



**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN  
MODELACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO SOBRE EL PRECIO DE LAS  
VIVIENDAS EN CIUDADES COSTERAS DE COLOMBIA PARA EL AÑO 2022**

**ADRIANA LUCIA MOSQUERA MIRANDA**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
MAESTRÍA EN FINANZAS  
SANTIAGO DE CALI  
2022**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN  
MODELACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO SOBRE EL PRECIO DE LAS  
VIVIENDAS EN CIUDADES COSTERAS DE COLOMBIA PARA EL AÑO 2022**

**ADRIANA LUCIA MOSQUERA MIRANDA**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título  
de Magíster en Finanzas.**

**Director del trabajo de grado: Orlando Joaqui Barandica  
PhD(C) en ingeniería industrial.**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
MAESTRÍA EN FINANZAS  
SANTIAGO DE CALI  
2022**

Santiago de Cali, 05 de diciembre de 2022

Doctor (a)

**Fabián Fernando Osorio Tinoco**

Decano

Facultad De Ciencias Económicas y Administrativas

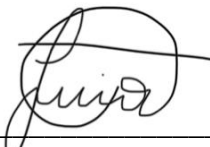
Pontificia Universidad Javeriana

Cali

Por medio de la presente estoy entregando a usted el Trabajo de Grado cuyo título es “MODELACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO SOBRE EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN CIUDADES COSTERAS DE COLOMBIA PARA EL AÑO 2022”.

Espero que este Trabajo cumpla con los requisitos académicos exigidos y que alcance el propósito para el cual fue elaborado.

Atentamente,



---

Adriana Lucia Mosquera Miranda

1.114.736.332

Santiago de Cali, 5 de diciembre de 2022

Doctor (a)

**Fabián Fernando Osorio Tinoco**

Pontificia Universidad Javeriana

Cali

Por medio de la presente me permito comunicarle, que en mi calidad de director de trabajo de grado he leído detenidamente el informe final del estudio titulado “MODELACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO SOBRE EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN CIUDADES COSTERAS DE COLOMBIA PARA EL AÑO 2022”, realizado por la estudiante de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad Javeriana Adriana Lucia Mosquera Miranda identificada con cédula 1.114.736.332, y considero que cumple con todos los requisitos requeridos para ser presentada a evaluación.

Atentamente

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Orlando B.', with a stylized flourish underneath.

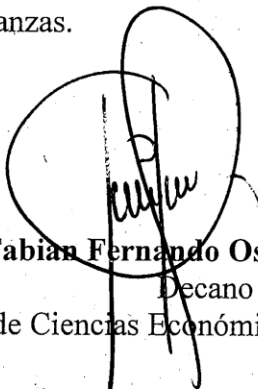
**Orlando Joaqui Barandica**

Director del Trabajo de Grado

ARTÍCULO 23 de la resolución N° 13 de julio 6 de 1946

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de Tesis. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque la Tesis no contenga ataques o polémicas puramente personales; antes bien, se vea en ellas al anhelo de buscar la Verdad y la Justicia”.

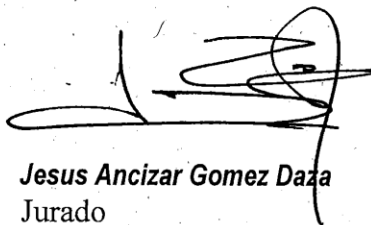
**“MODELACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO SOBRE EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN CIUDADES COSTERAS DE COLOMBIA PARA EL AÑO 2022”** Aprobado por el Comité de Trabajos de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana para optar por el título de Magíster en Finanzas.



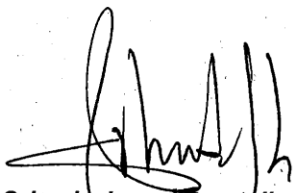
**Fabian Fernando Osorio Tinoco**  
Decano  
Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas



**Neil Ramaswami Paragiri**  
Director  
Maestría en Finanzas



**Jesus Ancizar Gomez Daza**  
Jurado



**Orlando Joaquín Barahona**  
Director del Trabajo de Grado

Santiago de Cali, marzo de 2023

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a todas aquellas personas que, de alguna manera, me han apoyado en este camino.

En primer lugar, quiero dedicar este trabajo a ti, mi persona favorita. Gracias por estar a mi lado en todo momento, por apoyarme en los momentos difíciles y por celebrar conmigo cada pequeño logro en el camino. Tu amor, paciencia y confianza en mí han sido un pilar fundamental en mi formación académica.

También quiero dedicar esta tesis a mi familia y a mi lucero en el cielo. Gracias por creer en mí y por motivarme a perseguir mis sueños.

Finalmente, y no menos importante, me dedico este logro a mí misma. A mi fuerza de voluntad, a mi determinación y a mi espíritu de lucha ¡Del caos nacen las estrellas!



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco infinitamente a Gerson Javier Domínguez Moran, coordinador SAE del banco de Occidente. Sin su confianza no se hubiera completado mi destino.

A mi director de trabajo de grado, Orlando Joaqui Barandica, por su dedicación y compromiso con este proyecto de investigación. Su gran conocimiento y experiencia fueron fundamentales para el éxito de mi tesis de postgrado. Gracias por desafiarme y ser partícipe del cumplimiento de esta meta.

Así mismo, agradezco a mi familia y a todas aquellas personas que me han acompañado en el cumplimiento de este logro. Sin el apoyo de todos ustedes no habría sido posible llegar hasta aquí, espero que les haga sentir orgullosos. Gracias por ser parte de mi vida.

# MODELACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO SOBRE EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN CIUDADES COSTERAS DE COLOMBIA PARA EL AÑO 2022

## Resumen

Esta investigación modela el efecto del riesgo climático en los precios de las viviendas costeras. Estas zonas son altamente vulnerables a los impactos del cambio climático, por lo cual se esperaría que el precio de las viviendas presente un descuento. Se aplicó *web scraping* al portal web finca raíz para obtener información del precio de inmuebles en venta, así como su georreferenciación. Después, se obtuvo del sistema NASA POWER los valores de las variables climáticas analizadas para cada localización. Seguidamente, se aplicó el método estadístico de análisis de componentes principales para finalmente proponer un índice que contiene información climática y de oferta de precios de las viviendas, así como una escala para interpretar sus resultados. Se identifica que en las viviendas analizadas el riesgo climático afecta el precio de los inmuebles. Específicamente, al incrementarse la velocidad del viento y las lluvias se genera una disminución en el precio de 12,9% y 1,35% respectivamente. Los resultados también demuestran que las ciudades costeras tienen una mayor exposición al riesgo climático en relación con ciudades de otras zonas del país.

**Palabras clave:** ACP, cambio climático, ciudades costeras, riesgo climático, precio inmobiliario, vivienda, web scraping, indicador.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	14
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	19
1.1.Cambio el climático.....	19
1.2.Sector inmobiliario en Colombia.....	22
1.3.Clima y vivienda.....	25
1.4.Índices de riesgo climático en el sector inmobiliario .....	28
<b>MARCO CONCEPTUAL</b> .....	32
<b>OBJETIVOS</b> .....	34
1.5.Objetivo general/principal: .....	34
1.6.Objetivos específicos .....	34
<b>METODOLOGÍA</b> .....	35
<b>RESULTADOS</b> .....	40
1.7.Descripción de escenarios climáticos determinantes.....	40
1.8.Evaluación del efecto de las variables climáticas.....	45
1.9.Índice de riesgo climático sobre el precio inmobiliario .....	47
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	54
<b>REFERENCIAS</b> .....	57

### LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Evolución del precio de venta de vivienda por m2. ....	24
Figura 2 Serie de tiempo de la radiación solar en Cartagena y Medellín en el periodo enero de 2020 a noviembre 2022.....	43
Figura 3 Serie de tiempo de la velocidad del viento en Cartagena y Medellín entre enero de 2020 y noviembre 2022. ....	43
Figura 4 Serie de tiempo de la precipitación en Cartagena y Medellín entre enero de 2020 y noviembre 2022. ....	44
Figura 5 Proporción de varianza explicada de acuerdo con el número de componentes principales.....	49
Figura 6 Análisis de componentes principales gráfico PC1 y PC2. ....	50
Figura 7 Mapa de calor del índice de riesgo climático.....	53

### LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Estadísticas descriptivas variables climáticas .....	41
Tabla 2 Medias diarias de variables climáticas para cartagena y medellín en el periodo enero de 2020 a noviembre 2022.....	43
Tabla 3 Resultados de la regresión lineal múltiple.....	45
Tabla 4 Prueba de hipótesis de validación del modelo.....	46
Tabla 5 Prueba de hipótesis de validación de significancia de las variables predictoras. ....	46
Tabla 6 Componentes Principales. ....	48

Tabla 7. Desviación estándar componentes principales. ....	48
Tabla 8 Índice de riesgo climático sobre el precio inmobiliario, definido por 4 categorías de vulnerabilidad. ....	51
Tabla 9 Estadísticas descriptivas índice de riesgo climático. ....	52

## INTRODUCCIÓN

Las Naciones Unidas (n.d.) definen que el cambio climático hace referencia a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos del mundo. Con la intención de mantener un clima habitable, los gobiernos, científicos y empresas buscan desplegar planes de acción para mantener el aumento de la temperatura global a no más de 2 °C. Sin embargo, de acuerdo con proyecciones de Shukla et al. (2022) se prevé que “el calentamiento global alcance unos 3,2 °C para finales de siglo” (p. 21). El aumento de las temperaturas está asociado con el aumento del nivel del mar, como consecuencia del derretimiento de los polos, así como con los cambios abruptos en el clima y aumento en la ocurrencia de eventos extremos como huracanes, sequías, etc. Esto pone en riesgo la propiedad, infraestructura y a las comunidades asentadas en zonas costeras bajas, que según algunas estimaciones representan “entre el 23% y el 37% de la población mundial” (IPCC, 2022, p. 2165). Además, las ciudades y asentamientos costeros concentran muchas de actividades económicas trascendentales para la economía mundial como lo son el turismo, comercio internacional, entre otros. Por lo tanto, los impactos del cambio climático presentan importantes desafíos económicos y sociales en muchas regiones del mundo, al poner en riesgo la vida, los medios de subsistencia y la propiedad de estas comunidades.

Un estudio desarrollado por el Departamento Nacional de Planeación y Banco Interamericano de Desarrollo (DNP & BID, 2014), encontró que el impacto agregado del cambio climático en la economía del país sería negativo. Calculado con base a los impactos generados entre 2011 a 2100, en promedio habría una pérdida anual de 0,49% del PIB nacional. También, Jaramillo et al. (2015) investigan las interrelaciones entre el crecimiento económico y los desastres naturales o eventos extremos. Hallaron que un incremento

permanente de 20% en el componente exógeno de los desastres naturales genera una caída de 1,5% en el PIB de largo plazo. Por otro lado, el estudio de Tapasco et al. (2015) evalúa el efecto que tiene el cambio climático sobre un conjunto de especies nativas de Colombia, medido en términos de pérdida o ganancia económica de las especies de bio-comercio. Estos autores encontrando un balance positivo para las especies de uso frente al cambio climático para todos los escenarios evaluados. Hasta el momento no se ha emitido un estudio formal que valore el impacto económico que tiene el cambio climático en el sector de la construcción y las actividades inmobiliarias. Sin embargo, el BID reconoce que los impactos previstos del cambio climático tendrán repercusiones muy negativas en las edificaciones.

El sector inmobiliario colombiano es clave para la economía del país. En conjunto, representa alrededor del 20% del PIB nacional. En relación con la oferta, el PIB del sector de edificaciones (componente de construcción de edificaciones residenciales y no residenciales) se ha venido recuperando desde diciembre de 2020. A marzo de 2022, el PIB de este segmento registró una tasa de crecimiento de 14,5% (Mariño & Meneses, 2022, p. 6). La cámara colombiana de la construcción (CAMACOL) determinó que durante el 2021 la compra de vivienda fue la principal inversión de los hogares colombianos y demostró ser un actor clave de la reactivación económica y social del país.

Diversos autores están de acuerdo con que el cambio climático afecta negativamente el precio de las viviendas costeras. Bernstein et al. (2019) concluyó que las propiedades costeras expuestas al SLR proyectado, se venden con un descuento de aproximadamente el 7 % en relación con propiedades de similares atributos. De la misma manera, Giglio et al. (2021) muestran que el cambio climático afectará negativamente el valor de los bienes raíces costeros. Los principales administradores de inversiones inmobiliarias e inversores institucionales reconocen cada vez más el riesgo climático como un problema inmobiliario

central que está comenzando a afectar sus decisiones a nivel de mercado y de activos (Urban Land Institute, 2020, p. 1). Según estudios de INVEMAR y el IDEAM, las zonas costeras e insulares colombianas son altamente vulnerables a los impactos del cambio climático. También, la Tercera Comunicación de Cambio Climático de Naciones indica que el 69% del PIB de Colombia está concentrado en 20 de los departamentos con mayor riesgo por cambio climático.

En Colombia, se ha medido los impactos económicos del climático sobre la productividad de algunos sectores como la agricultura y la ganadería (DNP & BID, 2014). Sin embargo, no se ha prestado atención al sector inmobiliario ni a la posible caída de precios como consecuencia a la alta exposición y vulnerabilidad que tiene el país al cambio climático. Lo anterior, sumado a la importancia del sector inmobiliario para la estabilidad económica y la carencia de estudios que aborden esta problemática, motivaron a que esta investigación busque modelar el efecto del riesgo climático sobre el precio de la vivienda en una ciudad costera en Colombia para el año 2022. La hipótesis de partida es que el cambio climático tiene un impacto negativo en el mercado inmobiliario, que se reflejan en viviendas con precios más bajos. Sin embargo, debido a la limitada información y/o importancia que los compradores le prestan a los riesgos climáticos, puede que no se halle ningún descuento en los valores de comercialización de los inmuebles.

Se obtuvo un modelo mediante la aplicación de una regresión lineal múltiple que nos permitió determinar si las variables climáticas tienen influencia sobre precio de las viviendas ofertadas en el portal de Finca raíz. Después se propuso un indicador compuesto medido en una escala de 0 a 1. Lo anterior, utilizando el análisis de componentes principales ACP, que integra el impacto de los riesgos climáticos determinantes y el precio de las viviendas en una cuantía simplificada que puede ser entendida y comparada fácilmente. Para ello, usamos



técnicas de web scraping para obtener las coordenadas geográficas y el precio de cada una de las viviendas en venta ofertadas en algunas ciudades colombianas a través de Fincaraíz. Es importante recalcar que metodológicamente la investigación posee un sesgo. Esto significa que no se tiene seguridad si la muestra es representativa para el mercado de las ciudades analizadas. También, es probable que no se posea la población de viviendas en ventas dado que algunas ofertas son publicadas en otros portales. Por lo tanto, no es posible generalizar los resultados. Finalmente, con los datos de georreferenciación de cada vivienda se obtuvo los valores de las variables climáticas del sistema NASA POWER.

Se probó estadísticamente que las variables climáticas son significativas, por lo que uno de los hallazgos principales de esta investigación es que la velocidad del viento, la precipitación y la radiación solar afectan el precio de las viviendas en las ciudades colombianas analizadas. Por ejemplo, un aumento de una unidad en la velocidad del viento disminuye en 12.9% el precio inmobiliario. También se encontró que el índice de riesgo climático es mayor 0.7637 en el 75% de las viviendas de estudio, con lo que se logró concluir que estas ciudades tienen un alto nivel de riesgo climático. Asimismo, se encontró que el indicador propuesto es mayor en las ciudades costeras, por lo que es posible inferir que el precio de las viviendas está sintetizando la mayor exposición que tienen las propiedades ubicadas en las zonas cercanas al mar.

En la primera sección de este documento se realiza una revisión crítica de la literatura relacionada con el cambio climático, el mercado inmobiliario en Colombia y los estudios anteriores que han analizado el impacto que tiene el cambio climático en los precios de la vivienda. Seguido a esto, en la sección de marco conceptual se exponen diferentes conceptos claves para el desarrollo de la investigación. Posteriormente, se presenta la estrategia metodológica empleada para este proyecto de investigación. A continuación, se exponen los

principales resultados derivados de los ejercicios estadísticos realizados. Finalmente, en la última sección se encuentra las conclusiones y recomendaciones de este trabajo de investigación.

## MARCO TEÓRICO

En el presente trabajo, se desglosó la investigación en 4 líneas de exploración. Esto con la finalidad de tener un panorama amplio de la problemática analizada. En primera instancia, se acude a la literatura existente sobre el cambio climático. Luego, se abstrae información del mercado y el precio inmobiliario en Colombia. Después, se realiza la revisión bibliográfica de los estudios anteriores del impacto que tiene el cambio climático en los precios de la vivienda. Finalmente, se revisa la literatura sobre metodologías empleadas para la creación de índices.

### **Cambio el climático**

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) define, en su Artículo 1, al cambio climático como un “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (Naciones Unidas, 1992, p. 4). Es así como las Naciones Unidas hacen claridad en que el cambio climático tiene relación con la influencia que tiene la actividad humana en el sistema climático, la cual es suplementaria a la variación climática natural del planeta.

De acuerdo con IDEAM & UNAL (2018) las condiciones atmosféricas predominantes durante un periodo conocidas como clima están determinadas por “factores radiativos forzantes (radiación solar y efecto invernadero), por la interacción entre los componentes del sistema Tierra (atmósfera, hidrosfera, litosfera, biosfera y antroposfera). Estos procesos propician una distribución global de la energía (calor y viento) y de masa

(humedad del aire, nubosidad y precipitación)” (p.10). Incluso estas entidades determinan que “el clima de la tierra está controlado por la radiación solar que ingresa al planeta” (p.11). Así mismo, la Agencia Española de Geografía (n.d.) indica que las características climáticas son definidas por la combinación de las propiedades atmosférica. Este Instituto Geográfico Nacional destaca cinco propiedades como las más relevantes: “las precipitaciones, las temperaturas, la humedad y la evaporación, la insolación y la presión atmosférica y el viento” (p.1).

Los científicos han encontrado evidencias de la gravedad del climático. En los diversos informes de evaluación del El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) se ha mostrado que el clima del planeta está cambiando en ritmos alarmantes y que “la influencia humana en el sistema climático es clara” (p. 2). Lo anterior se debe a que los gases de efecto invernadero han aumentado desde la era preindustrial, impulsadas en gran medida por el crecimiento económico y demográfico. Hoy en día los niveles de GEI son más los más altos de la historia.

Durante las últimas décadas, el calentamiento global ha provocado que el nivel medio del mar aumente aceleradamente. “El aumento de los vientos y las precipitaciones de los ciclones tropicales exacerba los fenómenos extremos del nivel del mar y los peligros costeros” (IPCC, 2022, p. 128). Es así como el IPCC (2022) pronostica que el aumento de la temperatura y acidificación del océano, en conjunto con el aumento del nivel del mar, representan riesgos para las comunidades costeras. Estas son muy vulnerables debido a su poca capacidad de respuesta ante eventos extremos. “Para los sistemas humanos, numerosas líneas de evidencia sugieren que en muchas regiones y sectores la infraestructura actual, los

patrones de asentamiento, las políticas, las prácticas y las instituciones siguen siendo inadecuados para los cambios actuales en las condiciones climáticas” (IPCC, 2022, sec. 16.2).

Adicionalmente a la vulnerabilidad de las ciudades y asentamientos humanos cerca al mar, las costas poseen “gran parte de la población mundial, las actividades económicas y la infraestructura crítica”. “Alrededor del 11 % de la población mundial, representadas en alrededor de 896 millones de personas, viven en costas bajas directamente expuestas a interacciones climáticas y no climáticas” (IPCC, 2022, p. 2165). Asimismo, Neumann et al. (2015) encontró que muchas de las megaciudades y ciudades principales del mundo están situadas en costas y deltas fluviales<sup>1</sup> que probablemente se verán amenazados directa o indirectamente por el aumento del nivel del mar debido al cambio climático. Estas condiciones seguirán empeorándose, considerando la exposición natural de las costas a los riesgos climáticos y el desarrollo costero. Este progreso en la costa se debe a un crecimiento urbano en la interfaz tierra mar, la alta concentración económica, la dependencia de las comunidades a los ecosistemas costeros y el comercio internacional. Por lo anterior, “los impactos del cambio climático en la costa afectan directa o indirectamente a una gran parte de la población mundial, la actividad y la infraestructura crítica asociada” (IPCC, 2022, p. 2167).

---

<sup>1</sup> Es un accidente geográfico convexo formado en la desembocadura de un río en el mar. Los sedimentos depositados por la corriente forman ecosistemas productivos con gran relevancia económica que son amenazados por las actividades humanas.

Estudios como el de Renn (2008) muestra cómo los individuos y las sociedades perciben y gestionan el riesgo climático, lo que exhibe que la literatura lleva varios años investigando este tipo de riesgo. Sin embargo, de acuerdo con (Thackeray et al., 2020), después de 2018 la humanidad se ha empezado a interesar realmente en el cambio climático. Esto es perceptible en el aumento de menciones que incluyen expresiones como “calentamiento global”, “cambio climático” y términos similares. Esta preocupación también ha tocado al sector empresarial. De acuerdo con el Foro Económico Mundial (2021) las compañías catalogan el cambio climático y el "fracaso de la acción climática" como un riesgo importante a gestionar. Así mismo, los efectos tangibles del cambio climático “han motivado cada vez más las acciones de los gobiernos, el sector privado y la sociedad civil” (Hale et al., 2021, p. 168).

### **Sector inmobiliario en Colombia**

A través del tiempo, la vivienda ha representado “uno de los principales activos con que cuentan los hogares” (Fuentes, 1999, p. 4). Autores como Fuerst & Warren-Myers (2021) sostienen que “la vivienda juega un papel importante en los mercados económicos y la contracción o pérdida de valor dentro de los mercados, tendrá implicaciones intensas para las personas, las empresas y los mercados financieros más amplios” (p.2). De acuerdo con el presidente de Grupo Valor, Mutis (2019), el gasto en vivienda que tienen los hogares colombianos representa más del 30% de sus ingresos. Actualmente sectores como el de servicios, industrial y comercial, se llevan participación en el PIB con actividades relacionadas con la construcción. Si se desagregará y unificaran todas las ellas, el sector de construcción tendría una participación de más del 20% en el PIB nacional. De igual manera, la cámara colombiana de la construcción (CAMACOL) determinó que durante el 2021 la

compra de vivienda fue la principal inversión de los hogares colombianos y demostró ser un actor clave de la reactivación económica y social del país. En el mismo sentido, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] (2022) reveló que, a julio del 2022, la construcción aporta más de 1,4 millones de empleos directos y la actividad de servicios inmobiliarios más de 1,8 millones.

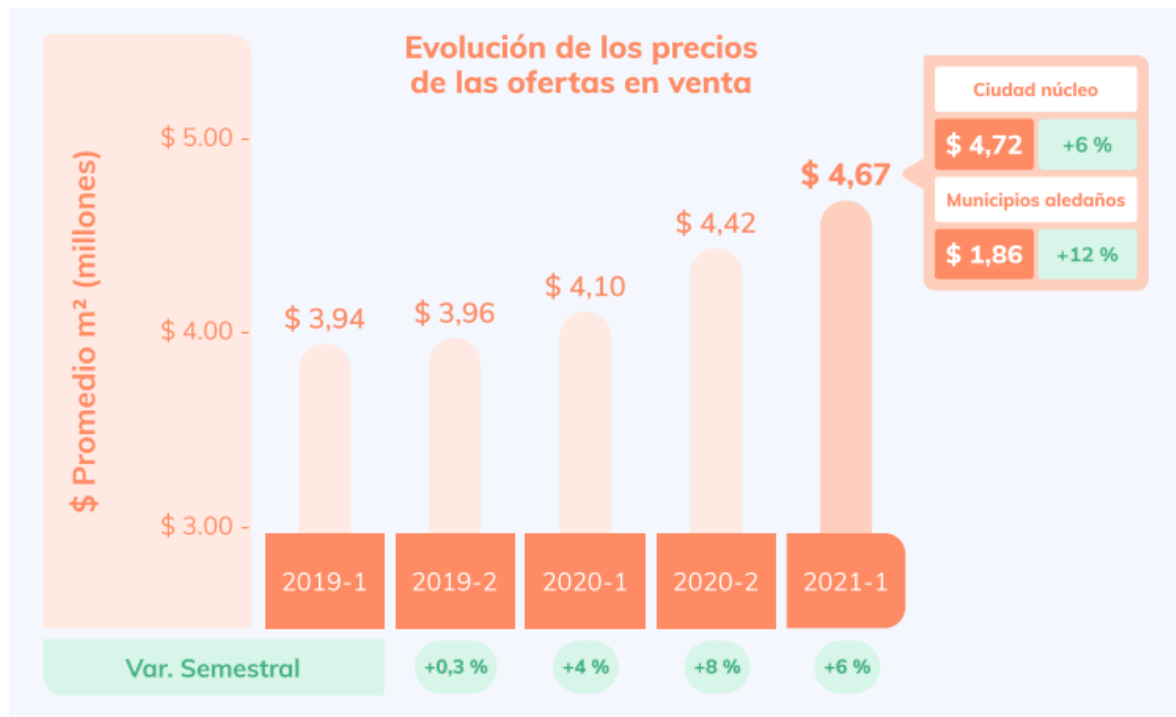
Varios autores están de acuerdo con que el mercado de la vivienda en Colombia ha estado en crecimiento en los últimos años (Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital [UAECD] & Finca raíz, 2021; CAMACOL, 2021). En el primer semestre de 2021 la venta de inmuebles aumento en un 12%. En esta misma línea, El ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (Minvivienda) manifestó en un comunicado de prensa que el primer semestre de 2022 se vendieron 119.409 viviendas nuevas, lo que representa un incremento del 5% frente mismo periodo del 2021. También, Salazar (2022) expone que el sector inmobiliario ha sido considerado por mucho tiempo como un activo que conserva el valor ante situaciones de incertidumbre de la economía al mantener el poder adquisitivo del capital. Esto muestra la gran importancia que tiene este activo en la economía colombiana y el impacto económico y social que puede representar alguna situación que sea perjudicial para este sector. Por lo tanto, el cambio climático representa un riesgo crítico para la economía colombiana pues “amenaza la propiedad y la infraestructura” (Qiu & Gopalakrishnan, 2018, p. 135).

Así mismo, como se puede observar en la Figura 1, el precio del metro cuadrado de las viviendas ha ido creciendo significativamente, exceptuando el 2020-1. En este semestre el precio tuvo una desaceleración causada por el COVID 19. Sin embargo, “para 2021-1 los

precios registraron variaciones de +4 %, +8 % y +7 % en apartamentos, casas y aparta estudios respectivamente” (UAECD & Fincaraíz, 2021, p. 45). En Cartagena, el tipo de inmueble más ofertado son los apartamentos, con una participación del 81% del total. Estos son mayoritariamente estrato 5 y tienen un precio promedio por m<sup>2</sup> de \$ 5,09 millones y áreas de 107 m<sup>2</sup>.

**Figura 1**

*Evolución del precio de venta de vivienda por m<sup>2</sup>.*



*Nota: El gráfico muestra el precio m<sup>2</sup> promedio de venta de la vivienda usada en Cartagena. Tomado de Evolución del mercado de la vivienda en Colombia (p.71), por la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital & Finca raíz, 2021.*



## **Clima y vivienda**

Alguna de las investigaciones existentes sobre el cambio climático ha examinado las implicaciones que tiene los riesgos climáticos en el precio de la vivienda. Se identificó que la mayoría de estos estudios se realizan en zonas costeras y analizan sobre todo el efecto del riesgo de inundación y el aumento del nivel del mar. “Si bien el riesgo de inundación es solo uno de varios factores de riesgo climático, es un riesgo importante y fácilmente medible para las propiedades en las regiones costeras” (Giglio et al., 2021, p. 9). Esto tiene mucha coherencia dado que los bienes raíces son una clase de activos que están directamente expuestos a los factores de riesgo físicos que finalmente afectan negativamente los precios (Atreya & Ferreira, 2015; Baldauf et al., 2020; Bernstein et al., 2019; Bin & Landry, 2013).

Autores como (Atreya & Ferreira, 2015; Beltrán et al., 2018; Fuerst & Warren-Myers, 2021; Gibson et al., 2017; Giglio et al., 2021) usaron un marco hedónico para determinar un modelo que estima los posibles efectos del riesgo de eventos extremos, inundación y/o aumento del nivel del mar el precio de la vivienda. Los modelos hedónicos son usados para controlar las características y atributos individuales de las viviendas y desestimar su efecto en el precio. Para lograrlo, los investigadores relacionan datos de transacciones de venta de viviendas con distintas medidas de riesgo generado con el cambio climático o en su defecto sus proyecciones. Otros autores como (Bakkense & Barrage, 2017; Baldauf et al., 2020; Bin & Landry, 2013) potencializaron el modelo hedónico con las creencias de las personas en el cambio climático. Por otra parte (Bernstein et al., 2019; Miller & Sklarz, 2019; Murfin & Spiegel, 2020) realizaron una regresión para proporcionar evidencia inicial sobre el efecto de la exposición a SLR en los precios de la vivienda en las comunidades costeras.

Por ejemplo, Fuerst & Warren-Myers (2021) analizan las transacciones de propiedades residenciales entre 2011 y 2016 de la ciudad de Port Phillip, Australia para investigar si las propiedades en riesgo de inundación y/o aumento del nivel del mar se comercializan con un descuento estadísticamente significativo. Ellos encontraron que existe un descuento en la valoración para las propiedades en áreas inundadas conocidas, mientras que el aumento del nivel del mar no tiene un efecto detectable en el valor de las viviendas transadas. En este estudio se sugieren que el riesgo de SLR no es capitalizado en el precio de venta debido a que este no es tenido en cuenta en las decisiones de compra. Esto considerando que las personas desconocen los riesgos climáticos debido a la carencia de información o simplemente ven que su sinterización está muy lejana en el tiempo.

En el mismo sentido, Baldauf et al. (2019) propusieron un modelo hedónico que controla las características individuales de los edificios como la temperatura, distancia a la costa, entre otros. Para ello, se usaron más de 10 millones de transacciones de viviendas en Estados Unidos obtenidos de Zillow. Esta información se relacionó con las proyecciones de inundaciones generadas por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) y medidas de creencias sobre el cambio climático del Programa de Cambio Climático de Yale. En este estudio se encontró que las diferencias en las creencias sobre el cambio climático tienen un impacto significativo en los precios de la vivienda. Su principal hallazgo es que, al comparar viviendas con las mismas condiciones, el precio de las propiedades en vecindarios que no creen en el cambio climático es un 7% mayor que las viviendas ubicadas en un vecindario de “creyentes”.

Inclusive, (Bin & Landry, 2013) encontraron que una vivienda ubicada en una zona inundable se vende un 5,7% menos tras el paso del huracán Fran y la prima de riesgo aumenta a 8,8% tras el paso del huracán Floyd. En cuanto a la incidencia huracán Sandy, (Gibson et al., 2017) estimaron que las inundaciones durante este evento extremo redujeron el valor de las casas entre un 3 y un 5 por ciento. También, (Bernstein et al., 2019) expusieron que las propiedades costeras expuestas al SLR proyectado, se venden con un descuento de aproximadamente el 7 % en relación con propiedades de similares atributos. Igualmente, (Atreya & Ferreira, 2015) hallaron que, en promedio, cada señal de inundación reduce los precios de venta de las viviendas en aproximadamente un 5 por ciento. (Ortega & Taspınar, 2018) afirman que este descuento es del 7.5% para las casas propensas a inundaciones. A la par, (Beltrán et al., 2018) comprobaron que la variación en el precio de viviendas localizadas en zonas de inundación oscila entre -7% a +1%, dependiendo principalmente del nivel de riesgo y del tiempo transcurrido respecto de la inundación anterior. Por su parte (Miller & Sklarz, 2019) sustentan que el descuento en los precios percibidos por el mercado disminuye con la carencia de nuevos eventos de inundación.

Por otro lado, (Murfin & Spiegel, 2020) compararon los precios de las viviendas en función de su umbral de inundación según las proyecciones del aumento del nivel del mar usando datos de los bienes raíces residenciales de CoreLogic. La base de datos obtenida contiene el 99 % del total de viviendas de EE. UU. Sus resultados muestran que no existe un efecto significativo de los riesgos climáticos sobre el precio inmobiliario. De manera similar, (Bakkense & Barrage, 2017) sustenta que “los análisis hedónicos han encontrado repetidamente que los riesgos climáticos y de inundaciones no se reflejan (todavía) completamente en los mercados inmobiliarios” (p.2).

Qiu & Gopalakrishnan (2018) estimaron un modelo de diferencias en diferencias (DD) utilizando datos sobre transacciones de venta de propiedades entre 2008 y 2014 y las características estructurales de las viviendas unifamiliares (cantidad de baños, pisos, antigüedad, etc.) de Nags Head, Kitty Hawk y Duck (Carolina del Norte). Diferente a las anteriores investigaciones, con estos datos examinaron cómo los mercados inmobiliarios costeros capitalizan las comodidades. Para ello, evaluaron los beneficios de la mitigación de los riesgos climáticos dados por la estabilización de la costa mediante la restauración de la playa. Este estudio determinó que las casas frente al mar capitalizan grandes beneficios de la nutrición de la playa, pues tienen un incremento de 25,7% en el precio comparado con propiedades que no están frente al mar. Así mismo, el precio disminuye en 3% a medida que aumenta en 100 metros la distancia a la costa.

### **Índices de riesgo climático en el sector inmobiliario**

Según (Saturno, 2004), un indicador compuesto es “un tipo particular de indicadores que resumen en un solo número la medición de varios subindicadores” (p. 1). Por su parte, la norma UNE 66175 define este concepto como “un dato un conjunto de datos que ayudan a medir objetivamente la evolución de un proceso o de una actividad” (AENOR, 2003, p. 56). También, Schuschny & Soto (2009) precisan que un “indicador compuesto es una representación simplificada que busca resumir un concepto multidimensional en un índice simple (unidimensional) con base en un modelo conceptual subyacente”.

Asimismo, el uso de indicadores permite que el evaluador de un fenómeno pueda dar seguimiento de las metas evaluando el grado de cumplimiento al establecer comparables, ya

sea año base o el *objetivo* definido. Además, “permite resumir extensos conjuntos de datos y, enfocándolos en una dimensión temporal, permite observar tendencias de la situación de un país, región, empresa, investigación, producto o servicio en lo referente a su economía, calidad, desarrollo, etc.” (Bas, 2014, p. 51). En consecuencia, una de las mayores características de los índices es resumir, en un número, una gran cantidad de aspectos pueden o no estar interrelacionados. Por lo tanto, se puede precisar que los indicadores son herramientas que ayudan a entender un problema, evaluar y examinar su evolución y realizar pronósticos basado en su comportamiento.

Los indicadores compuestos pueden ser de carácter cuantitativo o cualitativo, dependiendo el tipo estudio que se desee desarrollar. Para su construcción, se requiere tener plenamente identificado el objetivo que dio pie a su creación. Después, definir claramente el atributo que se desea medir; esto le dará al indicador compuesto un sustento conceptual. Posteriormente, contar con datos, de fuentes confiables, que permitan llevar a cabo la medición; esto le dará al indicador validez (Schuschny & Soto, 2009, p. 13; Quiroga, 2009, p.7). Finalmente, se debe tener en cuenta que la eficacia de un indicador compuesto depende de la calidad de las variables que lo definen. Por tanto, la selección de variables es una etapa fundamental en la cual se debe cuestionar la pertinencia de cada variable elegida.

Los tipos de indicadores compuestos para el análisis de indicadores ambientales propuestos por la (OECD, 2002, p. 5) son los siguientes grupos:

- ❖ Indicadores basados exclusivamente en las ciencias naturales como, por ejemplo, la demanda bioquímica (DBO).
- ❖ Indicadores de desempeño de políticas.

- ❖ Indicadores basados en criterios contables.
- ❖ Indicadores sinópticos.

Este estudio se volcará a desarrollar un indicador basado en criterios contables, dado que “el proceso de agregación se realiza sobre la base de imputaciones monetarias a variables que no son usualmente cuantificadas en términos monetarios” (Schuschny & Soto, 2009, p. 18). Finalmente, para validar el indicador este debe cumplir los siguientes requisitos o postulados: Existencia y determinación; Monotonía; Unicidad; invarianza; Homogeneidad; Transitividad y Exhaustividad. (p.260)

Las ventajas más relevantes de los índices “permiten reducir la complejidad de la información que deviene de las múltiples perspectivas”. También, “permiten disponer de una imagen de contexto y son fáciles de interpretar”. Además, “atraen el interés público por su capacidad de facilitar una comparabilidad entre unidades de análisis y su evolución. Sin embargo, en América latina y el caribe “existe ausencia de información estadística básica con la que alimentar el indicador a proponer”, lo que limita el proceso de diseño (Schuschny & Soto, 2009, p. 18).

En la revisión de literatura solo se encontraron dos autores que construyeron índices relacionados con el cambio climático. Por ejemplo, Giglio et al. (2021) propuso una medida de atención al cambio climático para Florida, Estados Unidos. Esta fue denominada “índice de atención climática”. Esta medición representa la porción de propiedades que en su descripción de incluyen palabras alusivas al cambio climático. Con la información generada por el indicador, construyeron un mapa de calor y lograron concluir que los lugares donde las propiedades se inundarán si el nivel del mar aumenta sustancialmente, prestan mayor

atención al cambio climático. Por otro lado, en la investigación de (Ortega & Taşpınar, 2018), se construyó el indicador “HEZAB” para clasificar las viviendas que se encuentran en una zona alto riesgo de inundación en caso de Huracán. En Colombia el Departamento de Estabilidad Financiera del Banco de la Republica construye el indicador IPVNBR para analizar el precio de la vivienda nueva (Mariño & Meneses, 2022).

Los problemas y desafíos de sostenibilidad que enfrentan los países latinoamericanos y caribeños son inmensos. Cada vez es más evidente la necesidad de construir y monitorear políticas públicas basándose en evidencias, dentro de las cuales figura en lugar central, un conjunto de indicadores diseñados para mostrar los signos vitales de una determinada dinámica ambiental, y sus interrelaciones con las dinámicas sociales y productivas (Quiroga, 2009, p. 11). Como resultado de esta necesidad, la presente investigación busca determinar la relación entre el riesgo generado por el cambio climático y el precio de las viviendas costeras, considerando la relevancia económica y social que posee este activo. De acuerdo con estudios anteriores, muestran que “una fuente de riesgo en la valoración de bienes raíces proviene de los desastres naturales, como inundaciones, incendios y terremotos. Dichos riesgos actuales se contabilizan en forma de valoraciones inmobiliarias más bajas o primas de seguros más altas” (Baldauf et al., 2020, p. 7). A pesar de ello, en América latina y el Caribe son pocas las experiencias de uso de indicadores compuestos en el área ambiental y “en el contexto del desarrollo sostenible solo se conocen las experiencias derivadas de los índices que se han construido a nivel global para todos los países” (Schuschny & Soto, 2009, p. 10). Algunos de ellos son: el Índice de Desarrollo Humano propuesto por las Naciones Unidas; el Índice de Sostenibilidad Ambiental (ESI); Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA); entre otros. Por lo tanto, es indispensable construir un indicador que nos

permita responder a la pregunta ¿El riesgo climático impacta los precios de la vivienda de una ciudad costera en Colombia?

## MARCO CONCEPTUAL

En el contexto de los impactos del cambio climático, el riesgo climático es “el resultado de las interacciones dinámicas entre los peligros relacionados con el clima con la exposición y vulnerabilidad del sistema humano o ecológico afectado” (IPCC, 2022, p. 145).

Los riesgos físicos se relacionan con “los impactos físicos del cambio climático, como tormentas cada vez más severas, aumento del nivel del mar, calor extremo e incendios forestales” (Hong et al., 2019, p. 2)

Un indicador es “una expresión cuantitativa observable y verificable que permite describir características, comportamientos o fenómenos de la realidad” (Sánchez et al., 2018, p. 6).

El IDEAM es autoridad meteorológica del país. Tiene a su cargo la elaboración de la climatología y la generación de los escenarios futuros de cambio climático para Colombia.

La zona Costera Colombiana es “un espacio del territorio nacional definido con características naturales, demográficas, sociales, económicas y culturales propias; está formada por una franja de anchura variable de tierra firme y espacio marítimo, en donde se presentan procesos de interacción entre el mar y la tierra. Es un recurso natural único, frágil y limitado del país, que tiene contacto con comunidades asentadas en sus límites” (Steer et al., 1997, p. 67).



En cuanto a las variables a utilizar, el Centro Regional de Información sobre Desastres América Latina y el Caribe [CRID] (2001) presenta las siguientes definiciones: La temperatura medioambiental es el “estado del ambiente que se manifiesta en el aire y en los cuerpos en forma de calor, en una gradación que fluctúa entre dos extremos que, convencionalmente, se denominan: caliente y frío” (p. 200). La precipitación atmosférica es el “agua procedente de la atmósfera, que cae a la superficie de la Tierra en forma de lluvia, granizo, rocío, escarcha, nieve, etc.” (p. 155). La radiación solar es la “radiación emitida por los rayos solares y de cuyo balance puede calcularse el calentamiento radiactivo tanto de la atmósfera como del suelo” (p. 166). Finalmente, esta entidad define la velocidad del viento como la “relación que se da entre el desplazamiento de la masa de aire y la unidad de tiempo” (p. 210).

El *web scraping*, también conocido como raspado web o extracción web, es “una técnica para extraer datos de la *World Wide Web* (WWW) y guardarlos en un sistema de archivos o base de datos para su posterior recuperación o análisis” (Zhao, 2017, p. 1). Asimismo, Mooney et al. (2015) expresa que el *web scraping* es considerablemente reconocido como una técnica eficiente y poderosa para recolectar una gran cantidad de datos.

## OBJETIVOS

### **Objetivo general/principal:**

Modelar el efecto del riesgo climático sobre el precio de la vivienda en una ciudad costera en Colombia para el año 2022.

### **Objetivos específicos**

- ❖ Describir los escenarios climáticos determinantes en el precio de las viviendas en una ciudad costera de Colombia.
- ❖ Evaluar el efecto de las variables climáticas sobre el precio de las viviendas en una ciudad costera de Colombia.
- ❖ Proponer un índice de precio inmobiliario para las viviendas de una ciudad costera de Colombia que considere el riesgo climático.

## METODOLOGÍA

Para valorar si los riesgos climáticos tienen efectos en el precio de los bienes raíces Giglio et al. (2021) indica que “lo ideal sería comparar las valoraciones de dos propiedades por lo demás idénticas que están expuestas de manera diferente a factores físicos de riesgo climático, como el aumento del nivel del mar, inundaciones, huracanes o incendios forestales” (p. 15). En esta investigación, se estableció un modelo mediante una regresión lineal múltiple, para relacionar las variables de interés con el precio de las viviendas costeras en Colombia. Las variables climáticas de interés son la temperatura ambiental, radiación solar, precipitación atmosférica y velocidad del viento. También se esperaba evaluar la relación que tiene algunas características relevantes del inmueble como el área total, el estrato y el número de habitaciones para obtener un modelo más robusto. Sin embargo, la escasa cantidad de viviendas con la información de todas las variables generó que no fueran tenidas en cuenta en esta investigación. El modelo estará dado por la ecuación 1, donde  $y$  es el precio de la vivienda,  $\beta_0$  es el intercepto de la línea recta o los efectos no controlados por las variables predictoras;  $\beta_n$  son los coeficientes parciales de la regresión,  $X_n$  representa cada una de las variables estudiadas y  $\varepsilon$  el error aleatorio.

$$\ln(y) = \beta_0 + \sum_1^n \beta_n * X_n + \varepsilon \quad (1)$$

Luego, se integrará esta información por medio de un índice (indicador compuesto), con la técnica que se resumirá posteriormente. Lo anterior con el propósito comprender de una manera sencilla e intuitiva lo que esta investigación se propone.

Los datos que inicialmente se identificaron indispensables son el precio de la vivienda y la georreferenciación de cada inmueble. Esta información a corte noviembre de 2022, se

obtuvo aplicando la técnica de *web scraping* a través del programa *Web Scraper* al portal web “finca raíz” ([fincaraiz.com.co](http://fincaraiz.com.co)). A continuación, con los datos de latitud y longitud para cada vivienda, se extrajo los valores de las variables climáticas de esta localización geográfica del sistema NASA POWER. Este sistema de la NASA proporciona datos solares y meteorológicos en tiempo real para una coordenada específica. Para acceder a este sistema y descargar datos masivamente, es necesario consumir una aplicación computacional (API) a través del *software* estadístico R.

En cuanto a la metodología para la creación del índice, (Nando et al, 2005; Schuschny & Soto, 2009) explican que para determinar un índice que sea útil, efectivo y tenga validez se requiere surtir las siguientes etapas:

(i) Desarrollo de un marco conceptual

El desarrollo de un marco es fundamental puesto que sustenta de manera conceptual la generación del indicador compuesto. Es a partir de ese marco que se justifica la construcción del indicador, dando pertinencia y razón de ser a los valores que posteriormente serán analizados.

Algunos de los marcos de referencia utilizados para el diseño de indicadores por la Comisión de Desarrollo Sustentable de Naciones Unidas y de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), es el Modelo de Fuerzas Rectoras, Presión, Estado, Exposición, Efecto y Acciones (DPSEEA). Así mismo, la CEPAL ha utilizado un marco ecosistémico en la definición de los indicadores de desarrollo sostenible.

(ii) Selección de los indicadores

Una vez definido el marco conceptual, es necesario evaluar los indicadores que se desea sintetizar. Esta etapa debe remitirse a un proceso previo de generación de indicadores, el cual es básico para la construcción de indicadores compuestos. Este proceso previo consiste en una búsqueda de los indicadores que, dentro del marco conceptual definido, puedan ser construidos o utilizados si es que ya existen, para posteriormente ser incorporados en un indicador compuesto.

(iii) Análisis multivariado

La técnica de examen que se empleará es el análisis de componentes principales – ACP. Cuando se han elegido los indicadores y variables que formarán parte del indicador compuesto, un proceso de análisis exploratorio es útil para evaluar si efectivamente los datos con la información seleccionada están en concordancia con las ideas que dieron lugar a su elección. Este es un primer proceso de validación de la utilidad de los indicadores seleccionados, en el cual pueden manifestarse problemas de ausencia parcial de información. Ello puede conducir a problemas en posteriores etapas, dado que puede generar errores en los análisis que conduzcan al final a conclusiones incorrectas, lo que hace necesario recurrir a las metodologías de imputación de datos perdidos o faltantes.

(iv) Imputación de datos perdidos

La ausencia de datos es un problema muy común cuando se trabaja en la construcción de un indicador compuesto. Por ello, el Schuschny & Soto (2009) basándose en estudios de la CEPAL expone las siguientes alternativas:

- ❖ Eliminar la información incompleta
- ❖ Eliminar la variable de Análisis

- ❖ Hacer una imputación simple de los datos, remplazando los valores con ayuda de promedios, regresiones, entre otros.

- ❖ Hacer una imputación múltiple, mediante técnicas de simulación como el algoritmo monto Carlo. (p. 51)

(v) Normalización de los datos

Los indicadores y variables seleccionados para la construcción del indicador compuesto generalmente estarán medidos en distintas escalas. Por lo cual se hace necesario normalizarlos para que puedan ser agregados de manera comparable. Una vez hecho esto, es necesario definir el factor de peso que cada indicador o variable tendrá en la agregación, para finalmente generar el agregado y construir los valores del indicador compuesto. Finalizado el proceso de construcción del indicador compuesto, será necesario presentarlo en un formato claro y entendible, ya sea de manera gráfica o tabular. Ponderación de la información

(vi) Agregación de la información

Una vez determinados los pesos o ponderación de las variables, se procede a agregar todas las variables en un indicador sintético, “en aquellos casos en que el método de ponderación utilizado no establece de manera natural un método de agregación subsecuente”. (Schuschny & Soto, 2009, p. 71)

(vii) Análisis de robustez y sensibilidad

No se debe descuidar el aspecto de la validación final por medio de un análisis de sensibilidad, consistente en evaluar si pequeñas variaciones en los datos contenidos en los indicadores y variables que se incluyen en la agregación conducen

efectivamente a pequeñas variaciones en el valor del indicador compuesto, lo cual no está garantizado, pero es requerido como un elemento de robustez. (sec. III).

## RESULTADOS

Con la finalidad de modelar los efectos del cambio climático en el precio de las viviendas de una ciudad costera, los resultados encontrados se presentarán dando respuesta a los objetivos específicos que fueron planteados en esta investigación. La primera sección describirá los escenarios determinantes en el precio de las viviendas. Considerando que se analizaron ciudades costeras y céntricas del territorio nacional, se tomó como referencia Cartagena y Medellín dado que son ciudades principales y permiten mostrar el contraste de resultados. Después, se mostrará la modelación del efecto del cambio climático sobre el valor de los inmuebles. Finalmente, se propondrá un indicador de precio inmobiliario que considera el riesgo climático y una escala para interpretar el nivel de riesgo climático de una vivienda.

### **Descripción de escenarios climáticos determinantes**

En la revisión de literatura realizada se encontró que la radiación solar es la variable más determinante del clima en el planeta tierra. Entre las propiedades determinantes también se encuentran la precipitación y el viento. Por lo anterior, y considerando su influencia sobre el clima se definió la radiación solar, la precipitación y la velocidad del viento como las variables climáticas determinantes del precio de las viviendas. Es así como para mejorar la comprensión de estas y describir los escenarios climáticos determinantes en el precio de las viviendas se utilizó el método descriptivo de estadística clásica.

En tabla 1 se puede observar que el precio promedio de las 1962 viviendas analizadas es de 325 millones de pesos. La vivienda más costosa tiene un valor de 3.7 billones de pesos. En cuanto a las variables climáticas, la radiación solar media a la que están expuestas las



propiedades es de 17.32 kW/m<sup>2</sup>. Lo anterior indica que las viviendas estudiadas son altamente expuestas a esta variable climática dado que, de acuerdo con el Atlas de Radiación Solar de Colombia, el promedio diario multianual del territorio nacional es de aproximadamente 4,5 kWh/m<sup>2</sup>. Así mismo, los datos para esta variable se encuentran entre 10.67 y 21.85 kWh/m<sup>2</sup>, los cuales son superiores al valor medio estimado lo que manifiesta la agudez del cambio climático en Colombia. En el mismo sentido, la precipitación promedio diaria en las ubicaciones del estudio es de 16.766 mm, lo que representaría alrededor de 519 mm promedio por mes. De acuerdo con *Weather Spark*, se considera un “día mojado” cuando la precipitación es mayor a 1 mm. En este sentido, los datos muestran un exceso de lluvia en las viviendas analizadas. Esto se debe a que el periodo examinado es el mes de noviembre, el cual es temporada de lluvias extremas en las ciudades evaluadas, en especial en las localidades costeras. Finalmente, la velocidad del viento promedio diaria es de 3.6937 m/s que es inferior al promedio de las ciudades costeras que, de acuerdo con el atlas de viento y energía eólica en Colombia es alrededor de 5 m/s.

**Tabla 1**

*Estadísticas descriptivas variables climáticas*

Variable	Desv.	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Precio (millones)	8,5 x e <sup>10</sup>	1.355	230	420	325	750	3,700,000
Radiación solar	1.795808	10.67	16.74	17.32	17.63	18.44	21.85
Precipitación	17.01784	4.461	7.860	13.256	16.766	14.234	104.363
Velocidad del viento	1.408189	-0.4012	3.0395	3.9986	3.6937	4.6655	8.2174

Teniendo en cuenta que en la información obtenida para el desarrollo de esta investigación se encuentran datos de ciudades costeras y no costeras, se seleccionó una

ciudad importante de cada una de ellas para describir sus escenarios climáticos. En la Figura 2 se puede identificar que la radiación solar en Cartagena en el periodo analizado es mayor que en Medellín, con lo cual se puede comprobar que el clima en Cartagena es más caluroso. En promedio la radiación solar en Cartagena es de  $19.32 \text{ kW/m}^2$ , alrededor de 2 puntos porcentuales por encima de Medellín que para esta métrica tiene un valor de  $17.46 \text{ kW/m}^2$ , como se muestra en la Tabla 2. En cuanto a la velocidad del viento, Cartagena al ser una ciudad costera está expuesta a mayores vientos. En promedio la velocidad en Cartagena es de  $5.292 \text{ m/s}$ , casi 5 veces mayor al valor de esta métrica para la ciudad de Medellín. En la serie temporal de la Figura 3 se puede observar que en Medellín la velocidad del viento tiene valores bajos, así como una baja variabilidad. Por el contrario, en Cartagena esta variable tiene valores fluctuantes con valores superiores, alcanzando velocidades de hasta  $11.33 \text{ m/s}$ .

Con respecto a la precipitación diaria en el periodo enero de 2020 a noviembre de 2021, en la Figura 4 se puede observar que Medellín poseía en un comportamiento de lluvias similar al de la ciudad de Cartagena, pero en el 2023 Medellín tuvo un incremento más abrupto en las lluvias que Cartagena. Lo anterior evidencia que existe un cambio anormal en esta variable climática para el año 2023, que puede ser una manifestación del cambio climático. Es así como el promedio de precipitación diaria para Medellín es de  $15.824 \text{ mm}$  mientras que para Cartagena es de  $3.38 \text{ mm}$ , con lo que se puede concluir que en esta última ciudad es más seca. De lo anterior, es posible concluir que el clima de Cartagena es más cálido y seco que Medellín. También es evidente la gran variabilidad de los escenarios climáticos. Las variables analizadas presentan comportamientos atípicos que dan razón de los efectos del cambio climático.

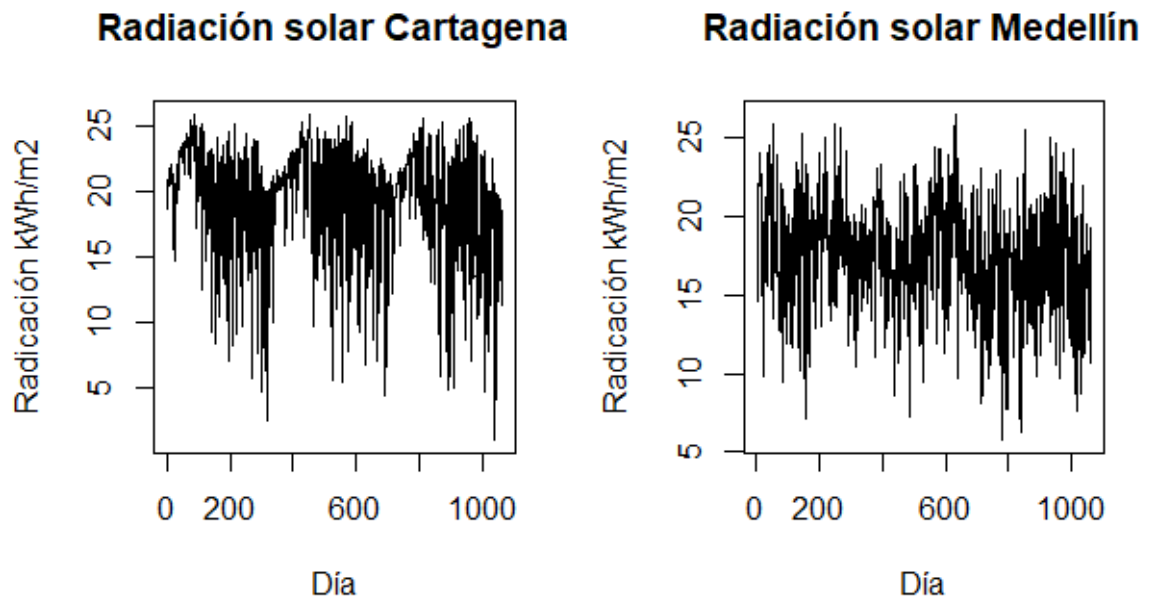
**Tabla 2**

*Medias diarias de variables climáticas para Cartagena y Medellín en el periodo enero de 2020 a noviembre 2022*

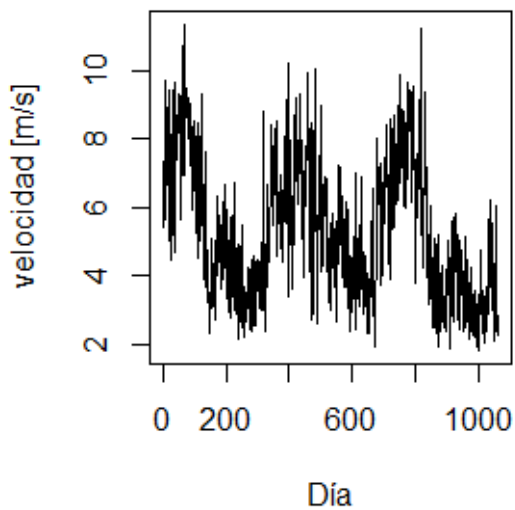
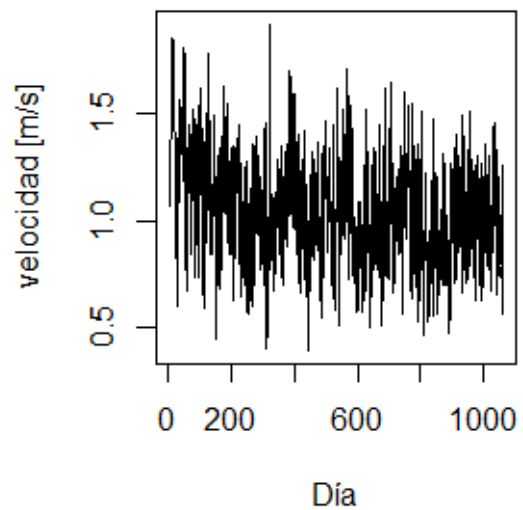
Variable	Cartagena	Medellín
Radiación solar	19.32	17.46
Precipitación	3.382	15.824
Velocidad del viento	5.292	1.038

**Figura 2**

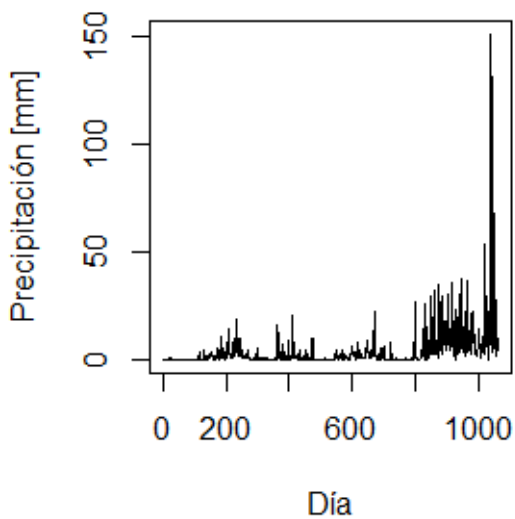
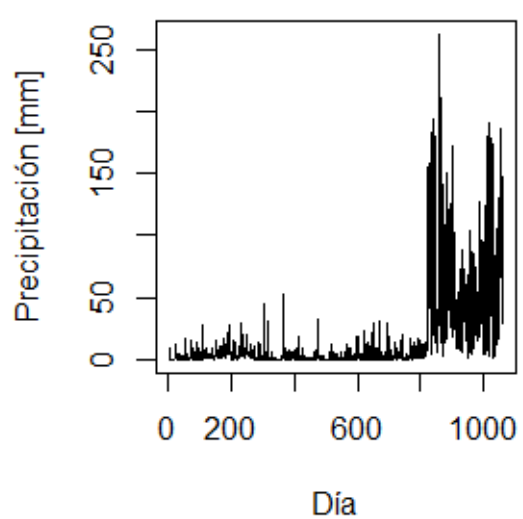
*Serie de tiempo de la radiación solar en Cartagena y Medellín en el periodo enero de 2020 a noviembre 2022.*

**Figura 3**

*Serie de tiempo de la velocidad del viento en Cartagena y Medellín entre enero de 2020 y noviembre 2022.*

**Vel. del viento en Cartagena****Vel. del viento en Medellín****Figura 4**

*Serie de tiempo de la precipitación en Cartagena y Medellín entre enero de 2020 y noviembre 2022.*

**Precipitación Cartagena****Precipitación Medellín**

### Evaluación del efecto de las variables climáticas

Al realizar la regresión lineal múltiple se obtuvo las estadísticas descriptivas de la Tabla 3. Considerando que en este modelo no fue posible añadir la influencia de las características de la vivienda como lo son el área, estrato, entre otros. se obtuvo un  $R^2$  ajustado de 0.0371 como se puede identificar en la Tabla 3. Esto indica que el modelo propuesto predice de manera lineal el 3.7% de la variación del precio teniendo en cuenta como variables predictoras la velocidad del viento, la radiación solar y la precipitación. Este resultado demuestra que deben explorarse relaciones de tipo no lineal para modelar las variables climáticas.

**Tabla 3**

*Resultados de la regresión lineal múltiple.*

<b>Variable (j)</b>	<b>Coefficiente (<math>\beta_n</math>)</b>	<b>P-valor</b>
<b>Intercepto</b>	19,905005	< 2e-16
<b>Velocidad del viento</b>	-0,129037	1,69e-08
<b>Precipitación</b>	-0,013577	1,90e-12
<b>Radiación solar</b>	0,041190	0,00314
Adjusted R-squared: 0,0371		
F-statistic: 26,19 on 3 and 1958 DF, p-value: < 2,2e-16		

Con la prueba de hipótesis desarrollada en la Tabla 4, se determinó que el modelo propuesto es válido para explicar el precio de las viviendas en función de las variables climáticas estudiadas.

**Tabla 4***Prueba de hipótesis de validación del modelo.*

<b>Ho:</b> El modelo propuesto NO es válido.
<b>Ha:</b> El modelo propuesto es válido
<b>Regla de decisión:</b> Rechazo Ho si $p\text{-valor} < \alpha$
<b>Decisión:</b> Como $p\text{-valor} = 2,2e-16 < \alpha = 0.05$ Rechazo Ho.
<b>Conclusión:</b> Con un nivel de confianza del 95% se determina que el modelo es válido.

En cuanto a las variables individuales se efectuó la prueba de hipótesis de la Tabla 5, con la finalidad de determinar si las variables predictoras son significativas para el modelo propuesto. De este modo, al evaluar cada p-valor se llegó a la conclusión, con un 95% de confianza, que cada variable independiente tiene influencia sobre el modelo debido a que los cambios en la velocidad del viento, la precipitación y la radiación solar están relacionados con los cambios en el precio de las viviendas.

**Tabla 5***Prueba de hipótesis de validación de significancia de las variables predictoras.*

<b>Ho:</b> La variable No es significativa para el modelo
<b>Ha:</b> La variable es significativa para el modelo
<b>Regla de decisión:</b> Rechazo Ho si $p\text{-valor} < \alpha$
<b>Decisión:</b> Como $p\text{-valor}$ (velocidad del viento) = $1.69e-08$ ; $p\text{-valor}$ (precipitación)= $1.90e-12$ ; $p\text{-valor}$ (radiación solar) = $0.00314 < \alpha = 0.05$ Rechazo Ho.

**Conclusión:** Con un nivel de confianza del 95% se determina que la velocidad del viento, la precipitación y la radiación solar son significativas para el modelo.

De este modo, el modelo log lineal determinado es el representado en la ecuación 2, donde  $V$  es la velocidad del viento,  $P$  la precipitación y  $RS$  representa la radiación solar.

$$\text{Precio} = 19.905005 - 0.129037 * V - 0.013577 * P + 0.041190 * RS \quad (2)$$

Uno de los principales hallazgos de la regresión es que todas las variables del riesgo climático examinadas afectan el precio de las viviendas. Si la velocidad del viento aumenta en una unidad (1 metro/segundo), el precio de la vivienda disminuye en 12.9%. Similarmente, un aumento de una unidad de precipitación (1 milímetro) representa un descuento de 1.3% en el precio de los inmuebles. Finalmente, un aumento de 1 unidad de radiación solar (1 kW/m<sup>2</sup>) representa un incremento de 4,11% en el valor del bien. Considerando lo anterior, la variable climática que más impacta el precio de las viviendas es la velocidad del viento.

### **Índice de riesgo climático sobre el precio inmobiliario**

Se aplicó el análisis de componentes principales para simplificar la información en un número menor de variables. Para ello, se descomponen linealmente las variables originales en factores. Luego, se estandarizan los datos para centrar la información y evitar sesgos en la misma. Finalmente, se obtiene los *loadings*<sup>2</sup> de las componentes principales y

---

<sup>2</sup> Los loadings pueden interpretarse como el peso o importancia que tiene cada variable en cada componente principal y, por lo tanto, ayudan a conocer qué tipo de información recoge cada una de ellas.

la desviación estándar de cada una de ellas. Lo anterior se muestra en la Tabla 6 y Tabla 7 respectivamente. En cuanto al componente 1, se puede evidenciar que la precipitación presenta la mayor relevancia en la información con una proporción de 0.61. Sin embargo, la velocidad del viento y la radiación solar también tienen ponderaciones altas, por consecuencia, también son significativas para esta componente. De forma análoga, el precio es el más significativo en la componente principal 2, con una proporción de 0.99. También se puede observar en la Tabla 5 que a medida en que se aumentan componentes la desviación estándar va disminuyendo. Para el componente 2 la desviación típica es de 0.99.

**Tabla 6**  
*Componentes principales.*

	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>	<b>PC3</b>	<b>PC4</b>
Precio	0,02546298	0,999552831	0,003049237	0,01537778
Precipitación	0,61731113	-0,026190863	-0,278233247	0,73540960
Velocidad del viento	-0,59982254	0,003644192	0,438246031	0,66943264
Radiación solar	-0,50842063	0,013960516	-0,854703094	0,10390472

**Tabla 7.**  
*Desviación estándar componentes principales.*

	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>	<b>PC3</b>	<b>PC4</b>
Desviación estándar	14,478.375	0,9997310	0,7891250	0,5306469

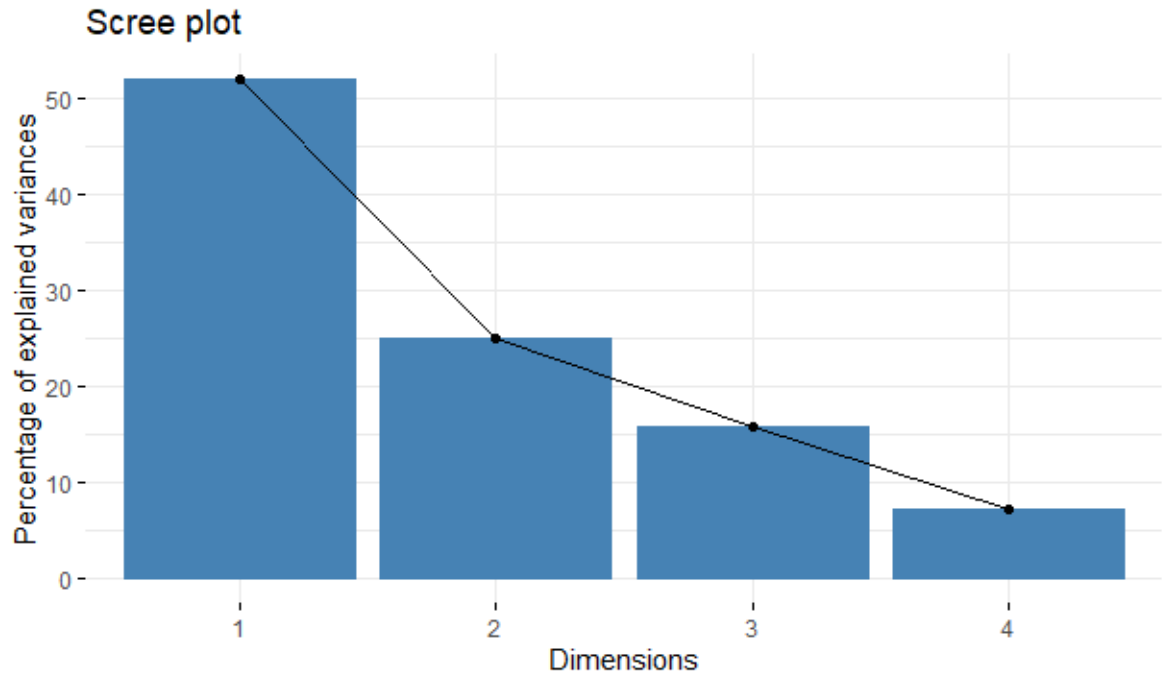
Otro resultado proporcionado por el software estadístico R, es la proporción de varianza explicada por cada componente. Lo anterior se muestra en la Figura 5. En este



análisis, el primer componente explica el 50% de la varianza observada en los datos y el segunda el 25%. Se emplea únicamente las dos componentes dado que, con ellas se consigue explicar el 75% de la variación observada.

**Figura 5**

*Proporción de varianza explicada de acuerdo con el número de componentes principales.*

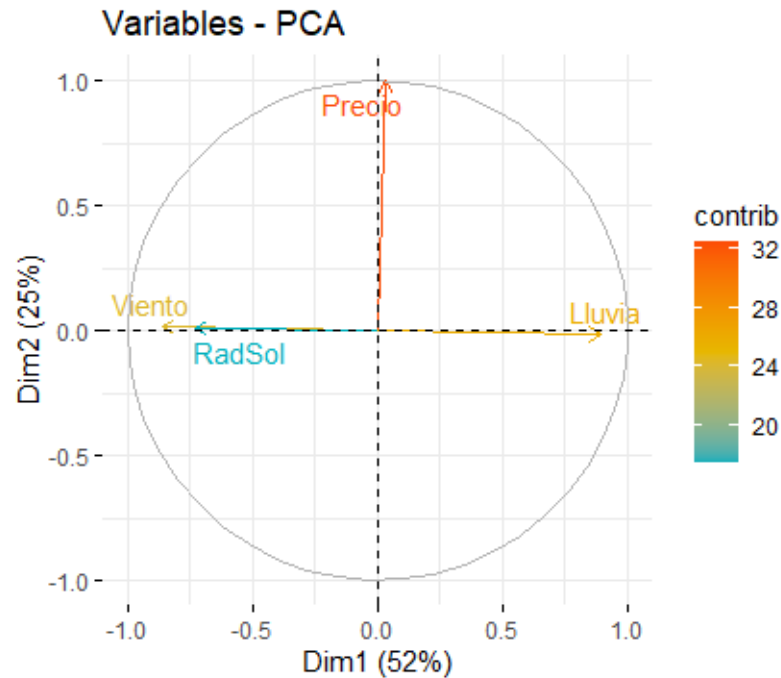


En la Figura 6 se obtiene el análisis gráfico de los componentes principales. En este gráfico se puede confirmar las conclusiones anteriores. La precipitación, la velocidad del viento y la radiación solar están correlacionadas con el componente principal 1 (Dim 1), y por tanto son importantes para su definición. Por otro lado, el precio está correlacionado con la componente principal 2 (Dim2) y tiene un alto nivel de contribución en su definición. También se puede evidenciar que la velocidad del viento y la radiación solar están directamente correlacionadas. Por el contrario, estas mismas variables están inversamente correlacionadas con la precipitación. Es decir, por ejemplo, cuando la condición de tiempo

atmosférico es soleada, hay menos precipitación. Además, la información de esta investigación logra capturar el 51% de la variabilidad climática.

**Figura 6**

*Análisis de componentes principales gráfico PC1 y PC2.*



Finalmente, para obtener el índice de riesgos climáticos, los componentes se transforman en un escalar entre 0 y 1 de acuerdo con la ecuación 3 y 4. En la ecuación 3 se realiza este procedimiento para el componente principal 1 que, como se identificó anteriormente, contiene los factores climáticos. Asimismo, el índice 2 contiene el factor de precios. Después se obtuvo el índice 3 de acuerdo con la ecuación 4, para así relacionar el precio con las variables climáticas. Finalmente, el índice de riesgo climático que propone esta investigación fue determinado con la ecuación 5, la cual escala nuevamente el índice 3

para obtener valores entre 0 y 1 que facilita su interpretación. Así las cosas, este indicador contiene la información climática y de oferta de precios de vivienda.

$$\text{Índice1} = \frac{PC1 - \min(PC1)}{\max(PC1) - \min(PC1)} \quad (3)$$

$$\text{Índice2} = \frac{PC2 - \min(PC2)}{\max(PC2) - \min(PC2)} \quad (4)$$

$$\text{Índice3} = \text{Índice1} + \text{Índice2} \quad (5)$$

$$\text{Índice de riesgo climático} = \frac{\text{Índice3} - \min(\text{Índice3})}{\max(\text{Índice3}) - \min(\text{Índice3})} \quad (6)$$

El índice agrupa el nivel de riesgo climático en cuatro categorías, como se aprecia en la Tabla 8. Esto con la finalidad de que el indicador sirva como un método sencillo de medición del riesgo climático al que está expuesto una vivienda y su efecto en el precio inmobiliario. Esta clasificación facilita el uso y comprensión de las implicaciones del cambio climático que se refleja en un descuento en el valor comercial de un inmueble.

**Tabla 8**

*Índice de riesgo climático sobre el precio inmobiliario, definido por 4 categorías de vulnerabilidad.*

Nivel de riesgo	Rango	Descripción de la interpretación
Muy Alto	$\geq 0.75$	El riesgo climático al que está expuesta la vivienda es extremo y por tanto presentará un descuento determinante en su precio

Alto	[0.5 - 0.75)	El riesgo climático al que está expuesta la vivienda es alto. Por tanto, el descuento en su precio es significativo.
Media	[0.25-0.5)	El riesgo climático al que está expuesta la vivienda es moderado. Por tanto, el descuento en su precio es moderado.
Baja	<0.25	El riesgo climático al que está expuesta la vivienda es bajo. Por tanto, el descuento en su precio es mínimo.

Al evaluar las estadísticas descriptivas del índice climático, es posible identificar que, en las ciudades colombianas evaluadas, el riesgo climático es crítico. Lo anterior considerando que solo el 25% de las viviendas analizadas tienen un riesgo climático menor a 0,7637 o lo que es similar, el 75% de los datos tienen valores para este indicador mayores a 0,7637, es decir, en un nivel de riesgo climático muy alto de acuerdo con la Tabla 8. Lo anterior indica que el 75% de las viviendas están expuestas a un riesgo climático extremo y por tanto presentarán un descuento determinante en su precio. Incluso, el 50% de los inmuebles estudiados presentan un índice de riesgo climático entre 0,7637 y 0,8453.

**Tabla 9**

*Estadísticas descriptivas índice de riesgo climático.*

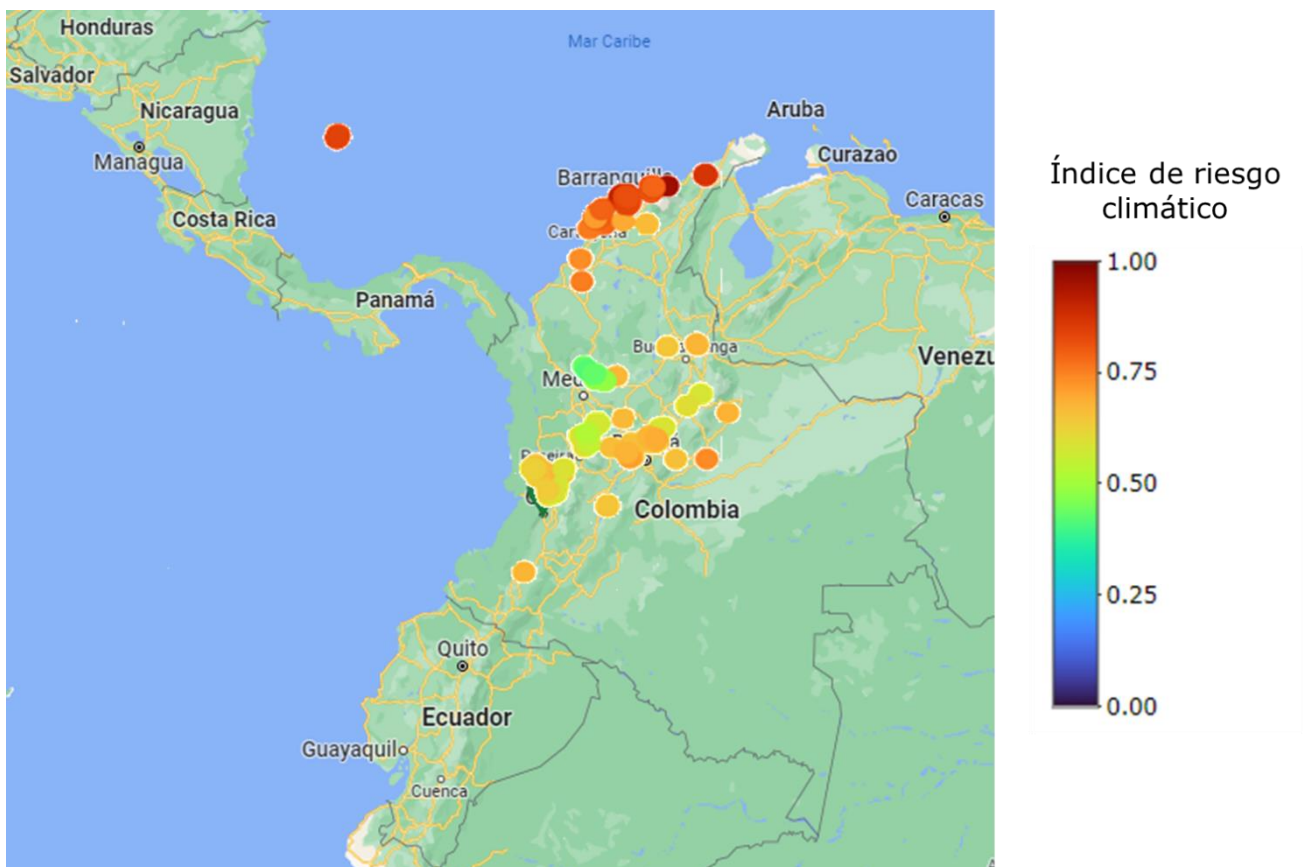
Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0	0.7637	0.8069	0.7817	0.8453	1

Finalmente, se graficó el índice climático de cada vivienda de acuerdo con sus las coordenadas geográficas obteniendo el mapa de calor de la Figura 7. Se puede ratificar que, de las ciudades colombianas analizadas, principalmente las ubicadas en zonas costeras insulares tienen un alto nivel de riesgo climático, así como lo indica el IDEAM. También es claro que este indicador es superior en las ciudades costeras, lo que evidencia que el precio

de las viviendas cerca de la costa está sintetizando la mayor exposición al riesgo climático. Es decir, que las alteraciones en el clima afectan más el precio de la vivienda en Barranquilla que en Santa Marta. Adicionalmente, en ciudades como Medellín hay un menor riesgo de que el clima impacte el precio inmobiliario.

**Figura 7**

*Mapa de calor del índice de riesgo climático.*



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La revisión de literatura permitió determinar que las variables climáticas determinantes en el precio de las viviendas en Colombia son principalmente la radiación solar, la precipitación y la velocidad del viento. Con este punto de partida se realizó un análisis descriptivo de las variables que permitió concluir que los inmuebles estudiados son altamente expuestos a la radiación solar con un valor de  $17.32 \text{ kW/m}^2$ , la cual está muy por encima del valor medio nacional para el año 2014 ( $4,5 \text{ kWh/m}^2$ ). En cuanto a las precipitaciones, se presentan un exceso de lluvia en las localidades tenidas en cuenta. Finalmente, la velocidad del viento promedio es menor que la media de las ciudades costeras lo que representa una disminución de flujo de aire. Esto expone que los escenarios climáticos hoy son atípicos y extremos. Se evidencian los efectos del cambio en el clima. En cuanto al clima de una ciudad costera se ratificó que estas poseen climas calurosos y secos, además de poseer un mayor flujo de vientos en contraste con una ciudad céntrica como Medellín.

Luego, se determinó y validó estadísticamente un modelo lineal múltiple que exhibe el efecto del riesgo climático en el precio de las viviendas. El hallazgo central del modelo es que todas las variables del riesgo climático examinadas afectan el precio de las viviendas. Específicamente, al incrementarse la velocidad del viento y las lluvias en una unidad, se genera una disminución en el precio de 12,9 y 1,35% respectivamente. Por el contrario, el aumento de una unidad en la radiación solar representa un aumento en el precio de 4,11%. También se logró concluir que la variable climática que más impacta el precio de las viviendas en Colombia es la velocidad del viento.

Últimamente, con la metodología de análisis de componentes principales se simplificó las variables climáticas en 2 factores que explican el 75% de la variación

observada. Con el índice de precio inmobiliario propuesto y su respectiva escala se logró ratificar que Colombia es un país vulnerable al cambio climático. El 75% de las viviendas analizadas tienen valores para este indicador de riesgo climático mayores a 0,7637. Lo anterior indica que el 75% de las viviendas están expuesta a un riesgo climático extremo y por tanto presentan un descuento determinante en su precio o valor comercial. También se pudo concluir que las ciudades costeras poseen un riesgo climático mayor que las ciudades céntricas. Es decir, que los inmuebles cerca de la costa están sintetizando la mayor exposición al riesgo climático.

Resumidamente, esta investigación demuestra que el precio de la vivienda en algunas ciudades de Colombia es afectado negativamente por el cambio climático. También se determinó que todas las variables climáticas analizadas son significativas. Esto debido a que la variación en las variables climáticas precipitación, velocidad del viento y radiación solar está relacionado con una variación en el precio.

Si bien aún se desconoce mucho sobre la dinámica del cambio climático y sus impactos en el sector inmobiliario mundial, y aún más en Colombia, trabajos como el de Giglio (2021), Bernstein (2019), Baldauf (2020) y otros ha mejorado sustancialmente la comprensión de esta problemática. El análisis estadístico realizado en esta investigación contribuye a esta línea de trabajo, permitiendo identificar que el cambio climático pone en riesgo el desarrollo y crecimiento del sector inmobiliario en Colombia, el cual es clave para la economía nacional. Así mismo, se propone un índice de precio inmobiliario que considera el riesgo climático, el cual no tiene un símil en Colombia.

A futuro podría pensarse en integrar al modelo las características de las viviendas como el área, número de habitaciones, antigüedad, entre otros y/o plantear relaciones de tipo

no lineal para comprender mejor el comportamiento climático. De tal manera que el modelo logre explicar una mayor parte de la variabilidad observada. Así mismo, obtener información de un número significativo de viviendas de todo el territorio nacional, con la finalidad de lograr generalizar los resultados y mejorar el entendimiento del efecto del riesgo climático en el precio inmobiliario en Colombia.



## REFERENCIAS

- AENOR. (2003). *Guía para la implantación de sistemas de indicadores*.
- Agencia Española de Geografía. (n.d.). *Variables que intervienen en la definición del clima de un territorio*.
- Atreya, A., & Ferreira, S. (2015). *Seeing is Believing? Evidence from Property Prices in Inundated Areas*.
- Bakkense, L. A., & Barrage, L. (2017). FLOOD RISK BELIEF HETEROGENEITY AND COASTAL HOME PRICE DYNAMICS. *NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH*.
- Baldauf, M., Garlappi, L., Yannelis, C., Beaudry, P., Berk, J., Fisher, A., Kojien, R., Lu, G., Milgrom, P., Mueller, H., Naik, V., Stroebel, J., Uppal, R., Nieuwerburgh, S. van, Rao, K., Olsen, S., & Bretz, L. (2020). Does Climate Change Affect Real Estate Prices? Only If You Believe in It \*. *Review of Financial Studies*, 33(3), 1256–1295.
- Bas, M. (2014). *Estrategias metodológicas para la construcción de indicadores compuestos en la gestión universitaria*.
- Beltrán, A., Maddison, D., & Elliott, R. J. R. (2018). Is Flood Risk Capitalised into Property Values? *Ecological Economics*, 146, 668–685.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.12.015>
- Bernstein, A., Gustafson, M. T., & Lewis, R. (2019). Disaster on the horizon: The price effect of sea level rise. *Journal of Financial Economics*, 134(2), 253–272.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2019.03.013>
- Bin, O., & Landry, C. E. (2013). Changes in implicit flood risk premiums: Empirical evidence from the housing market. *Journal of Environmental Economics and Management*, 65(3), 361–376. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2012.12.002>
- CAMACOL. (2021). *ANÁLISIS DEL CONTEXTO ECONÓMICO DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN*.
- CAMACOL. (2022). *PIB del sector edificador crecerá 3.5 veces más que el total de la economía en el 2022*. <https://camacol.co/actualidad/noticias/pib-del-sector-edificador-crecera-35-veces-mas-que-el-total-de-la-economia-en>
- Centro Regional de Información sobre Desastres América Latina y el Caribe (CRID). (2001). *Vocabulario Controlado sobre Desastres (VCD)*.
- DANE. (2022). *Boletín Técnico Indicadores económicos alrededor de la construcción (IEAC)*.
- Foro Económico Mundial., Marsh & McLennan., SK Group., & Zurich Insurance Group. (2021). *The global risks report 2021*. World Economic Forum.
- Fuentes, A. (1999). *LA VIVIENDA COMO UN ACTIVO DE LOS HOGARES*.
- Fuerst, F., & Warren-Myers, G. (2021). Pricing climate risk: Are flooding and sea level rise risk capitalised in Australian residential property? *Climate Risk Management*, 34.  
<https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100361>
- Gibson, M., Mullins, J. T., & Hill, A. (2017). *Climate change, flood risk, and property values: Evidence from New York City*.
- Giglio, S., Maggiori, M., Rao, K., Stroebel, J., & Weber, A. (2021). Climate Change and Long-Run Discount Rates: Evidence from Real Estate. *Review of Financial Studies*, 34(8), 3527–3571. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhab032>

- Hale, T. N., Chan, S., Hsu, A., Clapper, A., Elliott, C., Faria, P., Kuramochi, T., McDaniel, S., Morgado, M., Roelfsema, M., Santaella, M., Singh, N., Tout, I., Weber, C., Weinfurter, A., & Widerberg, O. (2021). Sub- and non-state climate action: a framework to assess progress, implementation and impact. *Climate Policy*, 21(3), 406–420. <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1828796>
- Hong, H., Li, F. W., & Xu, J. (2019). Climate risks and market efficiency. *Journal of Econometrics*, 208(1), 265–281. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2018.09.015>
- IDEAM, & UNAL. (2018). *LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA*.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report Summary for Policymakers Summary for Policymakers*.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, A. Alegría, S. Löschke, E. Poloczanska, M. Craig, K. Mintenbeck, Langsdorf Stefanie, B. Rama, & A. Okem, Eds.). <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Mariño, J., & Meneses, M. (2022). *ANÁLISIS DE LA CARTERA Y DEL MERCADO INMOBILIARIO EN COLOMBIA*.
- Miller, N., & Sklarz, M. (2019). *The Impact of Waterfront Location on Residential Home Values Considering Flood Risks*. <https://firststreet.org/press>
- Minvivienda. (2022, July 18). *Durante el primer semestre de 2022, en promedio cada 2 minutos 11 segundos una familia colombiana pudo comprar casa nueva*. GOVCO. <https://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/durante-el-primer-semester-de-2022-en-promedio-cada-2-minutos-11-segundos-una-familia-colombiana-pudo-comprar-casa-nueva>
- Mooney, S. J., Westreich, D. J., & El-Sayed, A. M. (2015). Epidemiology in the era of big data. In *Epidemiology* (Vol. 26, Issue 3, pp. 390–394). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1097/eDe.0000000000000274>
- Murfin, J., & Spiegel, M. (2020). Is the risk of sea level rise capitalized in residential real estate? *Review of Financial Studies*, 33(3), 1217–1255. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhz134>
- Mutis, S. (2019, March 8). El peso del sector inmobiliario. *La República*. <https://www.larepublica.co/analisis/sergio-mutis-caballero-500033/el-peso-del-sector-inmobiliario-2836824>
- Naciones Unidas. (1992). *CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO*.
- Neumann, B., Vafeidis, A. T., Zimmermann, J., & Nicholls, R. J. (2015). Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding - A global assessment. *PLoS ONE*, 10(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118571>
- OECD. (2002). *Environmental Information and Outlooks AGGREGATED ENVIRONMENTAL INDICES REVIEW OF AGGREGATION METHODOLOGIES IN USE*.
- Ortega, F., & Taşpınar, S. (2018). Rising sea levels and sinking property values: Hurricane Sandy and New York's housing market. *Journal of Urban Economics*, 106, 81–100. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2018.06.005>

- Qiu, Y., & Gopalakrishnan, S. (2018). Shoreline defense against climate change and capitalized impact of beach nourishment. *Journal of Environmental Economics and Management*, 92, 134–147. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.08.013>
- Quiroga, R. (2009). *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*. CEPAL.
- Renn, O. (2008). *Risk Governance: Coping with Uncertainty in a Complex World*.
- Salazar, D. (2022, October 15). *Inversiones inmobiliarias en Colombia: ¿es un buen o mal momento para hacerlas?* Bloomberg Línea. <https://www.bloomberglinea.com/2022/10/15/inversiones-inmobiliarias-en-colombia-es-un-buen-o-mal-momento-para-hacerlas/>
- Sanchez, O., Salazar, A., Thowinson, J., López, J., & Villareal, S. (2018). *GUÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE INDICADORES*. [www.dnp.gov.co](http://www.dnp.gov.co)
- Saturno, P. J. (2004). The invasion of compound indicators. Risks and benefits for the management of the quality. In *Revista de Calidad Asistencial* (Vol. 19, Issue 6, pp. 407–415). Ediciones Doyma, S.L. [https://doi.org/10.1016/s1134-282x\(04\)77732-5](https://doi.org/10.1016/s1134-282x(04)77732-5)
- Schuschny, A., & Soto, H. (2009). *Guía metodológica Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible*.
- Steer, R., Arias, F., Ramos, A., Sierra, P., Alonso, D., & Ocampo, P. (1997). *Documento base para la elaboración de la “Política Nacional de Ordenamiento Integrado de las Zonas Costeras Colombianas.”*
- Thackeray, S. J., Robinson, S. A., Smith, P., Bruno, R., Kirschbaum, M. U. F., Bernacchi, C., Byrne, M., Cheung, W., Cotrufo, M. F., Gienapp, P., Hartley, S., Janssens, I., Hefin Jones, T., Kobayashi, K., Luo, Y., Penuelas, J., Sage, R., Suggett, D. J., Way, D., & Long, S. (2020). Civil disobedience movements such as School Strike for the Climate are raising public awareness of the climate change emergency. In *Global Change Biology* (Vol. 26, Issue 3, pp. 1042–1044). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/gcb.14978>
- Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital, & Fincaraíz. (2021). *Evolución del mercado de la vivienda en Colombia*.
- Zhao, B. (2017). Web Scraping. In *Encyclopedia of Big Data* (pp. 1–3). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-32001-4\\_483-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-32001-4_483-1)