

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ANÁLISIS DE OPCIONES REALES COMO
HERRAMIENTA PARA LA VALORIZACIÓN DE
PROYECTOS DE INVERSIÓN INMOBILIARIA EN
PERÚ**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Industrial**, que presenta el bachiller:

Erick Brown Martínez

Asesor: Christian Santos Cornejo Sanchez

Lima, 8 de junio de 2020

RESUMEN

Los proyectos de inversión son soluciones a la necesidad de generar valor que enfrentan las empresas, tanto públicas como privadas. Debido a que los recursos económicos disponibles son limitados, es de vital importancia realizar una evaluación de la rentabilidad del proyecto para justificar su emprendimiento. Los métodos tradicionales de evaluación económico-financiera de proyectos, tales como las reglas de decisión a partir del valor presente neto o la tasa interna de retorno de los flujos de caja proyectados, presentan la debilidad fundamental de no poder incorporar la flexibilidad de respuesta ante la incertidumbre futura que enfrenta el proyecto.

La metodología de opciones reales como herramienta para la valorización de proyectos de inversión surge con el propósito de superar estas carencias, y así reflejar el impacto económico de la gestión activa de proyectos. La flexibilidad en la gestión representa la capacidad del gestor de proyectos de tomar nuevas estrategias durante la vida del proyecto frente a cambios inesperados en el entorno económico, ya sean estrategias de carácter defensivo u ofensivo, que incrementan la rentabilidad del proyecto. Una opción real, entonces, se define como la posibilidad de ejercer una flexibilidad en la gestión.

Se buscará demostrar, a través de un ejemplo de aplicación, cómo el considerar las opciones reales presentes en un proyecto de inversión revela el valor adicional disponible. La aplicación se realizará en un proyecto de desarrollo inmobiliario de viviendas en Lima, Perú. Esta elección se debe a que es un proyecto complejo, con exposición a diversos riesgos y con inversión intensiva en capital. No obstante, la metodología de opciones reales puede emplearse en proyectos de cualquier rubro.

Por otro lado, la actividad constructora es de especial importancia para el desarrollo económico de un país, y en particular para el caso del Perú existe una desaceleración en el crecimiento del sector debido a la concentración de oferta en los niveles socioeconómicos A y B, mientras que existe demanda insatisfecha en los demás niveles. El utilizar la metodología de opciones reales revela el valor adicional que

generan las respuestas ofensivas y defensivas ante la incertidumbre, por lo que proyectos que inicialmente se desestimaban por ser poco atractivos en rentabilidad podrían emprenderse a la luz de este valor incremental. En tal sentido, esta metodología de análisis podría facilitar el aumento de desarrollo inmobiliario y por ende la oferta de viviendas dirigidas a los niveles socioeconómicos que hoy no son atendidos en su totalidad.

El presente estudio está dividido en cinco capítulos. En el capítulo 1 se presenta el marco teórico, revisando la literatura existente en el tema y definiendo los conceptos clave para el estudio. El capítulo 2 consiste en un estudio del sector construcción en el Perú, resaltando la importancia de la investigación. El capítulo 3 presenta el modelo matemático a ser empleado, incorporando las técnicas de pronóstico de series de tiempo y simulación requeridas para la valorización del proyecto de inversión bajo la metodología de opciones reales; la implementación fue a través del lenguaje de programación R. En el capítulo 4 se presenta el análisis y discusión de resultados, buscando demostrar que las opciones reales presentes en el proyecto generan valor económico adicional versus el proyecto sin considerar las opciones. Finalmente, el capítulo 5 consta de las conclusiones del estudio y de recomendaciones para futuras aplicaciones de la metodología.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. MARCO TEÓRICO	8
1.1. El método tradicional de la valorización de proyectos de inversión	8
1.1.1. Importancia de los proyectos de inversión y justificación de su evaluación.....	8
1.1.2. Metodología tradicional para la evaluación de proyectos	9
1.1.3. Evaluación del riesgo en la metodología tradicional.....	11
1.1.4. Las limitaciones del método tradicional	12
1.2. El análisis de opciones reales como herramienta para la valorización de proyectos.....	13
1.2.1. El valor de la flexibilidad en la gestión de proyectos.....	13
1.2.2. Definición de una opción real	14
1.2.3. Ventajas y desventajas de la metodología de opciones reales	15
1.3. El uso de opciones reales en proyectos de desarrollo inmobiliario	17
1.3.1. Definiciones y caracterización del mercado inmobiliario	18
1.3.2. El proceso de desarrollo inmobiliario	19
1.3.3. Uso de opciones reales en el mercado inmobiliario	20
1.4. Herramientas matemáticas.....	22
1.4.1. Valorización de opciones reales	23
1.4.2. Simulación de Monte Carlo	24
1.4.3. Pronóstico de series de tiempo.....	26
2. ESTUDIO DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN EN EL PERÚ	30
2.1. Estudio macroeconómico	30
2.1.1. Teoría del crecimiento y relevancia de la actividad constructora.....	30
2.1.2. Correlación entre los crecimientos del sector construcción y del pbi en el Perú.....	32
2.1.3. Contribución de la actividad constructora a algunos indicadores macroeconómicos	33
2.2. Estudio microeconómico	36
2.2.1. Situación actual del sector	36
2.2.2. Problemática social y gubernamental	38
2.2.3. Dinamismos de la actividad constructora	39
3. DESARROLLO DEL MODELO	41

3.1.	Flujo de caja base	41
3.2.	Descripción del proyecto	41
3.2.1.	Elementos del flujo de caja inmobiliario	42
3.3.	Recopilación de datos	43
3.3.1.	Datos de series de tiempo	44
3.3.2.	Tratamientos a los datos	47
3.4.	Opciones reales presentes en el proyecto.....	50
3.4.1.	Variaciones y flexibilidades en empresas inmobiliarias locales.....	50
3.4.2.	Especificación de las opciones reales	52
3.5.	Descripción del modelo	54
3.5.1.	Variables del modelo	54
3.5.2.	Lógica del modelo	58
4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
4.1.	Caracterización de las variables de entrada	61
4.1.1.	Estacionariedad y raíz unitaria.....	61
4.2.1.	Modelo de vectores autorregresivos	62
4.1.2.	Modelos de predicción.....	63
4.2.	Resultados de simulación y valorización	66
4.2.1.	Comparación de resultados.....	67
4.2.2.	Valorización de las opciones reales	70
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
5.1.	Conclusiones	72
5.2.	Recomendaciones	73
	BIBLIOGRAFÍA	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Líderes de la industria que aplican opciones reales	17
Tabla 2 Factores que impactan en el precio de las viviendas	18
Tabla 3 Etapas del proceso de bienes raíces	19
Tabla 4 Riesgos en el desarrollo inmobiliario	21
Tabla 5 Estudios pasados sobre opciones en el mercado de bienes raíces	22
Tabla 6 Costo total de una unidad de vivienda desagregada por componentes.....	40
Tabla 7 Relación entre la inflación y la variación anual de las variables.....	49
Tabla 8 Variables de entrada del modelo	54
Tabla 9 Variables intermedias y salidas del modelo.....	56
Tabla 10 Pruebas de estacionariedad y raíz unitaria	62
Tabla 11 Resultados del modelo VAR	63
Tabla 12 Modelo de regresión del índice de precios por metro cuadrado y del IPMC	64
Tabla 13 Modelo de regresión de la velocidad de ventas con log transformación	65
Tabla 14 Pruebas de significancia conjunta, homocedasticidad y autocorrelación	66
Tabla 15 Criterio de BIC para determinar la cantidad de rezagos óptimos a utilizar	66
Tabla 16 Valores promedio de las variables de salida	67
Tabla 17 Comparación de resultados financieros	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Producto Nacional Bruto (GNP) trimestral de Estados Unidos de América.....	29
Figura 2 Evolución del PBI Total y del Sector Construcción en el Perú	32
Figura 3 Incrementos del PBI Total y del Sector Construcción en el Perú	33
Figura 4 Recaudación del impuesto a la renta total y del sector construcción en el Perú	34
Figura 5 Contribución del sector construcción a la recaudación total del impuesto a la renta en el Perú	34
Figura 6 PEA ocupada total y del sector construcción	35
Figura 7 Contribución del sector construcción a la PEA ocupada total en el Perú	35
Figura 8 Viviendas vendidas en Lima Metropolitana y Callao.....	37
Figura 9 Oferta y demanda de viviendas	38
Figura 10 Nivel y variación porcentual trimestral del Índice de Precios por Metro Cuadrado	45
Figura 11 Nivel y variación porcentual trimestral de Precios de Materiales de Construcción	46
Figura 12 Nivel mensual de la Remuneración Mínima Vital	46
Figura 13 Velocidad de ventas en porcentaje y variación porcentual trimestral	47
Figura 14 Histograma de frecuencias simuladas de la cantidad de periodos en los que se utilizan las opciones reales.....	68
Figura 15 Histograma de frecuencias simuladas del VPN y la TIR para los escenarios sin opciones y con opciones.....	70

1. MARCO TEÓRICO

1.1. El método tradicional de la valorización de proyectos de inversión

El presente acápite desarrolla el concepto de un proyecto de inversión, su metodología tradicional de evaluación y las limitaciones. De este modo queda expuesta la necesidad de la existencia de metodologías alternativas.

1.1.1. Importancia de los proyectos de inversión y justificación de su evaluación

Un proyecto se define como la búsqueda de la solución inteligente a un problema o necesidad humana (Sapag & Sapag, 2008). Por otro lado, una inversión se define como el acto de incurrir un costo en el presente con la expectativa de obtener un beneficio en el futuro (Dixit & Pindyck, 1994). Entonces, un proyecto de inversión es un vehículo que busca resolver la necesidad de crecimiento de capital del inversionista. Esta caracterización responde a la idea de que el dinero tiene el potencial de generar más dinero, también conocida como el principio del valor del dinero en el tiempo (Blank & Tarquin, 2012).

Los proyectos de inversión son importantes para las empresas debido a que estas se encuentran en la búsqueda de la generación de valor. Para poder llevar a cabo sus actividades, las empresas necesitan diversos activos tangibles (maquinaria, instalaciones, etc.) e intangibles (especialización, patentes, etc.), cuya adquisición debe pagarse. Si la empresa tiene un desempeño favorable, estos activos generan ingresos de efectivos que pagan la inversión inicial con creces y dan la posibilidad de reinvertir en nuevos activos (Brealey, Myers & Allen, 2010). Por consiguiente, podemos entender a los proyectos de inversión como los mecanismos de la empresa para la creación y mantenimiento de valor (Sapag, 2007).

Debido a que el capital disponible en las empresas es un monto limitado, resulta esencial para estas determinar dónde, cuándo y cómo invertirlo con el objetivo de agregar valor (Blank & Tarquin, 2012). Para ello, se evalúa un proyecto mediante la identificación y cuantificación de los costos e ingresos asociados con el

emprendimiento del mismo (Kafka, 1998). La empresa inversionista debe preguntarse si participará o no en el proyecto dependiendo de si este brindará mayores beneficios que el capital requerido para su realización o no (Brealey, Myers & Allen, 2010).

Finalmente, la evaluación de proyectos es el uso de modelos que ayudan a comprender el comportamiento real de dicha inversión mediante simplificaciones, tomando en consideración que si bien los resultados obtenidos no son exactos, sí son útiles para la toma de decisiones (Sapag, 2007). Evaluar un proyecto agrega valor a la gestión debido a que dota de objetividad a las apreciaciones sobre la realidad del elaborador del proyecto y hace válidas las comparaciones con otras alternativas de inversión, por lo que crea un mayor consenso al evitar ambigüedades (Kafka, 1998).

1.1.2. Metodología tradicional para la evaluación de proyectos

Para evaluar la viabilidad económica de un proyecto se requiere ordenar y sistematizar la información financiera (Sapag & Sapag, 2008). Con este fin se construye un flujo de caja, el cual se define como la proyección, en tiempo de ocurrencia y cantidad, de los costos y beneficios vinculados a la implementación del proyecto. El momento de ocurrencia es importante para incorporar al análisis el efecto del costo de oportunidad de capital (COK), entendido como las ganancias que se dejan de percibir en otra alternativa de inversión debido a la inmovilización de los recursos empleados en el proyecto (Sapag, 2007). Existen diversas herramientas financieras para determinar si una alternativa de inversión es atractiva o no. La primera, y más usada, es el valor presente neto (VPN), o valor actual neto (VAN), que representa la diferencia entre ingresos y egresos (utilidad) expresada en unidades monetarias equivalentes del día presente¹ (Blank & Tarquin, 2012). La tasa de descuento que hace equivalentes en el tiempo a los montos de periodos diferentes es el COK ya que es el crecimiento de capital exigido por el inversionista y podría recibir en otra alternativa especulativa de

¹ De acuerdo con el concepto del valor del dinero en el tiempo, el dinero debe crecer con el transcurso del tiempo. Montos de dinero en distintos periodos de tiempo tendrán un mismo valor económico si se especifica la tasa de interés a la que deben crecer. Es así como se puede hallar el valor monetario equivalente del presente (Blank & Tarquin, 2012).

igual riesgo (Kafka, 1998). El VPN brinda un criterio de decisión simple: si es positivo se debe participar en el proyecto pues aportará valor por encima del rendimiento exigido (Sapag, 2007).

Una segunda herramienta es la tasa interna de retorno (TIR), que representa la tasa de interés con la cual la totalidad de beneficios y desembolsos son equivalentes (Sapag & Sapag, 2008). No obstante, este criterio tiene menos aceptación pues no se recomienda usarlo para comparar distintas alternativas de inversión excluyentes entre sí² (Sapag & Sapag, 2008). Otra de sus limitaciones ocurre en flujos de caja no convencionales, donde se obtienen múltiples TIRs³; en tal caso, se sugiere no usarla como herramienta de evaluación (Blank & Tarquin, 2012).

Finalmente, existen otros criterios de decisión utilizados para la toma de decisiones de inversión; sin embargo, estos métodos tampoco entregan información tan concreta como la del VPN (Sapag & Sapag, 2008). Los métodos más usados son los siguientes, que pueden o no ser ajustados para incorporar el valor del dinero en el tiempo en caso se comparan los montos en unidades equivalentes de un mismo periodo de tiempo:

- **Periodo de retorno de la inversión:** se escoge el proyecto en el cual la inversión inicial se recupere más pronto.
- **Ratio beneficio/costo:** se escoge la inversión que provea mayores ingresos por cada unidad de costo incurrida.

² Determinar la TIR de un flujo de caja supone que la utilidad obtenida en cada periodo será reinvertida a una tasa igual a la TIR, ya que esta es la tasa de interés efectiva para todos los flujos. Sin embargo, esto contradice el supuesto de maximización racional de los agentes, quienes preferirían reinvertir la utilidad a la tasa de su siguiente alternativa más atractiva y de similar riesgo (COK) (Sapag & Sapag, 2008).

³ Flujo de caja no convencional: los flujos de caja periódicos cambian de signo más de una vez a lo largo de la vida del proyecto. La regla de signos de Descartes establece que el número total de raíces reales obtenibles a partir de una serie siempre es igual o menor a la cantidad de cambios de signos; por tanto, se podría obtener más de una TIR, y la teoría sugiere evitar la interpretación económica de estas (Blank & Tarquin, 2012).

- **Punto de equilibrio:** se escoge la inversión que requiera un menor volumen de ventas para equiparar los costos (Blank & Tarquin, 2012).

1.1.3. Evaluación del riesgo en la metodología tradicional

El riesgo en un proyecto se define como la variabilidad de los flujos de caja reales respecto de los estimados. Su presencia es una característica inherente a todo proyecto porque no es posible conocer con anticipación cómo serán los hechos futuros que impactarán sobre el flujo de caja y la toma de decisiones. La incertidumbre, entendida como el grado de falta de confianza sobre las estimaciones, está relacionada a distintos factores, tales como el precio de las materias primas, la demanda del bien generado, el nivel tecnológico de la producción, la escala de remuneraciones, las políticas del gobierno, entre otros. En síntesis, muchos riesgos están asociados a “cambios en el medio económico externo que anulan la experiencia adquirida en el pasado” (Sapag & Sapag, 2008, p.372).

Existen cuatro métodos principales para incorporar el riesgo en la valorización tradicional de proyectos. El primero consiste en la estimación de escenarios, ya sea mediante la definición cualitativa de escenarios optimistas, normales y pesimistas (Sapag, 2007), o mediante la simulación, que es el uso de herramientas computacionales para imitar el sistema según relaciones lógico-matemáticas (Law, 2013), quedando así descrito el espectro de variación del proyecto. El segundo consiste en la elaboración de un árbol de decisión que representa los distintos escenarios, sus probabilidades y beneficios, para luego tomarse el camino que maximiza el valor esperado. Este método es aplicable cuando es posible definir con claridad todas las alternativas económicas (Blank & Tarquin, 2012).

Un tercer método es el uso del análisis de sensibilidad, que consiste en la cuantificación del impacto en el valor del proyecto de la variación de los parámetros relevantes al flujo de caja (Blank & Tarquin, 2012). Finalmente, existe el método de la tasa de descuento ajustada por riesgo, donde el COK aumenta con el fin de incorporar no solo el valor del dinero en el tiempo, sino también una compensación o prima por riesgo. En principio, mientras mayor riesgo exista en el proyecto, el inversionista demandará

un mayor rendimiento para participar, de acuerdo con su perfil de aversión al riesgo (Trigeorgis, 1996).

1.1.4. Las limitaciones del método tradicional

Existe insatisfacción por parte de las corporaciones, los estrategas y algunos académicos frente a las técnicas tradicionales de presupuesto del capital debido a que hay una discrepancia entre la teoría financiera y las prácticas corporativas (Trigeorgis, 1996). Esta insatisfacción es generada en parte por la evaluación financiera del riesgo y en parte por el supuesto del compromiso a la estrategia inicial plasmada en el flujo de caja, relegando al gestor del proyecto a un rol pasivo. La metodología tradicional no ha logrado caracterizar la manera en que los administradores a cargo responden ante el riesgo debido a que dicha metodología termina subvalorando los proyectos ya que no contempla el valor que las respuestas estratégicas (Copeland & Antikarov, 2003).

Un primer problema de los métodos de evaluación de riesgo empleados en el esquema tradicional está en su limitación para describir la variabilidad real. El árbol de decisión requiere conocer todos los escenarios y sus probabilidades, la tasa de descuento ajustada por riesgo deviene muchas veces en criterios subjetivos⁴ (Barman & Nash, 2007) y el análisis de sensibilidad se realiza para evaluar cada factor por separado, quedando ignoradas las potenciales interacciones entre estos y su incremento en el impacto al proyecto (Trigeorgis, 1996). En ese sentido, la simulación, que consiste en la generación de todos los escenarios posibles, parece resolver estas limitaciones; no obstante, de no incorporarse reglas de decisión con base en los escenarios, esta herramienta no resuelve la limitación de ignorar la flexibilidad en la gestión, problema que se expondrá en el párrafo a continuación.

La metodología tradicional supone que todos los flujos definidos al valorizar el

⁴ De acuerdo con entrevistas conducidas en el año 2007 por Barman & Nash en Estados Unidos a profesionales de la industria del desarrollo inmobiliario, las tasas de retorno exigidas por los gestores de proyecto son fuentes de subjetividad. Los gestores ajustan sus metas de rentabilidad de acuerdo con los riesgos que perciben y están asociados al proyecto con base en su juicio y experiencia. Debido a la falta de ecuaciones matemáticas involucradas en esta decisión, uno de los entrevistados afirmó que la fijación de la tasa exigida es “más un arte que una ciencia” (Barman & Nash, 2007, p.12).

proyecto deben ocurrir de manera determinística, sin importar cómo cambien los escenarios. Esto no es una caracterización cercana a la realidad ya que, si un mercado se ve desfavorable, el gestor elegiría reducir la escala de operaciones o espera condiciones más favorables para realizar ciertas acciones presupuestadas en el flujo de caja inicial (Dixit & Pindyck, 1994). De manera análoga, la metodología tradicional también supone que la inversión debe realizarse en el instante presente o nunca realizarse, sin contemplar la posibilidad de hallar un punto futuro en el tiempo donde la ejecución sería óptima (Choi & Davison, 2011). Finalmente, se asume que la inversión es irreversible, sin contemplar la posibilidad de poder liquidar el proyecto antes de su terminación en caso la circunstancias se muestren adversas, ahorrándose pérdidas futuras (Sattarnusart, 2012).

1.2. El análisis de opciones reales como herramienta para la valorización de proyectos

El presente acápite presenta el concepto de opciones reales, cómo el análisis de opciones reales soluciona las limitaciones del método tradicional y las consideraciones a tener en el momento de su aplicación.

1.2.1. El valor de la flexibilidad en la gestión de proyectos

La administración de proyectos comprende tanto la planificación como la ejecución del trabajo (Gido & Clements, 2007). El beneficio de la implementación de técnicas de administración de proyectos es satisfacer mejor al cliente, ya sea interno o externo a la empresa. Los gestores de proyectos tienen un rol clave en el éxito ya que realizan controles, monitoreando el progreso para garantizar el cumplimiento del plan (Gido & Clements, 2007). Deben intervenir y actuar con anticipación y previsión con el fin de resolver los problemas antes de que se materialicen o empeoren (Gido & Clements, 2007).

Un proyecto está sujeto a incertidumbre; sin embargo, se puede obtener mayor información en el futuro que ayude a esclarecer la situación. Es así como se llega a la toma de decisiones que son distintas a las inicialmente previstas, alcanzándose

escenarios más beneficiosos (Dixit & Pindyck, 1994). Se define el concepto de flexibilidad de gestión como el grado en que el gestor de proyectos puede adoptar nuevas estrategias frente a cambios inesperados durante la vida del proyecto. La flexibilidad puede tener un carácter defensivo si busca limitar las pérdidas, u ofensivo si busca aprovechar las oportunidades; ambas flexibilidades generan valor adicional (Vollert, 2003).

Los autores Copeland y Antikarov (2003) discuten cuando es que el valor de la flexibilidad en la gestión resulta relevante en términos relativos al valor del resto del proyecto, definiendo tres condiciones:

1. Si el proyecto está sujeto a una alta incertidumbre, existe una alta probabilidad de recibir información útil en el futuro para mejorar la rentabilidad.
2. Si existe el suficiente espacio operativo para responder ante la incertidumbre y emplear la nueva información que se adquiere en el futuro.
3. Si el VPN del proyecto sin considerar las flexibilidades es cercano a cero. En caso este VPN sea alto, las flexibilidades tienen poca probabilidad de llevarse a cabo y por ende su valor esperado será casi nulo, mientras que si este VPN es muy negativo ninguna cantidad de flexibilidades podrá salvar el proyecto. En cambio, si el VPN es cercano a cero, la toma de decisiones no es clara, y es entonces que las flexibilidades en la gestión hacen una gran diferencia (Copeland & Antikarov, 2003).

1.2.2. Definición de una opción real

De forma general, una opción es el derecho a elegir si tomar una acción ahora o en el futuro (Vollert, 2003). En particular, una opción real se define como el derecho, mas no la obligación, de ejercer una flexibilidad de gestión del proyecto a un costo predeterminado, poseyéndose dicha opción solo por un periodo de tiempo predeterminado (Copeland & Antikarov, 2003). Ejemplos de opciones reales son ampliar el proyecto si tiene éxito, esperar y aprender antes de invertir, recortar o abandonar un proyecto para mitigar pérdidas, modificar los insumos o procesos

empleados según la coyuntura de costos, entre otras (Brealey, Myers & Allen, 2010). Debido al valor que genera la flexibilidad, podemos definir el Valor Presente Neto Expandido con la ecuación 1 (Trigeorgis, 1996).

$$\text{VPN Expandido} = \text{VPN Tradicional} + \text{Valor de las Opciones} \quad (1)$$

Reales presentes en el proyecto

Las opciones reales deben su nombre y fundamentos de valorización a las opciones financieras, las cuales son contratos negociados en los mercados de capitales que brindan al tenedor el derecho de comprar o vender un activo financiero (acciones, bonos, etc.) en caso de que se cumplan ciertas condiciones favorables (Hull, 2014). Si bien ambas clases de opciones son diferentes, la analogía se centra en las condiciones para el ejercicio de derecho sobre el activo subyacente al contrato: las opciones solo se ejercen cuando estas brindarán beneficios al dueño de las mismas (Dixit & Pindyck, 1994).

La presente investigación no busca ahondar en el tema de opciones financieras; sin embargo, si es de interés para el lector, en el Anexo 1 se brinda una mayor exploración sobre las opciones financieras, en el Anexo 2 se detallan las similitudes entre ambas clases de opciones y en el Anexo 3 se explica por qué la valoración de opciones financieras es válida para opciones reales a pesar de que los proyectos subyacentes a estas segundas no se pueden intercambiar en los mercados de capitales.

1.2.3. Ventajas y desventajas de la metodología de opciones reales

La ventaja de las opciones reales descansa en su habilidad de poder medir y cuantificar una labor activa de la gestión de proyectos, considerando el efecto el tiempo, las interacciones entre los distintos factores, las interdependencias entre distintas opciones y así modelar escenarios cercanos a la realidad. Además, los resultados proveen indicadores sobre las condiciones óptimas para el ejercicio de las alternativas, brindando pautas administrativas valiosas (Vollert, 2003). En tal sentido, el uso de opciones reales permite reconciliar decisiones estratégicas de negocios con el principio

financiero de la creación de valor (Alonso, Azofra & De La Fuente, 2014).

Los gestores de proyectos hoy en día ya toman decisiones para mitigar riesgos y aprovechar oportunidades, pero lo hacen intuitivamente; la valorización de opciones reales provee una herramienta cuantitativa rigurosa para justificar sus decisiones (Sattarnusart, 2012). Por otro lado, los gestores de proyecto tienen amplios conocimientos, experiencia y capacidades de respuestas ante riesgos operativos y relacionados a factores internos al proyecto. Sin embargo, los riesgos relacionados al mercado, tales como precios y niveles de demanda, siempre son más difíciles de mitigar; y, más aún, de incorporar en la valorización. Las opciones reales ayudan a contemplar estos factores (Barman & Nash, 2007).

Una primera desventaja del uso de las opciones reales es que implica una mayor complejidad. Se necesita emplear tiempo en recopilar información, decidir los modelos matemáticos y estadísticos adecuados y efectuar simulaciones para poder tomar una decisión. En segunda instancia, cada opción presente en la literatura es un ejemplo con supuestos simplificadores para su fácil resolución analítica; estos supuestos terminan convirtiendo a la opción en un caso teórico no representativo de la realidad, lo cual dificulta su uso directo (Philippe, 2005). En tercera instancia, si se usan equivocadamente los modelos se puede sobreestimar el valor de la opción y se fomenta que las empresas participen en proyectos muy arriesgados. Finalmente, la literatura sobre opciones reales es principalmente académica en lugar de práctica, y aún hay insuficiente investigación de casos de éxito por lo que los administradores de proyectos sienten desconfianza para su aplicación (Cirjevskis & Tatevosjans, 2015). Para solucionar estos problemas, cada vez más se realizan estudios con ejemplos de la vida real⁵ sobre el uso de la herramienta de opciones reales. Sin embargo, muchos estudios trabajan con muestras pequeñas debido a que es difícil obtener los precios reales por las transacciones de activos reales, por lo que el valor de la opción que se calculó puede

⁵ En el campo de opciones reales en mercados inmobiliarios, la primera investigación importante fue llevada a cabo por Quigg, tomando muestras de más de 5000 proyectos durante el periodo de 1976-1979 en Seattle, confirmando que los precios pagados incluían una prima de la opción de espera (Quigg, 1993).

estar errado (Philippe, 2005). En tal sentido, Philippe explica que, aunque el valor obtenido no sea el preciso, las opciones reales son útiles para traducir las estrategias de gestión a términos financieros y ayuda a explicar a los inversionistas cómo la empresa responde ante la incertidumbre. Finalmente, se aconseja solo emplear la herramienta en proyectos donde el tamaño del capital, la existencia de puntos de decisión y la exposición al riesgo debido a un largo periodo de retorno de la inversión justifique su uso (Barman & Nash, 2007). En la Tabla 1 se muestran distintos líderes en la industria que han adoptado la valoración de opciones reales.

Tabla 1

Líderes de la industria que aplican opciones reales

Actividad económica	Empresa	Opción real	Justificación con base en el dinamismo e incertidumbre
Industria automotriz	General Motors	Cambio de proveedor de materias primas	La adquisición de materias primas se vuelve más o menos costosa en distintos lugares del mundo.
Industria de computadoras	HP-Compaq	Postergar la construcción de plantas en nuevos países	La demanda de productos tecnológicos cambia rápidamente y estos pierden valor por obsolescencia
Industria de aerolíneas	Boeing	Cambio de diseño	Los competidores pueden ganar ventaja rápidamente, por lo que se desarrollan múltiples diseños en paralelo.
Industria de telecomunicaciones	Sprint, AT&T	Crecimiento de la escala de operaciones	La inversión en fibra óptica y demás infraestructura es costosa y tiene un lento período de retorno.
Industria farmacéutica	Empresas de investigación y desarrollo	Abandonar la investigación	Al ser un proyecto riesgoso, su valor aumenta al considerar los ahorros de retirarse a tiempo.

Nota. Fuente: Elaboración propia, a partir de Mun (2006)

1.3. El uso de opciones reales en proyectos de desarrollo inmobiliario

El presente acápite describe el mercado inmobiliario, el proceso de desarrollo inmobiliario y explica por qué la metodología de opciones reales es aplicable a un proyecto de inversión en este sector con base en la incertidumbre.

1.3.1. Definiciones y caracterización del mercado inmobiliario

Un bien inmueble es una propiedad tangible que se define como la tierra, edificaciones y toda otra mejora que quede permanentemente fija a la tierra. Un bien raíz se define como los beneficios percibidos por la posesión de un bien inmueble. El desarrollo de bienes raíces hace referencia a la adquisición de tierras, adición de infraestructura y venta al usuario final (McDonald & McMillen, 2011). Los bienes raíces pueden dividirse en tres categorías según el uso que tendrá el inmueble: vivienda, comercial o industrial.

El mercado de bienes raíces está compuesto por tres principales esquemas, los cuales son diferentes, pero interactúan entre sí: la adquisición de terrenos, el desarrollo de terrenos mediante la construcción y el alquiler u operación del inmueble terminado. En particular, una empresa constructora es aquella que adquiere terrenos, espera por el momento adecuado de demanda por propiedad desarrollada y entonces edifica (Leung, 2007). El objeto de estudio de esta tesis son los inmuebles de vivienda, cuyo precio depende de diversos factores; algunos de los más importantes se presentan en la Tabla 2 a continuación.

Tabla 2

Factores que impactan en el precio de las viviendas

Factor	Impacto en el precio
Calidad de las escuelas de la localidad	Positivo
Criminalidad en la zona	Negativo
Impuesto a la propiedad	Negativo
Ingreso promedio del vecindario	Positivo
Contaminación y ruido	Negativo
Proximidad a centros comerciales y espacios de esparcimiento	Positivo
Proximidad a parques	Positivo
Distancia a los centros de empleo	Negativo

Nota. Fuente: Elaboración propia, a partir de McDonald & McMillen (2011).

1.3.2. El proceso de desarrollo inmobiliario

El desarrollo inmobiliario es la continua reconfiguración del entorno construido para suplir las demandas de la sociedad. La necesidad de desarrollo inmobiliario es constante debido a cambios en la población, tecnología, preferencias del cliente, entre otros. Se emplea terreno, trabajo, capital, gestión y emprendimiento para transformar los planes en inmuebles terminados (Miles & Berens, 2000). Las empresas inmobiliarias realizan diversas actividades, las cuales comprenden la compra de la tierra, la determinación del mercado meta, el diseño y planificación de la construcción, la obtención de los recursos y permisos necesarios, la edificación del inmueble y finalmente la venta o alquiler (Peiser & Frej, 2003). El proceso de desarrollo de bienes raíces puede ser resumido en ocho etapas según se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Etapas del proceso de bienes raíces

Etapa	Descripción
Concepción de la idea	A partir del entorno de mercado y la experiencia del desarrollador.
Refinamiento de la idea	Se encuentra un lugar específico y se crea un diseño tentativo.
Factibilidad	Realización del estudio de mercado, estimación de ingresos y egresos.
Negociaciones contractuales	Se decide un diseño final y consigue el financiamiento y permisos.
Compromiso Formal	Se firman los contratos requeridos.
Edificación	El personal de construcción procede con la realización.
Apertura	Se venden las propiedades o se pasa a la etapa de alquiler.
Manejo de propiedades	En caso se opte por alquilar, se debe cuidar la edificación.

Nota. Fuente: Elaboración propia, a partir de Miles & Berens (2000)

Los mercados de bienes raíces presentan un comportamiento cíclico ocasionado por los movimientos de la economía, y es crucial para el éxito de las empresas en este mercado determinar el momento óptimo para ofertar (Peiser & Frej, 2003). Las cuatro etapas cíclicas, que reflejan a los movimientos hacia el equilibrio para la corrección de excesos

de oferta y demanda según la teoría clásica económica, son las siguientes:

1. **Recuperación:** tras la recesión del ciclo anterior, la oferta es insuficiente para atender a las necesidades de la población creciente.
2. **Expansión:** la demanda por espacio adicional crece y las rentas vuelven a causar que los proyectos sean factibles.
3. **Hiperoferta:** la oferta crece más rápido que la demanda y la tasa de ocupación de espacio promedio de largo plazo es excedida.
4. **Recesión:** la competencia y nuevos proyectos de construcción disminuye producto de las rentas insuficientes generadas (Peiser & Frej, 2003).

Según entrevistas realizadas a profesionales del sector inmobiliario en Holanda, los dos momentos de decisión más importantes en el desarrollo inmobiliario son el momento de firmar el contrato de compra del terreno y el momento de inicio de la edificación (Gehner, Halman & Jonge, 2006). Ello se debe a que ambas decisiones tienen carácter irreversible e implican el compromiso a desembolsar grandes cantidades de dinero. El estudio citado concluye que, debido a la importancia de estas dos decisiones, es importante el desarrollo de metodologías de gestión del riesgo que apoyen estos procesos.

1.3.3. Uso de opciones reales en el mercado inmobiliario

El desarrollo inmobiliario implica inversiones de capital grandes y exposición a largos periodos de incertidumbre, además de ser complejos, de gran escala y requerir muchos años de planificación y edificación. El valor del bien edificado puede variar por factores relacionados a la actividad económica en su ubicación geográfica, en términos de demanda por espacio, valor de las rentas por alquiler y ocupación actual, como por factores relacionados a los mercados de capitales, como tasas de financiamiento, además de variables en el mercado de los insumos y los costos de materiales (Harder & Hall, 2012) por lo que se justifica el uso de opciones reales en su valorización. Los diversos riesgos y fuentes de incertidumbre a los que se expone una constructora que

desarrolla un proyecto de inversión en este mercado se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4

Riesgos en el desarrollo inmobiliario

Riesgo	Descripción
Político	Leyes industriales, expropiaciones, macroeconomía del país.
Social	Interferencia pública, delincuencia, huelgas, planificación zonal.
Económico	Precios de venta, costo de recursos, costos de financiamiento.
Ambiental	Desastres naturales, contaminación.
Técnico	Cambios de diseño, riesgos operativos, riesgos de administración.

Nota. Fuente: Elaboración propia, a partir de Sattarnusart (2012, p.11).

El mercado inmobiliario es un área de la inversión que históricamente ha sido lento en adaptar los modelos financieros de modelación del riesgo empleados en otras áreas. Muy frecuentemente, los elaboradores de proyectos operan con cálculos simples basados en la intuición y la experiencia (Gimpelevich, 2010). Para resolver este problema, distintos modelos teóricos y análisis empíricos de opciones reales se han aplicado al mercado inmobiliario, tanto en la valorización de tierras para el desarrollo, como en el desarrollo y el alquiler (Leung, 2007); la Tabla 5 resume algunos de estos estudios importantes.

Tabla 5*Estudios pasados sobre opciones en el mercado de bienes raíces*

Autor / Año	Título	Tema y/o Relevancia
Titman, 1985	Urban Land Prices under Uncertainty	Determina el valor de la espera en el desarrollo de la edificación. Trabajo seminal del análisis de opciones reales en bienes raíces.
Clarke y Reed, 1987	A Stochastic Analysis of Land Development Timing and Property Valuation	Examina el impacto de diferentes fuentes de incertidumbre en el momento óptimo de la inversión y la densidad estructural.
Capozza y Helsley, 1990	The Stochastic City	Evaluar el valor de la conversión de tierras de agricultura en urbanas mediante parámetros estocásticos.
Williams, 1991	Real Estate Development as an Option	Desarrolla múltiples modelos, como la opción de espera, la opción de la densidad y el tiempo de abandono óptimo.
Williams, 1993	Equilibrium and Options on Real Assets	Examina el impacto de la competencia en la erosión del valor de la opción de entrega.
Geltner y otros, 1996	Insights on the Effect of Land Use Choice	Analiza el efecto de desarrollar los terrenos para distintos propósitos.
Grenadier, 1996	The Strategic Exercise of Options: Development Cascades and Overbuilding in Real Estate Markets	Explica por qué ocurre sobreofertas y caídas en el mercado desde la perspectiva de opciones reales-
Childs y otros, 2001	Noise, Real Estate Markets and Options on Real Assets: Theory	Determina el valor óptimo del activo de un mercado de información incompleta.

Nota. Fuente: Elaboración propia, a partir de Leung (2007).

1.4. Herramientas matemáticas

El presente acápite describe los métodos matemáticos, estadísticos y econométricos que se usarán en la presente investigación. Las opciones reales serán valorizadas mediante simulación de Monte Carlo, y para este fin se deben pronosticar los valores futuros de los elementos que generan incertidumbre.

1.4.1. Valorización de opciones reales

En la teoría financiera existen fórmulas para valorización de opciones, tanto financieras como reales, que brindan soluciones analíticas y explícitas; no obstante, existen varias clases de opciones para las cuales no es posible hallar una solución analítica. En cuyo caso se pueden emplear dos clases de herramientas numéricas para determinar el valor. Una primera categoría de herramientas simula los procesos estocásticos subyacentes mediante modelación estadística y la otra categoría está conformada por el uso de ecuaciones diferenciales parciales resultantes mediante integración numérica o esquemas diferenciales finitos (Trigeorgis, 1996).

En esta tesis nos centraremos en la primera categoría de herramientas debido a que el usar simulaciones en lugar de ecuaciones diferenciales y soluciones analíticas corresponde a una visión pragmática y enfocada en la aplicación de los conocimientos (Peter, 2012). El procedimiento de valorización consta de cuatro pasos:

1. Crear el flujo de caja determinístico inicial más probable.
2. Incorporar la incertidumbre al modelo, modelando el comportamiento de los parámetros que tengan mayor impacto (drivers) en el flujo de caja inicial.
3. Incorporar la flexibilidad en el modelo definiendo las opciones reales presentes.
4. Optimizar el valor del proyecto definiendo reglas de ejecución óptimas para las opciones. Finalmente, el valor de las opciones se puede obtener despejando la Ecuación 1 del acápite 1.2.2., al contrastar los resultados contra el proyecto carente de opciones.

Una consideración importante para determinar el valor presente neto producto de los flujos afectados por opciones reales es definir la tasa de descuento a emplear acorde al nivel de riesgo. Debido a que los resultados producto del ejercicio de las opciones alteran los posibles caminos futuros, el nivel de riesgo también cambia, dificultando la determinación de la prima por riesgo apropiada en la tasa de descuento (Copeland & Antikarov, 2003). Para ello se utiliza la metodología de valorización neutral al riesgo,

según la cual la compensación o penalización por nivel de riesgo se efectúa en las probabilidades de los escenarios en lugar de la tasa de descuento, mediante un cambio de medida⁶ a probabilidades denominadas “neutrales al riesgo”. Según este ajuste, todos los activos generan un retorno esperado equivalente a la tasa libre de riesgo, por lo que esta sería la tasa de descuento apropiada, permitiendo tener valorizaciones independientes de percepciones de riesgo (Trigeorgis, 1996).

1.4.2. Simulación de Monte Carlo

El método de Monte Carlo hace referencia a una variedad amplia de algoritmos computacionales empleados para la resolución de problemas mediante la generación de números aleatorios según a la caracterización estocástica pertinente. Empleando estos números aleatorios se crea una distribución de escenarios posibles⁷ y se observa la proporción de estos que cumplen con las características deseadas (Jayaraman & Mascagni, 2013). En particular, para la valorización de opciones financieras, se simula una cantidad grande de posibles caminos que podría tomar el activo subyacente al contrato, se evalúa la ganancia en cada uno de estos caminos y se aplica una tasa de descuento para calcular el valor presente neto (Kroese, Taimre & Botev, 2011). En el caso de opciones reales, se simulan todos los valores que pueden tomar los parámetros que impactan en la rentabilidad del proyecto y se halla el valor presente neto en cada trayectoria, definiendo la regla de decisión para el ejercicio de la opción en el programa (Holtan, 2002).

Una consideración importante para aplicar un modelo de simulación es determinar las dependencias entre las variables de entrada del modelo. La relación estadística entre estas variables puede deberse a que estas conformen un vector aleatorio que sigue una

⁶ Dos distribuciones o “medidas” de probabilidad son equivalentes si ambas concuerdan en cuáles eventos son imposibles (probabilidad nula). Un cambio de medida es una transformación de una distribución de probabilidad base a otra medida equivalente (Gisiger, 2010).

⁷ Para cada escenario se genera un valor de la cantidad a estimar. Debido a la ley de los números grandes, el promedio de un gran número de muestras converge con el valor esperado, por lo que un parámetro obtenido mediante simulación de Monte Carlo es un estimador insesgado y consistente de la característica de la población que se desea conocer (Haugh, 2004).

distribución multivariada o conjunta; no obstante, en caso no se pueda especificar esta distribución multivariada con facilidad, es posible continuar trabajando con las distribuciones aisladas si se incluye en el modelo la correlación entre las variables (Law, 2013). Este paso es de especial importancia para la valorización de opciones reales debido a que una de las críticas a la metodología es que puede fomentar aceptar decisiones muy arriesgadas al sobrevaluar el valor de la opción, y una causa para este problema es generar escenarios muy dispersos. Al incluir la correlación entre las variables de entrada, se reduce la probabilidad de la generación de escenarios en los que no se cumple la dependencia entre las variables y así se evita sobreestimar la volatilidad del caso.

Finalmente, al valorizar opciones reales es importante trabajar bajo la metodología neutral al riesgo según lo discutido en la sección 1.4.1, por lo que se debe aplicar un cambio de medida a la distribución de probabilidades observada (natural o física) en los parámetros estocásticos del modelo hacia probabilidades neutras al riesgo. La transformación de Esscher es una herramienta matemática que permite convertir una distribución de probabilidades a otra medida equivalente cuando se define una nueva media para la distribución; en particular, bajo la metodología de valorización neutral al riesgo el valor esperado de los retornos o variaciones porcentuales sería la tasa libre de riesgo (Gerber & Shiu, 1994). Los autores Kuroda y Matsuyama (2009) desarrollan la transformación de Esscher neutral al riesgo para una distribución normal según herramientas matemáticas más allá del alcance de la presente tesis, llegando a las equivalencias mostradas en las ecuaciones 2 y 3 a continuación:

Sea $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ una variable distribuida normalmente y r_f la tasa libre de riesgo, entonces:

Transformación Neutral al Riesgo con Parámetro λ :

$$X \sim N(\mu + \lambda * \sigma, \sigma^2) \quad (2)$$

Parámetro de Transformación λ :

$$\lambda = \frac{\mu - r_f}{\sigma} \quad (3)$$

1.4.3. Pronóstico de series de tiempo

Se define una serie de tiempo como un conjunto de observaciones X_t de una misma variable, cada una registrada en un instante “t” específico (Brockwell & Davis, 2012). El objetivo principal del análisis de series de tiempo es desarrollar modelos matemáticos que proveen descripciones plausibles para la data (Shumway & Stoffer, 2006). Los modelos de regresión⁸ de series de tiempo se dividen en modelos de rezagos distribuidos y autorregresivos: en el primer caso el modelo incluye no solo los valores en el instante “t” de las variables explicativas sino también sus valores en instantes previos, mientras que en el segundo caso se incluyen valores rezagados de la variable dependiente en el conjunto de variables explicativas (Gujarati, 1985). Las ecuaciones 4 y 5 muestran ambos casos respectivamente.

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 * x_{t-1} + \beta_2 x_{t-2} + \dots + \varepsilon, \varepsilon \sim (0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (4)$$

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 * y_{t-1} + \beta_2 y_{t-2} + \dots + \varepsilon, \varepsilon \sim (0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (5)$$

La simulación de series de tiempo consiste en, una vez determinado el número de rezagos con poder explicativo y los coeficientes de regresión necesarios, proceder a simular los términos de error, también llamados innovaciones, e introducirlos a la ecuación junto con la información rezagada, generando un pronóstico para el siguiente instante t, y continuar computando recursivamente según sea requerido (Brockwell &

⁸ El análisis de regresión se basa en la relación entre una variable dependiente y una o más variables explicativas para realizar estimaciones sobre la primera a partir de valores conocidos de las segundas. En particular, el método de los cuadrados mínimos determina el conjunto óptimo de coeficientes que relacionan las variables y minimizan la diferencia entre la data real y la estimación (Gujarati, 1985).

Davis, 2012).

En muchas ocasiones resulta útil considerar a dos o más series de tiempo no como series individuales, sino como componentes de una serie de tiempo vectorial o multivariada, donde las subseries no solo presentan dependencia serial consigo mismas sino también interdependencia entre sí (Brockwell & Davis, 2012). El modelo de Vectores Autoregresivos (VAR) plantea el modelo mostrado en las Ecuaciones 6 y 7, el cual nos permite resolver el problema de la correlación entre las variables, introducido en la sección 1.4.2, ya que los resultados pronosticados van a respetar la interrelación que presenten las series.

$$x_t = \beta_0 + \beta_1 * x_{t-1} + \beta_2 x_{t-2} + \dots + \beta_1 * x_{t-1} + \beta_2 x_{t-2} + \dots + \varepsilon, \quad (6)$$
$$\varepsilon \sim (0, \sigma_\varepsilon^2)$$

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 * x_{t-1} + \beta_2 x_{t-2} + \dots + \beta_1 * x_{t-1} + \beta_2 x_{t-2} + \dots + \varepsilon, \quad (7)$$
$$\varepsilon \sim (0, \sigma_\varepsilon^2)$$

Para poder aplicar los modelos de pronóstico hay ciertas características con las que debe cumplir la data. El análisis de series de tiempo se realiza en series estacionarias, de tal modo es posible utilizar la información rezagada para hacer estimaciones acerca del futuro (Brockwell & Davis, 2012). Dicho concepto de regularidad en el comportamiento se conoce como estacionariedad⁹: una serie estacionaria presenta una media contante, una varianza constante y una covarianza entre sus términos que únicamente depende de la distancia o rezago entre ellos (Shumway & Stoffer, 2006). Este comportamiento nos garantiza que la serie tiende a revertirse hacia la media, la dispersión respecto a la media es constante, y que los valores rezagados de la serie tienen poder explicativo sobre los valores futuros. Las condiciones para la

⁹ Existen dos clases de estacionariedad: estacionariedad estricta o de primer orden, y estacionariedad débil o de segundo orden. En este estudio se hará referencia a la de segundo orden, debido a que plantea condiciones menos restrictivas, por lo que es más fácil que la data las cumpla, y basta con que se cumplan estas condiciones para proseguir con los pronósticos (Shumway & Stoffer, 2006).

estacionariedad se muestran en las ecuaciones 8, 9 y 10.

$$\text{Media: } E(Y_t) = \text{constante} \quad (8)$$

$$\text{Varianza: } \text{var}(Y_t) = \sigma^2, \text{ constante} \quad (9)$$

$$\text{Covarianza: } \text{cov}(Y_t, Y_{t-k}) = f(k), \text{ siendo } k = \text{rezago} \quad (10)$$

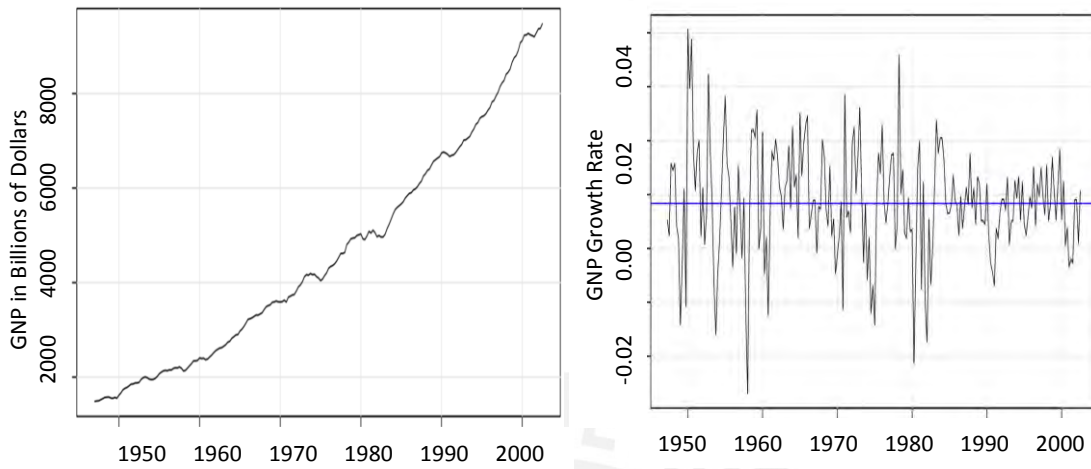
En casos en los que la serie de tiempo a pronosticar no cumple con las condiciones de estacionariedad, se puede evaluar si existe alguna transformación de la serie que sí cumpla este requisito (Brockwell & Davis, 2012). Si la serie de tiempo no es estacionaria por la presencia de un término constante que previene la reversión a la media, definir una nueva serie a partir de las diferencias (substracción) o incrementos (variación porcentual) entre observaciones elimina los términos constantes repetidos (Shumway & Stoffer, 2006). Las ecuaciones 11 y 12 a continuación presentan dos posibles transformaciones para corregir la no estacionariedad de la serie en niveles (como fue observada), al llevar el análisis a las primeras diferencias, mientras que la figura 1 presenta una representación gráfica de ejemplo de una serie en niveles y luego en variaciones porcentuales, evidenciando la reversión a la media en el segundo caso y la existencia de un componente de tendencia constante adicional a las variaciones estacionarias en el primer caso.

$$\text{Diferencias: } \Delta Y_{t,t-1} = Y_t - Y_{t-1} \quad (11)$$

$$\text{Variaciones porcentuales: } \Delta \% Y_{t,t-1} = (Y_t - Y_{t-1})/Y_{t-1} \quad (12)$$

Figura 1

Producto Nacional Bruto (GNP) trimestral de Estados Unidos de América



Nota. Los datos de la primera imagen están en cientos de miles de dólares y la segunda está en variación porcentual trimestral. La línea horizontal de color azul indica el promedio de crecimiento, que es cercano a 1%. Basado en Shumway & Stoffer

Adicionalmente, la relación entre la variable contemporánea y la variable rezagada no debe tener un coeficiente mayor a uno en valor absoluto, de lo contrario la serie se denomina explosiva debido a que los valores de la serie pueden rápidamente volverse grandes en magnitud y no converger hacia la media, perdiéndose la regularidad y el poder explicativo (Shumway & Stoffer, 2006). En la literatura de análisis de series de tiempo a este problema se le conoce como el problema de raíz unitaria¹⁰ y debe ser detectado antes de trabajar con las series (Brockwell & Davis, 2012).

¹⁰ El nombre “raíz unitaria” hace referencia a que el coeficiente cae fuera del círculo trigonométrico unitario si sobrepasa al 1 en valor absoluto.

2. ESTUDIO DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN EN EL PERÚ

2.1. Estudio macroeconómico

El presente acápite desarrolla la importancia del sector construcción para la economía del país desde el punto de vista teórico y se presenta evidencia estadística a partir de los principales indicadores del país.

2.1.1. Teoría del crecimiento y relevancia de la actividad constructora

El crecimiento económico ha sido entendido históricamente como una función de tres insumos clave: recursos humanos (oferta de trabajo, habilidades), recursos naturales (tierra, minerales, combustibles) y capital (infraestructura, maquinaria). La productividad de estos factores¹¹, entendida como la razón de producción del promedio ponderado de estos insumos, está relacionada con el nivel tecnológico del país (Samuelson & Nordhaus, 2010). Por otro lado, la teoría de crecimiento endógeno sostiene que la clave del crecimiento de un país está relacionada, por un lado, con el progreso tecnológico, el cual comprende la investigación básica y aplicada, la legislación de patentes, la formación y la educación (Blanchard, Amighinin & Giavazzi, 2012). Asimismo, las condiciones iniciales y la política económica influyen en las intensidades de capital a través de la proporción del producto nacional que se ahorra e invierte en el aumento del acervo de capital; las políticas de gobierno para favorecer la inversión deben lograr reducir la incertidumbre y percepción de riesgo a través de la búsqueda de la estabilidad macroeconómica en control de inflación y volatilidad cambiaria, acompañada de instituciones públicas sólidas (Jiménez, 2011). Históricamente ha existido una discrepancia entre si el gobierno debe invertir en actividad constructora para fomentar el crecimiento del país o si esta inversión debería de estar en un segundo plano (Arku, 2006). Este sesgo en contra de la inversión en

¹¹ Productividad total de los factores: cociente entre el crecimiento del producto y el crecimiento del uso de los insumos requeridos para esta producción.

construcción se origina en los países desarrollados, quienes han estado a la cabeza de los organismos internacionales, y entendían a los hogares de una forma que reducía su importancia real para los países en vías de desarrollo (Van Weesep, 2000). Allí los hogares funcionan como centros de trabajo a través de los negocios caseros y como centros microfinancieros de ahorro y crédito. Asimismo, las pobres condiciones de las viviendas precarias disminuyen la efectividad laboral de los trabajadores, reduciendo la producción de la economía de dicho país (Arku, 2006).

Sin embargo, Myers (2013) afirma que en países en vías de desarrollo la construcción es una parte significativa de la economía ya que representa gran parte de la inversión para el crecimiento. Para escapar la pobreza, un gobierno debe invertir en infraestructura básica (carreteras, electricidad, agua y desagüe, tierra accesible para viviendas a bajo costo) para mejorar la productividad de los factores. Posteriormente, conforme aumenta el nivel de industrialización, el sector construcción provee las fábricas, oficinas y viviendas de las que dependen las demás actividades económicas (Myers, 2013). Es así como existe una gran correlación entre el crecimiento económico y la actividad constructora en los países en vías de desarrollo. Adicionalmente, al ser una industria intensiva en mano de obra, la actividad del sector de construcción es usada frecuentemente por los gobiernos como una herramienta para estimular la economía local (Agung, 2008).

Dlamini (2012) resume los estudios empíricos efectuados por Turin (1978) y Bon (1992) en los que compararon el PBI per cápita del país y la contribución del sector construcción al PBI, como se muestra en el Anexo 4. Turin encontró una curva con forma de “s”, pues en los países con menor PBI hay menos actividad constructora por falta de inversión, mientras que en los países con mayor PBI se queda constante porque la necesidad de hogares ya se ha suplido y la mayor actividad es en mantenimiento y reparación de viviendas, mientras que en los países en vías de desarrollo esta contribución está relacionada al crecimiento del PBI. Bon encontró una curva cóncava hacia abajo, donde los países con menor y mayor PBI presentan menor contribución del sector construcción al PBI total, mientras que los países del medio son en los que esta actividad es más importante.

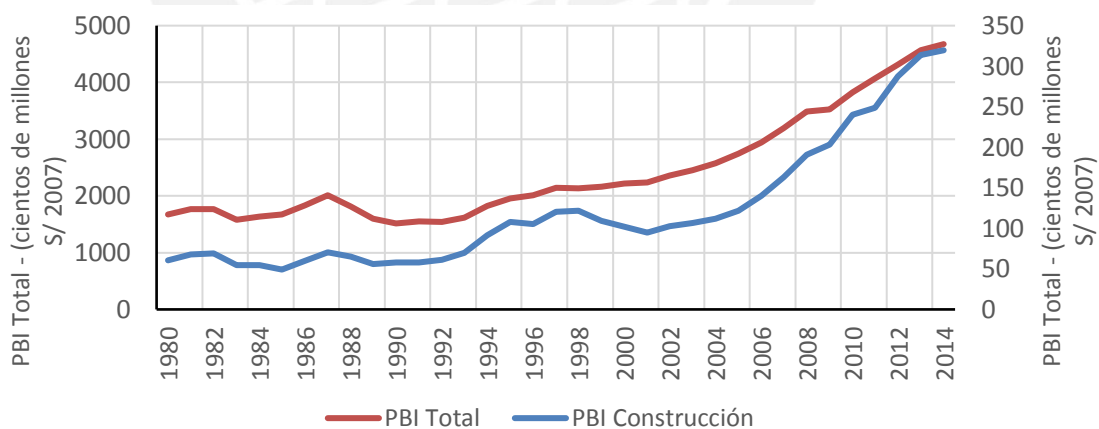
2.1.2. Correlación entre crecimientos del sector construcción y PBI en el Perú

El nivel de actividad económica de un país se mide a través del Producto Bruto Interno (PBI), que es la suma del valor agregado por la economía durante un determinado periodo, el cual es un indicador que contabiliza las rentas obtenidas por la venta de los bienes y servicios a los usuarios finales (Blanchard, Amighinin & Giavazzi, 2012). Para medir la evolución de la producción del país con el paso del tiempo se debe eliminar el efecto de la subida de precios generada por la inflación, por lo que se emplea el PBI real, definido como la cantidad de bienes producidos y servicios prestados en distintos años multiplicados por un mismo precio constante.

La figura 2 muestra la evolución de las series de tiempo del PBI total y el del sector construcción del Perú, mientras que la figura 3 muestra los incrementos de las dos series. El coeficiente de correlación entre estos dos incrementos es de 83.3%, lo cual concuerda con nuestro fundamento teórico de que hay una fuerte relación entre sus movimientos; vale decir, ambos crecen y decrecen juntos¹².

Figura 2

Evolución del PBI Total y del Sector Construcción en el Perú

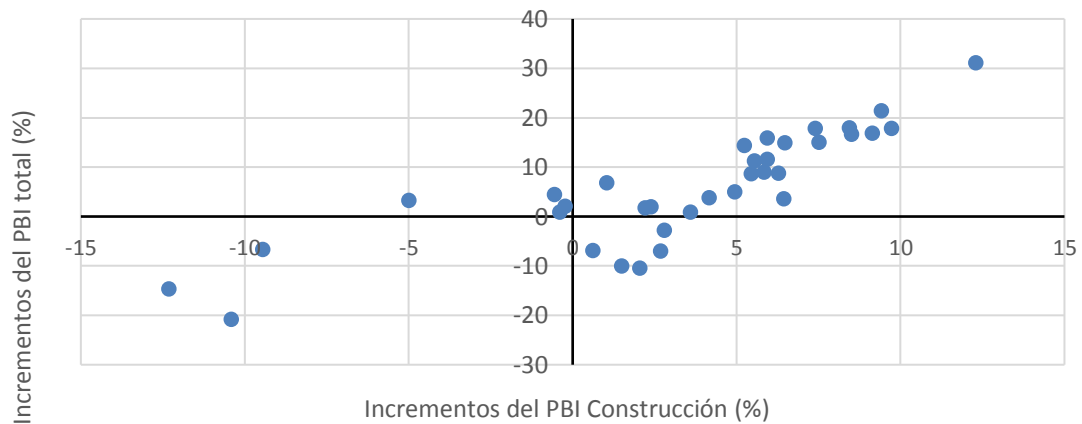


Nota. Medidos a precios constantes en millones de Soles del año 2007. Fuente: Elaboración propia, a partir de INEI (2016b).

¹² La causalidad entre ambas variables no se demuestra en esta tesis.

Figura 3

Incrementos del PBI Total y del Sector Construcción en el Perú



Nota. Medido a precios constantes en millones de Soles del año 2007. Fuente: Elaboración propia, a partir de INEI (2016b).

2.1.3. Contribución de la actividad constructora a algunos indicadores macroeconómicos

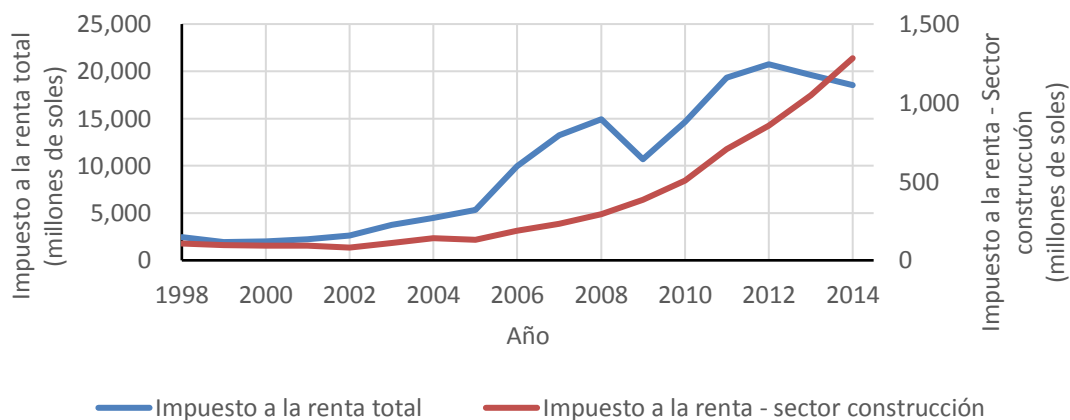
El gasto público es parte de la producción nacional y corresponde a los bienes y servicios adquiridos por el Estado, así como a las transferencias de carácter social a particulares sin que estos presten un servicio a cambio (Dornbusch, Fischer & Startz, 2009). En Perú, según el BCRP (2006), el gasto público solo incluye la compra de bienes y servicios, y las remuneraciones del Gobierno General; es decir, excluye la inversión realizada por el sector público en bienes de capital decir (Jiménez, 2010). Este gasto es efectuado a partir de las recaudaciones por impuestos sobre la renta, proporcionales al nivel de ingreso de los particulares. El gasto gubernamental es importante en el crecimiento económico, en materia de construcción como se explicó en el acápite anterior.

De la misma manera que la figura 2, la figura 4 muestra que la recaudación de la renta total y la recaudación obtenida por el sector construcción están altamente correlacionadas. Por otra parte, la figura 5 muestra en la participación de la recaudación del sector construcción sobre el total. Desde 1998 hasta el 2013 se muestra en un rango

entre 2% y 6%, sin embargo, la tasa incrementa a 8% en el 2014 y 10% en el 2015, lo cual demuestra su creciente relación con la economía.

Figura 4

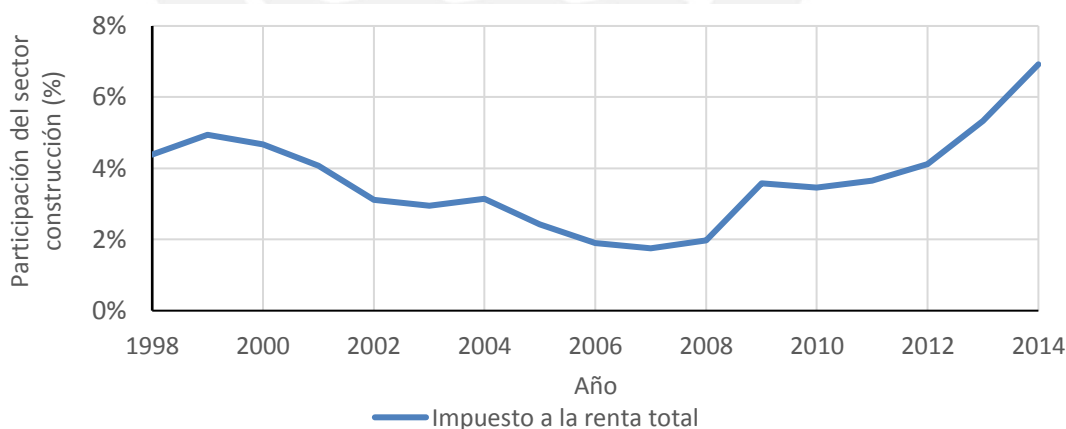
Recaudación del impuesto a la renta total y del sector construcción en el Perú



Nota. Evolución de la recaudación del impuesto a la renta total y del sector construcción en el Perú en millones de Soles. Fuente: Elaboración propia, a partir de SUNAT (2017).

Figura 5

Contribución del sector construcción a la recaudación total del impuesto a la renta en el Perú



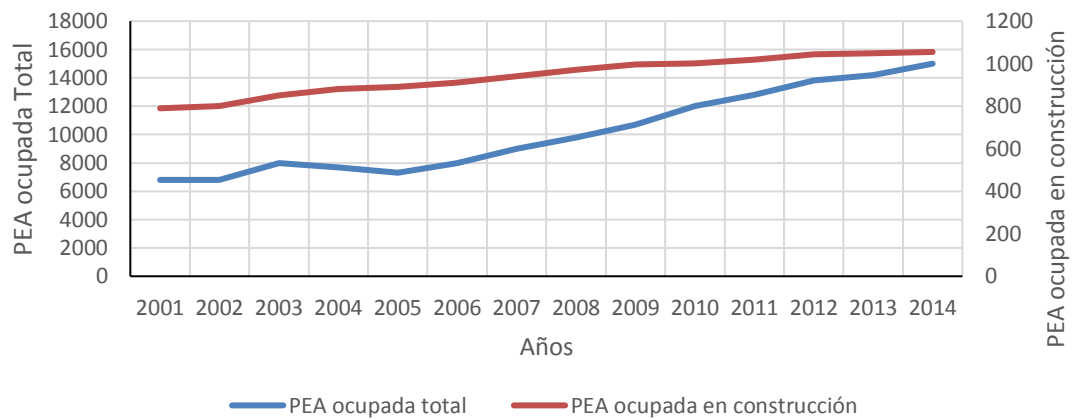
Nota. Contribución del sector construcción a la recaudación total del impuesto a la renta en el Perú en millones de Soles. Fuente: Elaboración propia, a partir de SUNAT (2017).

Otra variable macroeconómica de interés es la población económicamente activa (PEA), y se define como la población que participa de la fuerza laboral; esta cifra

incluye tanto a aquellos empleados (ocupados) como a aquellos desempleados que activamente buscan empleo (Blanchard, Amighinin & Giavazzi, 2012). Entonces, analizar la evolución de la PEA ocupada revela el porcentaje de la población que genera ingresos. Debe resalarse que estas cifras solo contemplan las contrataciones de empleo formales, por lo que se estima que el rol del sector construcción para el sustento de los ingresos de la población es aún mayor (Myers, 2013).

Figura 6

PEA ocupada total y del sector construcción

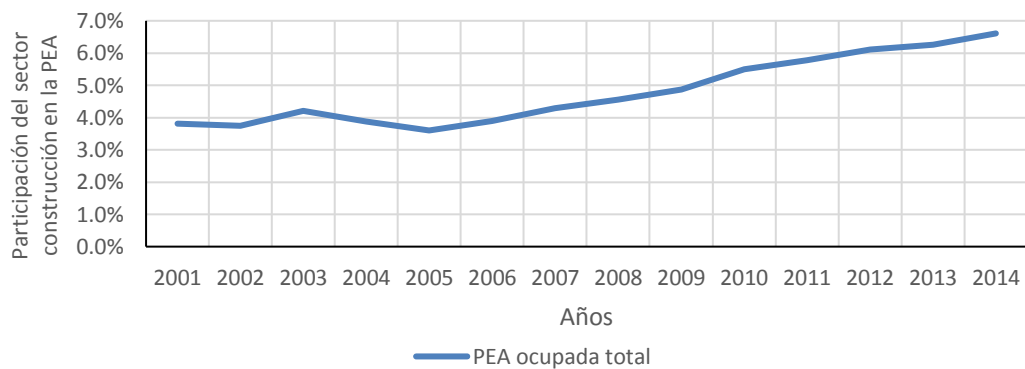


Nota. Evolución de la PEA ocupada total y del sector construcción en el Perú en miles de personas.

Fuente: Elaboración propia, a partir de INEI (2016a).

Figura 7

Contribución del sector construcción a la PEA ocupada total en el Perú



Nota. Fuente: Elaboración propia, a partir de INEI (2016a).

2.2. Estudio microeconómico

El presente acápite desarrolla la dinámica sectorial de la actividad constructora en el país, los riesgos implicados y el estado de los principales generadores de valor en los proyectos inmobiliarios.

2.2.1. Situación actual del sector

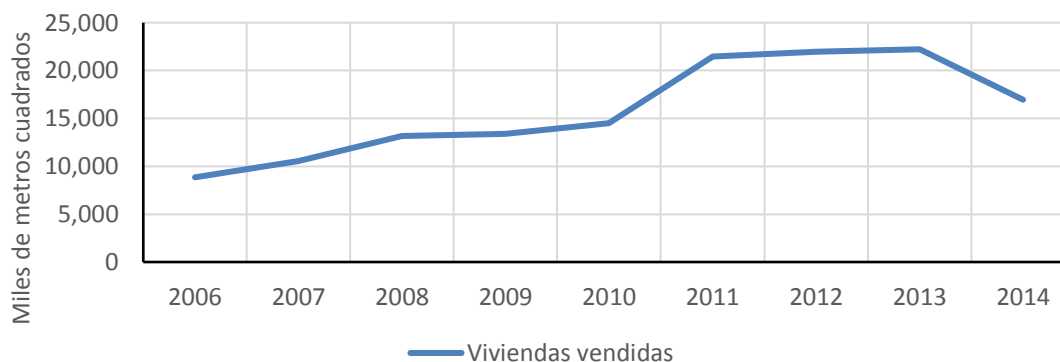
El sector construcción estuvo en apogeo durante la década del 2004 al 2014, debido a cuatro factores (Iberico & Vera, 2014):

1. La expansión de la economía del país, evidenciada en el crecimiento del PBI per cápita.
2. El crecimiento de las clases sociales medias.
3. El aumento en la accesibilidad de los créditos.
4. La existencia de una demanda insatisfecha de viviendas, infraestructura y servicios.

Sin embargo, desde el 2011 se encuentra en un proceso de desaceleración como lo sugiere la caída en el volumen de ventas en el mercado de viviendas en los años posteriores al 2011, según se muestra en la figura 8, y la cantidad de viviendas retrasadas en su comercialización. El 67.20% de la oferta en viviendas en Lima Metropolitana y Callao que fueron ofertadas durante el 2015 está en retraso de venta según lo que se había pronosticado en su plan original (CAPECO, 2015).

Figura 8

Viviendas vendidas en Lima Metropolitana y Callao

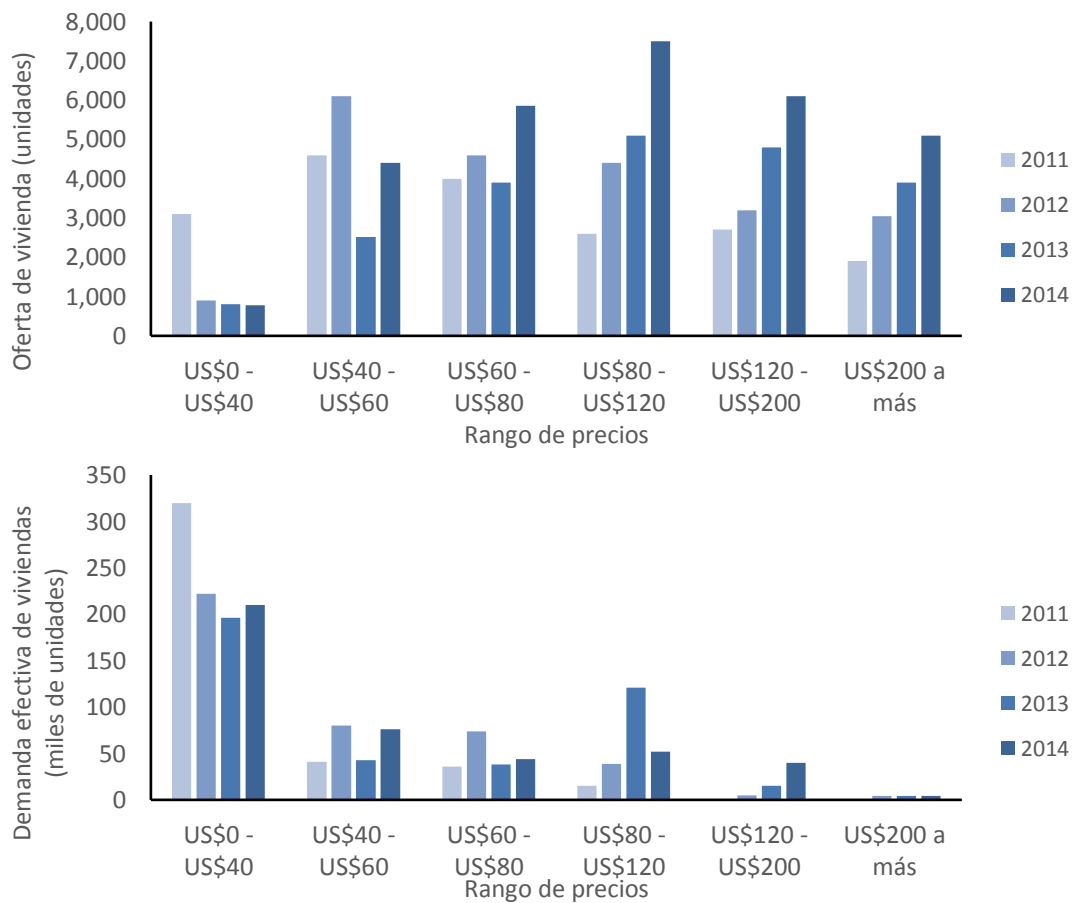


Nota. Expresado en metros cuadrados de superficie. Fuente: CAPECO (2015). La información se registró al mes de julio de cada año.

Un primer factor coyuntural importante que explica en parte este desempeño durante los últimos dos años es la caída del total de la economía del país; en el año 2014 el crecimiento anual del PBI fue de 2.4%, mientras que entre los años 2010 y 2013 este crecimiento promedio fue del 6.7% anual (INEI, 2016b). El Departamento de Estudios Económicos de Scotiabank Perú señala que esta caída en la economía se debe a la disminución de la inversión privada en el país, particularmente en el sector minero, que tiene como consecuencia una menor inyección de dinero en la economía (Scotiabank, 2015). No obstante, un segundo factor explicativo es el exceso de oferta en los niveles socioeconómicos (NSE) más altos y una demanda insatisfecha en los NSE más bajos, evidenciado por el rango de precios por metro cuadrado de las viviendas en el mercado como se muestra en la figura 9.

Figura 9

Oferta y demanda de viviendas



Nota. Los gráficos muestran el contraste entre la oferta y la demanda de viviendas en Lima Metropolitana y Callao, expresada en millones de dólares. Fuente: Scotiabank (2015), a partir de CAPECO.

2.2.2. Problemática social y gubernamental

Las viviendas se consideran asequibles cuando una familia de bajos ingresos puede adquirirla financiando hasta 30% de la compra con un aporte propio de capital (Miles & Berens, 2000). Los autores Miles y Berens explican que ocurre un problema social cuando existe una brecha entre el precio de la vivienda y lo que aquellos en necesidad de adquirirla pueden pagar. En Perú, ello ha generado la proliferación de la autoconstrucción y la construcción informal, lo cual genera viviendas de bajo costo, pero bajo nivel de seguridad y menor calidad de vida (Palomino & Wong, 2011).

Por el lado de la oferta, las empresas inmobiliarias reportan problemas con extorsiones

por “pseudouniones” laborales, así como demoras en la obtención de trámites municipales y obtención de servicios de utilidades. Los trámites de licencia municipales demoran más de 75 días y obtener la aprobación de las compañías de servicios públicos demora tres meses (Palomino & Wong, 2011). Este problema se ve exacerbado por la inadecuada planificación zonal producto de la pobre planificación urbana de los organismos del Estado y la falta de una correcta zonificación, lo cual aumenta los costos de la adecuación y habilitación del terreno, además de impedir la construcción de proyectos de gran envergadura que se beneficien por economías de escala. Asimismo, se debe competir por la disponibilidad de terrenos con la construcción informal, la cual ignora las restricciones de zonificación (Palomino & Wong, 2011). En tal sentido, las propuestas de políticas públicas para mejorar las condiciones del sector construcción deben estar enfocadas a reducir los tiempos de trámites administrativos, mejorar la oferta de servicios de utilidades y desarrollar nuevos planes de zonificación, así como explorar la posibilidad de incluir al sector privado en las actividades de saneamiento (Iberico & Orrego, 2015).

2.2.3. Dinamismos de la actividad constructora

Según Peiser & Frej (2003), los altos precios están correlacionados a demanda insatisfecha. Ellos también afirman que en países desarrollados el desarrollo inmobiliario es empujado por la demanda y es importante considerar indicadores de disponibilidad de ingresos de los potenciales compradores, tales como el nivel de consumo y la tasa de desempleo (Peiser & Frej, 2003). En cambio, el mercado inmobiliario en Perú ha sido un mercado gobernado por los ofertantes; esta situación cómoda ha creado pocos incentivos para la innovación tecnológica, tanto en materiales como procesos, lo cual impide la reducción de costos. Los procedimientos empleados en el Perú han cambiado poco en décadas (Palomino & Wong, 2011). Esto es contrastable con el caso de Japón, donde las compañías constructoras invierten más que el promedio mundial en investigación y desarrollo, empleando técnicas de automatización y manufactura integrada por computadora, resultando en una industrial inusualmente rentable (Myers, 2013).

El estudio del Banco Interamericano de Desarrollo conducido por Palomino & Wong

(2011) revela, mediante entrevistas en Perú a constructores y desarrolladores asociados a CAPECO, el rango promedio de la estructura de costos de una unidad de vivienda construida, según muestra la Tabla 6. El alto porcentaje de costos de materiales es debido principalmente al acero, cuyo precio volátil tiene a menudo impactos desfavorables en la rentabilidad; esto es de especial importancia debido a que muchas viviendas se ofrecen en preventa antes de finalizarse la construcción y se hacen a un precio fijo. Los costos de habilitación del terreno son altos debido a la oferta insuficiente de terrenos aptos para la construcción, mientras que los costos de habilitación urbana son debido a la escasez de servicios de agua y desagüe (Palomino & Wong, 2011).

Tabla 6

Costo total de una unidad de vivienda desagregada por componentes

Concepto	Porcentaje
Costo de construcción	55 – 70
Materiales y equipos	40 – 50
Mano de obra	15 – 20
Habilitación del terreno	20 – 30
Habilitación urbana	10 – 15
Otros	5 – 8
Diseño (ingeniería)	2 – 4
Financiamiento	1 – 2
Gastos Administrativos, de ventas y legales	1 – 2
Licencias	1

Nota. Fuente: Elaboración propia, a partir de Palomino & Wong (2011)

3. DESARROLLO DEL MODELO

3.1. Flujo de caja base

El presente acápite presenta el flujo de caja del proyecto de desarrollo inmobiliario sobre el cuál se aplicará posteriormente la metodología de opciones reales.

3.2. Descripción del proyecto

Debido a que el alcance del presente estudio es exponer las ventajas de emplear la metodología de opciones reales y ejemplificar su uso, la construcción del flujo de caja inicial no será explicada con detenimiento, sino que se empleará un flujo de caja adaptado a partir de uno existente en un estudio anterior. En particular, se usará como base el proyecto de edificio multifamiliar en el distrito de Pueblo Libre en Lima, Perú desarrollado por Villanueva (2017).

De acuerdo con la segmentación del proyecto, el público objetivo pertenece al nivel socioeconómico B, al estilo de vida Progresista y con un ingreso familiar entre \$ 1 000 a 3 000. El núcleo familiar estará conformado por 4 y 6 miembros, los jefes de hogares cuentan con edades promedios entre 40 y 50 años, y cuentan con capacidad de crédito hipotecario. El número de ambientes del departamento es entre 5 y 6 ambientes, tiene entre 2 a 3 dormitorios. El complejo multifamiliar cuenta con dos bloques de edificio y 03 sótanos, teniendo un total de 84 departamentos 67 estacionamientos y 22 depósitos que serán vendidos (Villanueva, 2017).

El desarrollo de este proyecto está dividido en seis etapas:

- 1. Inicio:** Compra del terreno
- 2. Anteproyecto:** Obtención de licencias, generación de planos.
- 3. Preventa:** Venta de departamentos antes del inicio de la construcción. Es necesario lograr un porcentaje predeterminado de ventas durante esta etapa para tener el financiamiento bancario necesario durante esta etapa para iniciar la

construcción.

4. **Construcción:** Edificación de la obra.
5. **Venta:** Etapa desde la finalización de la construcción y la finalización de las ventas de los departamentos. En esta etapa inicia la venta de estacionamientos y depósitos.
6. **Postventa:** Finalización de la venta de estacionamientos y depósitos. Los gastos se reducen considerablemente pues el esfuerzo requerido es mucho menor.

3.2.1. Elementos del flujo de caja inmobiliario

A partir del modelo presentado por Villanueva (2017) se pueden definir los siguientes componentes de un flujo de caja de desarrollo inmobiliario de inmuebles en Perú.

- **Terreno.** La edificación necesita la adquisición previa de un terreno, pagar el impuesto de alcabala por posesión de bienes inmuebles y los gastos de notaría y registro. Estos pagos ocurren en el primer mes; la adquisición del terreno marca el inicio del proyecto.
- **Costos de etapa preoperativa o anteproyecto.** Se debe pagar por el servicio de la elaboración de los planos, o anteproyectos, de agua, electricidad, arquitectura y estructuras. Asimismo, se deben hacer los trámites y pagos de licencias necesarios para el inicio de la construcción. Estos gastos ocurren, por lo menos, un mes antes de que inicie la edificación.
- **Costos de etapa operativa.** La construcción, ya sea de estructuras, arquitectónica, eléctrica o sanitaria, conlleva a costos de material directo, mano de obra directa y costos indirectos por mano de obra indirecta, seguros, supervisión, alquiler de maquinaria, entre otros. Estos costos ocurren durante los meses que dure la obra.
- **Titulación.** Este costo corresponde a los trámites finales en registros públicos y ocurre un mes después de finalizado el proyecto, con el fin de entregar a los propietarios las viviendas.

- **Publicidad y ventas.** Estos gastos ocurren desde que se decida iniciar la etapa de preventas hasta que se termina de vender el último departamento.
- **Gastos administrativos, de gestión de proyecto y financieros.** Estos gastos corresponden a la gestión administrativa y de proyectos de la empresa inmobiliaria y al pago de intereses de la deuda.
- **Impuestos.** Corresponden al impuesto a la renta y el arbitrio por el inmueble.
- **Precio por m².** El precio de los inmuebles se expresa por metro cuadrado y para definirlo se estudia el precio promedio en la zona, ya sea por consulta directa a los competidores o a revistas especializadas que realizan estos estudios, como por ejemplo Tinsa o S10.
- **Ingresos.** Los ingresos percibidos directamente del cliente son la cuota inicial y una tarifa de “separación” del inmueble que tiene vigencia de un mes que da la opción al cliente de comprar el departamento el mes siguiente. El resto del ingreso por la venta lo desembolsa la entidad financiera que otorga el crédito hipotecario y ocurre con meses de rezago al pago de la cuota inicial. Sin embargo, la institución financiera no desembolsará monto alguno hasta que el 30%-40% de los inmuebles hayan sido vendidos en preventa. Adicionalmente, en el proyecto de Villanueva (2017), para reflejar el destiempo entre la cuota inicial y el desembolso del financiamiento, se asume que en el periodo en que ocurre la venta solo se recibe la cuota inicial, y el resto queda pendiente por cobrar, generándose una cuenta por cobrar cada mes desde que inicia la preventa. Estas cuentas por cobrar se empiezan a recolectar de manera mensual cuando empieza la construcción, y n el mismo orden cronológico mensual en que se originaron.

3.3. Recopilación de datos

El presente acápite presenta los datos necesarios para modelar el flujo de caja que serán luego utilizados en la simulación, así como algunas consideraciones y tratamientos previos para su uso.

3.3.1. Datos de series de tiempo

Precio de venta por metro cuadrado

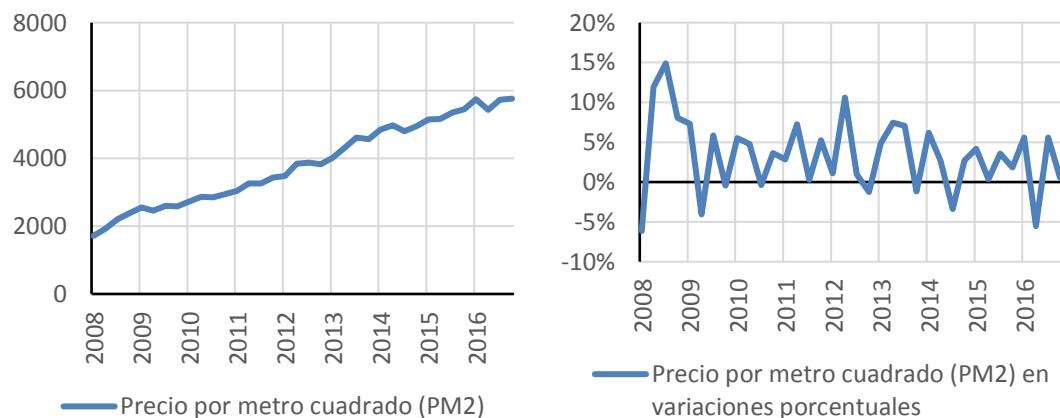
El índice de precios por m² (en adelante “PM2”) a utilizarse corresponde a la mediana trimestral de los precios de venta de viviendas en 10 distritos: La Molina, Miraflores, San Borja, San Isidro, Surco, Jesús María, Lince, Magdalena, Pueblo Libre y San Miguel, como se muestra en el Anexo 5. La serie es recopilada trimestralmente por el Banco Central de la Reserva del Perú (BCRP) y corresponde al precio ponderado por superficie ofertada. El índice se recopila en USD/m²; sin embargo, para fines de este estudio se utilizará la serie de precios por m² en Soles corrientes.

Se emplea esta serie debido su disponibilidad: es de gratis acceso y cuenta con información histórica desde el cuarto trimestre del 2007. Sin embargo, para una aplicación real de la metodología podría obtenerse una serie de precios para el distrito específico del proyecto mediante la compra de revistas especializadas. En este estudio se encontrará un factor de proporción¹³ para relacionar la serie de datos disponibles al precio de venta específico del proyecto.

¹³ La conversión entre el dato observado y el dato aplicable al proyecto es una función discrecional que depende de la calidad del activo inmobiliario versus los representados en el índice, el mix de materiales de construcción y acabados a emplear, entre otros, tal que se halle una regla de correspondencia de proporcionalidad. En el presente estudio no se ha centrado en este detalle ni se ha realizado ejercicio, sino que se deja indicado para su futura aplicación práctica

Figura 10

Nivel y variación porcentual trimestral del Índice de Precios por Metro Cuadrado



Nota. Información a precios corrientes en Soles. Fuente: Elaborada a partir de BCRP (2018a).

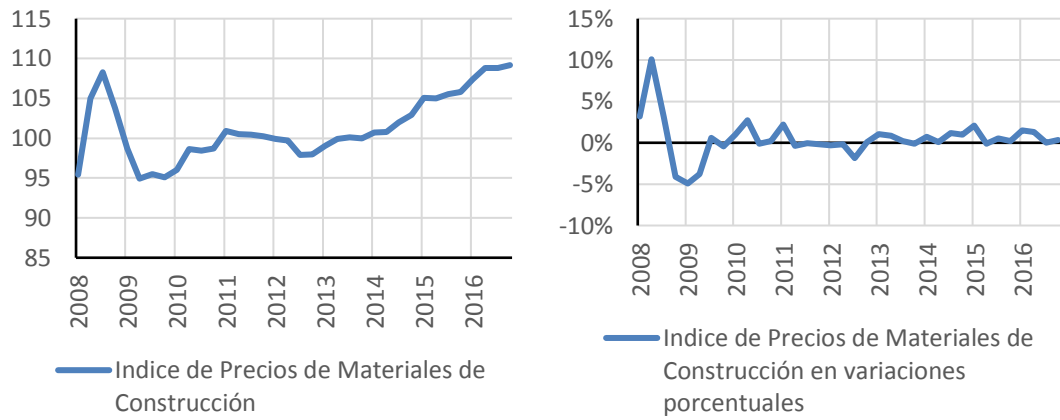
Índice de precios de materiales de construcción

El índice de Precios de Materiales de Construcción (IPMC) de Lima Metropolitana, construido por el Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú (INEI), mide la variación mensual del precio de un conjunto representativo de insumos empleados en la construcción. Para definir los componentes de la canasta y su ponderación se utiliza información de ventas del Censo Nacional Económico más reciente. Los rubros incluyen metálicos, concreto, maderas, suministros eléctricos, vidrios, entre otros. La serie se presenta en el Anexo 6.

El IPMC será utilizado como proxy del costo de construcción de la obra. Ello se debe a que, como se muestra en la Tabla 6 de la sección 2.2.3, el costo de la construcción está explicado principalmente por los materiales y equipos. En segundo lugar, de importancia está el costo de la mano de obra; sin embargo, esta serie no presenta una variabilidad que se pueda modelar en el horizonte de inversión. El costo de la mano de obra tiene como proxy la serie de salario mínimo, y como se muestra en la figura 12 esta serie tiene saltos impredecibles.

Figura 11

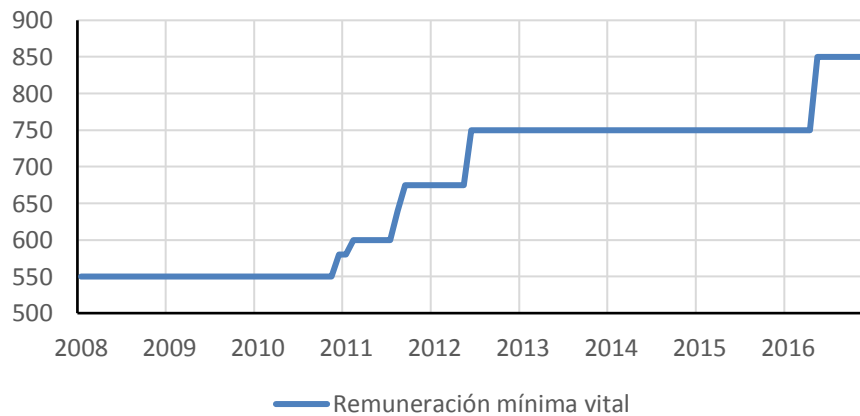
Nivel y variación porcentual trimestral de Precios de Materiales de Construcción



Nota. Información año base 2013 (Base 2013=100). Fuente: Elaboración propia, a partir de INEI (2018).

Figura 12

Nivel mensual de la Remuneración Mínima Vital



Nota. Monto en soles corrientes. Fuente: Elaboración propia a partir del BCRP (2018b)

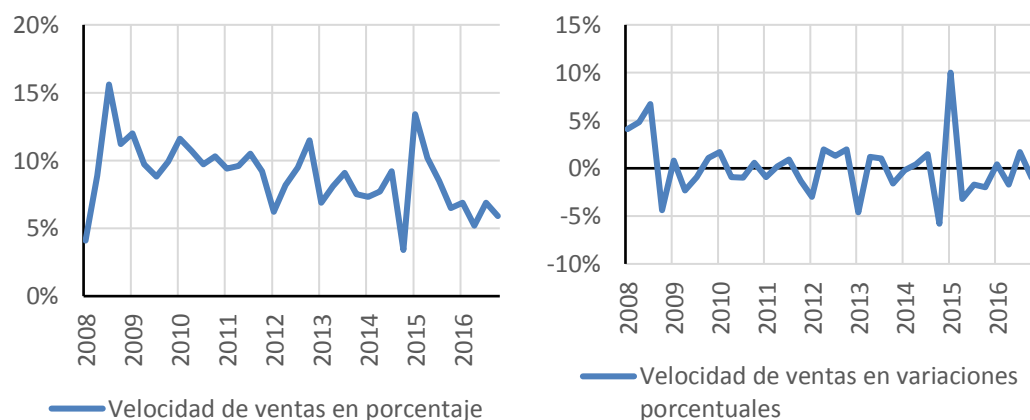
Velocidad de ventas

La velocidad de ventas, según la definición de la sociedad de tasación inmobiliaria internacional TINSa, representa el porcentaje de unidades vendidas por mes entre la oferta total disponible, considerando tanto la oferta ya existente como la oferta nueva

generada durante el periodo. Definida de esta manera, la velocidad de ventas representa la tasa de absorción, la cual es una variable importante para la toma de decisiones en el desarrollo de bienes raíces. TINSa publica esta cifra trimestralmente en su Informe de Coyuntura Inmobiliaria de Vivienda Nueva (INCOIN). Para la simulación del flujo de caja del proyecto, la velocidad de ventas nos indicará cuántas serán las unidades vendidas en cada periodo. La serie se presenta en el Anexo 7.

Figura 13

Velocidad de ventas en porcentaje y variación porcentual trimestral



Nota. Fuente: Elaboración propia, a partir de TINSa (2018).

Debido a la periodicidad de dos de las series, el flujo de caja se proyectará en trimestres.

3.3.2. Tratamientos a los datos

A partir del pronóstico de las series de tiempo mostradas en la sección 3.2.1, se realizará la simulación del flujo de caja del proyecto. Ello implica encontrar la relación que llevan con las cuentas del flujo de caja relevantes. Dadas las particularidades de este caso de estudio, donde el proyecto ha sido simulado de manera independiente a estas series de datos, es necesario hacer varios supuestos con el fin de llegar a las relaciones. Aplicar los supuestos desarrollados en la sección 3.3.2., remueve las ventajas de utilizar el modelo de valorización de opciones reales, debido a que este modelo busca acercar más a la realidad la evaluación económica de un proyecto y no alejarla. No obstante, lo que no hay que perder de vista aquí es que estos supuestos son necesarios únicamente

porque el flujo de caja se construyó sin pensar en emplear simulaciones con las variables ya mencionadas, de modo que este paso no resta la aplicabilidad ni validez de la metodología. Para la aplicación de la herramienta de opciones reales en cualquier otro contexto, estos supuestos no serían necesarios pues la relación con las variables a simular sería conocida desde un inicio.

Costos de construcción

En el estudio de Villanueva (2017), los costos de construcción se calculan partiendo del costo total, considerando que el tiempo de construcción de la obra es de 18 meses, y luego se reparten equitativamente en costos mensuales. Debido a que todo el proyecto está siendo analizado en términos corrientes y no ajustados por inflación, podemos entender que se ha considerado un costo promedio para la construcción que aplica por igual a todos los meses. En tal sentido, la proyección de los flujos para el proyecto implica tácitamente una inflación esperada para el horizonte de inversión, a la cual crecen los costos en cada periodo, y considerando el valor promedio durante la vida del proyecto se puede hallar un costo promedio.

Considerado el punto de partida del pronóstico del proyecto, diciembre del año 2016, la inflación esperada anual del BCRP fue de 2.30% (BCRP, 2016). A partir de este dato histórico de expectativas futuras se busca construir una relación de proporcionalidad entre la variable con proyección conocida (inflación del país), el parámetro estocástico a simular (el IPMC y el índice de precios) y los flujos de caja proyectados. La relación entre la inflación y la variación porcentual anual del IPMC y del índice de precios por metro cuadrado se muestran en la Tabla 7 a continuación. Se encontraron ratios de proporcionalidad promedio entre las variaciones anuales de cada serie divididas entre la inflación anual de la ratio de 0.652 para el IPMC y de 3.999 para el precio por m², Estos ratios se utilizaron calcular la variación esperada futura teórica observada en diciembre de 2016 a partir de la estimación de inflación del BCRP en esta misma fecha.

Tabla 7*Relación entre la inflación y la variación anual de las variables*

Año	Inflación	Δ% IPMC	Δ% PM2
2010	2.08%	3.81%	14.20%
2011	4.74%	1.57%	16.44%
2012	2.65%	-2.25%	11.46%
2013	2.86%	2.06%	19.12%
2014	3.22%	2.95%	8.17%
2015	4.40%	2.76%	10.24%
2016	3.23%	3.19%	5.88%
Espera	2,30%	1.50%	9.20%

Nota. Fuente: Elaboración propia, a partir de INEI (2018), BCRP (2018c) y BCRP (2018c).

Se reparte el costo total de construcción del proyecto, S/ 15,174,114.56, en 6 trimestres, el equivalente de los 18 meses iniciales, donde los montos trimestrales crecen según a la tasa de crecimiento esperada de 1.5% anual hallada para el IPMC, que equivale a una tasa trimestral de 0.375%, y la suma de estos seis montos trimestrales debe ser equivalente al total a repartir. Mediante la fórmula de la suma de una serie geométrica con $n=6$ periodos ($S_n = a_1 * (1-r^n) / (1-r)$), se puede despejar el primer valor de la serie, que en este caso fue de S/ 2,505,411.83. Finalmente, al tomar la última observación del valor del IPMC del año 2016, S/ 109.17, se calcula la proporción entre el costo trimestral de construcción y el valor del índice, que resulta en S/ 22,949.87.

Precio de venta

Repitiendo el mismo procedimiento empleado para hallar la relación con el IPMC, se parte del total de ingresos por ventas considerado en el proyecto: S/ 31,485,000.00 para los departamentos, S/ 1,675,000.00 para los estacionamientos y S/ 220,000.00 para los depósitos. En cada producto se reparten los montos en flujos trimestrales de longitud igual al periodo de ventas considerado originalmente en el proyecto: 14, 12 y 4 trimestres respectivamente. Estos flujos crecerán a la tasa del crecimiento esperado del

índice de PM2, 9.20% anual o 2.3% trimestral. A partir del despeje con la fórmula de la suma de la serie geométrica se llega al punto de partida de la serie de ingresos totales trimestrales.

Sin embargo, lo que se busca calcular es el precio de venta unitario, por lo que se toma en consideración la velocidad de ventas del proyecto original de Villanueva, que corresponde a una venta trimestral de 6 unidades en todos los casos. De esta forma se determinan los ingresos esperados por la venta de cada unidad de departamentos, estacionamientos y depósitos. Finalmente, partiendo de la última observación del índice PM2 al final del 2016 (S/ 5759.00) se calculan los ratios que relacionan el valor del índice al precio de venta unitario: 55.91, 3.55 y 1.54 respectivamente.

Para continuar con el análisis de estos resultados, se toma en consideración que el tamaño promedio de los departamentos es de 80m²; al dividir el ratio de 55.91 entre 80 obtenemos 70%. Este número indica, respecto al índice de precios por metro cuadrado de 10 distritos, cuánto por encima o por debajo se encuentra en valor relativo el precio de los departamentos del proyecto. Repitiendo este mismo ejercicio para los estacionamientos y depósitos no solo se obtendría la relación por metro cuadrado, sino también el valor relativo de un departamento terminado versus el valor de un estacionamiento o un depósito. Si en otro estudio de aplicación se quiere proyectar el precio de venta de los bienes raíces del proyecto a partir del índice PM2, ratios como estos ayudan a establecer la relación entre la serie de tiempo observable y el flujo de caja del proyecto.

3.4. Opciones reales presentes en el proyecto

El presente acápite presenta un diagnóstico de las opcionalidades presentes en los proyectos inmobiliarios y la especificación de las opciones reales que serán evaluadas en el estudio.

3.4.1. Variaciones y flexibilidades en empresas inmobiliarias locales

Con base en la información recopilada por el autor en entrevistas a gestores inmobiliarios de una empresa de desarrollo inmobiliario en Lima, Perú (Comunicación

personal, 15 de octubre de 2016), se determinó qué variaciones respecto a las planificaciones originales podrían ocurrir a lo largo de la vida del proyecto y qué flexibilidad en la gestión la empresa tomaría a medida que nueva información sobre el entorno está disponible. Los resultados de las entrevistas se resumen a continuación, entre amenazas y oportunidades.

Amenazas

- **Clasificación crediticia de los clientes.** Los clientes compran mediante créditos hipotecarios, y debido al desequilibrio en la balanza de negociación, el banco que financie la construcción será el mismo que financie la compra de los clientes. Si los clientes interesados en el inmueble tienen baja calificación crediticia, pueden necesitar recurrir a financieras en lugar de bancos, por lo que el costo de la deuda se incrementa.
- **Demoras y modificaciones exigidas al anteproyecto de agua y luz.** Antes de poder iniciar la construcción, las compañías de agua y luz de la zona deben aprobar los planos de agua, desagüe y electricidad. Este periodo de espera puede extenderse, alargando la vida del proyecto, y para la aprobación estas entidades pueden exigir la instalación de más conexiones.
- **Compatibilización de los distintos planos.** Para iniciar la construcción se deben tener planos estructurales, arquitectónicos de agua y de electricidad. Si los planos generan contradicciones entre sí, es necesario rediseñarlos lo cual ocasiona mayores costos de mano de obra indirecta, además de generar retrasos.
- **Interacción entre la cartera de proyectos.** Las empresas inmobiliarias típicamente trabajan en varias edificaciones de manera simultánea. El éxito o fracaso de un proyecto de la empresa impactan en el flujo de caja de los demás, y el efecto de esta interacción es difícil de cuantificar cuando se analiza a un solo proyecto de manera aislada.
- **Competencia.** Si aumentan las edificaciones competidoras en la zona, se debe bajar el precio de los inmuebles debido al incremento en la oferta

Oportunidades

- **Descuento de preventa.** Se puede modificar el descuento otorgado en preventas, ya sea para aumentarlo con el fin de acelerar los ingresos y así financiar la construcción con ingresos en lugar de préstamos, o se puede disminuir si se descubre que el ritmo de ventas era mejor al esperado y no se requería tanto descuento como se pensó inicialmente.
- **Demanda.** En caso la demanda sea mejor a la esperada se puede incrementar el precio de los inmuebles.
- **Gasto de ventas.** Si el ritmo de ventas resulta menor al esperado, se puede invertir más en marketing y publicidad con el fin de incentivar la demanda.
- **Agilización de la construcción.** Otra alternativa para mejorar el ritmo de ventas es aumentar el financiamiento, ya sea a través de préstamos o incremento en el aporte propio, y así incrementar la velocidad del proceso de la construcción. Con base en la experiencia, un edificio con un mayor nivel de avance tiene un efecto positivo en la demanda.
- **Contratos a futuro con los proveedores.** Debido a la incertidumbre en los materiales de construcción, se puede pactar la compra futura de cemento o fierro a un precio fijado en el presente. No obstante, no siempre es provechoso, en especial para plazos largos, debido a que los proveedores siempre afirman que los precios van a subir y pueden cobrar primas excesivas.

3.4.2. Especificación de las opciones reales

Opción Real 1 – Agilizar construcción con horas extra

- **Explicación:** Si disminuyen los costos de construcción, se puede agilizar la obra mediante el uso de trabajo en horas extra.
- **Regla de decisión:** Ejecutar si la variación porcentual en el IPMC es por debajo del *trigger* (gatillador).

- **Impacto:** Aumento en la velocidad de construcción y en el costo de construcción del periodo, según un factor de sobrecosto del trabajo en tiempo extra por encima de las horas regulares.

Opción Real 2 – Ofrecer descuento durante la preventa

- **Explicación:** Para agilizar el pase a la etapa de construcción, si la velocidad de ventas es muy poca se pueden ofrecer descuentos para aumentar la cantidad vendida.
- **Regla de decisión:** Ejecutar si la velocidad de ventas es por debajo del *trigger*.
- **Impacto:** Aumento en la velocidad de ventas, reducción en los ingresos, al contado y al crédito, generados en dicho periodo.

Opción Real 3 – Aumentar el precio si hay suficiente demanda

- **Explicación:** En caso la demanda sea mayor a la esperada, medida a través de la velocidad de ventas, se puede incrementar el precio, a costa de perder algunas ventas por el mayor precio.
- **Regla de decisión:** Ejecutar si la velocidad de ventas es por encima del *trigger*.
- **Impacto:** Reducción en la velocidad de ventas debido a la relación precio-demanda.

Opción Real 4 – Aumentar el gasto de venta si el precio aumenta.

- **Explicación:** En caso el incremento en el índice de precios sea suficiente, se puede solventar un aumento en el gasto de publicidad y marketing tal que aumente la demanda del periodo.
- **Regla de decisión:** Ejecutar si la variación porcentual en el PM2 es por encima del *trigger*.
- **Impacto:** Aumento en la velocidad en ventas y en el gasto de venta.

Adicionalmente se ha incorporado el riesgo de que haya fallas durante el proyecto y se tengan que trabajar horas extra para cumplir los plazos, mediante una probabilidad de falla que gatilla un porcentaje de sobre costo.

3.5. Descripción del modelo

El presente acápite explica la lógica de programación que permite analizar las variables de entrada, determinar las regresiones para su pronóstico y simular el flujo de caja para valorizar las opciones reales.

3.5.1. Variables del modelo

Adicionalmente a las series de tiempo que se muestran en los Anexos 5, 6 y 7, las variables empleadas en el proyecto se muestran en la Tabla 8. Cabe resaltar que la tasa de descuento a utilizar será la tasa libre de riesgo, en concordancia con la metodología de valorización neutral al riesgo discutida en la sección 1.4.1., y cuyo valor es 6.532%, corresponde a la tasa del bono soberano de Perú del 31 de diciembre del 2016 con rendimiento de 10 años obtenida de la curva de bonos soberanos en soles generada por la Superintendencia de Banca y Seguro (SBS).

Tabla 8
Variables de entrada del modelo

Concepto	Código	Valor	Timing
Montos: pago único (S/)			
Terreno y Alcabala	Terreno	8,317,061.00	Al inicio
Certificados y Autorizaciones	Autoriz	23,550.41	Al inicio
Licencia Obra Nueva	Lic_Obr	177,969.81	Anteproyecto
Certificados Fin de Obra	Cert_Obtr	304,435.21	Fin Construcción
Montos: a repartir (S/)			
Gastos administrativos por trimestre	G_Adm	57,171.00	Prevta, constr y venta
Gastos financieros por trimestre	G_Fin	26,554.03	Prevta, constr y venta
Gastos gestión proyecto por trimestre	G_GestP	75,870.57	Preventa y construcc

Gastos post-construcción por trimestre	G_PostC	151,741.15	Venta y postventa
Diseño de anteproyecto – Base	G_Antepr	428,653.61	Anteproyecto
Cantidad total de Departamentos	QT_Dpto	84	Prevta, constr y venta
Cantidad total de Estacionamientos	QT_Estc	67	Venta y postventa
Cantidad total de Depósitos	QT_Dpz	22	Venta y postventa

Valores por periodo

Gasto Mkt y Vta: Base/trimestre	G_Vta	86,941.56	Prevta, constr y venta
Gasto Construcción/IPMC	K_Costo	22,949.87	Construcción
Precio Dpto/Índice Pm2	KP_Dpto	55.9071	
Precio Estc/Índice Pm2	KP_Estc	3.5537	
Precio Dpz/Índice Pm2	KP_Dpz	1.5378	
Punto de partida IPMC	IMPC0	111.3581	
Punto de partida Pm2	PM20	5,843.8739	
Variacion previa IPMC	DIPMC0	1.3983%	
Variacion previa Pm2	DPM20	0.9126%	

Gatilladores y sensibilizadores

% Preventa Necesario	P_Pvta	30.00%	Preventa
Construcción a velo.normal (trim)	QT_Constr	6	Construcción
Cuota inicial (%)	P_Cini	10.00%	
Probb falla anteproyecto	PF_ant	30.00%	Anteproyecto
Sobrecosto anteproyecto	KF_ant	33.30%	Anteproyecto
Capacidad de sobre-construcción	OV_cons	50.00%	Construcción
Trigger variación IPMC	OT_cons	-2.20%	Construcción
Sobrecosto horas extra	OI_const	50.00%	Construcción
% Dcto en preventas	OV_dcto	30.00%	Preventa
Trigger V.Vta(%) preventa	OT_dcto	4.50%	Preventa
Impacto en V.Vta (%) tras dcto	OI_dcto	1.00%	Preventa
Aumento en Precio (%)	OV_aum	12.50%	Constr, venta

Trigger V.Vta(%) %Precio	OT_aum	8.00%	Constr, venta
Impacto en V.Vta (%) tras uamento	OI_aum	-1.00%	Constr, venta
Aumento en V.Vta(%) por G.Vta	OV_gvta	3.75%	Constr, venta
Trigger %Precio G Vta	OT_gvta	9.50%	Constr, venta
Impacto en G.Vta (%)	OI_gvta	20.00%	Constr, venta
Costo ponderado del capital (%)	Tasa_dcto	8.49%	
Impuesto a la Renta (%)	T_IR	6.532%	
Cantidad de simulaciones	QT_Simu	30.00%	

Nota. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, dentro del modelo se definen las variables intermedias y de salida que se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9
Variables intermedias y salidas del modelo

Concepto	Código
Variables intermedias: series de tiempo	
Series de tiempo en niveles	Niveles
Series de tiempo en variaciones porcentuales	Diferecias_1ra
Modelo de regresión para Cambio% IPMC	IPMC.modelo
Modelo de regresión para Cambio% PM2	PM2.modelo
Modelo de regresión para la Velocidad	Velo.modelo
Coefficientes de regresión de los modelos	M_Coefficientes
Error estándar de los modelos	.modelo\$sigma
Matriz de errores simulados (innovaciones)	M_Errores
Matriz de variaciones porcentuales simuladas	M_Delta
Matriz de niveles simulados	M_Niveles
Matriz de variaciones rezagadas para regresiones	M_Delta_Anterior
Matriz de niveles anteriores para acumular	M_Niveles_Anterior

Variables intermedias: opcionalidades

Indicador de activación de la opción en el trim	OA_cons
Indicador de activación de la opción en el trim	OA_dcto
Indicador de activación de la opción en el trim	OA_aum
Indicador de activación de la opción en el trim	OA_gvta
Contador de trimestres en los que se activó	OC_cons
Contador de trimestres en los que se activó	OC_dct
Contador de trimestres en los que se activó	OC_aum
Contador de trimestres en los que se activó	OC_gvta
Velocidad de ventas del trimestre post-opciones	Velo.proy
Precio de ventas del trimestre post-opciones	PV_Dpto
Variables intermedias: temporales	
Número de trimestre	Trim
Cantidad vendida durante el trimestre	QV_Dpto
Cantidad vendida durante el trimestre	QV_Este
Cantidad vendida durante el trimestre	QV_Dpz
Cuenta por cobrar del trimestre (1-%cta ini)	Tcobro
Flujo de caja del trimestre	CF_T
Matriz de flujos de caja en la corrida de simulación	CF_Matriz
Matriz de cuentas por cobrar en la corrida	Cobro_Pdte
Valor presente neto en la corrida de simulación	VPN
Tasa de retorno en la corrida de simulación	TIR
Variables intermedias: variables de estado	
Indicador de la etapa del proyecto	Etapa
Duración de la etapa en la corrida de simulación	Duracion_Prevta
Duración de la etapa en la corrida de simulación	Duracion_Cons
Duración de la etapa en la corrida de simulación	Duracion_Vta
Duración de la etapa en la corrida de simulación	Duracion_Postvta
Acumulador del avance de construcción	Constr_Acum

Acumulador de unidades vendidas	Dpto_Acum
Acumulador de unidades vendidas	Este_Acum
Acumulador de unidades vendidas	Dpz_Acum
Indicador de salida de la corrida de simulación	fin_programa

Variables de salida

Matriz de duración del proyecto en todas las corridas	M_Trim
Matriz de uso de la opción en todas las corridas	M_OC_cons
Matriz de uso de la opción en todas las corridas	M_OC_dcto
Matriz de uso de la opción en todas las corridas	M_OC_aum
Matriz de uso de la opción en todas las corridas	M_OC_gvta
Matriz de duración de la etapa en todas las corridas	M_Duracion_Prevta
Matriz de duración de la etapa en todas las corridas	M_Duracion_Cons
Matriz de duración de la etapa en todas las corridas	M_Duracion_Vta
Matriz de duración de la etapa en todas las corridas	M_Duracion_Postvta
Matriz de VPNs en todas las corridas	M_VPN
Matriz de TIRs en todas las corridas	M_TIR

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Lógica del modelo

El código ha sido implementado en el programa R y se muestra en el Anexo 9. El programa inicializa cargando las librerías de códigos que necesita, como sucede con todos los códigos en R, y luego procede a leer las variables de entrada listadas en la Tabla 8. Los pasos enunciados a continuación se encuentran resumidos en flujogramas en el Anexo 8.

Antes de iniciar las simulaciones es necesario determinar los modelos de regresión para el pronóstico de las series de tiempo, lo cual se logra con tres pasos. Primero se realizan dos pruebas de hipótesis sobre las series, la prueba de estacionariedad de Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin (KPSS) y la prueba de raíz unitaria Augmented Dickey Fuller (ADF), con el fin de determinar si las series son aptas para ser modeladas con métodos

de series de tiempo.

Segundo se trata de ajustar las series a un modelo VAR (vectores autorregresivos), para determinar qué combinaciones de variables y rezagos tienen poder predictivo sobre las series a pronosticar. El poder predictivo de una variable es determinado a través de la prueba t-student de significancia. Adicionalmente, mediante el criterio de información Bayesiano o de Schwarz (BIC) se selecciona la cantidad de rezagos óptimos para el modelo. Finalmente, una vez se haya determinado las variables explicativas, se hallan los modelos de regresión finales. El modelo debe ser significativo tanto para cada coeficiente (prueba t-student) como en conjunto, lo cual se valida a través de la prueba F (Fischer). Asimismo, para que los términos de error sean consistentes y útiles para realizar estimaciones, estos errores deben ser homocedásticos (varianza constante) y no presentar correlación entre ellos, por lo que se aplica la prueba Breusch-Pagan (BP) de heterocedasticidad y la prueba Durbin-Watson (DW) de autocorrelación. La explicación e interpretación de cada test se realizará en el capítulo 4.1.

Una vez obtenidos los modelos de pronóstico, se inician las corridas de simulación. El modelo consiste en dos simulaciones anidadas: para una cantidad de mil corridas se debe simular el comportamiento de las variables en cada periodo dentro de la corrida. Esto se logra a través del uso de bucles: el primer bucle se repite para NSimu de 1 a 1,000, mientras que el segundo bucle se repite siempre y cuando no se cumpla la condición de salida que representa el final del proyecto. Cada bucle implica inicializar las variables relevantes, simular los términos de error o innovaciones neutrales al riesgo en las ecuaciones de regresión para los parámetros estocásticos según lo discutido en la sección 1.4.3., para luego almacenar los resultados en matrices y obtener las variables de salida del modelo.

El flujo de caja dentro de cada periodo se determina según a una serie de reglas, que dependen de si se han gatillado las opciones, de en qué etapa del proyecto se encuentra el trimestre, de cuál fue la etapa anterior, entre otras. Las etapas tienen reglas de salida, de acuerdo a si se sobrepasó la cantidad de preventas requeridas, de si se completó la construcción, entre otros. Finalmente, la culminación del proyecto depende de que se hayan terminado de vender todos los departamentos, estacionamientos y depósitos, y

de que se hayan terminado de cobrar todas las cuentas pendientes que no se pagaron con la cuota inicial. Una vez concluido el proyecto, se calcula el valor presente neto mediante la tasa de descuento libre de riesgo re-expresada en términos trimestrales



4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Caracterización de las variables de entrada

El presente acápite presenta los resultados del análisis de las series de tiempo empleadas en el estudio, indicando los resultados de las pruebas de hipótesis y los modelos de pronóstico resultantes.

4.1.1. Estacionariedad y raíz unitaria

Se aplican los test de estacionariedad y raíz unitaria a las series, tanto en niveles como en variaciones porcentuales (diferencias) para determinar cuál versión de la información tiene poder predictivo en un modelo de series de tiempo.

- **Prueba KPSS:** se asume que la serie de tiempo contiene un valor medio (**drift**) determinístico, un paseo aleatorio y un error estocástico, siendo la hipótesis nula (H_0) que la serie de tiempo es estacionaria versus la alterna de que no lo es.
- **Prueba ADF:** dado un número de rezagos (*lags*) definido, se asume que la serie de tiempo está explicada en función de sus rezagos y se evalúa la hipótesis nula (H_0) de que el coeficiente es igual, en valor absoluto, a 1, versus la hipótesis alterna (H_1) unilateral que es menor.

A un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 5\%$), la Tabla 10 resume las conclusiones. En el caso de la prueba KPSS es de interés que el p-value sea mayor a α para no poder rechazar H_0 , mientras que en el caso de la prueba ADF es de interés que el p-value sea menor a α para rechazar H_0 . Con base en las conclusiones el modelo VAR se realizará empleando las series en diferencias.

Tabla 10*Pruebas de estacionariedad y raíz unitaria*

Variable	Estacionariedad		Raíz Unitaria	
	P value	Conclusión	P value	Conclusión
PM2	0.09	Cumple	0.99	No cumple
$\Delta\%$ PM2	0.01	Cumple	0.01	Cumple
IPMC	0.10	Cumple	0.65	No cumple
$\Delta\%$ IPMC	0.01	Cumple	0.01	Cumple
Velocidad	0.1	Cumple	0.42	No cumple
$\Delta\%$ Velocidad	0.1	Cumple	0.01	Cumple

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.2.1. Modelo de vectores autorregresivos

Con el fin de conservar la correlación entre la evolución de las series, se ajusta la data a un modelo VAR de tres subseries, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 11.

- **Prueba t-student:** dado un coeficiente en un modelo de regresión, se contrasta la hipótesis nula (H_0) de que el coeficiente es igual a cero versus la alterna de que no lo es. Para que una variable tenga poder explicativo su coeficiente debe ser distinto a cero, por lo que es de interés obtener un p-value menor a α y rechazar H_0 .

Tabla 11*Resultados del modelo VAR*

Ecuación	Coefficiente	P value	Conclusión
$\Delta\%$ PM2			
$\Delta\%$ PM2.L1	-0.0644	0.6870	No cumple
$\Delta\%$ IPMC.L1	0.8610	0.0099	Cumple
$\Delta\%$ Velo.L1	-0.0130	0.3143	No cumple
Constante	0.0314	0.0006	Cumple
$\Delta\%$ IPMC			
$\Delta\%$ PM2.L1	-0.2092	0.0001	Cumple
$\Delta\%$ IPMC.L1	0.4693	<0.0001	Cumple
$\Delta\%$ Velo.L1	-0.0032	0.4257	No cumple
Constante	0.0073	0.0070	Cumple
$\Delta\%$ Velo			
$\Delta\%$ PM2.L1	0.3445	0.8744	No cumple
$\Delta\%$ IPMC.L1	6.9583	0.1118	No cumple
$\Delta\%$ Velo.L1	-0.3269	0.0654	No cumple
Constante	0.00669	0.5532	No cumple

Nota. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados, solo se emplearán las variables explicativas significativas y para construir los modelos de pronóstico de la variación porcentual del índice de precios por metro cuadrado y del IPMC. Para el caso de la velocidad se empleará un modelo no-autorregresivo ya que no se pudo encontrar un modelo autorregresivo o de rezagos distribuidos que resulte significativo al 95% de confiabilidad.

4.1.2. Modelos de predicción

En el caso de los índices PM2 e IPMC se utilizarán las variables explicativas rezagadas

determinadas en el modelo VAR; los resultados se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12

Modelo de regresión del índice de precios por metro cuadrado y del IPMC

Ecuación	Coefficiente	p value	Conclusión
$\Delta\%PM2$			
$\Delta\%IPMC.L1$	0.679	00177	Cumple
Constante	0.0285	0.0001	Cumple
$\Delta\%IPMC$			
$\Delta\%PM2.L1$	-0.2171	0.0001	Cumple
$\Delta\%IPMC.L1$	0.4434	0.0000	Cumple
Constante	0.0074	0.0062	Cumple

Nota. Fuente: Elaboración propia

Para la velocidad de venta se detectó que únicamente la variación porcentual en el índice de Precios M2 sin rezagos tiene 95% de confianza para explicar su variación, por lo que se toma como la variable explicativa. Sin embargo, al realizar la regresión con una variable dependiente cercana al cero que no puede tomar valores negativos y luego simularla a través de errores aleatorios se corre el riesgo de generar valores negativos. Para solucionar este problema, se realiza un cambio de variable por el logaritmo natural de la variable dependiente (log- transformación), de modo que lo que se simula es $\ln(\text{Velocidad})$, que sí puede tomar valores negativos, y luego se calcula la variable dependiente a través de la función exponencial con el número de Euler. Los resultados de esta regresión se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13*Modelo de regresión de la velocidad de ventas con log transformación*

Ecuación	Coefficiente	p value	Conclusión
In. Velocidad			
$\Delta\%$ PM2.L1	2.1731	0.0355	Cumple
Constante	-2.5874	0.0000	Cumple

Nota. Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se realizan las pruebas de significancia conjunta, de heteroscedasticidad, autocorrelación y el criterio de información bayesiano (BIC) a los tres modelos; los resultados se detallan en la Tabla 14 y 15.

- **Prueba F:** a través de un Análisis de Varianza (ANOVA), la prueba F mide la significancia en conjunto mediante la comparación de un modelo sin las variables explicativas contra el modelo especificado, contrastando la hipótesis nula (H_0) de que todos los coeficientes son iguales a cero versus la hipótesis nula de que alguno no lo sea. Se busca que el p value sea menor a α para rechazar H_0 .
- **Prueba BP:** a partir de la distribución chi-cuadrado, esta prueba evalúa la hipótesis nula (H_0) de que las varianzas de los términos de error de la regresión son constantes (homocedasticidad) versus la hipótesis alterna de que presenten heterocedasticidad. Se busca que el p value sea mayor a α para no rechazar H_0 . En particular, se realiza una prueba ajustada para el modelo VAR que incorpora más de una variable explicativa.
- **Prueba DW:** a partir de un modelo autoregresivo para los errores, esta prueba evalúa la hipótesis nula (H_0) de que no existe autocorrelación entre los términos de error; es decir, los errores rezagados no tienen poder explicativo respecto a los errores contemporáneos.
- **Prueba BIC:** criterio para la selección de modelos, el cual compara distintas posibles ecuaciones de regresión y determina cuál se ajusta mejor a la data. En el

contexto de análisis de series de tiempo, la prueba se utiliza para escoger el número de rezagos óptimo a emplear en la regresión. El modelo con el menor valor de BIC es el que mejor se ajusta a la data.

Tabla 14

Pruebas de significancia conjunta, homocedasticidad y autocorrelación

Variable	Significancia		Homocedasticidad		Autocorrelación	
	P value	Conclusión	P value	Conclusión	P value	Conclusión
$\Delta\%PM2$	0.0177	Cumple	0.8235	Cumple	0.8947	Cumple
$\Delta\%IPMC$	0.0000	Cumple	0.3593	Cumple	0.8391	Cumple
Ln.Velocidad	0.0353	Cumple	0.3538	Cumple	0.319	Cumple

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

Criterio de BIC para determinar la cantidad de rezagos óptimos a utilizar

Variables	Cantidad de rezagos					Cantidad óptima de rezagos
	1	2	3	4	5	
$\Delta\%PM2$	-210.79	-212.85	-204.72	-199.22	-190.33	1 rezago
$\Delta\%IPMC$	-126.41	-124.31	-116.50	-111.53	-105.72	1 rezago
Ln.Velocidad	16.78	19.01	17.75	18.88	21.55	1 rezago

Nota. El segundo rezago en la variable PM2 genera un BIC menor, sin embargo, las variables DIPMC.1 y DIPMC.2 de dicho modelo (serie en diferencias de IPMC con 1 y 2 rezagos respectivamente), no cumple con la prueba t. Fuente: Elaboración propia

4.2. Resultados de simulación y valorización

El presente acápite presenta las variables de salida de las corridas de simulación, contrastando los casos en los que se consideran y no se consideran el uso de las flexibilidades en la gestión, y finalmente se valorizan las opciones reales presentes en el proyecto.

4.2.1. Comparación de resultados

Al simular el proyecto con y sin la posibilidad de emplear las opciones reales, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 16, efectuando mil corridas de simulación en cada caso. Además, se muestra el cambio porcentual tras aplicar las opciones, obteniéndose que, en promedio, el VPN aumenta en 36.97%, mientras que la TIR aproximadamente en 12%.

Tabla 16

Valores promedio de las variables de salida

Resultado	Sin Opciones	Con Opciones	$\Delta\%$
Duración del proyecto (trim)	21.707	25.003	15.18%
Opción agilizar construcción – uso (trim)	0	3.993	-
Opción descuento preventas- uso (trim)	0	0.452	-
Opción aumentar precio – uso (trim)	0	8.697	-
Opción aumentar publicidad – uso (trim)	0	7.77	-
Duración etapa preventa (trim)	4.929	4.77	-3.23%
Duración etapa construcción (trim)	6	5	-16.67%
Duración etapa venta (trim)	3.747	5.854	56.23%
Duración etapa postventa (trim)	10.031	12.379	23.41%
Valor presente neto (S/)	7,393,756.00	9,842,501.00	33.12%
Tasa interna de retorno (% anual)	23.57%	26.45%	12.22%

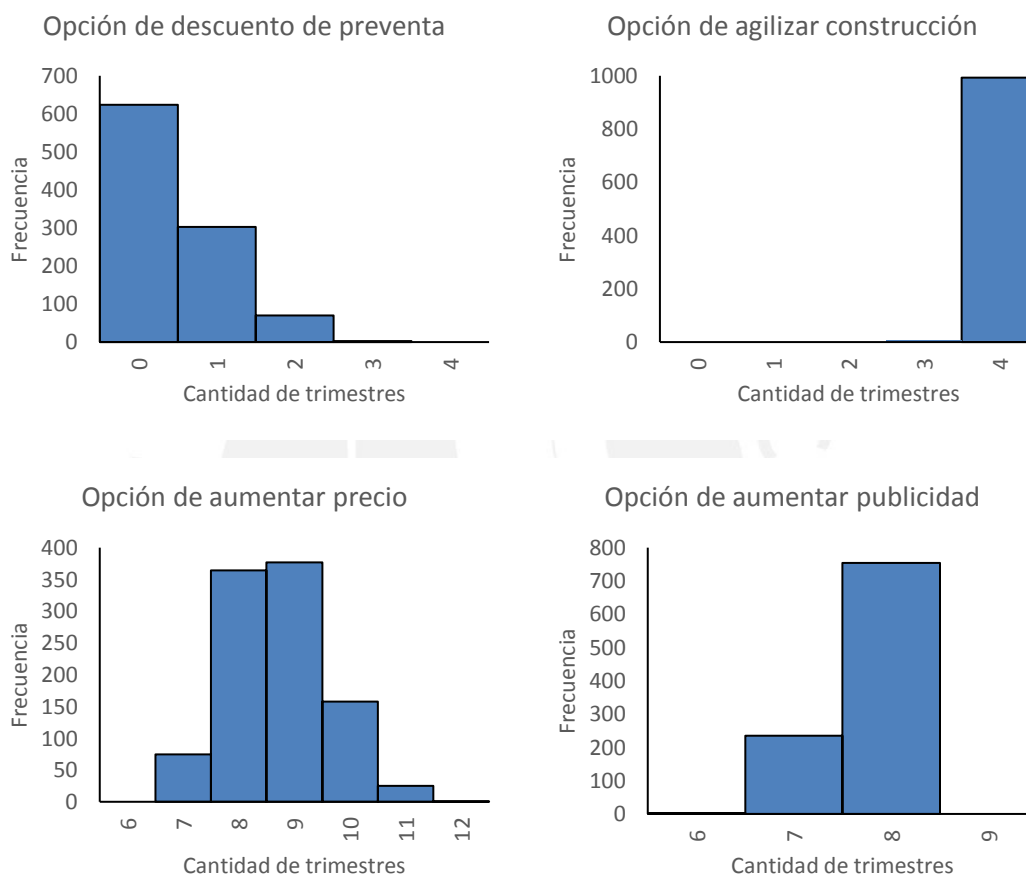
Nota. Fuente: Elaboración propia

La Figura 14 muestra el conjunto de histogramas de frecuencia para la cantidad de trimestres en los que se utiliza cada opción real en las simulaciones en las que se permitió el uso de las opciones. Se puede apreciar que la opción más utilizada es la opción de agilizar la construcción, las opciones de aumentar el precio en caso la velocidad de ventas sea alta a costa de reducir la demanda y aumentar el gasto en ventas en caso el aumento en precios sea considerable para solventarlo y aumentar la demanda son también muy usadas. Una posible explicación para esta diferencia entre opciones

es la cantidad de trimestres que estuvieron disponibles las opciones, pues estas dos en particular estuvieron activas durante las etapas de preventa, construcción y venta, por otro lado, el descuento de preventa es la menos utilizada.

Figura 14

Histograma de frecuencias simuladas de la cantidad de periodos en los que se utilizan las opciones reales



Nota. Frecuencias simuladas de la cantidad de periodos en los que se utilizan las opciones reales. Fuente: Elaboración Propia

Al analizar los resultados financieros, se observa en la Tabla 17 las estadísticas descriptivas y en la Figura 15 los histogramas para el valor presente neto y la tasa interna de retorno. Los resultados indican que al incorporar las opciones ambas distribuciones se incrementan y se desplazan hacia la derecha, en todos sus cuartiles.

Otro punto interesante está en la volatilidad de los indicadores financieros, medida a

través de la desviación estándar. Para el proyecto sin opciones, se obtiene una dispersión en el VPN que supera a su media, calculándose un coeficiente de variación $CV = 1.30$, por lo que se obtiene de manera cuantitativa evidencia del nivel de incertidumbre presente en un proyecto inmobiliario. Adicionalmente, las opciones reales han incrementado la dispersión de ambos indicadores debido a la presencia de valores extremos más grandes.

Tabla 17

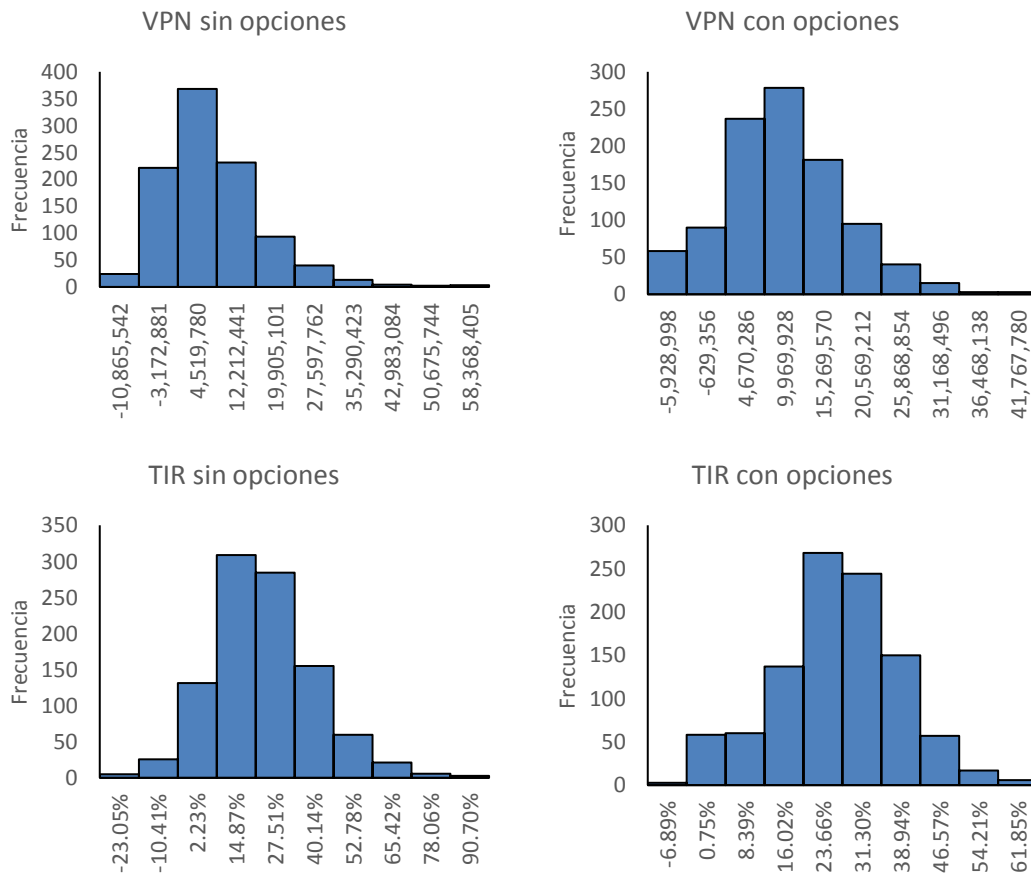
Comparación de resultados financieros

Estadística	VPN		TIR	
	Sin Opciones	Con Opciones	Sin Opciones	Con Opciones
Mínimo	-14,711,872.00	-8,578,819.00	-29.37%	-10.71%
1er Cuartil	746,857.00	4,814,302.00	12.53%	19.60%
Mediana	5,840,699.00	9,295,326.00	22.26%	26.68%
Promedio	7,393,756.00	9,842,501.00	23.57%	26.45%
3er Cuartil	12,230,503.00	14,800,082.00	33.20%	34.45%
Máximo	62,214,735.00	44,417,601.00	97.01%	65.67%
Desviación estándar	9,622,914.00	8075153	16.44%	12.19%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 15

Histograma de frecuencias simuladas del VPN y la TIR para los escenarios sin opciones y con opciones



Nota. Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Valorización de las opciones reales

Retomando a la Ecuación 1 de la sección 1.2.2, el valor esperado de las opciones reales presentes en el proyecto es la diferencia en los valores presentes netos esperados del proyecto con y sin opciones. Para validar que la diferencia entre ambos sea significativa, aplicamos la prueba de hipótesis de diferencia de medias para muestras grandes de varianza poblacional desconocida, con el estadístico de prueba t-student.

La hipótesis nula (H_0) es que la media del VPN para los proyectos con opciones es igual a la de los proyectos sin opciones. El resultado es un p-value de $7.083E-10$, y, dado que el p-value es menor que α , se rechaza H_0 por lo que se puede afirmar al 95%

de confianza que hay una diferencia significativa en ambas medias. En otras palabras, queda demostrado que las opciones reales agregan valor al proyecto, por S/ 9,842,501.00 – S/ 7,393,756.00= S/ 2,448,745.00.



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A través del presente estudio se comparó y contrastó la evaluación económica de un proyecto de inversión inmobiliario en Lima, Perú, evaluando dos escenarios: con y sin opciones reales. Las opciones reales presentadas corresponden a alternativas de decisión que enfrentan en la realidad los gestores de proyectos inmobiliarios, que incluyen modificar el precio de ventas, la inversión en publicidad o el gasto en costos directos para agilizar la obra. Finalmente, mediante el uso de herramientas de simulación, quedó demostrado que el considerar las flexibilidades en la gestión a través de las opciones reales genera valor adicional, que está escondido en el proyecto carente de opcionalidades.

Por otro lado, también se demostró cuantitativamente que los proyectos inmobiliarios están expuestos a un gran nivel de incertidumbre, como se mostró en la dispersión de los indicadores de rentabilidad mostrados en la Tabla 17 de la sección 4.2.1, y que el riesgo puede ser enfrentado a través de estrategias defensivas y ofensivas para generar mayor valor. En tal sentido, la incertidumbre a la que se enfrenta el gestor de proyectos a lo largo de la vida del mismo y las flexibilidades presentes en la gestión activa son ahora cuantificables, y pueden ser incorporados en los procesos decisorios, además de comunicarse a los distintos *stakeholders* (grupos de interés) en la empresa.

A pesar de la mayor complejidad en el uso de las opciones reales versus los modelos tradicionales, está demostrado las bondades. Es así como el presente estudio contribuye a la concientización de la existencia de la herramienta y aporta al cuerpo de conocimiento de casos de estudio sobre la aplicación en la literatura. Así mismo, se presenta un ejemplo del uso de la metodología con énfasis en la aplicación práctica, con casuística que asemeje a la realidad de la industria y con métodos matemáticos relativamente simple, optando por métodos de simulación, y alejándose de las soluciones matemáticas cerradas de los modelos analíticos, por lo que puede servir como guía de aplicación para trabajos futuros.

Adicionalmente, el estudio del sector construcción en el país reveló que el sector se encuentra en desaceleración debido a la sobreoferta en los niveles socioeconómicos A y B, quedando insatisfecha la demanda en los demás niveles. El utilizar la metodología de opciones reales, que incorpora el valor adicional de la flexibilidad en la gestión activa, puede conducir a la aceptación y emprendimiento de proyectos para incrementar la oferta de viviendas dirigidas a los niveles socioeconómicos que hoy no son atendidos en su totalidad, además de facilitar la evaluación de riesgo y el impacto de los diferentes drivers de la rentabilidad.

En particular, la presente tesis aplica la metodología propuesta al caso de edificio multifamiliar en el distrito de Pueblo Libre en Lima, Perú desarrollado por Villanueva (2017), tomando como parámetros estocásticos índice de precios por metro cuadrado en departamentos de 10 distritos de lima metropolitana en soles corrientes, el índice de precios de materiales de la construcción de Lima Metropolitana y el porcentaje de velocidad de ventas de unidades inmobiliarias en Lima Metropolitana y Callao y como opciones reales las flexibilidades en la gestión de las horas de construcción, los descuentos durante la preventa, el precio en función a la demanda y el manejo del gasto de venta si el precio aumenta . Se determinó que el uso de las opciones, en comparación al no uso de estas, incrementa el valor presente neto en un 33.12 % e incrementa la tasa interna de retorno en 12.22%, además la duración de la etapa de preventa se reduce en 3.23% y la duración de la etapa de construcción se reduce en 16.67%. En síntesis, el uso de opciones hace que el proyecto sea más rentable.

5.2. Recomendaciones

Con el fin de expandir el estudio, podría aplicarse esta metodología en otras actividades económicas, o también en otras locaciones geográficas. Podrían, además, conseguirse series de datos más especializados, específicas para el distrito o los niveles socioeconómicos que conformen el público objetivo del proyecto. Por otro lado, se podría levantar más información por parte de profesionales de la industria, con el fin de acercar aún más el modelo a la realidad, y considerar otras opciones que no se han considerado en el presente estudio.

Las opciones, en vez de valorizarse en conjunto, podrían evaluarse por separado, permitiéndose en el modelo solo la activación de una por conjunto de corridas de simulación, y así evaluar la significancia económica de cada una, además de mostrar la interacción entre ellas, estudiando si presentan una interrelación sinérgica o de detrimento mutuo. Este análisis puede efectuarse mediante la metodología ANOVA (*Analysis of Variance*).

Respecto al pronóstico de las variables clave, se puede evaluar otras variables importantes que puedan guardar relación con la rentabilidad del proyecto, tales como el crecimiento del PBI, la tasa de interés, entre otros. También pueden aplicarse metodologías de teoría de juegos para incorporar la interacción con los competidores; la presencia de rivales erosiona el valor de esperar y modifica la efectividad y el impacto de las opciones del proyecto.

Para el caso particular de proyectos inmobiliarios, otro aspecto interesante a considerar es las inversiones por fases, donde se espera tanto para la compra del terreno, de acuerdo a las fluctuaciones en precio del mercado de terrenos sin desarrollar, como el de comenzar con la edificación. Adicionalmente, se puede considerar incorporar la flexibilidad de terminar el proyecto por etapas o dejar abierta la posibilidad de expansión, como poder incrementar pisos o torres adicionales al complejo de edificios.

BIBLIOGRAFÍA

- Agung, W. (2008). *The Contribution Of The Construction Industry To The Economy Of Indonesia: A Systemic Approach*. Recuperado desde:
https://www.researchgate.net/publication/239612911_The_Contribution_Of_The_Construction_Industry_To_The_Economy_Of_Indonesia_A_Systemic_Approach
- Alonso, S., Azofra, V., & De La Fuente, G. (2014). *What do you do when the binomial cannot value real options? The LSM model*. *Cogent Economics & Finance*. Recuperado desde:
https://www.researchgate.net/publication/273118194_What_do_you_do_when_the_binomial_cannot_value_real_options_The_LSM_model
- Arku, G. (2006). *The housing and economic development debate revisited: economic significance of housing in developing countries*. *Journal of Housing and the Built Environment*, 21 (4), 377-395.
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23322039.2014.942338>
- Barman, B., & Nash, K. (2007). *A Streamlined Real Options Model for Real Estate Development* (tesis de maestría). Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts. Recuperado desde:
https://pdfs.semanticscholar.org/5593/cde2bc0917a68c889d480336eec50869fcec.pdf?_ga=2.195211684.967962452.1583673841-2066989653.1583673841
- BCRP. (2016) *Reporte de Inflación: Panorama actual y proyecciones macroeconómicas 2016 – 2018*. Recuperado desde:
<http://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Reporte-Inflacion/2016/diciembre/reporte-de-inflacion-diciembre-2016-presentacion.pdf>
- BCRP. (2018a). *Estadísticas del mercado inmobiliario*. Recuperado desde:
<https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/trimestrales/mercado-inmobiliario>
- BCRP. (2018b). *Estadísticas del mercado laboral*. Recuperado desde:
<https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/mensuales/remuneraciones-y-empleo>

- BCRP. (2018c). *Estadísticas de inflación*. Recuperado desde:
<https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/mensuales/inflacion>
- Blanchard, O., Amighinin, A., & Giavazzi, F. (2012). *Macroeconomics*. Boston: Pearson.
- Blank, L., & Tarquin, A. (2012). *Ingeniería económica* (7ma ed.). (Javier Enríquez, trad.) México D.F.: McGraw-Hill Interamericana. (Obra original publicada en 2012).
- Brealey, R., Myers, S., & Allen, F. (2010). *Principios de finanzas corporativas* (9na ed.). (Adolfo Deras, Miguel Tinoco, trads.) México D.F.: McGraw-Hill Interamericana. (Obra original publicada en 2010).
- Brockwell, P., & Davis, R. (2012). *Introduction to Time Series and Forecasting* (2da ed). New York: Springer-Verlag.
- CAPECO (2015). *El mercado de edificaciones urbanas en Lima Metropolitana y el Callao 2015: XX estudio*. Lima: Cámara Peruana de la Construcción.
- Choi, J., & Davison, M. (2011). *Real Options Models in Real Estate*. Tesis de doctorado. The University of Western Ontario, Ontario. Recuperado desde:
<https://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=1467&context=etd>
- Cirjevskis, A., & Tatevosjans, E. (2015). *Empirical Testing of Real Option in the Real Estate Market*. *Procedia Economics and Finance*, 24 (1), 50-59.
- Copeland, T., & Antikarov, V. (2003). *Real options: a practitioner's guide*. New York, NY: Cengage Learning.
- Dixit, A., & Pindyck, R. (1994). *Investment under uncertainty*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Dlamini, S. (2012). *Relationship of construction sector to economic growth*. University of Reading. Recuperado desde:
https://www.sitsabo.co.za/docs/misc/cib_paper2012.pdf
- Dornbusch, R., Fischer, S., & Startz, R. (2009) *Macroeconomía* (10ma ed.) (Adolfo Deras, trad.) México D.F.: McGraw-Hill Interamericana. (Obra original publicada en 2013).

- Gehner, E., Halman, J., & Jonge, H. (2006). *Risk management in the Dutch real estate development sector: A survey*. University of Salford. Recuperado desde: http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC27028.pdf
- Gido, J., & Clements, J. (2007). *Administración exitosa de proyectos (3ra ed.)*. (Javier Reyes, trad.). México D.F.: Cengage Learning. (Obra original publicada en 2006).
- Gimpelevich, D. (2012). *Simulation-Based Excess Return Model for Real Estate Development*. SSRN Electronic Journal. Recuperado desde: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1557227
- Gisiger, N., (2010), Risk-neutral Probabilities Explained, working paper. Recuperado desde: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1395390
- Gujarati, D. (1985). *Econometría*. (Juan Manuel Mesa, trad.). México D.F.: McGraw-Hill (Obra original publicada en 1981).
- Harder, M., & Hall, C. (2012). *Flexibility in Real Estate Investment*. University of Cambridge. Recuperado desde: www.theharder.com/flexibility/flexibility.pdf
- Haugh, M. (2004). *The Monte Carlo Framework, Examples from Finance and Generating Correlated Random Variables*. Columbia University. Recuperado desde: http://www.columbia.edu/~mh2078/MCS04/MCS_framework_FEegs.pdf
- Holtan, M. (2002). *Using simulation to calculate the NPV of a project*. Recuperado desde: <http://www.investmentscience.com/Content/howtoArticles/simulation.pdf>
- Hull, J. (2012). *Options, futures, and other derivatives (18va ed.)*. Boston, MA: Prentice Hall.
- Hull, J. (2014). *Introducción a los mercados de futuros y opciones (8va ed.)*. (Philip de la Vega, trad.). México D.F.: Pearson Educación de México. (Obra original publicada en 2014).
- Iberico, J., & Orrego, F. (2015). *Revista moneda*, 162 (1), p 34-37.
- Iberico, J., & Vera, R. (2014). *Desarrollo inmobiliario industrial*. *Revista moneda*, 157 (1), 10- 13.

- INEI (2016a). *Empleo*. Recuperado desde:
<https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/ocupacion-y-vivienda/>
- INEI (2016b). *Principales indicadores macroeconómicos*. Recuperado desde:
<https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>
- INEI (2018). *Índices de precios*. Recuperado desde:
<https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>
- Jayaraman, S., & Mascagni, M. (2013). *A Review of Monte Carlo Method in Real Estate*. Florida Estate University. Recuperado desde:
<http://ww2.cs.fsu.edu/~jayarama/RealEstateMCMReport.pdf>
- Jiménez, F. (2010). Elementos de teoría y política macroeconómica para una economía abierta. Segunda Parte: Capítulo 5. Lima: Departamento de economía de PUCP.
- Jiménez, F. (2011). *Crecimiento económico: enfoques y modelos*. Lima: Fondo Editorial PUCP.
- Kafka, F. (1998). *Evaluación estratégica de proyectos de inversión* (2da ed.). Lima: Universidad del Pacífico.
- Kroese, D., Taimre, T., & Botev, Z. (2011). *Handbook of Monte Carlo methods*. Hoboken, N.J.: Wiley.
- Kuroda K. & Matsuyama N. (2009). *Actuarial mathematics, basic theory and current issues in Japan*. Selected papers on Probability and Statistics. American Mathematical Society.
- Law, A. (2013). *Simulation modeling and analysis*. New York: McGraw-Hill Education.
- Leung, N. (2007). *Real Options Framework for Acquisition of Real Estate Properties with Excessive Land* (tesis de doctorado). University of Florida, Florida.
- McDonald, J., & McMillen, D. (2011). *Urban economics and real estate: theory and policy* (2da ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Miles, M., & Berens, G. (2000). *Real estate development: principles and process* (3ra ed.). Washington D.C: Urban Land Institute.

- Mun, J. (2006). *Real Options Analysis in Layman's Terms. Real Options Valuation*.
 Recuperado desde:
<http://www.realoptionsvaluation.com/attachments/whitepaperlaymansterm.pdf>
- Myers, D. (2013). *Construction Economics: a new approach* (3ra ed.). New York, NY: Routledge.
- Palomino, M. & Wong, R. (2011). *Housing Finance in Peru: What is Holding it Back?* Inter- American Development Bank.
- Peiser, R., & Frej, A. (2003). *Professional real estate development: the ULI guide to the business* (2da ed.). Washington D.C: Urban Land Institute.
- Peter, J. (2012). *Modelling Uncertainty & Flexibility in the Financial Analysis of a Real Estate Development Project in Switzerland* (tesis de maestría). Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.
- Philippe, H. (2005). *Real Options: Still Looking for Evidence?* Université Paris-Dauphine. Recuperado desde:
http://www.realoptions.org/papers2005/Philippe_Real%20options%20-%20Still%20looking%20for%20evidence%2003%2002%2005.pdf
- Quigg, L. (1993). *Empirical Testing of Real Option-Pricing Models*. The Journal of Finance, 48 (2), 621-640.
- Samuelson, P., & Nordhaus, W. (2010). *Macroeconomía: con aplicaciones a Latinoamérica*. México, D.F.: McGraw Hill Interamericana.
- Sapag, N. (2007). *Proyectos de inversión: formulación y evaluación*. (María Castillo, trad.). México D.F.: Pearson educación de México. (Obra original publicada en 2007).
- Sapag, N., & Sapag, R. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos* (5ta ed.). México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Sattarnusart, W. (2012). *Real Options in Real Estate Development* (tesis de maestría). Kungliga Tekniska Högskolan, Estocolmo. Recuperado desde
<https://pdfs.semanticscholar.org/0d5c/00c17efcd67f477662bb23dbcecf09c5cd6.pdf>

- Scotiabank (2015). *El mercado inmobiliario en perspectiva*. Recuperado desde:
http://scotiabankfiles.azureedge.net/scotiabank-peru/PDFs/personas/prestamos/InformeInmobiliario_ESPANOL.pdf
- Shumway, R., & Stoffer, D. (2006). *Time Series Analysis and its Applications* (2da ed.). New York: Springer-Verlag.
- SUNAT (2017). *Estadísticas y estudios*. Recuperado desde:
<http://www.sunat.gob.pe/estadisticasestudios/>
- TINSA (2018). *Informe de Coyuntura Inmobiliaria Vivienda Nueva*. Recuperado desde: http://www.tinsa.com.pe/incoin_informe_coyuntura_inmobiliaria.php
- Trigeorgis, L. (1996). *Real options: managerial flexibility and strategy in resource allocation*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Van Weesep, J. (2000). *Housing policy – the link between welfare and economic development*. *Journal of Housing and the Built Environment*, 15 (2), 165-181.
- Villanueva, R. (2017). *Estrategia comercial y análisis económico de un Proyecto de Edificio Multifamiliar en el distrito de Pueblo Libre* (tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Vollert, A. (2003). *A stochastic control framework for real options in strategic valuation*. New York, NY: Birkhäuser.