la rejilla de precios. Partiendo de US$ 1.400 por metro cuadrado, el precio puede recorrer cuatro estados al cabo de tres semestres, desde US$ 1.181,48 en la trayectoria de tres bajas hasta US$ 1.658,94 en la de tres subas. La rejilla es recombinante, de modo que una suba seguida de una baja devuelve el precio al valor inicial.

Tabla 10 Rejilla de precios de venta por metro cuadrado (US$)

Trayectoria	*t = 0*	*t = 0,5*	*t = 1,0*	*t = 1,5*
0 subas	1.400,00	1.323,00	1.250,24	1.181,48
1 suba	—	1.481,48	1.400,00	1.323,00
2 subas	—	—	1.567,70	1.481,48
3 subas	—	—	—	1.658,94

Sobre cada nodo de esa rejilla se evalúan tres alternativas mutuamente excluyentes, siguiendo el criterio de revisión que estructura el modelo.

a. *Comenzar la obra (ecuación 24):* Su valor se calcula como el ingreso por anticipo cobrado en el momento de la decisión, más el saldo del 60% descontado dieciocho meses al 10% anual, menos los tres pagos semestrales de obra descontados a la misma tasa, menos el impuesto a las ganancias sobre la utilidad positiva también descontado. El costo de obra que se utiliza es el correspondiente al momento del nodo según el sendero determinístico, y el precio es el del nodo. Este valor es bruto: no descuenta el desembolso inicial de US$ 100.000, porque ese desembolso ya fue realizado al adquirir la opción. En el nodo inicial esta alternativa vale US$118.806,51, que es exactamente el valor actual neto de construir hoy más el costo de la opción, lo que confirma la consistencia entre el bloque tradicional y el bloque de opciones.

b. *Vender el terreno junto con el proyecto (ecuación 25):* Su valor es el precio base de venta de US$ 65.000 ajustado por el cociente entre el precio del nodo y el precio inicial. En el nodo más desfavorable del último semestre esta salida vale US$ 54.854,36 y en el más favorable US$ 77.022,14. La correlación con el precio de las unidades es la que da sentido económico a esta alternativa: el terreno no es un activo cuyo valor sea independiente del mercado inmobiliario en el que está inserto.

c. *Diferir la decisión un semestre (ecuación 26):* Su valor se obtiene como el valor esperado bajo probabilidad neutral al riesgo de los dos nodos sucesores, descontado un período a la tasa libre de riesgo, menos el costo de espera semestral de US$ 172,41. Esta alternativa no está disponible en el último momento de la ventana, donde la decisión se reduce a construir o vender.

En la tabla 11 se expone el valor de cada alternativa por nodo en el árbol.

Tabla 11: Valor de cada alternativa por nodo

Todos los valores son brutos, es decir anteriores a descontar el costo inicial de la opción de US$ 100.000.

Momento y trayectoria	*Precio m²*	*Comenzar obra*	*Vender terreno*	*Diferir un semestre*
t = 0	1.400,00	118.806,51	65.000,00	131.309,52
t = 0,5 · 0 subas	1.323,00	75.283,49	61.425,11	91.244,68
t = 0,5 · 1 suba	1.481,48	147.198,26	68.782,94	155.179,25
t = 1,0 · 0 subas	1.250,24	24.876,99	58.046,84	57.964,55
t = 1,0 · 1 suba	1.400,00	109.932,92	65.000,00	110.515,61
t = 1,0 · 2 subas	1.567,70	177.362,55	72.786,05	182.035,61
t = 1,5 · 0 subas	1.181,48	(23.336,32)	54.854,36	no disponible
t = 1,5 · 1 suba	1.323,00	61.561,89	61.425,11	no disponible
t = 1,5 · 2 subas	1.481,48	138.052,26	68.782,94	no disponible
t = 1,5 · 3 subas	1.658,94	209.406,23	77.022,14	no disponible

La resolución procede por inducción hacia atrás, asimilándose a un *straddle* con diferente precio de ejercicio del tipo americano. En el último semestre el valor de la opción en cada nodo es el máximo entre construir y vender. En los nodos anteriores es el máximo entre las tres alternativas, donde el valor de diferir ya incorpora los valores óptimos de los nodos sucesores. Este procedimiento es el que permite valorar una opción de tipo bermuda, ejercible en fechas discretas predeterminadas, y es la razón por la cual el árbol supera a la fórmula cerrada en este caso.

Análisis de resultados: En los dos primeros momentos de revisión conviene diferir en todas las trayectorias, porque el valor de conservar la decisión supera tanto al de ejecutar como al de liquidar. En el tercer momento la recomendación se bifurca según el precio: si el mercado cayó dos veces consecutivas, conviene vender el terreno; si se mantuvo o mejoró, conviene seguir esperando. En el vencimiento la decisión oscila entre: construcción salvo que el precio haya caído a US$ 1.181,48, donde ejecutar la obra destruiría valor por US$ 23.336,32 y la venta del terreno por US$ 54.854,36 se convierte en la única salida racional.

Merece atención el nodo de t = 1,0 con cero subas, donde vender supera a diferir por apenas USD 82,29. Es el punto de indiferencia práctica del modelo y explicita la advertencia contenida en el criterio de revisión: la venta del terreno pierde sistemáticamente contra la espera mientras quede tiempo disponible, salvo cuando el deterioro del precio es tal que los nodos sucesores ya no compensan el costo de sostener la posición. Este nodo es también el más sensible del árbol: una variación menor en el costo de espera, en la volatilidad o en el supuesto de correlación entre el terreno y el precio de las unidades puede invertir la recomendación.

Tabla 12: Valor de la decisión por nodo y valor de la opción

El margen mide la distancia entre la alternativa elegida y la mejor alternativa desplazada, es decir cuánto debería deteriorarse el resultado para que la recomendación cambie

Momento y trayectoria	*Opción bruta (USD)*	*Decisión*	*Alternativa desplazada*	*Margen (USD)*
t = 0	131.309,52	Diferir	Comenzar	12.503,01
t = 0,5 · 0 subas	91.244,68	Diferir	Comenzar	15.961,19
t = 0,5 · 1 suba	155.179,25	Diferir	Comenzar	7.980,99
t = 1,0 · 0 subas	58.046,84	Vender	Diferir	82,29
t = 1,0 · 1 suba	110.515,61	Diferir	Comenzar	582,69
t = 1,0 · 2 subas	182.035,61	Diferir	Comenzar	4.673,05
t = 1,5 · 0 subas	54.854,36	Vender	Comenzar	78.190,68
t = 1,5 · 1 suba	61.561,89	Comenzar	Vender	136,78
t = 1,5 · 2 subas	138.052,26	Comenzar	Vender	69.269,32
t = 1,5 · 3 subas	209.406,23	Comenzar	Vender	132.384,09

Tabla 13: Síntesis de decisiones

Concepto	*Valor (USD)*	*Celda*
Valor bruto de la opción hoy	131.309,52	B126
Costo inicial de la opción (terreno más proyecto)	100.000,00	B127
Valor neto de la opción hoy	*31.309,52*	*B128*
Valor actual neto de construir hoy	18.806,51	B129
Valor incremental de esperar	*12.503,01*	*B130*
Decisión óptima en el momento inicial	*Diferir*	*B131*

Construir hoy crea valor por USD 18.806,51, de modo que el proyecto es viable incluso bajo el criterio tradicional. Pero conservar el derecho a decidir vale USD 31.309,52, es decir USD 12.503,01 más. Ese diferencial es el precio de la flexibilidad: lo que el desarrollador gana por no quedar obligado a ejecutar en el momento inicial, neto del costo de mantener la posición y del encarecimiento previsible de la mano de obra. Conclusión: dadas las condiciones de partida y la información disponible al momento de decidir (t=0) conviene diferir a la espera de acotar incertidumbre relacionada con el precio de venta.

4.5 Algoritmo BSM para EDP con simulación Montecarlo

A modo de control y con finalidad expositiva se presenta un algoritmo de valuación correspondiente a la decisión de diferir, empleando el modelo BSM con simulación (Datar & Mathews, 2004; Datar *et al*, 2007). La planilla incorpora un bloque de valuación mediante la fórmula cerrada de Black-Scholes (ecuaciones 4 a 7). Para el EDP es menester simplificar supuestos y traducir el proyecto al lenguaje de una opción financiera.

En este caso, a diferencia de Datar & Mathews (2004), el valor del subyacente S, plantea a partir del valor actual de los pagos del proyecto: el anticipo del 40%, cobrado en el momento inicial, más el saldo del 60% descontado dieciocho meses al 10% anual, lo que arroja US$ 839.840,36. El precio de ejercicio X se define como el valor presente de los pagos necesarios para construir, es decir los tres certificados de obra descontados, más el impuesto a las ganancias descontado, lo que asciende a US$ 721.033,85. La diferencia entre S y X en valor presente, US$ 118.806,51, coincide con el valor de comenzar la obra hoy calculado en el árbol, lo que confirma que ambos bloques parten de la misma base económica.

Tabla 14: Algoritmo EDP BSM

Corresponde al bloque de las celdas B136 a B147 de la planilla.

Variable	*Valor*	*Definición*
S (subyacente)	USD 839.840,36	Valor presente de los cobros del proyecto
X (valor presente)	USD 721.033,85	Valor presente de los pagos de obra e impuesto
X equivalente al vencimiento	USD 767.805,22	X capitalizado a la tasa libre de riesgo
σ (volatilidad)	8,00% anual	Desvío del log-retorno del precio simulado
r (tasa libre de riesgo)	4,19% anual	Treasury EE.UU. a 3 años
T (horizonte)	1,5 años	Ventana de decisión
d_1	1,605699	$[\ln(S/X) + (r + \sigma^2/2)\cdot T] / (\sigma\cdot\sqrt{T})$
d_2	1,507720	$d_1 - \sigma\cdot\sqrt{T}$
$N(d_1)$	0,945830	Normal estándar acumulada
$N(d_2)$	0,934187	Normal estándar acumulada
Valor bruto de la opción	*USD 120.765,86*	*$S\cdot N(d_1) - X\cdot e\text{^}(-rT)\cdot N(d_2)$*
Valor neto de la opción	*USD 20.765,86*	*Valor bruto menos USD 100.000*

Análisis de resultado

La comparación entre ambos métodos es instructiva. El MDP arroja un valor neto de US$ 31.309,52 y el modelo EDP un valor de US$ 20.765,86. La diferencia de USD 10.543,66 se origina en que BSM valora una opción europea sobre un activo sin dividendos, ejercible únicamente al vencimiento y sin ninguna alternativa de salida intermedia. El MDP en cambio, reco-

noce tres elementos que la fórmula ignora. Reconoce el ejercicio anticipado, ya que la obra puede comenzarse en cualquiera de los momentos de revisión. Reconoce la alternativa de venta del terreno, que actúa como un piso de valor en las trayectorias desfavorables y que en dos nodos resulta la decisión óptima. Y reconoce el sendero creciente del costo de construcción, que la fórmula trata como un precio de ejercicio único y fijo.

> *Nota*: La planilla incluye además una celda que permite simular el valor terminal del subyacente bajo el proceso lognormal de BSM, utilizando una variable normal estándar como semilla. Su función es exploratoria: permite generar la distribución del pago de la opción europea y comparar su valor esperado descontado con el resultado de la fórmula cerrada, como control adicional de consistencia interna del bloque de contraste.

4.6 Teoría de juegos

El enfoque precedente valora la decisión como si el agente es propietario exclusivo de la opción. En la práctica, un desarrollo inmobiliario puede estar condicionado por otros jugadores. Si otro desarrollador entra con un producto parecido, puede afectar el precio, la velocidad de venta y la capacidad de captar compradores. Por eso, bajo la lógica de un juego de defección (Aguado Franco, 2007), se plantea un simple juego matricial como extensión del modelo.[22]

El juego se plantea como simultáneo y de un solo período. Cada jugador puede construir o esperar. Se usa un único período porque el objetivo no es desarrollar un juego dinámico completo, sino mostrar cómo la competencia altera el valor de la espera. Los pagos se anclan a los dos resultados centrales del modelo: el valor actual neto de construir hoy, de US$ 18.806,51, y el valor neto de la opción de esperar, de US$ 31.309,52. Sobre esas bases se aplican tres ajustes porcentuales que se presentan como hipótesis de trabajo y no como datos de mercado: una baja del resultado si ambos construyen y aparece sobreoferta, una ventaja si se construye en soledad y se captura demanda, y una pérdida del valor de la opción si se espera mientras el rival ejecuta.

Se consideran tres casos. El primero es un competidor igual, con producto comparable. El segundo es un competidor mejor posicionado, con mejor ubicación, marca o calidad, que produce una baja mayor si ambos construyen y una pérdida mucho más severa si se lo deja entrar solo. El tercero es un competidor peor posicionado, con menor capacidad de afectar el proyecto propio.

Tabla 15: Matriz de pago y estrategias

Los pagos se calculan sobre el valor actual neto de construir hoy (USD 18.806,51) y el valor neto de la opción (USD 31.309,52).

Caso	*Baja si ambos construyen*	*Ventaja si construyo solo*	*Pérdida si espero y el otro entra*	*Ambos construyen*	*Ambos esperan*
Competidor igual	10 %	5 %	15 %	16.925,86	31.309,52
Competidor mejor posicionado	20 %	2 %	40 %	15.045,21	31.309,52
Competidor peor posicionado	5 %	8 %	5 %	17.866,18	31.309,52

[22] Corresponde advertir que esta sección no forma parte de la planilla de cálculo validada: es una extensión conceptual construida sobre los resultados que aquella produce.

Análisis de resultado

Con estos supuestos, el equilibrio de Nash es diferir para ambos jugadores en los tres casos. Además, diferir constituye una estrategia dominante. La verificación es la siguiente: Si el rival construye, el jugador obtiene entre US$ 15.045,21 y US$ 17.866,18 construyendo, contra un valor de entre US$ 18.785,71 y US$ 29.744,04 esperando. Si el rival espera, obtiene entre USD 19.182,64 y USD 20.311,03 construyendo, contra US$ 31.309,52 esperando. En ambas ramas la espera domina.

Sin embargo, la conclusión es hoy considerablemente más frágil que bajo un horizonte de opción más extenso. Con la ventana acotada a dieciocho meses, el valor neto de la opción supera al valor actual neto de construir por un factor de 1,66, cuando en formulaciones con ventanas más amplias esa relación puede multiplicarse varias veces. Esa menor holgura hace que el equilibrio sea genuinamente contestable. En la tabla 16 se cuantifica el umbral: el nivel de pérdida competitiva a partir del cual esperar deja de dominar y el juego se desplaza hacia la construcción temprana.

Tabla 16: Análisis de estrategias

La pérdida crítica es el porcentaje de deterioro del valor de la opción que iguala el pago de esperar con el de construir cuando el rival construye.

Caso	*Pérdida supuesta*	*Pérdida crítica*	*Holgura*
Competidor igual	15%	45,94%	30,94 p.p.
Competidor mejor posicionado	*40%*	*51,95%*	*11,95 p.p.*
Competidor peor posicionado	5%	42,94%	37,94 p.p.

El caso del competidor mejor posicionado es el que merece atención. Con una pérdida supuesta del 40% y un umbral crítico del 51,95%, la holgura es de apenas 11,95 puntos porcentuales. Si el rival tuviera capacidad de absorber algo más de la mitad del valor de la opción, la recomendación se invertiría y el equilibrio se desplazaría hacia construir de inmediato.

Este resultado ilustra con precisión la advertencia de Smit y Trigeorgis (2004): una opción real solo conserva su valor mientras sea razonablemente exclusiva. Una opción compartida se parece más a un turno en una fila que a un derecho de propiedad, y en una fila esperar puede significar perder el lugar.

La conclusión no debe leerse como una regla general. Si el competidor mejor posicionado capturara más demanda, si el costo de mantener la posición aumentara, o si la vigencia de los permisos impusiera un vencimiento anticipado a la opción, el equilibrio podría desplazarse hacia la construcción temprana aun manteniendo el resto de los supuestos.

4.7 Discusión de resultados

El resultado del trabajo admite cuatro niveles de lectura, que corresponden a los cuatro bloques del modelo y que conviene no confundir entre sí.

El primer nivel es el valor actual neto tradicional. Con los supuestos base, construir hoy tiene valor positivo por US$ 18.806,51. Esto evita forzar una narrativa donde el criterio tradicional rechaza el proyecto y la opción lo rescata. En este caso el proyecto base crea valor, pero con margen ajustado −poco más del 2 % sobre las ventas totales− y con una necesidad de capital relevante que puede llegar a US$ 517.280 si la preventa no se cobra con la puntualidad supuesta.

El segundo nivel es la simulación. El valor actual neto esperado se mantiene positivo, pero su desvío estándar es alto en relación con la media y la certeza de resultado positivo apenas supera el 60 %. Esta lectura es más rica que un valor puntual: el desarrollador no enfrenta un número, sino un rango de resultados posibles con una cola izquierda que puede llegar a pérdidas de tres cientos mil dólares. Más importante aún, la simulación cumple en este modelo una función instrumental precisa: producir el parámetro de volatilidad del precio que el árbol consume.

El tercer nivel es la opción real, y es donde la arquitectura del modelo aporta su contribución más específica. La opción de esperar no niega el valor de construir: agrega el valor de no quedar obligado a hacerlo en el momento inicial. Pero el modelo aquí planteado va más allá de la dicotomía habitual entre construir y esperar. Al incorporar la venta del terreno como tercera alternativa disponible en todo momento, el MDF reconoce que la posición del desarrollador no es la de quien tiene un derecho que puede ejercer o dejar vencer, sino la de quien posee un activo con valor de mercado propio que puede liquidar. Esa diferencia es la que explica por qué en dos nodos del árbol la recomendación no es ni construir ni esperar, sino salir.

El tratamiento asimétrico del precio y del costo constituye la segunda contribución metodológica. Modelar el precio como estocástico y el costo como determinístico creciente no es una simplificación por conveniencia computacional: responde a la naturaleza distinta de ambas variables en un desarrollo inmobiliario. El precio de venta es genuinamente incierto porque depende de un mercado que el desarrollador no controla. El costo de construcción, en cambio, es en buena medida gestionable: se acopian materiales, se contratan rubros con precio en firme, se congelan certificados. Lo que no se puede congelar es la mano de obra, que sigue las paritarias, y es precisamente ese componente el que el modelo proyecta con *drift*. La evidencia de la serie sectorial en dólares respalda esta decisión: el costo no fluctúa alrededor de un valor central, sino que crece de manera persistente.

El cuarto nivel es la teoría de juegos, que introduce una advertencia sobre los tres anteriores. Esperar vale si la espera no destruye la oportunidad. En mercados inmobiliarios, otro desarrollador puede tomar posición, generar sobreoferta o capturar parte de la demanda. Con la ventana acotada a dieciocho meses y un diferencial de US$12.503,01 a favor de esperar, esa advertencia deja de ser retórica: el análisis de umbrales muestra que una pérdida competitiva superior a la mitad del valor de la opción invierte la recomendación.

La decisión metodológica de no usar BSM como método principal se sostiene por la naturaleza del caso, y el propio modelo la cuantifica. El activo no cotiza, el ejercicio no ocurre en una única fecha, el costo de construcción cambia a lo largo de la ventana, existe una alternativa de liquidación y la obra genera flujos intermedios. Los US$ 10.543,66 de diferencia entre el MDF y la EDP son la medida monetaria de todo eso.

5. Conclusiones

El presente estudio propone un modelo para valorar flexibilidad estratégica de un proyecto sobre desarrollo inmobiliario con opciones combinadas, tomando el formato de un straddle americano. El mismo se complementa con el aporte de la teoría de juegos, para modelar estrategias y conductas de potenciales competidores. En este apartado, el enfoque es simple, con juego de un periodo, sin repetición e información perfecta entre agentes. Concluye con un equilibrio de Nash donde la estrategia elegible es el diferimiento por un periodo contra el inicio del proyecto o venta del lote con sus derechos.

En tal sentido el trabajo aporta, por un lado, un enfoque descriptivo relacionado con la lógica de comportamiento de los modelos estocásticos. La flexibilidad estratégica se modela con EDE, las cuales pueden calcularse con EDP, aplicando BSM. Los métodos numéricos disponibles son Integración numérica, Simulación y Método de Diferencias Finitas (MDF). El trabajo, empleando el modelo binomial aplica MDF, complementado con Simulación, como suerte de recrear en un modelo matemático, el conjunto de decisiones a sortear: inicio, diferimiento, abandono, estas tres la esencia del *straddle*. El segundo, operativo y aplicado, consistió en ordenar una decisión aplicando un juego de modelos y técnicas provistas por la Teoría Financiera. El valor actual neto mide el valor de construir hoy. La simulación mide la incertidumbre del precio y provee el parámetro de volatilidad. El MDF mide la flexibilidad y produce una regla de decisión por nodo. El algoritmo EDP con simulación, replica BSM como variable de control. El comportamiento exógeno de la competencia, cuando no se es propietario de la flexibilidad estratégica es modelado por la Teoría de Juegos.

REFERENCIAS

Aguado Franco, J. C. (2007). *Teoría de la decisión y de los juegos.* Madrid: Delta Publicaciones.

Amram, M. & Kulatilaka, N. (1998). *Real options*. Harvard Business School Press

Armada, M., Kryzanowski, L. & Pereira, P. (2009). *Optimal investment decisions for two positioned firms competing in a duopoly market with hidden competitors*. European Financial Management, 17 (2): 305-330

Arnold, T. & Crack, T. (2004). *Using the WACC to value real options*. Financial Analysts Journal, 60: 78-82

Arnold, T., Crack, T. & Schwartz, A. (2004). *Implied binomial trees in Excel whitout VBA.* Journal of Financial Education, 32: 37-54

Axelrod, R. (1981). *The emergence of cooperation among egoists*. American Political Science Review, 75 (2): 306-318

Axelrod, R. (1986). *La evolución de la cooperación.* Alianza Editorial

Black, F. & Scholes, M. (1972). *The valuation of options contracts and a test of market efficiency*. Journal of Finance, 27 (2): 399-418

Black, F. & Scholes, M. (1973). *The pricing of options and corporate liabilities*. Journal of Political Economy, 81 (3): 637-659

Boyer, M., Laserrere, P. & Moreaux, M. (2012). *A dynamic duopoly investement game without commitment under uncertainty market expansion*. Interntational Journal of Industrial Organization, 30 (6): 663-681

Boyle, P. (1988). *A lattice framework for option pricing with two state variables*. Journal of Finance and Quantitative Analysis, 23: 1-12

Brandao, L. & Dyer; J. (2009). *Projetos de opcoes reis com incertezas correlacionadas*. Revista de Administracao e Contabilidade da Unisinos, 1: 19-26

Brandao, L., Dyer, J. & Hahn, W. (2005). *Using binomial decision trees to solve real options valuations problems*. Journal of Decision Analysis, 2 (2): 69-88

Brandao, L., Dyer, J. & Hahn, W. (2012). *Volatility estimation for stochastic project value models*. European Journal of Operational Research, 220 (3): 642-648

Brockman, P-Turtle, H. (2003). *A barrier option framework for corporate security valuation*. Journal of Financial Economics, 67 (3): 511-529

Castro Monge, E. (2010). *El estudio de casos como metodología de investigación y su importancia en la dirección y administración de empresas*. Revista Nacional de Administración, 2 (1): 31-54

Chance, D. (2007). *A synthesis of binomial option pricing models for lognormally distributed assets*. Working paper

Copeland, T. & Antikarov, V. (2001). *Real options.* Texere

Copeland, T. & Tufano, P. (2004). *A real world to manage real options*. Harvard Business School Review, 82: 90-99

Cox, J., Ross, S. & Rubinstein, M. (1979). *Option pricing: A simplified approach*. Journal of Financial Economics, 7 (3): 229-263

Cunchala, A. (2024). *A basic overview of various stochastic approachs to financial models with examples*. arXiv:2405.01397v1

Datar, V. & Mathews, S. (2004). *European real options: An intuitive algorithm for the Black-Scholes formula*. Journal of Applied Finance, 14: 7-13

Datar, V., Mathews, S. & Johnson, B. (2007). *A practical method for valuing real options: The Boeing approach*. Journal of Applied Corporate Finance, 19: 95-104

Derman, E. Kani, I. & Chriss, N. (1996). *Implied trinomial trees of the volatility smile*. Goldman-Sachs, Quantitative strategies research notes

Dixit, A. & Pindyck, R. (1994). *Investment under uncertainty*. Pricenton University Press

Dixit, A. & Nalebuff, B. (1991). *Thinking strategically: The competitive edge in business, politics and everyday life.* Norton Press

Fudenberg, D. & Tirole, J. (1986). *A theory of exit in doupoly*. Econometrica, 54 (4): 943-960

Ghemawat, P. & Nalebuff, B. (1985). *Exit*. Journal of Economics, 16 (2): 184-194

Graham.J. (2011). *Strategic real options under asymmetric information*. Journal of Economics and Dynamic Control, 35 (6): 922-934

Grenadier, S. (1996). *The strategic exercise of options: Development cascades and overbuilding in real state markets*. Journal of Finance, 51 (5): 1653-1679

Grenadier, S. (2002). *Option exercise games: An application to the equilibrium investement strategies of firms*. Review of Financial Studies, 15 (3): 691-721

Grenadier, S. (2005). *Options exercise games: The intersection of real options and game theory*. Journal of Applied Corporate Finance, 13 (2): 99-107

Guintis, H. (2009). *Game theory evolving*, 2nd ed. Princeton University Press

Haahtela, T. (2010). *Displaced diffusion binomial tree for real option valuation.* Working paper

Haahtela, T. (2010). *Recombining trinomial tree for real option valuation with changing volatility*. Working paper

Haahtela, T. (2011). *Displaced diffusion binomial tree for real option valuation*. 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

Haahtela, T. (2011). *Recombining trinomial tree for real option valuation with changing volatility*. Annual Real Options Conference

Herath, H. & Kumar P. (2007). *On a simple binomial approximations for two variable functions in finance applications*. Advances in Quantitative Analysis of Finance & Accounting, 5: 163-179

Herath, H. & Kumar, P. (2006). *Multinomial approximating models for options*. 1-37

Hsu, Y. & Lambrecht, B. (2007). *Preemptive patenting under uncertainty and asymmetric information*. Annals of Operations Research, 151 (1): 5-28

Jabbour, G., Kramin, M. & Young, S. (2001). *Two-state option pricing: Binomial models revisited*. Journal of Futures Markets, 21: 987-1001

Jarrow, R. & Rudd, A. (1982). *Aproximate option valuation for arbitrary stochastic processes*. Journal of Financial Economics, 10: 347-369

Kreps, D. (1982). *Rational cooperation in finitely repeated prisioners´ dilemmas*. Journal of Economics Theory, 27: 245-252

Kulatilaka, N. & Perotti, E. (1998). *Strategic growth options*. Management Science, 44 (8): 1021-1031

Lambrecht, B. (2001). *The impact of debt financing on entry and exit in duopoly*. Review of Financial Studies, 14 (3): 765-804

Luherman, T. (1998). *Investment science*. Oxford University Press

Mason, S. & Merton, R. (1985). *The role of contingent claims analysis in corporate finance*. En *Recent advances in corporate finance.* Homewood Irwin

Merton, R. (1973). *The theory of rational option pricing*. Bell Journal of Economics and Management Science, 4 (1): 141-183

Milanesi, G. (2013). Asimetría y curtosis en el modelo binomial para valora opciones reales: Caso de aplicación para empresas de base tecnológica. Estudios Gerenciales Journal of Management and Economics for Iberoamerica, 29 (128): 368-378

Milanesi, G. (2014). *Higher order stochastic moments and the estimation of implied volatility: Application of Edgeworth expansion over the Black-Scholes' model*. Estudios Gerenciales, 30 (133): 336-342

Milanesi, G. (2017). *Valuación de empresas: Enfoque integral para mercados emergentes e inflacionarios*. Estudios Gerenciales, 33 (145): 377-390

Milanesi, G. (2018). *Un modelo de opciones reales fuzzy y funciones isoelásticas de utilidad para valorar I&D en mercados incompletos*. Estocástica: Administración y Riesgo, 8 (2): 205-232

Milanesi, G. (2019). *Predicciones de fracasos financieros con opciones reales barrera: un estudio para el mercado argentino*. Estudios de Administración, 26 (2): 53-81

Milanesi, G. (2021). *Modelo de valoración con opciones reales, rejillas trinomial, volatilidad cambiante, sesgo y función isoelástica de utilidad*. Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa, 32: 257-273

Milanesi, G. (2022). *Opciones reales secuenciales cuadrinomiales y volatilidad cambiante: Incertidumbres tecnológicas y de mercado en desarrollos de inversiones biotecnológicas*. Revista Méxicana de Economía y Finanzas (REMEF), 17 (1): 24-49

Milanesi, G. (2023). *Valoración de estrategias competitivas, acuerdos colaborativos y penalizaciones con opciones reales multinomiales y teoría de juegos*. Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa, 36, 360-388

Milanesi, G. (2025). *Opciones reales y teoría de juegos para la valuación de acuerdos estratégicos*. Revista Mexicana de Economía y Finanzas (REMEF), 20 (2): 1-27

Milanesi, G. y Pesce G. (2022). *Decisiones y estrategias financieras: Problemas de riesgo, inversión y valoración.* Thomson Reuters

Milanesi, G., Pesce, G. y El Alabi, E. (2016). *Firm valuation and default probability through exotic (barrier) options*. European Accounting and Management Review, 2 (2): 56-76

Milanesi, G. y Tennina, A. (2024). *Análisis de los ahorros fiscales mediante modelo de simulación continua, calculados según el descuento de flujos de fondos y en función del sistema tributario*. Revista Activos, 22 (2): 43-67

Milanesi, G. & Thomé, F. (2015). *Un modelo consolidado de opciones reales, teoría de juegos y análisis de costos de transacción para el diseño de acuerdos contractuales*. Revista de Economía Política de Buenos Aires, 14: 59-81

Mun, J. (2004). *Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investment and decisions*. Wiley.

Murto, P. (2004). *Exit in duopoly under uncertainty*. Journal of Economics, 35 (1): 111-127

Nash, J. (1953). *Two-person cooperative games*. Econometrica, 21 (1): 128-140

Pareja Vasseur, J., Prada Sánchez, M. y Moreno Escobar, M. (2019). *Volatilidad en opciones reales: Revisión literaria y un caso de aplicación al sector petrolero colombiano*. Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa, 27: 136-155

Pawlina, G. & Kort, P. (2006). *Real options in an asymmetric duopoly: Who benefits from your competitive disadvantage?* Journal of Economics and Management Strategy, 15 (1): 1-35

Paxson, D. & Pinto, H. (2003). *Rivalry under price and quantity uncertainty*. Review of Financial Economics, 14 (3-4): 209-224

Perez, S., Ferro Moreno, S. y Milanesi, G. (2022). *Análisis de estrategias en la ganadería bovina: Aplicación del marco de juegos en opciones reales*. Estudios de Administración, 29 (2): 127-143

Rendleman, R. & Bartter, B. (1979). *Two-state option pricing*. Journal of Finance, 34: 1092-1110

Ruback, R. (2002). *Capital cash flow: A simple approach to valuing risky cash flows*. Financial Management, 31 (2): 85-103

Rubinstein, M. (1994). *Implied binomial trees*. Journal of Finance, 49, 771-818.

Rubinstein, M. (1998). *Edgeworth binomial trees*. Journal of Derivatives, 5: 20-27.

Smit, H. (1996). *The valuating of offshore concessions in the Netherlands*. Financial Management, 26: 5-17

Smit, H. (2003). *Infrastructure investment as a real options game: The case of European airport expansion*. Financial Management, 32 (4): 5-35

Smit, H. & Ankum, L. (1993). *A real options and game-theoretic approach to corporate investment strategy under competition*. Financial Management, 22 (3): 241-250

Smit, H. & Trigeorgis, L. (2004). *Strategic investment: Real options and games*. Princeton University Press.

Smith, J. (2005). *Alternative approach for solving real options problems*. Decision Analysis, 2: 89-102

Smith, J. & Nau, R. (1995). *Valuing risky projects: Option pricing theory and decision analysis*. Management Science, 41 (5): 795-816

Thijssen, J. (2010). *Preemption in a real option game with a first mover advantage and a player-specific uncertainty*. Journal of Economics Theory, 145 (6): 2448-2462

Trigeorgis, L. (1988). *A conceptual options framework for capital budgeting*. Advances in Futures and Options Research, 3: 145-167

Trigeorgis, L. (1993). *Real options and interactions with financial flexibility*. Financial Management (22), 202-224.

Trigeorgis, L. (1997). *Real options: Managerial flexibility and strategy in resource allocations*, 2nd ed. MIT Press.

Van der Hoek, J. & Elliott, R. (2006). *Binomial models in finance.* Springer

Wilmott, P. (2009). *Frequently asked questions in quantitative finance*, 2nd ed. Wiley

Anexo I

Encadenamiento y desarrollo metodológico del modelo en planilla de cálculo

Se describe el mecanismo de cálculo en el mismo orden en que los valores se encadenan dentro de la planilla. El objetivo es que el modelo pueda ser auditado y replicado sin necesidad de inspeccionar celda por celda, y que quede explícito qué alimenta a qué. La planilla se organiza en dos hojas y cinco bloques, y el flujo de información es estrictamente unidireccional entre ellos.

Bloque previo. Estimación del drift en la hoja auxiliar

El punto de partida no está en el bloque de supuestos sino en la hoja auxiliar de cálculo del drift. Allí se cargan las seis series mensuales del índice sectorial, expresadas en dólares, desde enero de 2020 hasta mayo de 2026, cuyo detalle se presenta en el Anexo II.

Sobre cada serie se calculan los log-retornos mensuales como el logaritmo natural del cociente entre el valor del mes y el del mes anterior. En el pie de la hoja se computan cuatro estadísticos por serie: el promedio mensual del log-retorno, el drift semestral como exponencial del promedio por seis menos uno, el drift anual con la misma lógica sobre doce meses, y el desvío estándar muestral anualizado.

De ese conjunto, un único valor viaja hacia el modelo: el drift semestral de la serie de mano de obra en dólares oficiales, igual a 3,0700 %. Ese valor se referencia directamente desde el bloque de supuestos, de modo que cualquier actualización de la serie histórica se propaga automáticamente por todo el modelo. Las restantes cinco series permanecen calculadas y visibles para permitir análisis de sensibilidad sobre la elección del capítulo y del tipo de cambio.

Bloque 1. Supuestos editables

El bloque de supuestos concentra todos los parámetros de entrada y es el único lugar donde se ingresan valores manualmente, con dos excepciones que se calculan internamente. La primera es la cantidad de pasos del árbol, que surge de dividir el horizonte de la opción por el paso de decisión, arrojando tres períodos. La segunda es el costo de espera semestral, que convierte el costo anual en pesos a dólares y lo divide por dos. A ellas se suma el porcentaje de mano de

obra, definido como complemento del porcentaje de costo congelado, y el aumento semestral de mano de obra, que es la referencia externa a la hoja auxiliar. Ningún otro bloque del modelo contiene valores ingresados a mano: todo lo demás se deriva de aquí.

Bloque 2. Flujo horizontal de construir hoy

El segundo bloque despliega el flujo tradicional en cuatro momentos semestrales. Cada línea toma sus valores del bloque de supuestos mediante referencias absolutas: el terreno y el proyecto en el momento cero, el anticipo como producto de superficie, precio y porcentaje de anticipo, los tres pagos de obra como un tercio del costo total, el saldo como el complemento del anticipo, y el impuesto como el 35% de la utilidad positiva. La utilidad imponible se calcula deduciendo del ingreso por ventas el costo de obra, el terreno y el proyecto, con la función de máximo que impide impuesto negativo.

A continuación se computan tres filas derivadas. El flujo neto suma cada columna. El valor presente descuenta cada flujo neto a la tasa del 10 % anual según su momento. La caja acumulada acumula los flujos nominales y su mínimo identifica el máximo déficit de caja. El bloque cierra con un resumen que extrae el valor actual neto, el capital propio máximo requerido, el costo inicial de la opción y el resultado nominal. De este bloque, dos valores serán reutilizados aguas abajo: el valor actual neto de construir hoy, que se compara con la opción, y el costo inicial de la opción, que se descuenta del valor bruto.

Bloque 3. Celdas de simulación

El tercer bloque replica el cálculo del valor actual neto pero sobre celdas de precio y costo que Crystal Ball reemplaza en cada prueba. Contiene dos celdas de supuesto —precio y costo por metro cuadrado, ambas triangulares— y tres celdas de pronóstico. La primera de estas es el valor actual neto simulado, cuya fórmula reproduce en una sola expresión la secuencia completa del flujo horizontal, verificándose que con los valores base devuelve exactamente el mismo resultado que el bloque anterior. La segunda es el capital requerido. La tercera es el log-retorno del precio, calculado como el logaritmo del cociente entre el precio simulado y el precio base.

El encadenamiento crítico del modelo ocurre aquí y conviene aislarlo con claridad. De las tres celdas de pronóstico, solo una alimenta el bloque siguiente, y no es la del valor actual neto. Es la del log-retorno del precio: su desvío estándar, obtenido de la corrida de simulación, se transcribe redondeado al bloque de supuestos como volatilidad del precio por metro cuadrado. Las otras dos celdas de pronóstico cumplen funciones de análisis de riesgo y de dimensionamiento financiero, pero no participan de la valuación de la opción.

Esta arquitectura resuelve un problema de consistencia que aparece cuando se deriva la volatilidad de la dispersión del valor actual neto. El valor actual neto es un resultado apalancado: incorpora la estructura de costos, el impuesto y el calendario de cobros, de modo que su dispersión relativa es mucho mayor que la de la variable que la origina. Si esa dispersión se usara como volatilidad de un árbol construido sobre el precio, se estaría atribuyendo al precio una variabilidad que en realidad pertenece al margen. Tomar el log-retorno del precio elimina esa distorsión: la volatilidad que gobierna la rejilla es la de la misma variable que la rejilla despliega.

Bloque 4. Árbol binomial

El cuarto bloque se construye en seis subtablas encadenadas, y el orden en que se resuelven es el que da sentido al mecanismo.

Primero se computan los parámetros de la rejilla. El factor de suba surge de la exponencial del producto entre la volatilidad y la raíz del paso temporal; el factor de baja es su recíproco, lo que garantiza recombinación. La probabilidad neutral al riesgo se obtiene con la tasa libre de riesgo capitalizada continuamente en el paso, y el costo de espera se referencia del bloque de supuestos.

Segundo, se despliega la rejilla de precios. Cada nodo es el precio inicial multiplicado por el factor de suba con potencia de la cantidad de subas y el de baja con potencia de la cantidad de bajas. Esta subtabla es la variable de estado y todas las subtablas posteriores la consumen.

Tercero, se calcula el sendero determinístico del costo, que depende únicamente del momento y no de la trayectoria de precios. Se computa el costo por metro cuadrado en cada uno de los cuatro momentos y luego el costo total multiplicando por la superficie vendible. Por construcción, en un mismo momento todos los nodos comparten el mismo costo, lo que refleja el supuesto de determinismo.

Cuarto, se calcula el valor de vender el terreno en cada nodo, como el valor base de venta multiplicado por el cociente entre el precio del nodo y el precio inicial cuando la correlación está activada, o como el valor base fijo cuando está desactivada. La fórmula incluye un condicional que devuelve celda vacía cuando el nodo no existe, lo que preserva la forma triangular de la rejilla.

Quinto, se calcula el valor de comenzar la obra en cada nodo. La fórmula reproduce la lógica del flujo tradicional pero con dos sustituciones: el precio es el del nodo y el costo es el del momento correspondiente del sendero determinístico. Se computa el anticipo cobrado sin descontar, el saldo descontado dieciocho meses, los tres certificados descontados a medio año, un año y año y medio, y el impuesto descontado al vencimiento. El resultado es un valor bruto expresado en moneda del momento del nodo.

Sexto, se resuelve la inducción hacia atrás en dos subtablas simultáneas. La subtabla de diferir calcula, para cada nodo con sucesores, el valor esperado neutral al riesgo de los dos nodos siguientes de la subtabla de opción bruta, descontado un período y neto del costo de espera. La subtabla de opción bruta toma el máximo entre comenzar, diferir y vender, con la particularidad de que en el último momento el máximo se calcula solo entre comenzar y vender. Ambas subtablas se referencian mutuamente en el sentido temporal correcto: diferir en el momento k consulta la opción bruta del momento k más uno, y la opción bruta del momento k consulta diferir del mismo momento k. La resolución es posible porque la última columna de la opción bruta no depende de diferir.

Una subtabla adicional replica la lógica del máximo pero devolviendo el nombre de la alternativa elegida en lugar de su valor, lo que produce el mapa de decisiones. El bloque cierra con un resumen que toma el valor de la opción bruta en el nodo inicial, le resta el costo inicial de la opción, compara el resultado con el valor actual neto del bloque tradicional y reporta la decisión óptima.

Corresponde señalar una particularidad del diseño que un lector atento advertirá. Dentro de cada nodo, el valor de comenzar la obra se calcula descontando los flujos del proyecto a la tasa del 10 % anual, mientras que la agregación entre nodos se realiza descontando a la tasa libre de

riesgo bajo probabilidad neutral. Esta combinación es deliberada y no constituye una inconsistencia: la tasa del 10 % valora el proyecto una vez tomada la decisión de ejecutarlo, cuando el riesgo del negocio ya fue asumido; la tasa libre de riesgo valora el derecho a tomar esa decisión, cuyo riesgo ya está capturado por la volatilidad incorporada en los factores de la rejilla. Cargar la prima de riesgo en ambos lugares equivaldría a descontar dos veces la misma incertidumbre.

Bloque 5. Benchmark de Black y Scholes

El quinto bloque construye el subyacente y el precio de ejercicio a partir de los mismos supuestos, aplica la fórmula cerrada y reporta el valor bruto y neto. No alimenta ningún otro bloque: es un punto de control terminal. Su única conexión aguas arriba es la volatilidad y la tasa libre de riesgo, que toma del bloque de supuestos, de modo que cualquier cambio de parámetro se refleja simultáneamente en el árbol y en el benchmark, permitiendo verificar que la brecha entre ambos se mantiene dentro de un rango razonable.

Anexo II

Series históricas índices y precios

Se reproduce la serie mensual del Índice de la Cámara Argentina de la Construcción utilizada para calibrar el sendero determinístico del costo de obra.

La Tabla A.1 presenta el índice en pesos argentinos, en sus tres aperturas (índice general, capítulo mano de obra y capítulo materiales), junto con los dos tipos de cambio empleados para su conversión. La Tabla A.2 presenta las seis series resultantes de esa conversión, expresadas en dólares.

La serie abarca ciento veintisiete observaciones mensuales, desde noviembre de 2015 hasta mayo de 2026. La ventana de estimación efectivamente utilizada en el trabajo comienza en enero de 2020, fila resaltada en ambas tablas: los tramos anteriores se incluyen para que el lector pueda verificar el argumento expuesto en la sección sobre el costo de construcción, según el cual extender la serie hacia atrás incorpora un régimen de relativa estabilidad del costo en dólares que diluye la tendencia del período reciente.

La inspección de la Tabla A.2 confirma el punto metodológico destacado oportunamente. Entre noviembre de 2015 y diciembre de 2019 el índice general en dólares oficiales se mueve en una banda estrecha y cierra el tramo por debajo de su valor inicial, al pasar de 9,45 a 8,14. A partir de enero de 2020, en cambio, se observa un ascenso sostenido que lo lleva de 8,57 a 15,24 en mayo de 2026, un incremento del 78% en dólares; el capítulo mano de obra recorre el mismo tramo de 8,27 a 12,63, con un alza del 53%. Esa diferencia de régimen es la que justifica acotar la estimación del drift al segundo tramo: promediar ambos períodos produciría una tendencia menor a la que razonablemente enfrentará una obra iniciada dentro de la ventana de decisión analizada, y por lo tanto subestimaría el costo de esperar.

A.1 Índice CAC en pesos argentinos y tipos de cambio (noviembre 2015 – mayo 2026)

El tipo de cambio oficial corresponde al promedio mensual del dólar mayorista y el tipo de cambio libre al promedio mensual del dólar informal. La fila resaltada señala el inicio de la ventana de estimación.

Mes	*CAC General (ARS)*	*CAC Mano de obra (ARS)*	*CAC Materiales (ARS)*	*TC oficial (ARS/USD)*	*TC libre (ARS/USD)*
nov-15	124,8	128,7	122,1	13,20	14,74
dic-15	131,2	129,6	132,3	13,30	14,32
ene-16	135,1	131,7	137,4	13,98	14,27
feb-16	138,8	134,4	141,8	15,90	15,61
mar-16	140,2	134,4	144,1	14,80	15,26
abr-16	151,6	158,7	146,8	14,50	14,66
may-16	153,1	159,0	149,1	14,20	14,51
jun-16	154,4	159,9	150,6	15,20	15,05
jul-16	156,4	161,2	153,2	15,20	15,47
ago-16	157,0	161,2	154,2	15,10	15,41
sep-16	158,2	161,2	156,2	15,50	15,71
oct-16	165,8	176,6	158,4	15,40	15,56
nov-16	167,4	176,6	161,1	16,10	16,15
dic-16	171,3	182,6	163,6	16,10	16,87
ene-17	178,3	193,6	167,8	16,10	16,64
feb-17	179,0	193,6	169,0	15,70	16,28
mar-17	180,0	193,6	170,7	15,60	15,98
abr-17	187,3	207,9	173,2	15,60	15,99
may-17	189,4	209,2	176,0	16,30	16,39
jun-17	191,2	209,2	179,0	16,80	16,84
jul-17	202,2	228,1	184,5	17,85	18,09
ago-17	204,5	228,1	188,4	17,50	18,23
sep-17	206,2	228,1	191,3	17,50	17,91
oct-17	208,0	228,1	194,2	17,85	18,10
nov-17	210,1	228,1	197,8	17,50	17,96
dic-17	212,7	228,1	202,2	18,90	19,28
ene-18	220,2	236,1	209,4	19,90	19,95
feb-18	224,3	239,3	214,1	20,35	20,35
mar-18	229,8	243,2	220,7	20,40	20,76
abr-18	239,6	257,1	227,7	20,80	21,00
may-18	248,5	257,1	242,7	25,40	25,97
jun-18	259,4	257,5	260,6	29,40	29,40
jul-18	264,4	258,5	268,4	27,90	28,45
ago-18	283,6	272,6	291,1	37,40	38,00
sep-18	305,1	284,2	319,4	42,10	41,30
oct-18	311,5	284,5	330,0	36,80	36,50
nov-18	323,7	301,7	338,7	38,60	38,00
dic-18	331,5	312,5	344,5	38,60	40,50
ene-19	339,3	318,2	353,6	38,20	37,50
feb-19	346,1	319,3	364,3	40,10	39,00
mar-19	361,0	330,1	382,0	44,30	43,65

Mes	CAC General (ARS)	CAC Mano de obra (ARS)	CAC Materia-les (ARS)	TC oficial (ARS/USD)	TC libre (ARS/USD)
abr-19	381,5	361,9	394,8	45,20	46,00
may-19	395,6	382,3	404,8	45,80	46,00
jun-19	400,9	382,4	413,5	43,50	43,80
jul-19	410,7	398,9	418,7	44,90	45,20
ago-19	453,4	412,9	480,9	61,00	63,00
sep-19	459,0	412,9	490,5	59,00	61,25
oct-19	486,4	444,2	515,1	63,50	69,00
nov-19	507,4	470,2	532,8	62,25	69,25
dic-19	513,1	470,2	542,4	63,00	78,50
ene-20	539,6	520,7	552,4	63,00	78,00
feb-20	560,2	553,7	564,6	64,00	78,50
mar-20	565,3	554,1	572,9	65,75	83,50
abr-20	573,0	556,0	584,6	68,75	118,00
may-20	588,1	560,5	606,9	70,50	125,00
jun-20	598,6	561,3	624,0	73,50	126,00
jul-20	615,2	561,6	651,8	76,25	136,00
ago-20	631,5	561,6	679,3	78,00	135,00
sep-20	655,8	565,2	717,6	80,00	146,00
oct-20	695,1	569,8	780,7	83,50	169,00
nov-20	763,4	661,4	833,0	86,50	155,00
dic-20	794,4	662,0	884,8	89,25	166,00
ene-21	824,9	662,0	936,1	92,25	155,00
feb-21	872,7	704,7	987,4	94,50	145,00
mar-21	896,7	704,9	1.027,5	97,50	141,00
abr-21	959,1	790,3	1.074,2	98,50	150,00
may-21	988,4	792,2	1.122,3	99,75	157,00
jun-21	1.011,3	792,3	1.160,8	100,75	168,00
jul-21	1.065,8	861,4	1.205,0	101,75	180,50
ago-21	1.089,8	861,4	1.245,7	102,75	182,00
sep-21	1.131,2	895,9	1.291,8	104,00	186,00
oct-21	1.180,2	943,6	1.341,5	105,00	198,00
nov-21	1.210,0	943,6	1.391,6	106,00	201,50
dic-21	1.234,3	944,9	1.431,9	107,75	208,50
ene-22	1.281,5	980,2	1.487,1	110,25	212,50
feb-22	1.344,5	1.049,4	1.545,8	112,50	210,50
mar-22	1.416,2	1.110,7	1.624,6	116,00	200,00
abr-22	1.467,2	1.111,5	1.709,9	120,25	199,00
may-22	1.563,9	1.215,2	1.801,7	125,25	206,00
jun-22	1.670,2	1.322,6	1.907,4	130,00	238,00
jul-22	1.784,0	1.322,6	2.098,7	137,25	298,00
ago-22	1.905,9	1.407,6	2.245,6	145,00	290,00
sep-22	2.051,9	1.541,9	2.399,4	153,25	288,00
oct-22	2.211,9	1.682,6	2.573,0	162,50	291,00
nov-22	2.369,7	1.815,7	2.747,7	174,25	314,00
dic-22	2.552,3	1.993,4	2.933,6	183,25	347,00
ene-23	2.713,1	2.125,6	3.113,8	194,00	382,00
feb-23	2.865,3	2.262,7	3.276,5	204,00	375,00

Mes	CAC General (ARS)	CAC Mano de obra (ARS)	CAC Materia-les (ARS)	TC oficial (ARS/USD)	TC libre (ARS/USD)
mar-23	2.998,7	2.290,2	3.482,1	215,50	393,00
abr-23	3.228,5	2.477,5	3.740,9	229,00	468,00
may-23	3.448,3	2.660,9	3.985,6	249,00	490,00
jun-23	3.662,2	2.752,8	4.282,6	268,00	493,00
jul-23	4.001,9	3.010,5	4.678,3	286,50	550,00
ago-23	4.789,7	3.441,1	5.707,8	365,50	730,00
sep-23	5.215,9	3.744,9	6.219,5	365,50	805,00
oct-23	5.790,0	4.046,5	6.979,6	365,50	920,00
nov-23	6.785,2	4.498,0	8.345,6	376,00	895,00
dic-23	9.049,8	5.009,0	11.806,7	828,25	1.015,00
ene-24	10.331,0	6.011,7	13.277,8	845,50	1.195,00
feb-24	11.228,3	6.851,6	14.214,4	861,00	1.030,00
mar-24	11.669,0	6.851,6	14.955,8	876,00	1.010,00
abr-24	12.216,2	7.803,5	15.226,8	896,00	1.040,00
may-24	12.747,4	8.657,9	15.537,5	914,00	1.230,00
jun-24	13.295,8	9.608,3	15.811,7	930,50	1.365,00
jul-24	13.574,8	9.608,3	16.281,0	951,50	1.360,00
ago-24	14.017,6	10.084,9	16.700,7	972,00	1.305,00
sep-24	14.366,9	10.483,3	17.016,6	990,00	1.235,00
oct-24	14.614,9	10.899,2	17.149,9	1.011,50	1.190,00
nov-24	15.043,0	11.624,1	17.375,7	1.031,00	1.120,00
dic-24	15.356,4	12.089,7	17.585,1	1.052,50	1.230,00
ene-25	15.592,5	12.319,2	17.825,2	1.073,50	1.220,00
feb-25	15.852,4	12.752,3	17.967,5	1.084,25	1.230,00
mar-25	15.995,4	12.877,8	18.122,5	1.093,50	1.325,00
abr-25	16.253,5	12.755,3	18.640,1	1.190,00	1.185,00
may-25	16.521,3	13.334,9	18.695,2	1.200,00	1.180,00
jun-25	16.643,4	13.443,5	18.826,5	1.215,00	1.215,00
jul-25	16.939,5	13.711,8	19.141,7	1.380,00	1.335,00
ago-25	17.187,6	13.812,6	19.490,0	1.360,00	1.320,00
sep-25	17.762,3	14.207,5	20.187,5	1.400,00	1.430,00
oct-25	18.172,8	14.408,8	20.740,8	1.422,00	1.455,00
nov-25	18.534,9	14.839,9	21.055,9	1.436,00	1.435,00
dic-25	18.776,5	15.026,2	21.335,3	1.431,00	1.530,00
ene-26	19.209,4	15.444,4	21.778,0	1.414,00	1.470,00
feb-26	19.453,0	15.708,2	22.007,9	1.376,00	1.425,00
mar-26	19.771,2	16.205,2	22.204,2	1.358,00	1.425,00
abr-26	20.493,2	17.009,6	22.870,0	1.363,00	1.415,00
may-26	21.035,6	17.423,2	23.500,2	1.380,00	1.430,00

Fuente: Basado en datos Cámara Argentina de la Construcción (2026). Índice base 2010 = 100.

A.2 Índice CAC convertido a dólares, por capítulo y por tipo de cambio (noviembre 2015 – mayo 2026)

Cada serie resulta del cociente entre el índice en pesos de la tabla A.1 y el tipo de cambio correspondiente del mismo mes. Sobre estas seis series se calcularon los log-retornos mensuales y los estadísticos de drift y volatilidad informados en la tabla 5. La columna de mano de obra al tipo de cambio oficial es la serie adoptada por el modelo.

Mes	*General (USD of.)*	*Mano de obra (USD of.)*	*Materiales (USD of.)*	*General (USD libre)*	*Mano de obra (USD libre)*	*Materiales (USD libre)*
nov-15	9,45	9,75	9,25	8,47	8,73	8,28
dic-15	9,86	9,74	9,95	9,16	9,05	9,24
ene-16	9,66	9,42	9,83	9,47	9,23	9,63
feb-16	8,73	8,45	8,92	8,89	8,61	9,08
mar-16	9,47	9,08	9,74	9,19	8,81	9,44
abr-16	10,46	10,94	10,12	10,34	10,83	10,01
may-16	10,78	11,20	10,50	10,55	10,96	10,28
jun-16	10,16	10,52	9,91	10,26	10,62	10,01
jul-16	10,29	10,61	10,08	10,11	10,42	9,90
ago-16	10,40	10,68	10,21	10,19	10,46	10,01
sep-16	10,21	10,40	10,08	10,07	10,26	9,94
oct-16	10,77	11,47	10,29	10,66	11,35	10,18
nov-16	10,40	10,97	10,01	10,37	10,93	9,98
dic-16	10,64	11,34	10,16	10,15	10,82	9,70
ene-17	11,07	12,02	10,42	10,72	11,63	10,08
feb-17	11,40	12,33	10,76	11,00	11,89	10,38
mar-17	11,54	12,41	10,94	11,26	12,12	10,68
abr-17	12,01	13,33	11,10	11,71	13,00	10,83
may-17	11,62	12,83	10,80	11,56	12,76	10,74
jun-17	11,38	12,45	10,65	11,35	12,42	10,63
jul-17	11,33	12,78	10,34	11,18	12,61	10,20
ago-17	11,69	13,03	10,77	11,22	12,51	10,33
sep-17	11,78	13,03	10,93	11,51	12,74	10,68
oct-17	11,65	12,78	10,88	11,49	12,60	10,73
nov-17	12,01	13,03	11,30	11,70	12,70	11,01
dic-17	11,25	12,07	10,70	11,03	11,83	10,49
ene-18	11,07	11,86	10,52	11,04	11,83	10,50
feb-18	11,02	11,76	10,52	11,02	11,76	10,52
mar-18	11,26	11,92	10,82	11,07	11,71	10,63
abr-18	11,52	12,36	10,95	11,41	12,24	10,84
may-18	9,78	10,12	9,56	9,57	9,90	9,35
jun-18	8,82	8,76	8,86	8,82	8,76	8,86
jul-18	9,48	9,27	9,62	9,29	9,09	9,43
ago-18	7,58	7,29	7,78	7,46	7,17	7,66
sep-18	7,25	6,75	7,59	7,39	6,88	7,73
oct-18	8,46	7,73	8,97	8,53	7,79	9,04
nov-18	8,39	7,82	8,77	8,52	7,94	8,91
dic-18	8,59	8,10	8,92	8,19	7,72	8,51
ene-19	8,88	8,33	9,26	9,05	8,49	9,43

Mes	General (USD of.)	Mano de obra (USD of.)	Materiales (USD of.)	General (USD libre)	Mano de obra (USD libre)	Materiales (USD libre)
feb-19	8,63	7,96	9,08	8,87	8,19	9,34
mar-19	8,15	7,45	8,62	8,27	7,56	8,75
abr-19	8,44	8,01	8,73	8,29	7,87	8,58
may-19	8,64	8,35	8,84	8,60	8,31	8,80
jun-19	9,22	8,79	9,51	9,15	8,73	9,44
jul-19	9,15	8,88	9,33	9,09	8,83	9,26
ago-19	7,43	6,77	7,88	7,20	6,55	7,63
sep-19	7,78	7,00	8,31	7,49	6,74	8,01
oct-19	7,66	7,00	8,11	7,05	6,44	7,47
nov-19	8,15	7,55	8,56	7,33	6,79	7,69
dic-19	8,14	7,46	8,61	6,54	5,99	6,91
ene-20	8,57	8,27	8,77	6,92	6,68	7,08
feb-20	8,75	8,65	8,82	7,14	7,05	7,19
mar-20	8,60	8,43	8,71	6,77	6,64	6,86
abr-20	8,33	8,09	8,50	4,86	4,71	4,95
may-20	8,34	7,95	8,61	4,70	4,48	4,86
jun-20	8,14	7,64	8,49	4,75	4,45	4,95
jul-20	8,07	7,37	8,55	4,52	4,13	4,79
ago-20	8,10	7,20	8,71	4,68	4,16	5,03
sep-20	8,20	7,07	8,97	4,49	3,87	4,92
oct-20	8,32	6,82	9,35	4,11	3,37	4,62
nov-20	8,83	7,65	9,63	4,93	4,27	5,37
dic-20	8,90	7,42	9,91	4,79	3,99	5,33
ene-21	8,94	7,18	10,15	5,32	4,27	6,04
feb-21	9,23	7,46	10,45	6,02	4,86	6,81
mar-21	9,20	7,23	10,54	6,36	5,00	7,29
abr-21	9,74	8,02	10,91	6,39	5,27	7,16
may-21	9,91	7,94	11,25	6,30	5,05	7,15
jun-21	10,04	7,86	11,52	6,02	4,72	6,91
jul-21	10,47	8,47	11,84	5,90	4,77	6,68
ago-21	10,61	8,38	12,12	5,99	4,73	6,84
sep-21	10,88	8,61	12,42	6,08	4,82	6,95
oct-21	11,24	8,99	12,78	5,96	4,77	6,78
nov-21	11,42	8,90	13,13	6,00	4,68	6,91
dic-21	11,46	8,77	13,29	5,92	4,53	6,87
ene-22	11,62	8,89	13,49	6,03	4,61	7,00
feb-22	11,95	9,33	13,74	6,39	4,99	7,34
mar-22	12,21	9,58	14,01	7,08	5,55	8,12
abr-22	12,20	9,24	14,22	7,37	5,59	8,59
may-22	12,49	9,70	14,38	7,59	5,90	8,75
jun-22	12,85	10,17	14,67	7,02	5,56	8,01
jul-22	13,00	9,64	15,29	5,99	4,44	7,04
ago-22	13,14	9,71	15,49	6,57	4,85	7,74
sep-22	13,39	10,06	15,66	7,12	5,35	8,33
oct-22	13,61	10,35	15,83	7,60	5,78	8,84
nov-22	13,60	10,42	15,77	7,55	5,78	8,75
dic-22	13,93	10,88	16,01	7,36	5,74	8,45

Mes	General (USD of.)	Mano de obra (USD of.)	Materiales (USD of.)	General (USD libre)	Mano de obra (USD libre)	Materiales (USD libre)
ene-23	13,99	10,96	16,05	7,10	5,56	8,15
feb-23	14,05	11,09	16,06	7,64	6,03	8,74
mar-23	13,92	10,63	16,16	7,63	5,83	8,86
abr-23	14,10	10,82	16,34	6,90	5,29	7,99
may-23	13,85	10,69	16,01	7,04	5,43	8,13
jun-23	13,66	10,27	15,98	7,43	5,58	8,69
jul-23	13,97	10,51	16,33	7,28	5,47	8,51
ago-23	13,10	9,41	15,62	6,56	4,71	7,82
sep-23	14,27	10,25	17,02	6,48	4,65	7,73
oct-23	15,84	11,07	19,10	6,29	4,40	7,59
nov-23	18,05	11,96	22,20	7,58	5,03	9,32
dic-23	10,93	6,05	14,25	8,92	4,93	11,63
ene-24	12,22	7,11	15,70	8,65	5,03	11,11
feb-24	13,04	7,96	16,51	10,90	6,65	13,80
mar-24	13,32	7,82	17,07	11,55	6,78	14,81
abr-24	13,63	8,71	16,99	11,75	7,50	14,64
may-24	13,95	9,47	17,00	10,36	7,04	12,63
jun-24	14,29	10,33	16,99	9,74	7,04	11,58
jul-24	14,27	10,10	17,11	9,98	7,06	11,97
ago-24	14,42	10,38	17,18	10,74	7,73	12,80
sep-24	14,51	10,59	17,19	11,63	8,49	13,78
oct-24	14,45	10,78	16,95	12,28	9,16	14,41
nov-24	14,59	11,27	16,85	13,43	10,38	15,51
dic-24	14,59	11,49	16,71	12,48	9,83	14,30
ene-25	14,52	11,48	16,60	12,78	10,10	14,61
feb-25	14,62	11,76	16,57	12,89	10,37	14,61
mar-25	14,63	11,78	16,57	12,07	9,72	13,68
abr-25	13,66	10,72	15,66	13,72	10,76	15,73
may-25	13,77	11,11	15,58	14,00	11,30	15,84
jun-25	13,70	11,06	15,50	13,70	11,06	15,50
jul-25	12,28	9,94	13,87	12,69	10,27	14,34
ago-25	12,64	10,16	14,33	13,02	10,46	14,77
sep-25	12,69	10,15	14,42	12,42	9,94	14,12
oct-25	12,78	10,13	14,59	12,49	9,90	14,25
nov-25	12,91	10,33	14,66	12,92	10,34	14,67
dic-25	13,12	10,50	14,91	12,27	9,82	13,94
ene-26	13,59	10,92	15,40	13,07	10,51	14,81
feb-26	14,14	11,42	15,99	13,65	11,02	15,44
mar-26	14,56	11,93	16,35	13,87	11,37	15,58
abr-26	15,04	12,48	16,78	14,48	12,02	16,16
may-26	15,24	12,63	17,03	14,71	12,18	16,43

Fuente: Basado en datos Cámara Argentina de la Construcción (2026)