

**EVALUACIÓN DE LA INVERSIÓN EN VIRTUALIZACIÓN DE UN  
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN  
LA UNIVERSIDAD DE LA SABANA: UN ENFOQUE DE DINÁMICA  
DE SISTEMAS**

Presentado por:

Sara Alejandra Frost Cruz

Harold David Villacís Jara

Director del Proyecto: Ph.D. Alfonso Sarmiento Vásquez

Codirector del Proyecto: Ph.D. Esteban López Arboleda



**UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN GERENCIA DE INGENIERÍA  
CHÍA  
2021**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del Jurado

Chía, 2021

## Contenido

<b>Resumen</b> .....	<b>9</b>
<b>Resumen gráfico</b> .....	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
Objetivo General.....	12
Objetivos Específicos.....	13
<b>Justificación</b> .....	<b>13</b>
<b>Metodología</b> .....	<b>15</b>
Diseño .....	15
Participante .....	15
Instrumentos .....	16
Procedimiento .....	16
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
1.1. Educación no presencial .....	18
1.2. Dinámica de sistemas.....	18
1.3. Evaluación de una inversión .....	22
<b>2. ARTICULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>24</b>
2.1. Descripción .....	24
2.2. Variables clave.....	26
2.3. Horizonte de tiempo .....	28
<b>3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DINÁMICA</b> .....	<b>28</b>
3.1. Generación de la hipótesis inicial.....	28
3.2. Enfoque endógeno de la dinámica del sistema .....	29
3.3. Diagramas causales.....	33
<b>4. FORMULACIÓN DEL MODELO</b> .....	<b>40</b>
4.1. Buenas prácticas de modelamiento .....	40
4.2. Estructura del modelo .....	40
4.3. Estimación de parámetros.....	49

4.4.	Condiciones iniciales .....	57
<b>5.</b>	<b>VALIDACIÓN DEL MODELO .....</b>	<b>57</b>
5.1.	Validación de la estructura .....	57
5.2.	Validación del comportamiento.....	65
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS DE ESCENARIOS .....</b>	<b>68</b>
6.1.	Descripción de escenarios .....	69
6.2.	Escenario base .....	70
6.3.	Escenario 1 .....	72
6.4.	Escenario 2 .....	75
6.5.	Escenario 3 .....	80
6.6.	Escenario 4 .....	83
6.7.	Escenario 5 .....	87
6.8.	Discusión de escenarios.....	90
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>91</b>
<b>8.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>92</b>
	<b>Referencias .....</b>	<b>93</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>97</b>
	ANEXO A: Variables involucradas en los bucles de retroalimentación .....	97
	ANEXO B: Ecuaciones principales del módulo Estudiantes .....	98

## Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología. Fuente: Elaboración propia. ....	17
Figura 2. Enlace causal positivo: a medida que aumenta la tasa de natalidad, aumenta la población. ....	20
Figura 3. Enlace causal negativo: a medida que aumentan los costos, disminuye la utilidad. Fuente: Elaboración propia. ....	20
Figura 4. Lazo de refuerzo. Fuente: Elaboración propia. ....	21
Figura 5. Lazo de balance. Fuente: Elaboración propia. ....	21
Figura 6. Nomenclatura de los diagramas de flujos y niveles. El rectángulo representa los niveles, las tuberías y saetas representan los flujos y su dirección respectivamente, y las nubes simbolizan fuentes o desfuegos. Fuente: Elaboración propia. ....	22
Figura 7. Módulos y relaciones del sistema de virtualización de un programa de maestría. Fuente: Elaboración propia. ....	29
Figura 8. Diagrama causal del sistema de virtualización de un programa de maestría. Los bucles de realimentación están identificados con diferentes colores de flechas. Fuente: Elaboración propia. ....	34
Figura 9. Diagrama de Forrester del módulo Estudiantes. Fuente: Elaboración propia. ....	43
Figura 10. Diagrama de Forrester del módulo Virtualización. Fuente: Elaboración propia. ....	44
Figura 11. Diagrama de Forrester del módulo Satisfacción de Estudiantes. Fuente: Elaboración propia. ....	46
Figura 12. Diagrama de Forrester del módulo Finanzas y Presupuestos. Fuente: Elaboración propia. ....	48
Figura 13. Tasa de matriculación con meta de estudiantes igual a cero. Fuente: Elaboración propia. ....	59
Figura 14. Tasa de matriculación con meta de estudiantes superior a la capacidad de la maestría. Fuente: Elaboración propia. ....	60
Figura 15. Estudiantes interesados con meta de estudiantes superior a la capacidad de la maestría. Fuente: Elaboración propia. ....	60
Figura 16. Tasa de deserción de estudiantes de la maestría virtual con incremento en precio de matrícula por semestre muy alto. Fuente: Elaboración propia. ....	61
Figura 17. Estudiantes de la maestría virtual con incremento en precio de matrícula por semestre muy alto. Fuente: Elaboración propia. ....	62

Figura 18. Tasa de interesados con precio muy alto de la matrícula. Fuente: Elaboración propia. .	63
Figura 19. Tasa de interesados con presupuesto nulo para publicidad. Fuente: Elaboración propia. ....	63
Figura 20. Estudiantes de la maestría virtual con presupuesto nulo de capacidad. Fuente: Elaboración propia. ....	64
Figura 21. Estudiantes de la maestría virtual con presupuesto nulo de capacidad. Fuente: Elaboración propia. ....	65
Figura 22. Estudiantes interesados en el test de sensibilidad de variación en el índice de inflación. Fuente: Elaboración propia. ....	66
Figura 23. Estudiantes de maestría virtual en el test de sensibilidad del incremento del precio de la matrícula. Fuente: Elaboración propia. ....	67
Figura 24. Tasa de voz a voz test de variación de la tasa de graduados. Fuente: Elaboración propia. ....	68
Figura 25. Resumen de indicadores del escenario base. Fuente: Elaboración propia.....	72
Figura 26. Estudiantes de la maestría virtual. Comparación entre escenario base y escenario 1. Fuente: Elaboración propia. ....	74
Figura 27. Flujo de caja neto de la maestría virtual. Comparación entre escenario base y escenario 1. Fuente: Elaboración propia. ....	74
Figura 28. Estudiantes interesados. Comparación entre escenario base y escenario 1. Fuente: Elaboración propia. ....	75
Figura 29. Flujo de caja neto de la maestría virtual. Comparación entre escenario base y escenario 2. Fuente: Elaboración propia. ....	77
Figura 30. Satisfacción de estudiantes de la maestría virtual Comparación entre escenario base y escenario 2. Fuente: Elaboración propia.....	78
Figura 31. Tasa deserción de estudiantes. Comparación entre escenario base y escenario 2. Fuente: Elaboración propia. ....	78
Figura 32. Porcentaje de inversión en publicidad respecto al valor máximo que produce mayor coeficiente p. Comparación entre escenario base y escenario 2. Fuente: Elaboración propia. ....	79
Figura 33. Estudiantes de la maestría virtual. Comparación entre escenario base y escenario 2. Fuente: Elaboración propia. ....	80
Figura 34. Flujo de caja neto de la maestría virtual. Comparación entre escenario base y escenario 3. Fuente: Elaboración propia. ....	81

Figura 35. Estudiantes de maestría virtual y estudiantes interesados. Comparación entre escenario base y escenario 3. Fuente: Elaboración propia. ....	82
Figura 36. Presupuesto de publicidad. Comparación entre escenario base y escenario 3. Fuente: Elaboración propia. ....	83
Figura 37. Porcentaje de ingresos para presupuesto de publicidad. Comparación entre escenario base y escenario 3. Fuente: Elaboración propia. ....	83
Figura 38. Estudiantes de maestría virtual y estudiantes interesados. Comparación entre escenario base y escenario 4. Fuente: Elaboración propia. ....	85
Figura 39. Flujo de caja neto. Comparación entre escenario base y escenario 4. Fuente: Elaboración propia. ....	85
Figura 40. Tasa de deserción estudiantes. Comparación entre escenario base y escenario 4. Fuente: Elaboración propia. ....	86
Figura 41. Presupuesto de publicidad. Comparación entre escenario base y escenario 4. Fuente: Elaboración propia. ....	86
Figura 42. Estudiantes de la maestría virtual. Comparación entre escenario base y escenario 5. Fuente: Elaboración propia. ....	88
Figura 43. Satisfacción de estudiantes maestría virtual. Comparación entre escenario base y escenario 5. Fuente: Elaboración propia.....	88
Figura 44. Presupuesto de publicidad. Comparación entre escenario base y escenario 5. Fuente: Elaboración propia. ....	89
Figura 45. Flujo de caja neto de la maestría virtual Comparación entre escenario base y escenario 5. Fuente: Elaboración propia. ....	89

## Lista de Tablas

Tabla 1. Configuraciones del modelo de simulación. Fuente: Elaboración propia. ....	40
Tabla 2. Estadísticas clave para determinar el mercado total de estudiantes. Fuente: (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2019) .....	49
Tabla 3. Cálculo de los coeficientes p y q para el módulo Estudiantes. Fuente: (Alonso & Arellano, 2015; GitHub, s/f; Soffer, Nachmias, & Ram, 2010; Sokele & Moutinho, 2018). ....	50
Tabla 4. Lista de retardos del modelo. Fuente: Elaboración propia. ....	51
Tabla 5. Lista de parámetros y tablas del modelo. Fuente: Elaboración Propia.....	51
Tabla 6. Lista de condiciones iniciales de las variables de nivel del modelo de simulación. Fuente: Elaboración propia. ....	57
Tabla 7. Resumen de escenarios. Fuente: Elaboración propia.....	69
Tabla 8. Resumen resultados del escenario base. Fuente: Elaboración propia.....	71
Tabla 9. Resumen resultados promedio del escenario base y escenario 1. Fuente: Elaboración propia. ....	73
Tabla 10. Resumen resultados del escenario base y escenario 2. Fuente: Elaboración propia. ....	76
Tabla 11. Indicadores financieros del escenario base y escenario 3. Fuente: Elaboración propia. .	81
Tabla 12. Indicadores financieros del escenario base y escenario 4. Fuente: Elaboración propia. .	84
Tabla 13. Resumen resultados del escenario base y escenario 5. Fuente: Elaboración propia. ....	87

## Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar la inversión en virtualización de un programa de maestría de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de La Sabana, a través de la elaboración de un modelo de simulación empleando la metodología de Dinámica de Sistemas. En la actualidad, las universidades alrededor del mundo enfrentan grandes desafíos. La pandemia ha llevado a las Instituciones de Educación Superior (IES) a desarrollar nuevas estrategias para aumentar su participación en el mercado, crecer de forma paulatina y sostenible en el tiempo, así como constituir mecanismos más atractivos para los estudiantes, adoptando nuevos modelos de enseñanza virtual. Para esto, las universidades deben invertir en innovar el proceso educativo mediante la virtualización de sus programas. No obstante, los métodos tradicionales para evaluar estas inversiones presentan diversas limitaciones y, además, tienden a subestimar los beneficios reales de estas. En este sentido, se emplea la metodología de dinámica de sistemas para la creación del modelo mencionado. Los resultados arrojados por el modelo evidenciaron que la inversión en virtualización de un programa de maestría puede generar resultados financieros positivos para la Facultad de Ingeniería. En definitiva, el modelo puede ser replicado por otras universidades interesadas en tomar decisiones estratégicas, en torno a los procesos de innovación de educación virtual.

### **Palabras clave:**

Dinámica de sistemas, virtualización, educación, evaluación financiera.

## Resumen gráfico

### Contexto del Problema

- A nivel global, las universidades se enfrentan a grandes desafíos debido a la pandemia del COVID-19.
- Las instituciones necesitan competencias digitales y el aprendizaje virtual tiene una alta probabilidad de ser parte de la educación superior en el futuro previsible.

### Justificación

- La virtualización de los programas educativos puede atraer estudiantes de otras regiones del país y también internacionales, lo que logrará una educación superior más incluyente.
- La administración universitaria se considera una tarea difícil, ya que hay escasez de herramientas adecuadas que ayuden a comprender cómo las diferentes formulaciones de políticas afectan este sistema complejo.
- La virtualización de programas educativos engloba variables relacionadas con: estudiantes, finanzas, profesores, niveles de satisfacción, entre otras. Estas variables conforman un sistema dinámico, complejo y no lineal.

### Objetivo General

- Evaluar la inversión en virtualización de un programa de maestría en la Facultad de Ingeniería en la Universidad de La Sabana, para la determinación de sus posibles flujos de caja futuros, a partir de un enfoque de dinámica de sistemas.

### Metodología

- Etapas:
  - 1) Articulación del problema.
  - 2) Formulación de la hipótesis dinámica.
  - 3) Formulación del modelo de simulación.
  - 4) Validación del modelo.
  - 5) Análisis de escenarios

### Resultados

- Modelo en dinámica de sistemas para evaluar la inversión en virtualización de un programa de maestría en la Facultad de Ingeniería en la Universidad de La Sabana.

## INTRODUCCIÓN

Desde inicios de 2020, las universidades han tenido la difícil tarea de determinar cómo enfrentar medidas de aislamiento social relacionadas con la pandemia del COVID-19 y seguir con los procesos de enseñanza, debido a la limitación para ofrecer espacios presenciales de aprendizaje (Devaney, Shimshon, Rascoff, & Maggioncalda, 2020; Economist Intelligence Unit, 2020). Por tal motivo, dichas instituciones se han visto obligadas a adoptar diferentes estrategias para asegurar la continuidad de la educación de manera virtual, al menos hasta que finalice la emergencia (Becerra, 2020). Varias instituciones siguieron el ejemplo de la Universidad Duke Kunshan en China, la cual respondió de manera acertada a la crisis empleando la plataforma Coursera para la enseñanza remota (Devaney et al., 2020). Por otra parte, otras universidades adoptaron softwares para conferencias virtuales que, a pesar de ser un buen comienzo, presentan diversos problemas y no logran manejar algunas funcionalidades clave como proporcionar una experiencia personalizada (Govindarajan & Srivastava, 2020). A pesar de que estas medidas han llegado a ser efectivas, solamente son una solución provisional (Devaney et al., 2020). Por lo que, es necesario plantear alternativas sostenibles relacionadas con la virtualización.

La implementación de educación virtual no implica replicar estrategias de aprendizaje informativas empleadas en clase, sino que este modelo exige un conjunto de insumos fundamentales para el aprendizaje como: contenidos de alta calidad y diversas estrategias pedagógicas (Dávila, 2020). En consecuencia, las Instituciones de Educación Superior (IES) deben acelerar las innovaciones pedagógicas para suplir las necesidades de sus estudiantes. Asimismo, deben entender que la virtualización de sus programas atraerá a potenciales usuarios de otras regiones del país, así como alumnos internacionales, lo que logrará una educación superior más incluyente, sostenible y rentable (Devaney et al., 2020; Ospina, 2020).

Por otro lado, para la administración universitaria hay escasez de herramientas adecuadas para evaluar y comprender cómo directrices específicas afectan el sistema complejo de educación (Hussein & Abo El-Nasr, 2013). Igualmente, la virtualización de programas educativos comprende elementos relacionados con: estudiantes, finanzas, profesores, nivel de satisfacción, entre otras. Esto genera dificultades en el proceso de toma de decisiones con respecto a la innovación tecnológica y la virtualización de programas, debido a que estos elementos conforman un sistema dinámico, complejo y no lineal. Para abordar este proceso resulta útil utilizar la Dinámica de Sistemas, ya que esta metodología permite construir modelos de simulación para analizar e identificar los comportamientos y las relaciones causales de un sistema complejo, como lo es una Universidad, sin la necesidad de reproducirlos en el sistema real (Hawari & Tahar, 2010, 2015; Sterman, 2000).

En este sentido, el propósito de este trabajo es evaluar la inversión en virtualización de un programa de maestría en la Facultad de Ingeniería en la Universidad de La Sabana, a través de la elaboración de un modelo de simulación empleando la metodología de Dinámica de Sistemas. Con el modelo se simularán escenarios en los que se adopten políticas o estrategias para analizar el impacto de estas antes de ser implementadas. Esta propuesta se plantea con la finalidad de obtener mayor información y comprensión de las variables involucradas, un entendimiento de las dinámicas de dichas variables y una evaluación precisa de los impactos de diferentes políticas y directrices en el sistema para la toma de decisiones objetivas entorno a la virtualización de un programa de maestría.

### **Objetivo General**

Evaluar la inversión en virtualización de un programa de maestría de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de La Sabana, para la determinación de sus posibles flujos de caja futuros, a partir de un enfoque de Dinámica de Sistemas.

## Objetivos Específicos

- Especificar los módulos y las principales relaciones que conforman la estructura del sistema de virtualización de una maestría en la Facultad de Ingeniería en la Universidad de La Sabana.
- Establecer las variables y sus respectivas relaciones causales que intervienen en cada módulo de la virtualización de un programa de maestría.
- Diseñar el modelo dinámico de la virtualización de un programa de maestría.
- Evaluar la inversión en virtualización de un programa de maestría de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de La Sabana, a través del Valor Presente Neto.

## Justificación

Actualmente, la educación superior se enfrenta al reto derivado de la pandemia del COVID-19 que forzó a las universidades a suspender la enseñanza presencial y desarrollar educación remota (Economist Intelligence Unit, 2020; Govindarajan & Srivastava, 2020). La crisis ha afectado a más de 1,6 billones de estudiantes, lo que representa el 91% de todos los estudiantes en el mundo (Devaney et al., 2020). A pesar de esto, el impacto del coronavirus representa una oportunidad de mejora para la educación superior, donde la virtualización puede desempeñar un rol fundamental para las universidades (Devaney et al., 2020; Strielkowski, 2020).

Las instituciones necesitan competencias digitales que vayan más allá de una respuesta a la crisis, ya que el aprendizaje virtual tiene una alta probabilidad de ser parte de la educación superior en el futuro previsible (Devaney et al., 2020). Adicionalmente, de acuerdo con Krishnamurthy (2020), el sistema de educación superior en todo el mundo atravesará una década de transformación radical liderada

por la tecnología. De acuerdo con esta perspectiva, el aprendizaje virtual ofrece grandes oportunidades de acceso masivo, por lo que las universidades deben ser partícipes de esta transformación.

Las organizaciones necesitan innovar para crear valor a largo plazo. Aquellas instituciones que deciden relegar el proceso de innovación tienden a estancar su crecimiento a lo largo del tiempo (Hamel, 2012). En el campo educativo, es imprescindible realizar procesos de innovación tecnológica. Durante los últimos años, se han desarrollado servicios sustitutos a los programas presenciales que representan una competencia para las universidades. Las plataformas de educación virtual como Coursera, edX, Udemy, entre otras, son un ejemplo convincente de ello. No obstante, las certificaciones en estas plataformas aún se perciben con menor calidad que un título de una universidad presencial (Benner, 2020). Por tal motivo, la virtualización de programas es una gran oportunidad para las IES, dado que pueden ampliar su oferta de valor, reducir costos y expandirse de forma rápida y efectiva.

Ahora bien, los procesos de innovación tecnológica al interior de las universidades, en especial aquellos asociados a la virtualización de programas, suponen un desembolso de capital considerable. El análisis de estas inversiones se realiza a través de herramientas tradicionales de evaluación financiera. Sin embargo, en ocasiones, estas herramientas no consideran factores relevantes como situaciones inesperadas, dinámica del sistema, cambios tecnológicos, incertidumbre, retroalimentaciones, entre otros (Christensen, Kaufman, & Shih, 2008; Onkham, 2013). Por otra parte, las IES se caracterizan por una naturaleza dinámica y única, debido a que representan un sistema complejo y exigente en el que intervienen un gran número de variables. Esto demanda un análisis integral de sus inversiones y la ejecución de procesos eficaces de gestión, para entregar una educación de calidad de manera competitiva y sostenible (Hawari & Tahar, 2011).

En este sentido, cuando se tienen entornos complejos en los que se debe innovar para mejorar la oferta de valor y las inversiones sugieren un desembolso de capital, es difícil evaluar el impacto de diversas estrategias y políticas adoptadas por las instituciones. Por estas razones, se propone articular la metodología de la Dinámica de Sistemas para evaluar la inversión en virtualización de un programa de maestría en la Facultad de Ingeniería en la Universidad de La Sabana.

## **Metodología**

### **Diseño**

El presente trabajo corresponde a un estudio exploratorio. La investigación se encuentra planteada desde el modelo empírico-analítico con un diseño de caso único. El diseño de caso único permite analizar un fenómeno de estudio particular e individual en contexto real empleando diversas fuentes de evidencia, además, reúne y analiza datos de tipo cualitativo y cuantitativo. Este tipo de abordaje investigativo ha mostrado que, cuando se aplica de manera rigurosa, es muy útil en el avance científico relacionado con aspectos económicos, empresariales, organizacionales, entre otras (Villarreal Larrinaga & Landeta Rodríguez, 2010).

Por otro lado, para simular y conocer las relaciones causa-efecto de los elementos del fenómeno se emplea la dinámica de sistemas. De acuerdo con la metodología que propone Sterman (2000), se estableció el siguiente proceso para el diseño y articulación del modelo: 1) articulación del problema, 2) formulación de la hipótesis dinámica, 3) formulación del modelo de simulación, 4) validación, 5) análisis de escenarios.

### **Participante**

El sujeto de investigación corresponde a la Universidad de La Sabana, la cual es una IES colombiana con programas de pregrado, especializaciones, maestrías y

doctorados. Particularmente, se analizó el caso de un programa de maestría de la Facultad de Ingeniería.

### **Instrumentos**

Como principal instrumento de medición de evaluación, se propuso un modelo de simulación cuyo objetivo es evaluar la inversión en virtualización de un programa de maestría de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de La Sabana. Este instrumento fue construido por los autores de la investigación, a partir del planteamiento teórico de la Dinámica de Sistemas, la cual se basa en el pensamiento sistémico para abordar situaciones complejas (Sterman, 2000).

### **Procedimiento**

El procedimiento se dividió en seis etapas, las cuales responden al cumplimiento de los objetivos específicos planteados en esta investigación (ver Figura 1). Las etapas fueron:

- i. **Articulación del Problema:** se empezó con la identificación del problema. Mediante un diagrama de bloques, se especificaron cuáles son los módulos que conforman la estructura del sistema de virtualización de una maestría en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Sabana y se determinaron las principales relaciones entre dichos módulos. Asimismo, se establecieron el horizonte de tiempo y las variables clave que se deben considerar para la virtualización de una maestría. Esta etapa involucró revisión documental y diseño de entrevistas no estructuradas. Se consideraron las variables dinámicas y se analizó su comportamiento.
- ii. **Formulación de la Hipótesis Dinámica:** se identificaron patrones, definiciones y las variables principales. Además, se formuló el comportamiento dinámico del sistema como consecuencia endógena de las retroalimentaciones de las variables. Se generaron diagramas causales con las hipótesis iniciales.

- iii. **Formulación del Modelo de Simulación:** se transformó el diagrama causal en un diagrama de flujos y niveles. Se formularon las reglas de decisión, se estimaron parámetros del sistema y se establecieron las condiciones iniciales.
- iv. **Validación del modelo:** en esta etapa se comprobó el modelo mediante una validación estructural y una validación de comportamiento. En la validación estructural, se realizó el test de estructura, de condiciones extremas y de consistencia dimensional. Por otro lado, en la validación de comportamiento, a través del test de sensibilidad, se comprobó que no existieran conjuntos de parámetros que induzcan a fallas en el modelo y, además, se verificó qué parámetros son los más sensibles a los cambios en el sistema.
- v. **Análisis de escenarios:** se plantearon escenarios para evaluar la inversión en virtualización del programa de maestría, a través de modificaciones de condiciones iniciales, parámetros, variables y políticas.
- vi. **Resultados:** se realizó un resumen de los escenarios planteados y se definieron las condiciones, características y parámetros que permiten resultados financieros positivos.

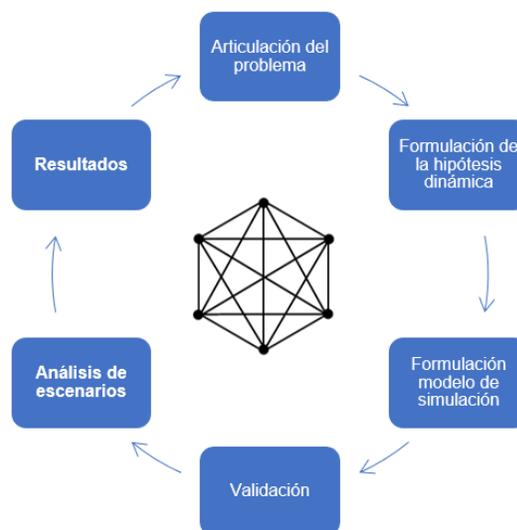


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología. Fuente: Elaboración propia.

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. Educación no presencial**

Debido al desarrollo tecnológico presentado en los últimos años, en la actualidad existen diferentes conceptos que definen a la educación no presencial, entre los cuales se encuentran: educación en línea, educación virtual, entre otros. La educación en línea es aquella en la que los estudiantes y docentes utilizan recursos tecnológicos para participar e interactuar de manera sincrónica en entornos digitales (Ibáñez, 2020). Por otro lado, la educación virtual también requiere recursos tecnológicos y se apoya en plataformas multimedia para compartir el material educativo, sin embargo, el aprendizaje en este tipo de educación se da de forma autónoma en la que los estudiantes gestionan su aprendizaje con base en los contenidos diseñados por profesionales en pedagogía. En este tipo de educación el profesor cumple un rol de tutor o asesor y se presentan encuentros sincrónicos para la solución de dudas (Corporación Universitaria Minuto de Dios, 2021).

### **1.2. Dinámica de sistemas**

La Dinámica de Sistemas es un enfoque de modelado que analiza las interacciones de los componentes de sistemas socioeconómicos complejos y su comportamiento a través del tiempo (Forrester, 1997). Este enfoque tiene como objetivo comprender cómo las diferentes variables del sistema se interrelacionan entre sí, al igual que conocer las causas estructurales del impacto en las tendencias del comportamiento del sistema (Stermán, 2000). En concordancia con lo anterior, este modelamiento se aplica comúnmente en el soporte de decisiones estratégicas dentro de la gestión de organizaciones. Adicionalmente, tiene el objetivo de comprender el comportamiento de sistemas específicos a lo largo del tiempo, mientras se compara su rendimiento en diferentes condiciones con el fin de incluir la mayor cantidad de variables que puedan estar afectando el sistema. En términos generales, la metodología de Dinámica de Sistemas permite identificar los efectos de toma de decisiones a largo plazo, mediante la consideración de aspectos relacionados con

la interacción entre diferentes niveles de gestión al interior de una empresa o institución (Machado, Wolf, & Sellito, 2019; Tako & Robinson, 2011; Van Wassenhove & Besiou, 2013).

De acuerdo con el planteamiento de diversos abordajes científicos, se ha podido establecer que la Dinámica de Sistemas permite tener en cuenta un enfoque integrador de varios subsistemas, ya que se encuentra centrado en las políticas y la estructura del sistema, además de tener en cuenta el proceso de retroalimentación sobre los efectos de decisiones (Tako & Robinson, 2011; Van Wassenhove & Besiou, 2013). Asimismo, facilita el abordaje de las relaciones de causalidad (causa-efecto) entre los elementos de un sistema; así como también incluye un mínimo requisito de datos para aplicarlo, lo que conlleva a una exploración con mayor cantidad de información y su consolidación en sistemas computacionales, debido a que no se encuentra limitada a sistemas lineales (Forrester, 1997).

### **1.2.1. Definiciones básicas**

En esta metodología existen dos enfoques, uno cualitativo y otro cuantitativo. El enfoque cualitativo es usado principalmente para visualizar y analizar interdependencias entre variables e identificar lazos de reforzamiento y balance. Por otra parte, el enfoque cuantitativo, usa flujos y niveles para discretizar el modelo cualitativo (Grüneisen, Stahl, Kasperek, Maurer, & Lohmann, 2015).

#### **1.2.1.1. Diagrama Causal**

En el desarrollo de un modelo dinámico, la parte más importante es crear un diagrama causal, que además de representar los elementos y relaciones del sistema, también muestran la dirección y polaridad de dichas relaciones (Zawadzki, 2009).

Las variables están relacionadas con enlaces causales, representados por flechas. Los enlaces positivos (ver Figura 2) se denotan con “+” y simbolizan que dos

variables cambian en el mismo sentido, es decir, si la causa incrementa, el efecto también incrementa, o a su vez, si la causa disminuye, el efecto disminuye. En cambio, los enlaces negativos (ver Figura 3) se representan con “-” y simbolizan que dos variables cambian en sentido opuesto; es decir, si la causa incrementa, el efecto disminuye, o si la causa disminuye, el efecto incrementa (Liu, Ma, Tian, Jia, & Li, 2015).

En el diagrama se pueden tener lazos de refuerzo “R” o lazos de balance “B”. Un lazo de refuerzo, como el que se observa en la Figura 4, es un ciclo en el que el efecto de una variación en cualquier variable se propaga a través del ciclo y al regresar a la variable impactada, se refuerza la variación inicial. Un lazo de balance, como el que se visualiza en la Figura 5, es un ciclo en el que el efecto de una variación en cualquier variable se propaga a través del ciclo y una vez vuelve a la variable impactada, se genera un efecto opuesto al inicial. Hay que recalcar que la limitación del diagrama causal es que no distingue entre acumulaciones de recursos en el sistema y las tasas de cambio que modifican esos recursos (Sterman, 2000)

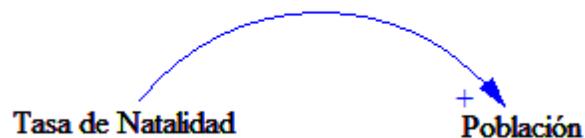


Figura 2. Enlace causal positivo: a medida que aumenta la tasa de natalidad, aumenta la población. Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. Enlace causal negativo: a medida que aumentan los costos, disminuye la utilidad. Fuente: Elaboración propia.



Figura 4. Lazo de refuerzo. Fuente: Elaboración propia.

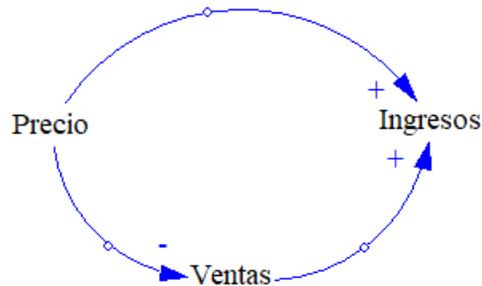


Figura 5. Lazo de balance. Fuente: Elaboración propia.

### 1.2.1.2. Diagrama de Flujos y Niveles

Estos diagramas caracterizan el estado del sistema, en los cuales los niveles son acumulaciones que proveen al sistema de inercia y memoria (ver Figura 6). Hay que decir también que, los niveles crean demoras por la acumulación de la diferencia entre el flujo que entra en un proceso y el flujo que sale (Sterman, 2000).

En lo que respecta a la nomenclatura, hay que tener en cuenta que: los niveles son representados por rectángulos; los flujos de entrada son representados por una tubería con una flecha apuntando al nivel; los flujos de salida son representados por una tubería con una flecha apuntando hacia afuera del nivel. También se muestran válvulas que controlan el flujo y nubes que representan las fuentes y desfuges para los flujos, en donde la fuente representa el nivel del cual un flujo se origina fuera de

las condiciones de borde del modelo; mientras que los desfogues simbolizan los niveles por donde los flujos salen del modelo (Sterman, 2000).

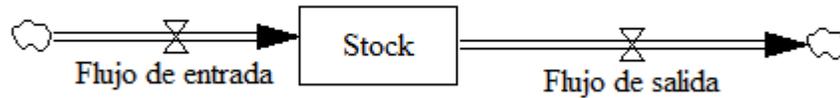


Figura 6. Nomenclatura de los diagramas de flujos y niveles. El rectángulo representa los niveles, las tuberías y saetas representan los flujos y su dirección respectivamente, y las nubes simbolizan fuentes o desfogues. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con Sterman (2000), la estructura de flujos y niveles se pueden representar haciendo una metáfora hidráulica, con lo que se tiene una representación en forma de ecuación integral y otra como ecuación diferencial:

$$Nivel(t) = \int_{t_0}^t [Flujo\ de\ entrada(s) - Flujo\ de\ salida(s)] ds + Nivel(t_0) \quad (1)$$

$$\frac{d(Nivel)}{dt} = Flujo\ de\ entrada(t) - Flujo\ de\ salida(t) ; Nivel(t_0) = Nivel_0 \quad (2)$$

La Ecuación 1 muestra el valor de un nivel al tiempo  $t$ , que es la suma de dos términos, el primero es la integración de la diferencia entre el flujo de entrada y el flujo de salida en el intervalo de  $t_0$  a  $t$ , y el segundo es el valor del nivel al tiempo  $t_0$ . En lo que respecta a la Ecuación 2, esta representa la tasa de cambio en un nivel, que se define como la diferencia entre el flujo de entrada y el flujo de salida en cualquier instante.

### 1.3. Evaluación de una inversión

Para lograr los objetivos planteados en la gestión estratégica, las empresas requieren invertir en innovación (Onkham, 2013). El análisis financiero corresponde a una herramienta efectiva en la evaluación del desempeño económico y financiero

de una inversión en un periodo de tiempo. Este análisis se realiza a través de la aplicación de técnicas específicas respondiendo a distintos factores propios de la empresa y permite la identificación de limitaciones o dificultades, lo que conlleva el establecimiento de correctivos adecuados ante estas situaciones (Nava & Marbelis, 2009). Esta técnica administrativa permite establecer alternativas para la mejora de la gestión, en la medida que identifica la situación financiera de una empresa (Fontalvo, Morelos, & Mendoza, 2019)

La mayoría de las empresas tienden a evaluar el retorno de inversión de sus proyectos, reflejando el costo de capital financiero. Uno de los métodos más utilizados es el Flujo de Caja Descontado (FCD), el cual consiste en descontar el Valor Futuro (VF) del proyecto en términos de su Valor Presente Neto (VPN) durante un período de tiempo. Este método es amigable con las empresas debido a que solo es necesario determinar el VPN para considerar si un proyecto es atractivo o no. Si el valor del VPN es positivo, el proyecto se acepta. Adicionalmente, es utilizado comúnmente para comparar el valor de diferentes proyectos, escogiéndose el proyecto que tiene mayor VPN (Graham & Harvey, 2002; Kodukula & Papudesu, 2006).

Asimismo, otro de los criterios para la evaluación de inversiones es la Tasa Interna de Retorno (TIR). La cual determina en términos de porcentaje, la rentabilidad obtenida por la inversión y se encuentra altamente relacionada con el VPN debido a que, si el VPN es 0, la TIR corresponde a la tasa esperada del proyecto. Es decir, se obtiene la rentabilidad esperada. De igual forma, se utiliza el Período de Recuperación de la Inversión (PRI) para medir el tiempo en el que se recupera el monto de la inversión (Sapag, 2011).

## **2. ARTICULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **2.1. Descripción**

La Universidad de La Sabana presenta un enfoque de acompañamiento al estudiante y tiene como propósito el crecimiento y posicionamiento en la educación virtual, para esto, ofrece un portafolio amplio con propuestas innovadoras y de calidad. Es por esto que, la Universidad ha formado el proyecto Sabana E-learning, desde el cual se pretende fortalecer el modelo de educación virtual en sus componentes: académico, financiero, comercial, entre otros (Universidad de La Sabana, 2020). Por lo anterior, se observa la necesidad de entender cuál es la dinámica de la virtualización de un programa de maestría de la Universidad de La Sabana, qué aspectos y variables intervienen, qué políticas se deben considerar y cómo evaluar dicha inversión.

#### **2.1.1. Características importantes del modelo virtual de la Universidad de La Sabana**

La caracterización inicial del problema se dio a través de entrevistas no estructuradas con varios docentes y personal administrativo de la Universidad de La Sabana:

- Adriana Roldán Sarmiento (Dirección de Admisiones)
- Gerardo Rodríguez (Director de Admisiones)
- Miguel Ángel Cárdenas Toro (Director del Programa Virtual Maestría en Pedagogía e Investigación en el Aula)
- Luz Helena Mancera (Directora del Programa de Ingeniería Industrial)
- Luis Rabelo (Profesor de la Universidad de La Sabana y Profesor de University of Central Florida en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Computacionales)

Con la información de las entrevistas realizadas, a continuación, se definieron las principales características del modelo virtual educativo de la Universidad:

- El modelo es 100% virtual. Todos los cursos están diseñados para que sean en línea. Cada curso tiene una duración de 6 semanas. El estudiante de la maestría virtual tiene 1 encuentro sincrónico semanalmente y 5 encuentros asincrónicos en el transcurso del curso. El encuentro sincrónico se da para fortalecer el diálogo y aclarar dudas. El estudiante de la modalidad virtual puede ver hasta 4 asignaturas en un semestre más una asignatura permanente de investigación.
- Cada estudiante de la maestría virtual es asesorado por un profesor para elaborar su proyecto de investigación. Este acompañamiento se da durante 16 horas por semestre.
- Para la virtualización de una asignatura intervienen tres actores importantes: 1) un experto temático (profesor), 2) un pedagogo que guía la secuencia pedagógica del curso y 3) un diseñador instruccional para la didáctica del curso con herramientas tecnológicas.
- El modelo virtual consta de: 1) mentor o tutor, quien es la persona encargada de calificar las actividades del estudiante y 2) profesor, quien es el responsable de la transferencia de conocimiento y aprendizaje en los encuentros sincrónicos con los estudiantes.
- Existe una permanente capacitación/actualización en herramientas tecnológicas de enseñanza para los profesores, por lo que se brinda mínimo un curso cada 6 meses.
- Un curso virtual tiene una vida útil de máximo 3 semestres y mínimo 2 semestres, después de este periodo se debe reestructurar o actualizar el curso.
- Con el apoyo de Sabana E-learning, de pedagogos, diseñadores instruccionales y de la facultad como experto temático, se construyen los cursos virtuales.

## 2.2. Variables clave

Con la información recopilada en las entrevistas y la revisión de literatura, las variables y conceptos clave que se tomaron en cuenta en el modelo propuesto son los siguientes:

- **Estudiantes de la maestría:** número de estudiantes del programa que están del primer al cuarto semestre.
- **Adopción por publicidad:** tasa a la cual los estudiantes potenciales se interesan en la maestría por efecto de la publicidad.
- **Adopción por voz a voz:** tasa a la cual los estudiantes potenciales se interesan en la maestría por el efecto voz a voz.
- **Satisfacción de los estudiantes:** de acuerdo con Allen, Omori, Burrell, Mabry y Timmerman (2013); Moore y Shelton (2014) y Simpson (2003) representa “el grado de congruencia entre las expectativas previas de los estudiantes y los resultados obtenidos, con respecto a la experiencia de aprender a través de cursos virtuales” (Zambrano, 2016, p. 218).
- **Calidad de la enseñanza:** hace referencia a la calidad de la enseñanza percibida por el estudiante respecto a la capacitación de los profesores en herramientas tecnológicas y métodos pedagógicos virtuales.
- **Flujo de caja neto:** se refiere al efectivo resultante de los ingresos y los egresos del programa de maestría virtual.
- **Valor Presente Neto (VPN):** corresponde al valor presente de los flujos de caja netos originados por una inversión, en este caso, por la virtualización del programa de maestría.

### 2.2.1. Definición calidad de la enseñanza y relación con la satisfacción

La calidad de los productos y/o servicios es un factor influyente en el comportamiento y satisfacción de los usuarios. Valerie Zeithaml, citado por Pereira (2014), argumenta que los consumidores evalúan la calidad de los servicios

comparando el rendimiento de estos con un set mental sugerido por ellos mismos en un contexto de comparación. En otras palabras, el juicio de calidad se genera como resultado de la evaluación que el consumidor hace al comparar un estándar. No obstante, la calidad se puede ver desde dos perspectivas: 1) calidad objetiva, que es real y se puede medir y comparar con otros productos o servicios, y 2) calidad percibida, que es la calidad que un consumidor cree que tiene un producto, que puede o no coincidir con la calidad objetiva, ya que intervienen criterios subjetivos (EAE Business School, s/f). En lo que respecta a las organizaciones universitarias, la calidad objetiva está dada por los estándares definidos por el Consejo Nacional de Acreditación de Colombia que se deben cumplir para obtener la acreditación de alta calidad. Por otro lado, la calidad percibida de un programa educativo se basa en las distinciones y percepciones que tienen los estudiantes sobre su experiencia de la enseñanza de dicho programa.

Según Pereira (2014), la satisfacción global en términos de la educación superior viene dada por tres tipos de experiencias: 1) aspectos académicos, 2) vida social y 3) instalaciones y servicios. En este sentido, siendo el enfoque de este trabajo un programa de maestría virtual, el modelo solo va a considerar la satisfacción relacionada a aspectos académicos. Igualmente, la satisfacción relacionada con aspectos académicos incluye varias dimensiones: 1) la satisfacción con la docencia y los conocimientos que imparte el profesor, 2) el método de enseñanza, que corresponde a la interacción profesor-alumno y el uso de tecnologías, 3) el ambiente de clase y 4) la carga de trabajo y materiales empleados para el aprendizaje y la reputación académica (Pereira, 2014).

Dado lo anterior y para efectos de la conceptualización, el modelo se limitó a la percepción que tienen los estudiantes sobre la calidad percibida de la enseñanza de los profesores.

### **2.3. Horizonte de tiempo**

El horizonte de tiempo se extendió lo suficiente en el futuro para capturar los efectos demorados e indirectos de las posibles políticas a implementar. El horizonte de tiempo establecido para la simulación fue de 30 semestres (15 años).

## **3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DINÁMICA**

### **3.1. Generación de la hipótesis inicial**

Según Sterman (2000), gran parte de la información que se utiliza para generar la hipótesis dinámica viene de entrevistas y conversaciones con los miembros de las organizaciones; no obstante, es necesario complementar con: información de archivos, recopilación de datos, observación o participación directa del modelador. En ese sentido, con la información recopilada y, además, con la observación y participación directa de los autores, se procedió a capturar las diferentes teorías y modelos mentales del problema.

Para entender la estructura de la virtualización de un programa de maestría se realizó un diagrama de módulos donde se aprecian los límites del modelo. Para esto, se reconocieron los módulos y sus interrelaciones con las principales variables del sistema (ver Figura 7). La estructura se ha planteado como la interconexión y retroalimentación de cuatro módulos principales: 1) Estudiantes, 2) Satisfacción de estudiantes, 3) Virtualización de la maestría y 4) Finanzas y presupuestos.

Cabe recalcar que, se excluyó un módulo de personal administrativo y docente, ya que cada uno de ellos tiene diferente carga horaria, por lo que no se puede determinar el número de docentes y administrativos de un programa virtual. No obstante, se consideraron los requerimientos de planta docente en términos de horas de docencia y de capacitación que repercuten sobre el módulo financiero y el módulo de satisfacción respectivamente.

Adicionalmente, para limitar el alcance del proyecto, no se asume competencia con otras universidades debido a que el análisis e inclusión de las variables contempladas en esta comprenden otro modelo y ecuaciones específicas que para describir su complejidad.

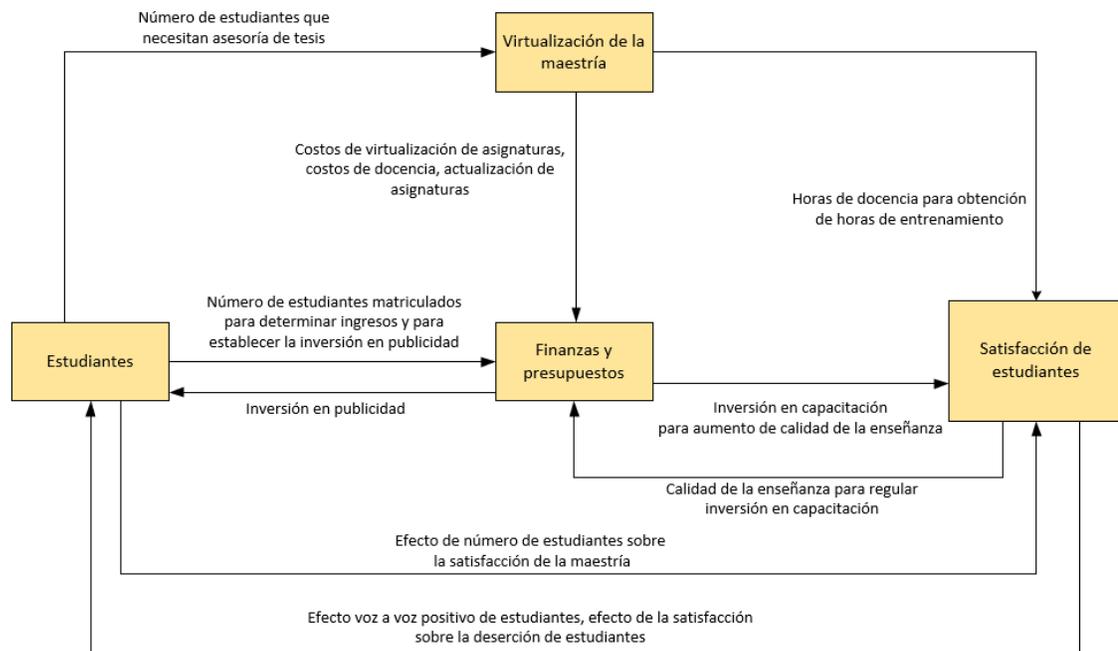


Figura 7. Módulos y relaciones del sistema de virtualización de un programa de maestría. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Enfoque endógeno de la dinámica del sistema

La dinámica de sistemas busca explicaciones endógenas para los fenómenos, lo que quiere decir que busca generar el comportamiento del sistema a través de las interacciones de las variables representadas en el modelo (Stermán, 2000). Sin embargo, también deben considerarse variables exógenas, que son las que surgen fuera de los límites del modelo.

### 3.2.1. Cuadro de límites del modelo

A continuación, se realizó un cuadro de límites del modelo que tiene por objetivo resumir el alcance del modelo y listar las variables clave endógenas, exógenas, y las excluidas del modelo (Sterman, 2000). Las variables se definieron con base en la formulación de la hipótesis dinámica planteada por los autores.

Tabla 1. Límites del modelo. Fuente: Elaboración propia.

Módulo	Variables endógenas	Variables exógenas	Variables excluidas
Estudiantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudiantes potenciales</li> <li>• Estudiantes interesados</li> <li>• Estudiantes desinteresados</li> <li>• Estudiantes de maestría virtual</li> <li>• Estudiantes desertores</li> <li>• Estudiantes egresados</li> <li>• Egresados desertores<sup>1</sup></li> <li>• Estudiantes graduados de maestría virtual</li> <li>• Tasa de adopción por publicidad</li> <li>• Tasa de adopción por voz a voz</li> <li>• Tasa de interesados</li> <li>• Tasa de matriculación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valores máximos de coeficiente de innovación e imitación<sup>2</sup></li> <li>• Mercado total de estudiantes virtuales</li> <li>• Capacidad de la maestría</li> <li>• Tiempo en que los estudiantes permanecen interesados en la maestría</li> <li>• Fracción de estudiantes que egresan</li> <li>• Fracción de estudiantes que se gradúan</li> <li>• Tiempo en que los estudiantes desertores generan un efecto negativo en el voz a voz</li> <li>• Meta de estudiantes de la maestría</li> <li>• Retardos en efecto de la publicidad y percepción de la discrepancia</li> <li>• Precio de referencia de la matrícula de maestría presencial</li> <li>• Numero inicial de interesados en la maestría virtual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudiantes desertores que se matriculan nuevamente</li> <li>• Efecto voz a voz negativo de estudiantes desinteresados y de egresados desertores</li> <li>• Crecimiento del mercado total de estudiantes virtuales</li> <li>• Competencia con otras universidades por el mercado</li> <li>• Posible efecto negativo de voz a voz de graduados</li> </ul>
Satisfacción de estudiantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Satisfacción de estudiantes de la maestría</li> <li>• Calidad de la enseñanza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meta de calidad de la enseñanza</li> <li>• Fracción de erosión de la calidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejoramiento de calidad por curva de aprendizaje</li> <li>• Estándares de calidad del Ministerio de Educación (investigación, número de PhD, etc.)</li> </ul>

<sup>1</sup> Los egresados desertores son aquellos estudiantes que han egresado del programa, sin embargo no se graduaron debido a que no concluyeron su proyecto de tesis.

<sup>2</sup> Los coeficientes de innovación e imitación se definen en el apartado 4.3.2 “Cálculo de coeficientes p y q del Modelo de Bass”.

Módulo	Variables endógenas	Variables exógenas	Variables excluidas
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de materias que se actualizan</li> <li>• Número de horas de capacitación a profesores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento del precio de matrícula</li> <li>• Retardos por: calidad por capacitación, percepción de discrepancia de calidad de la enseñanza.</li> <li>• Pesos de incremento de precio y número de estudiantes sobre la satisfacción de la maestría</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salarios de profesores</li> <li>• Ranking universitario</li> <li>• Aprendizaje</li> </ul>
Virtualización de la maestría	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Horas de asesoría de tesis</li> <li>• Costo de actualización de asignaturas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos de horas de mentor, asesor y profesor</li> <li>• Costos administrativos y de software y licencias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de costos por curva de aprendizaje</li> </ul>
Finanzas y presupuestos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presupuesto de publicidad</li> <li>• Presupuesto de capacitación</li> <li>• Ingresos por matrículas</li> <li>• Flujo de caja neto</li> <li>• Egresos totales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio inicial de la matrícula</li> <li>• Tasa de inflación</li> <li>• Tasa de incremento de precio</li> <li>• Gastos operacionales y no operacionales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impuestos asociados</li> </ul>

### 3.2.2. Supuestos

El modelo desarrollado presenta los siguientes supuestos:

- La población objetivo son los profesionales colombianos con pregrado en *ingeniería, arquitectura, urbanismo y afines* como área de conocimiento. No se considera población estudiantil de otros países.
- Se abre un solo grupo por semestre en la maestría. Es decir, no se considera un aumento en el tiempo de la capacidad de estudiantes del programa virtual.
- Una proporción del total de horas de docencia de la maestría se destinan a capacitación para mejorar la calidad de la enseñanza.
- El modelo no asume competencia entre el programa virtual y el programa presencial.
- Se asume que todos los estudiantes que entran cada semestre toman las mismas materias.

- En el módulo financiero no se consideran los impuestos, debido que estos son sobre la utilidad de la universidad, no sobre una maestría.
- Independientemente de cumplir la meta de estudiantes, se realiza actualización de las asignaturas (mínimo cada dos semestres, máximo cada tres semestres).
- Los estudiantes del programa presentan un voz a voz positivo. Los estudiantes que desertan tienen la mitad de efecto voz a voz que los estudiantes del programa y su impacto es negativo. Además, se asume que los estudiantes desertores generan un efecto negativo en el voz a voz solamente durante dos semestres.
- Los estudiantes graduados tienen un efecto positivo en el voz a voz 20% mayor que el de los estudiantes del programa.
- El modelo virtual de la Universidad de La Sabana tiene acompañamiento al estudiante, por lo que se diferencia de los MOOCs. Por tal motivo, el número de estudiantes que el modelo virtual de la Universidad de La Sabana soporta es de 30 a 40 estudiantes por grupo según las entrevistas. En consecuencia, la capacidad de admisión de la maestría virtual se limitó a 30 estudiantes por semestre.
- El tiempo que los estudiantes (aspirantes) permanecen interesados en el programa es de 2 semestres como máximo.
- Los estudiantes que desertan no vuelven a ingresar en el nivel de estudiantes potenciales.
- Los estudiantes desinteresados y los egresados desertores no generan un efecto negativo en el voz a voz.
- Existe una pérdida de calidad de la enseñanza cada semestre debido al surgimiento de nuevas metodologías, temas y herramientas en el sector de la enseñanza virtual.
- Se asume como condición que el número inicial de interesados es igual al 100% de la capacidad de la maestría, es decir, 30 estudiantes.

- Los presupuestos de publicidad y capacitación se establecen de acuerdo con los ingresos por matrículas de estudiantes y no es factible gastar más de los presupuestos establecidos.
- El valor de porcentaje de los ingresos que se pueden destinar a presupuesto de publicidad es máximo del 5%.
- Se considera que el costo de virtualización de las materias se da en el mismo instante de tiempo (Tiempo 0). Además, se asume que son en total 16 materias que se deben virtualizar.
- El número promedio de créditos por asignatura es 3.
- El costo para virtualizar un crédito es de 7 Millones COP.
- El costo hora hombre de profesor, mentor y asesor es igual a 150 000 COP.
- El costo de actualización de una asignatura corresponde a un porcentaje de su costo de virtualización, en este caso 60%.
- El presupuesto en publicidad se establece de acuerdo con modelo de la Universidad de La Sabana.
- El 25% de los estudiantes egresan (terminan materias) al 4 semestre.
- Se asignó el mismo peso (33%) para las variables que influyen en la satisfacción del programa.

### **3.3. Diagramas causales**

De acuerdo con los módulos principales: 1) Estudiantes, 2) Satisfacción de estudiantes, 3) Virtualización de la maestría y 4) Finanzas y presupuestos, se realizaron los diagramas causales para representar la estructura de retroalimentación del sistema (ver Figura 8).

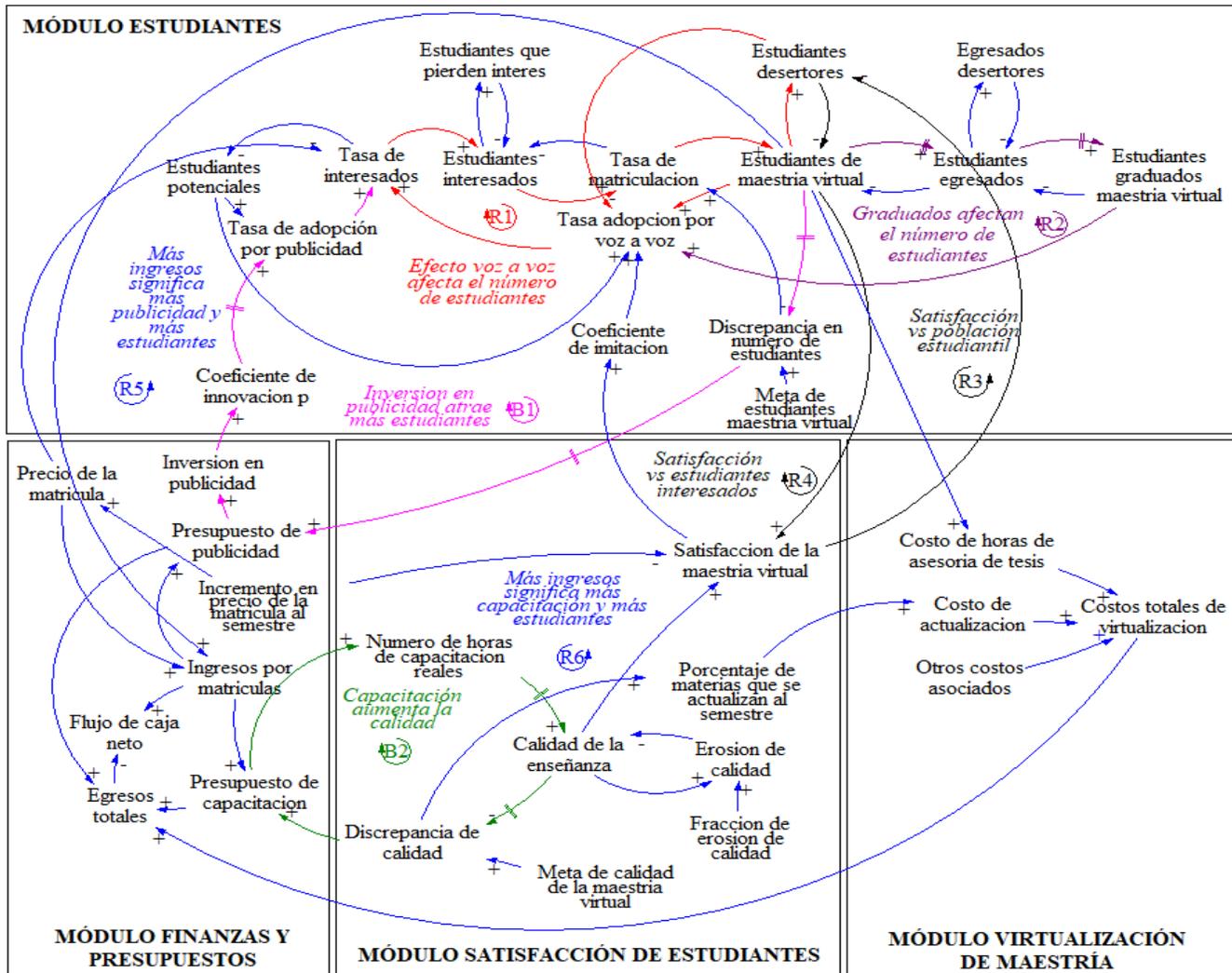


Figura 8. Diagrama causal del sistema de virtualización de un programa de maestría. Los bucles de realimentación están identificados con diferentes colores de flechas. Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1. Principales bucles de retroalimentación

Los bucles de retroalimentación más importantes se describen a continuación, donde “B” significa que es un bucle de balance y “R” significa que es bucle de refuerzo. Las variables involucradas en los bucles de retroalimentación se evidencian en el Anexo A.

- **B1 Inversión en publicidad se traduce en más estudiantes**

A mayor discrepancia entre el número de estudiantes de la maestría y la meta de estudiantes, se asigna un mayor presupuesto de publicidad para alcanzar el nivel deseado de estudiantes. La asignación de este presupuesto genera más interesados lo que incrementa la tasa de matriculación y, por ende, el número de estudiantes del programa. Cuando se incrementa el número de estudiantes, disminuye la discrepancia de estudiantes, por lo que se balancea el ciclo.

- **B2 Un mayor presupuesto de capacitación aumenta la calidad de la enseñanza**

A mayor discrepancia de entre la meta de calidad y la calidad de enseñanza actual del programa, se asigna un mayor presupuesto de capacitación con lo cual se incrementa el número de horas de capacitación a los docentes. Finalmente, se produce un aumento en la calidad de la enseñanza, lo que disminuye la discrepancia de la calidad y balancea el ciclo.

- **R1 El efecto voz a voz afecta la población de estudiantes**

Cuando incrementa el número de estudiantes de la maestría virtual, se genera un efecto voz a voz positivo por parte de los estudiantes que aumenta la cantidad de estudiantes interesados. Asimismo, al existir más interesados, la tasa de matriculación en el programa aumenta, lo que incrementa el número de estudiantes.

- **R2 Mayor cantidad de graduados se traduce en más estudiantes del programa virtual**

Al aumentar la cantidad de graduados, se genera un efecto voz a voz positivo que, a su vez, se traduce en un aumento de estudiantes interesados. Asimismo, se incrementa la tasa de matriculación y los estudiantes del programa, lo que implica un mayor número de egresados y de graduados.

- **R3 Mayor satisfacción significa más estudiantes**

La satisfacción de los estudiantes del programa implica un mayor número de estudiantes debido a una reducción el número de desertores.

- **R4 Mayor satisfacción significa más estudiantes interesados**

Si la satisfacción de los estudiantes del programa virtual aumenta, el efecto voz a voz también aumenta, lo que se traduce en un mayor número de interesados y en una mayor tasa de matriculación, que ocasiona un aumento en la población estudiantil. Asimismo, un incremento de estudiantes virtuales genera un aumento de satisfacción en los estudiantes, debido a que existe un mayor intercambio de conocimiento entre los mismos en actividades grupales como foros, discusiones, entre otras.

- **R5 Más ingresos se traducen en más estudiantes por mayor presupuesto de publicidad**

Más ingresos por matrículas implica que es factible tener un presupuesto de publicidad mayor, con lo que la tasa de adopción aumenta, incrementando estudiantes interesados, tasa de matriculación y finalmente, estudiantes del programa virtual.

- **R6 Más ingresos se traducen en más estudiantes por mayor presupuesto de capacitación**

Más ingresos por matrículas involucra un aumento del presupuesto para capacitación, lo que genera un incremento en la calidad de la enseñanza. A la vez, una mayor calidad de la enseñanza tiene un efecto directo sobre la satisfacción de la maestría, lo que aumenta el efecto voz a voz, aumentando la población de estudiantes.

### 3.3.2. Módulo Estudiantes

El módulo Estudiantes tiene por objetivo determinar el número de estudiantes de la maestría virtual; en este se ilustra la dinámica de la población de estudiantes, su admisión y salida del programa. Este módulo representa la combinación del Modelo de Bass y una cadena de añejamiento.

El modelo de Bass, representa la adopción y difusión de nuevos productos y busca cuantificar el número de consumidores que van a adquirir un producto o tecnología en un momento del tiempo (Sternan, 2000). El modelo de Bass puede ser representado matemáticamente como:

$$P(t) = p + \left(\frac{q}{m}\right) * Y(t) \quad (3)$$

Donde,  $P(t)$  es la probabilidad de compra al tiempo  $t$ ,  $Y(t)$  es el número de compradores previos,  $m$  es el número total de compradores,  $p$  y  $q$  son los coeficientes de innovación o propaganda y de imitación o voz a voz. El coeficiente de innovación (*coeficiente  $p$* ), es la probabilidad de que un consumidor adopte el producto en un intervalo de tiempo, y el coeficiente de imitación (*coeficiente  $q$* ), es la probabilidad de que un individuo adopte el producto por el efecto de voz a voz en el mismo intervalo de tiempo (Alonso & Arellano, 2015). En el caso del módulo Estudiantes, el Modelo de Bass es útil para modelar la difusión de una nueva maestría virtual y, además, permite determinar el número de estudiantes interesados que se inscriben en la maestría por efecto de los coeficientes mencionados previamente.

Por otra parte, una cadena de añejamiento es utilizada para hacer seguimiento de la estructura de edad de materiales u objetos, tarea en la cual se requiere desagregar el stock total en varias categorías o cohortes (Sternan, 2000). En lo que respecta al módulo Estudiantes, la cadena de añejamiento es útil para representar las diferentes etapas que atraviesan los estudiantes mediante una fracción de

transición: Estudiantes de maestría, Estudiantes egresados y Estudiantes graduados.

En el diagrama causal del módulo Estudiantes se aprecian los lazos de retroalimentación principales que determinan el comportamiento de la población de estudiantes. En este se tienen en cuenta parámetros como la meta de estudiantes de la maestría virtual y el precio de la matrícula, el primero afecta el número de estudiantes; y el segundo, impacta la generación de interesados por el programa virtual.

### **3.3.3. Módulo Satisfacción de Estudiantes**

La finalidad del módulo Satisfacción de Estudiantes es determinar el efecto que tiene la satisfacción de los estudiantes del programa de maestría virtual sobre la población estudiantil. Por otro lado, se busca identificar el efecto sobre el flujo de caja (como consecuencia del impacto de la satisfacción en los estudiantes) en vista de que una mayor satisfacción implica un mayor número de aplicaciones de ingreso al programa (Hussein, 2010; Pereira, 2014; Zaini, Saeed, Radzicki, & Pavlov, 2013).

De acuerdo con la hipótesis dinámica, se asume que la satisfacción de los estudiantes es afectada directamente por los siguientes tres factores: la calidad de la enseñanza de los docentes, el incremento del precio de la matrícula y el número de estudiantes de la maestría. Los estudiantes se sienten satisfechos en la maestría cuando perciben que los docentes cuentan con las herramientas y los conocimientos necesarios para enseñar, el incremento del precio de la matrícula es menor al Índice de Precios al Consumidor (IPC), y, adicionalmente, el número de estudiantes matriculados en la maestría permite interacciones para networking o establecer relaciones interpersonales.

En el diagrama causal se estableció una meta de calidad de la enseñanza, la cual es un parámetro establecido por la dirección del programa. La discrepancia entre la meta de calidad y la calidad actual de la enseñanza del programa afecta

directamente al porcentaje de materias que se actualizan de la maestría y a las horas de capacitación para docentes. También, se asume una pérdida de calidad de la enseñanza constante cada semestre, debido a las continuas actualizaciones de metodologías, de temas y herramientas en el sector de la enseñanza virtual.

#### **3.3.4. Módulo Virtualización**

El diagrama causal del módulo de virtualización tiene por objetivo representar los costos y gastos en los que la Universidad incurre para virtualizar y gestionar un programa de maestría. Se consideró el costo inicial que representa virtualizar todos los créditos de las asignaturas de un programa de maestría y los costos que intervienen en la enseñanza virtual en términos de horas hombre necesarias para los tres tipos de docentes: mentor, profesor y asesor de tesis. También, se incluyeron los costos de software y licencias, costos de actualización de las asignaturas y gasto inicial de publicidad. Este módulo es retroalimentado por: 1) el módulo Estudiantes para determinar el total de horas de asesoría, que depende del número de estudiantes del programa y 2) el módulo de satisfacción para obtener los costos de actualización, que dependen del porcentaje de materias que se actualizan del programa. Asimismo, genera un efecto en el módulo Finanzas y Presupuestos.

#### **3.3.5. Módulo Finanzas y Presupuestos**

El objetivo de este módulo es establecer los presupuestos para capacitación y publicidad del programa en función de los ingresos que recibe la universidad por el pago de matrículas. La asignación de presupuestos de capacitación y publicidad se establecen con base en la discrepancia de calidad y discrepancia de estudiantes respectivamente. Por otro lado, este módulo contempla los egresos totales del programa para determinar el flujo de caja neto, para posteriormente calcular el VPN en Excel.

## 4. FORMULACIÓN DEL MODELO

### 4.1. Buenas prácticas de modelamiento

Para realizar el modelo se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Verificación de unidades: se revisan las unidades de las variables y se verifica la consistencia dimensional antes de la simulación.
- Denominación de las variables: los parámetros se escriben en mayúsculas. Además, la primera letra de las variables (flujos y niveles) van con mayúscula.
- Conexión de flujos: los flujos deben estar conectados a un nivel.
- Descripción de parámetros fuera de las ecuaciones: los parámetros no se encuentran incluidos en las ecuaciones de las variables, con la finalidad de facilitar los cambios en el modelo.

### 4.2. Estructura del modelo

Otra forma para ilustrar la estructura del modelo es el diagrama de flujos y niveles. Este diagrama transforma los diagramas causales en una representación significativa del sistema estimando parámetros de datos históricos, leyes físicas o sentido común (Oyo, 2010)

#### 4.2.1. Configuraciones de simulación

Para la simulación del modelo propuesto, se utilizó el software Vensim PLE 8.0.1. Las configuraciones de Vensim se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Configuraciones del modelo de simulación. Fuente: Elaboración propia.

Método de integración	Euler
Tiempo inicial	0
Tiempo final	30
Time step	0,03125
Unidades de tiempo	Semestre

#### 4.2.2. Módulo Estudiantes

Dado que se pretende conocer el comportamiento de la población de estudiantes en el tiempo y el efecto dinámico de las variables sobre el número de estudiantes, se definió esta variable como un nivel o acumulación. En este módulo se desagregaron los estudiantes debido a que estos pasan a través de varias etapas con flujos de entrada y salida en las etapas intermedias. El nivel de Estudiantes se desagregó en las siguientes categorías: Estudiantes potenciales, Estudiantes interesados, Estudiantes desinteresados, Estudiantes de maestría virtual, Estudiantes desertores, Estudiantes egresados, Egresados desertores y Estudiantes graduados de maestría virtual.

El modelo mostrado en la Figura 9 plantea la dinámica de la población de estudiantes y cómo las decisiones de gestión e inversión afectan su comportamiento. En este caso existe una meta de estudiantes que es variable en el tiempo, ya que se asume que al ser la capacidad de la maestría 30 estudiantes, se tiene una meta de 30 estudiantes en el primer semestre en que comienza la maestría, 60 estudiantes en el segundo semestre, 90 estudiantes en el tercer semestre y 120 estudiantes del cuarto semestre en adelante. La discrepancia entre la meta de estudiantes y el número actual de estudiantes es percibida luego de un tiempo y regula la tasa de matriculación. De esta manera, cuando no se presenta discrepancia con la meta de estudiantes, no es necesario matricular estudiantes y, por otro lado, cuando se presenta discrepancia, la tasa de matriculación es igual al valor mínimo entre los estudiantes interesados y la capacidad de la maestría.

De acuerdo con el modelo de Bass, existen dos tipos de usuarios: 1) una fracción del mercado que adopta un producto o servicio de forma temprana debido a la publicidad (conocidos como innovadores) con independencia del comportamiento del resto de consumidores, y 2) una fracción del mercado que adopta el producto o servicio al observar que otros consumidores adoptaron el producto (conocidos como imitadores). La tasa de estudiantes interesados del modelo se calcula con base en

la tasa de adopción por publicidad, la tasa de adopción por voz a voz y un factor que implica la pérdida de interés de los estudiantes cuando el precio de la matrícula de la maestría virtual es elevado en comparación al precio de la misma maestría en modalidad presencial. La tasa de adopción por publicidad se establece de acuerdo con la relación entre la discrepancia del número de estudiantes y el presupuesto de publicidad. Por otro lado, la tasa de adopción por voz a voz, se ve afectada por los siguientes factores: 1) tasa de voz a voz por graduados, 2) tasa de voz a voz por estudiantes y 3) tasa de voz a voz por desertores, siendo que esta última tiene un impacto negativo.

En relación con los estudiantes desertores, se estableció un nivel de estudiantes desertores que generan un efecto de voz a voz negativo, con el fin de limitar la mala publicidad a un tiempo determinado. Cabe señalar que las ecuaciones de este módulo se encuentran en el Anexo B.

Las variables que ingresan a este módulo son: satisfacción de estudiantes, presupuesto de publicidad, precio de la matrícula y el índice de inflación. Los indicadores de desempeño del sistema de este módulo son: Estudiantes de maestría virtual y Estudiantes graduados de maestría virtual.

#### **4.2.3. Módulo Virtualización**

En este módulo no se presentan niveles, únicamente variables auxiliares, como se indica en la Figura 10. Los costos totales de este módulo se refieren a los costos por horas hombre de docencia, software y licencias, y actualización de asignaturas. El costo inicial de virtualización de todos los créditos de las asignaturas de la maestría virtual y el gasto inicial de publicidad no forman parte de los costos totales, sino que son parte de la inversión inicial del proyecto.

Las variables que ingresan a este módulo son: estudiantes de maestría virtual, porcentaje de materias de la maestría que se actualizan e índice de inflación. El indicador de desempeño del sistema de este módulo son los Costos totales.

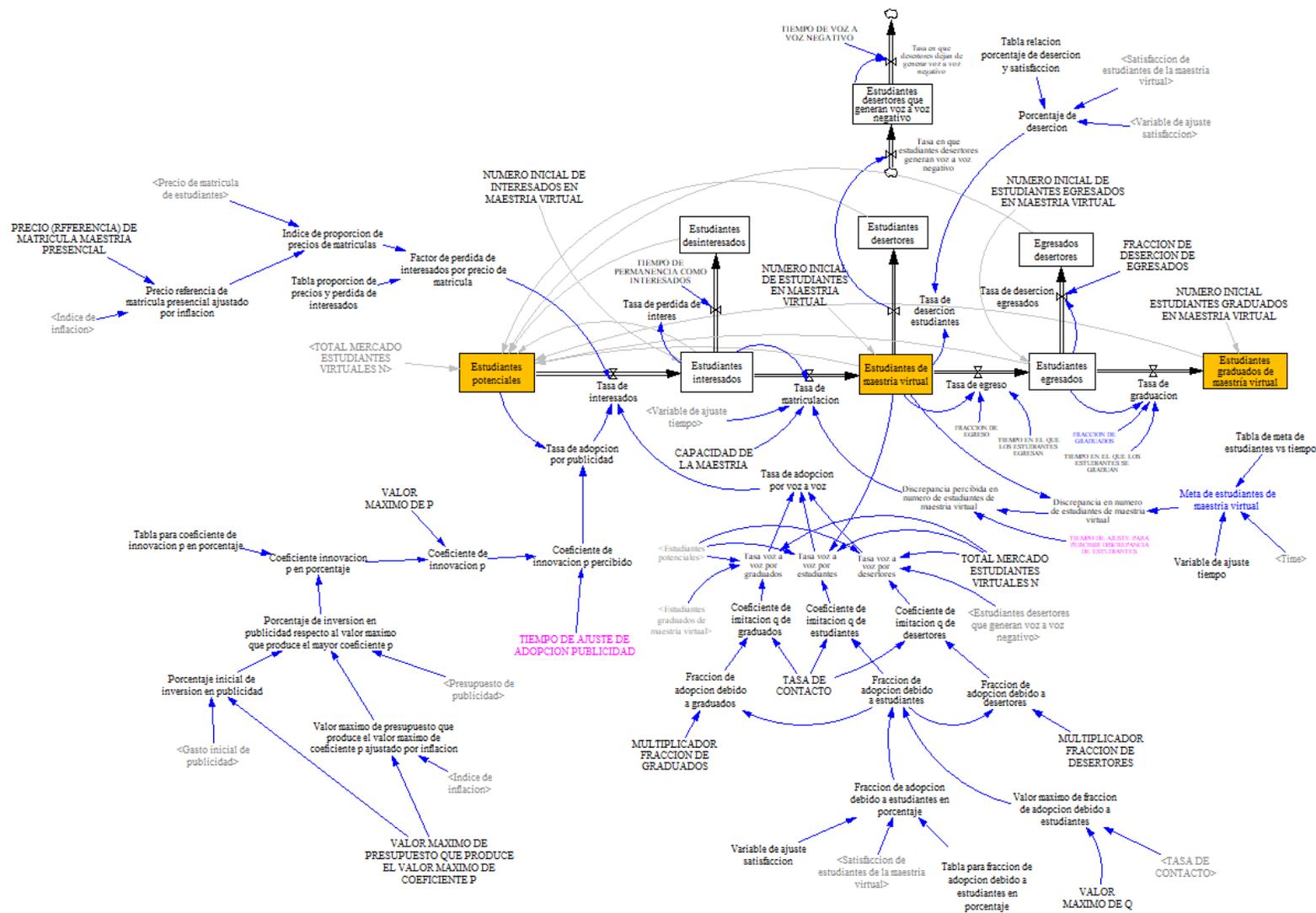


Figura 9. Diagrama de Forrester del módulo Estudiantes. Fuente: Elaboración propia.

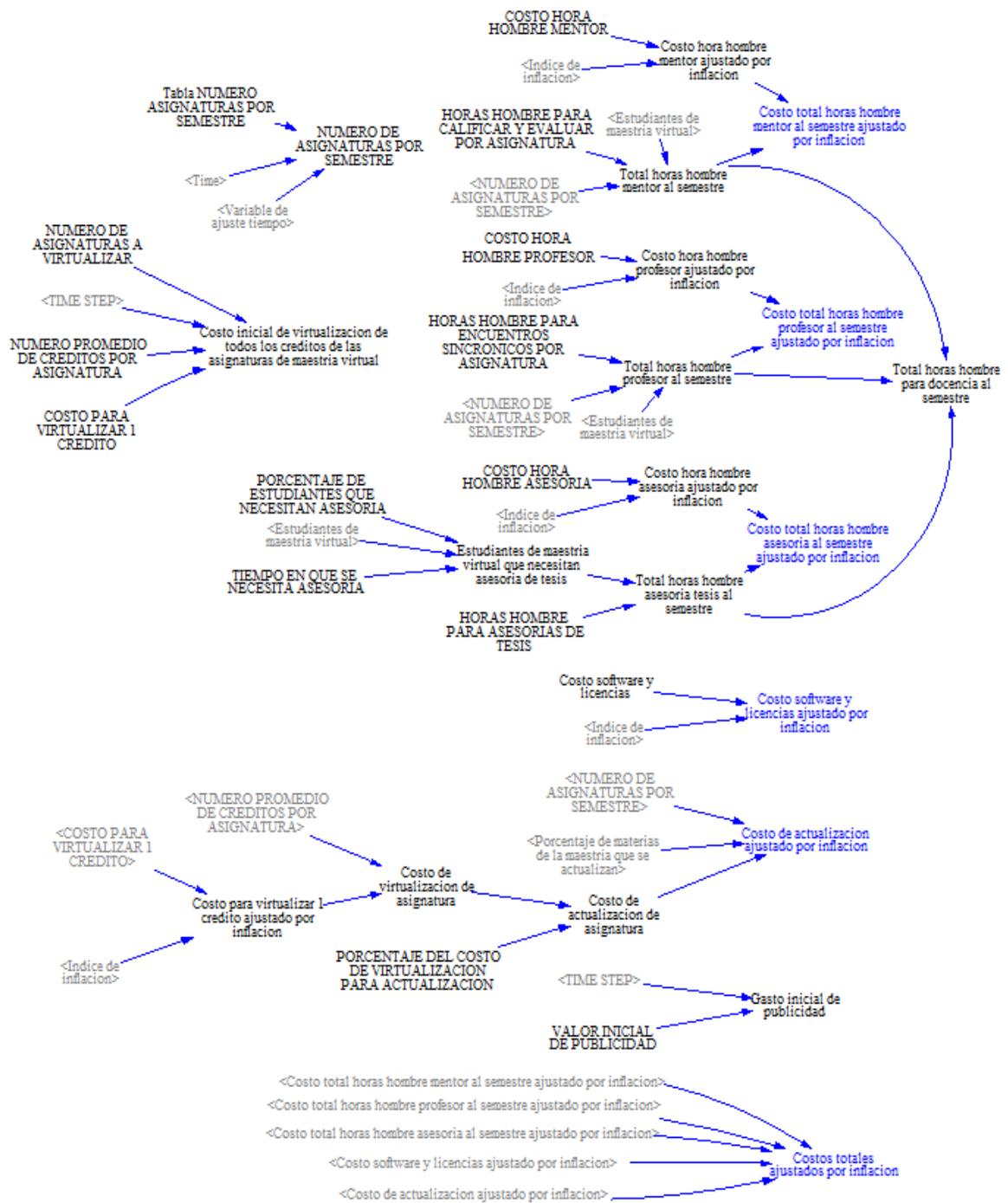


Figura 10. Diagrama de Forrester del módulo Virtualización. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4. Módulo Satisfacción de Estudiantes

En este modelo, se simuló la calidad de la enseñanza como un nivel debido a que se presenta un incremento de esta por la capacitación a los profesores. Por otro lado, la calidad de la enseñanza presenta una pérdida constante de su nivel debido a la vida útil de los contenidos en los que se capacitan a los profesores. Cabe señalar que existe una meta de calidad la cual el sistema pretende alcanzar, esta meta está expresada en porcentaje.

Por otra parte, adicionalmente a la calidad de la enseñanza, la satisfacción es afectada por otras variables como el incremento de precio de la matrícula y el número de estudiantes del programa. Cada variable genera su efecto sobre la satisfacción considerando el peso de cada una como se mencionó en los supuestos. La satisfacción se modeló como un índice cuyo máximo valor es 1 [Unidades de Satisfacción] (ver Figura 11).

Debido a que la calidad comprende la comparación del rendimiento del servicio con un set mental o un estándar, esta variable se establece como un índice el cual puede exceder su valor de 1 [Unidades de Calidad] dado que se pueden superar las expectativas del usuario.

Las variables que ingresan a este módulo son: índice de inflación, estudiantes de la maestría virtual, total horas hombre para docencia al semestre y presupuesto de capacitación. Los indicadores de desempeño del sistema de este módulo son: Calidad de la enseñanza y Satisfacción de estudiantes de la maestría virtual.

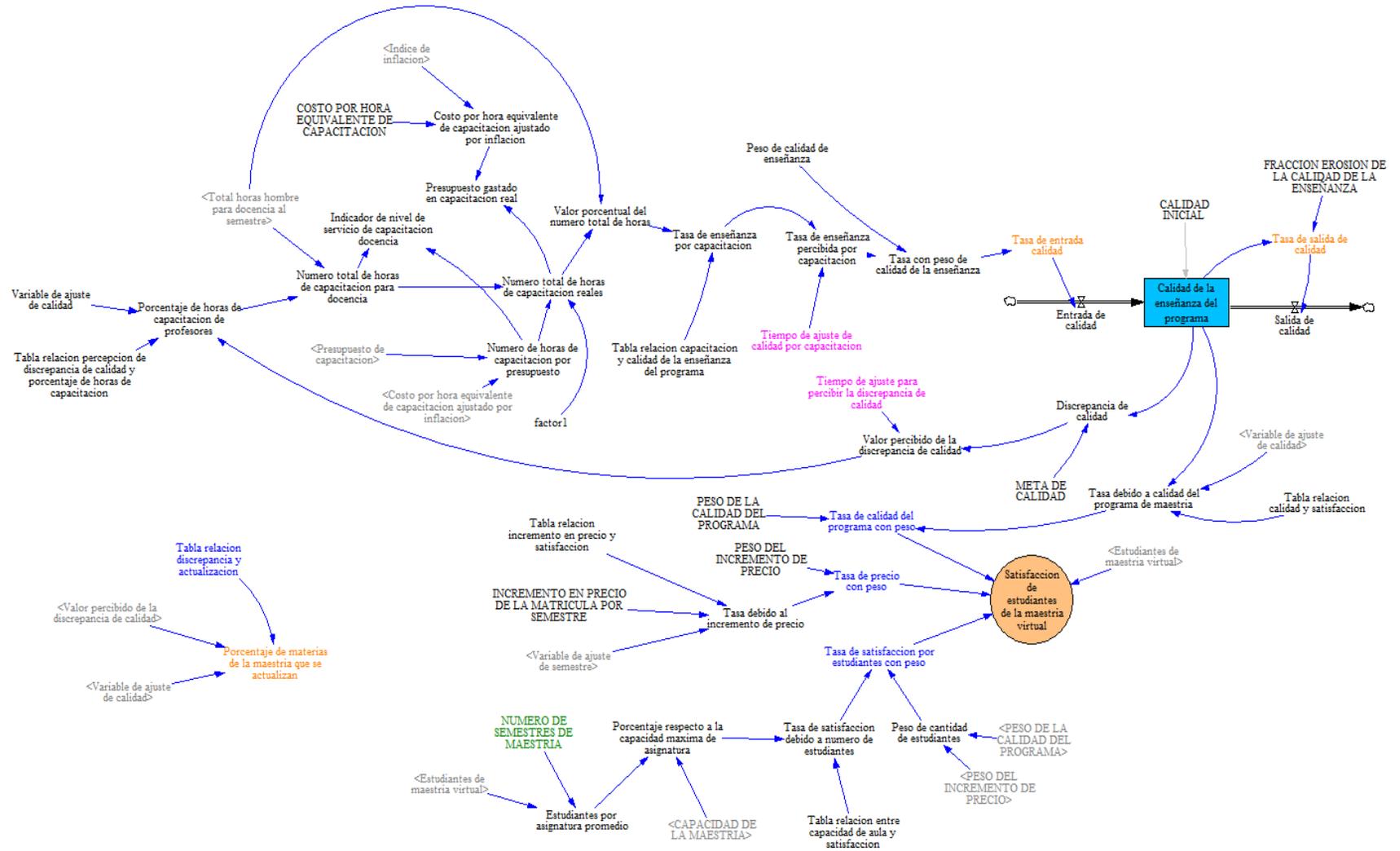


Figura 11. Diagrama de Forrester del módulo Satisfacción de Estudiantes. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.5. Módulo Finanzas y Presupuestos

Para simular la parte financiera del sistema (ver Figura 12), se consideró un incremento semestral en el precio de la matrícula, lo cual implica el tratamiento del precio como un nivel. Para establecer los presupuestos de capacitación y de publicidad, se tienen en cuenta los ingresos semestrales por las matrículas. En este módulo se calcula el flujo de caja neto del programa mediante la consideración de los ingresos por matrículas, los costos totales, los presupuestos efectuados en publicidad y capacitación y gastos operacionales y no operacionales.

Adicionalmente, se agregó un índice de inflación modelado como un nivel que aumenta dependiendo de la tasa de inflación de Colombia. Este índice se multiplica por todos los parámetros que involucran valores monetarios con el fin de que se ajusten a medida que avanza el tiempo de simulación.

Las variables que ingresan a este módulo son: estudiantes de la maestría virtual, discrepancia percibida en número de estudiantes de la maestría virtual, valor percibido discrepancia de calidad y presupuesto gastado en capacitación real. El indicador de desempeño del sistema de este módulo es el Flujo de caja neto.

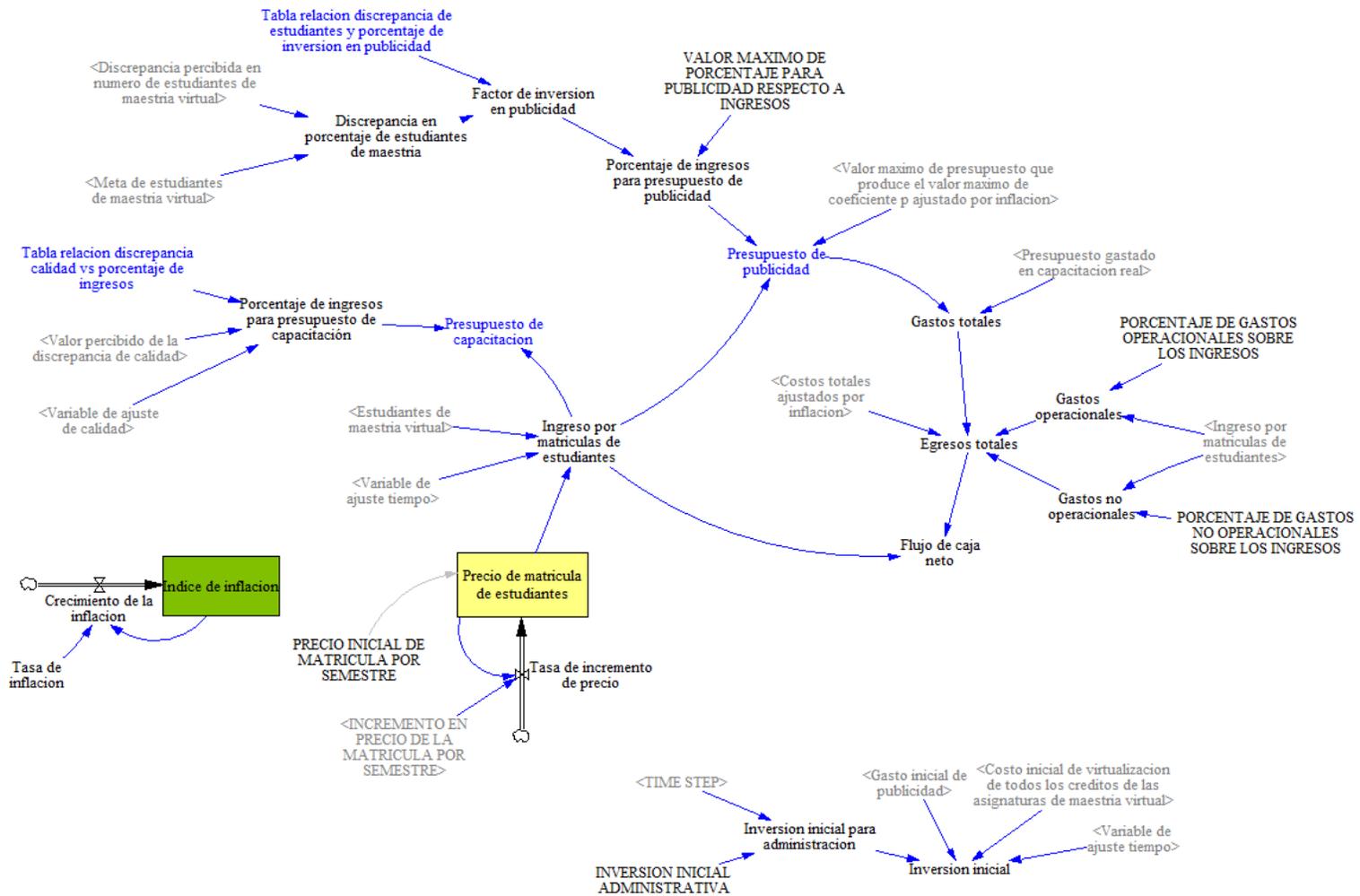


Figura 12. Diagrama de Forrester del módulo Finanzas y Presupuestos. Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Estimación de parámetros

#### 4.3.1. Cálculo del mercado total de estudiantes

De acuerdo con el Ministerio de Educación Nacional de Colombia (2019) el número total de matrículas de maestría a nivel nacional es de 68 229, de este valor el 28% corresponde a matrículas de posgrado en el área de conocimiento de *ingeniería, arquitectura, urbanismo y afines*; el 50% de estas matrículas corresponden a matrículas de instituciones universitarias privadas (ver Tabla 3). Teniendo en cuenta lo anterior, para este trabajo se asume que el 50% de las matrículas privadas corresponden a profesionales que optan por una maestría en el campo de ingeniería con enfoque administrativo. Por ende, se establece el mercado potencial de la maestría virtual en 5 000 estudiantes.

Tabla 3. Estadísticas clave para determinar el mercado total de estudiantes. Fuente: (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2019)

No.	Característica	Proporción	Valor
1	Matrícula total en Colombia	100%	2 408 041 [Matrículas]
2	Matrícula nacional por nivel de formación maestría	2,83% del rubro 1	68 229 [Matrículas]
3	Matrículas a nivel nacional por nivel de formación maestría en el área de conocimiento de <i>ingeniería, arquitectura, urbanismo y afines</i>	28% del rubro 2	20 000 [Matrículas]
4	Matrículas privadas a nivel nacional por nivel de formación maestría en el área de conocimiento de <i>ingeniería, arquitectura, urbanismo y afines</i>	50% del rubro 3	10 000 [Matrículas]

#### 4.3.2. Cálculo de coeficientes p y q del Modelo de Bass

De acuerdo con Mahajan, Muller y Bass (1990), para la estimación de parámetros p y q de un producto se puede utilizar información de la difusión de otros productos análogos a este. Thomas (1985), citado por (Ofek, 2007), recomienda el análisis de

los siguientes factores para evaluar la pertinencia de los productos análogos: 1) factores del entorno, 2) estructura de mercado, 3) comportamiento del consumidor, 4) estrategias marketing mix y 5) características de la innovación. Para este caso, se eligieron los factores 2), 3), 4) y 5) con los cuales se efectuó una puntuación ponderada para la determinación de los factores p y q (Tabla 4). Cabe resaltar que las unidades de p y q vienen dadas en  $[1/Año]$ , lo cual se debe convertir a  $[1/Semestre]$  para que coincida con las unidades de tiempo de la simulación. Los productos análogos escogidos fueron:

- iPhone: Con un periodo de análisis entre 2007 y 2016. Ventas globales.
- Suscripción banda ancha fija por cable: Con un periodo de análisis entre 2002 y 2016 en Colombia.
- Difusión de herramientas educativas web: Con un periodo de análisis entre 2001 y 2008 en la Universidad de Tel-Aviv.
- Banca electrónica: Con un periodo de análisis entre 2003 y 2013 en España.

Tabla 4. Cálculo de los coeficientes p y q para el módulo Estudiantes. Fuente: (Alonso & Arellano, 2015; GitHub, s/f; Soffer, Nachmias, & Ram, 2010; Sokele & Moutinho, 2018).

Producto	p	q	Criterios/Puntuación numérica				Puntuación ponderada	Puntuación final
			Estructura de mercado	Comportamiento del consumidor	Estrategias marketing-mix	Características de la innovación		
			0.15	0.35	0.2	0.3		
iPhone (2007-2016 Global)	0.002	0.115	6	6	5	2	4.6	0.19409
Suscripción banda ancha fija por cable (2002-2016 Colombia)	0.012	0.368	7	6	6	3	5.25	0.22152
Difusión de herramientas educativas web (2001-2008 Universidad de Tel-Aviv)	0.036	0.524	8	7	6	5	6.35	0.26793
Banca electrónica (2003-2013 España)	0.009	0.160	8	8	7	7	7.5	0.31646
<b>Promedio ponderado [1/Año]</b>	<b>0.0156</b>	<b>0.2949</b>					<b>23.7</b>	
<b>Promedio ponderado [1/Semestre]</b>	<b>0.0078</b>	<b>0.1475</b>						

### 4.3.3. Retardos

Tomando en consideración las características del modelo virtual de la Universidad de La Sabana, se establecieron los siguientes retardos como supuestos (ver Tabla 5).

Tabla 5. Lista de retardos del modelo. Fuente: Elaboración propia.

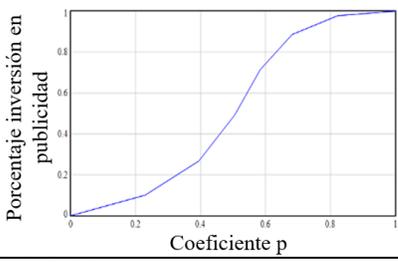
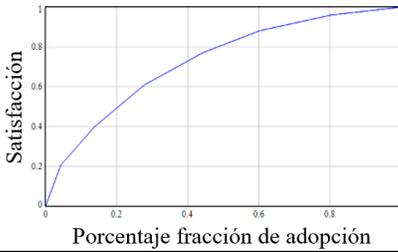
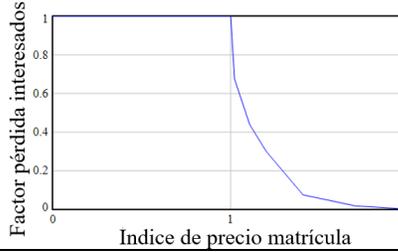
No.	Descripción	Justificación	Valor
1	Tiempo de ajuste de adopción de publicidad	En este periodo se evidencia el efecto a corto plazo que genera la publicidad en los procesos de posicionamiento y reconocimiento de la maestría en el mercado (Marketingintel, s/f).	2 [Semestre]
2	Tiempo de ajuste para percibir discrepancia de estudiantes	El proceso de admisión se valida semestralmente para identificar la discrepancia con la meta de estudiantes.	1 [Semestre]
3	Tiempo de ajuste de calidad por capacitación	Al siguiente semestre de tomar las capacitaciones, los profesores ponen en práctica los conocimientos adquiridos.	1 [Semestre]
4	Tiempo de ajuste para percibir la discrepancia de calidad de la enseñanza	Los niveles de calidad se miden cada semestre para confirmar el impacto de la capacitación de los docentes.	1 [Semestre]

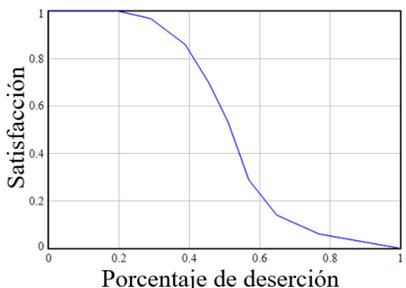
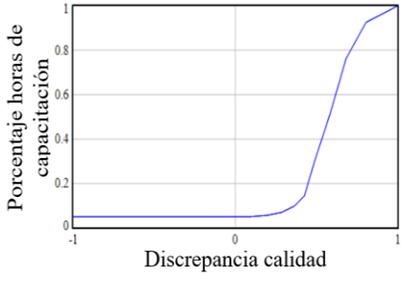
### 4.3.4. Parámetros y tablas del modelo

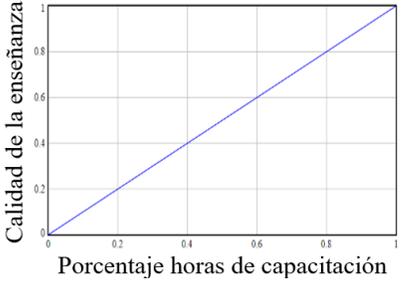
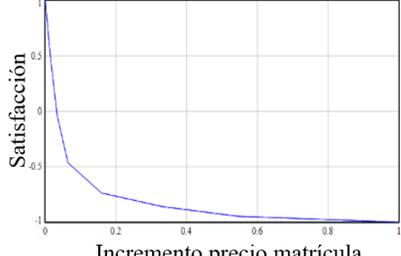
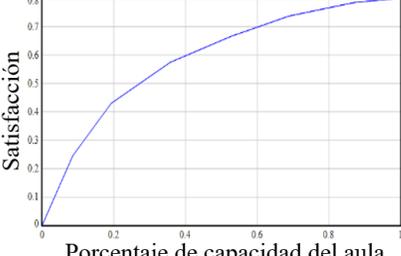
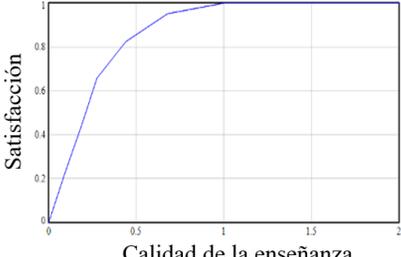
Los parámetros y tablas considerados en el modelo se presentan a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6. Lista de parámetros y tablas del modelo. Fuente: Elaboración Propia.

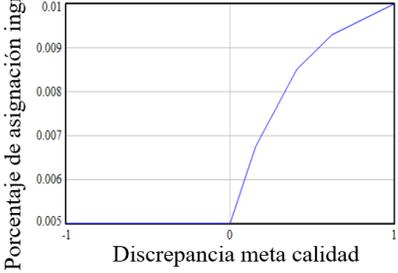
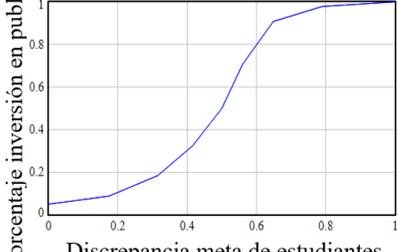
Nombre de la variable	Valor/Curva	Fuente
Valor máximo de presupuesto que produce el valor máximo de coeficiente p	16 [MillonesCOP/Semestre]	Basado en (Universidad de La Sabana, 2021a). En 2020, la universidad gastó 4 313 millones COP en publicidad, lo cual se dividió para los 135 programas formales académicos. Se asume que en 2020 la universidad gastó el presupuesto de publicidad que tiene el máximo efecto sobre la

Nombre de la variable	Valor/Curva	Fuente
		adopción de sus programas académicos.
Tabla para coeficiente de innovación p en porcentaje		Adaptado de (Haigh, 2020). Se consideró la forma de curva que tiene el Retorno de la Inversión en Publicidad (Return on Marketing Investing - ROMI)
Valor máximo de p	0,007 8 [1/Semestre]	Adaptado de (Alonso & Arellano, 2015; GitHub, s/f; Soffer et al., 2010; Sokele & Moutinho, 2018)
Tabla para fracción de adopción debido a estudiantes en porcentaje		Adaptado de (Eisenbeiss, Cornelissen, Backhaus, & Hoyer, 2014). Se consideró la forma de curva entre la relación satisfacción del cliente y el valor percibido por el cliente.
Valor máximo de q	0,147 5 [1/Semestre]	Adaptado de (Alonso & Arellano, 2015; GitHub, s/f; Soffer et al., 2010; Sokele & Moutinho, 2018)
Tiempo de permanencia como interesados	2 [Semestre]	Supuesto
Tiempo en que se da la apertura de matrículas	1 [Semestre]	Supuesto basado en la política actual de las maestrías de la Facultad de Ingeniería
Capacidad de la maestría	30 [Estudiantes]	Supuesto basado en la capacidad actual del modelo virtual de la Universidad de La Sabana
Precio (referencia) de matrícula maestría presencial	12 [MillonesCOP]	Supuesto basado en precios de las maestrías de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Sabana.
Tabla proporción de precios y pérdida de interesados		Adaptado de (Kenton, 2021). La tabla se basa en la curva de la demanda.
Multiplicador fracción de graduados	1,2 [Adimensional]	Supuesto. Se asume que los estudiantes graduados presentan un voz a voz 20% mayor que el de los estudiantes del programa.
Tasa de contacto	100 [1/Semestre]	Supuesto
Multiplicador fracción de desertores	0,5 [Adimensional]	Supuesto. Se asume que los desertores presentan la mitad del efecto voz a voz de los estudiantes del programa.

Nombre de la variable	Valor/Curva	Fuente
Total mercado estudiantes virtuales N	5 000 [ <i>Estudiantes</i> ]	Basado en (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2019)
Tiempo de voz a voz negativo	2 [ <i>Semestre</i> ]	Supuesto
Fracción de egreso	0,25 [ <i>1/Semestre</i> ]	Supuesto
Fracción de deserción de egresados	0,01 [ <i>1/Semestre</i> ]	Supuesto
Fracción de graduados	0,1 [ <i>1/Semestre</i> ]	Es un supuesto que tiene en cuenta el caso pesimista, donde el 90% de los estudiantes se toman un tiempo adicional para terminar el trabajo de grado. Se planteó un escenario retador considerando que la maestría sería de profundización, en la que la mayoría de los estudiantes trabajan.
Tabla relación porcentaje de deserción y satisfacción		Adaptado de (Aves, 2016)
Costo por hora equivalente de capacitación	0,033 [ <i>MillonesCOP/Horas clase</i> ]	Basado en (Universidad de La Sabana, 2021c). El costo de un diplomado en la Universidad es de alrededor de 3 130 000 COP por 96 horas, es decir 33 000 COP por hora aproximadamente.
Tabla relación percepción de discrepancia calidad y porcentaje de horas de capacitación		Supuesto. Política de capacitación de docentes. Se asume que, si la discrepancia de la meta de calidad está por debajo del 20%, se va a capacitar a los docentes el 5% del total de horas dictadas. Si la discrepancia de la meta de calidad supera el 20%, el porcentaje de horas a capacitar crecerá de forma paulatina en el tiempo.
Peso de la calidad del programa	0,33 [ <i>Adimensional</i> ]	Supuesto
Peso del incremento de precio	0,33 [ <i>Adimensional</i> ]	Supuesto
Meta de calidad	0,9 [ <i>Unidades calidad</i> ]	Supuesto
Fracción erosión de la calidad de la enseñanza	0,071 [ <i>1/Semestre</i> ]	Adaptado de (Menard, 2021). La vida útil de productos de categorías como: plataformas de aprendizaje adaptativo, MOOCs y E-Learning, tienen un promedio que está entre 6 y 8 años. Se escogió 7 años, lo que quiere decir 14 semestres y, por ende,

Nombre de la variable	Valor/Curva	Fuente
		una salida de calidad de 7,1% cada semestre.
Incremento en precio de la matrícula por semestre	0,011 [1/Semestre]	Basado en (Universidad de La Sabana, 2021b)
Tabla relación capacitación y calidad de la enseñanza del programa		Supuesto. Se asume una relación lineal entre la capacitación y la calidad de enseñanza del programa.
Tabla relación incremento en precio y satisfacción		Adaptado de (Aves, 2016; Kenton, 2021)
Tabla relación entre capacidad de aula y satisfacción		Supuesto basado en que una mayor cantidad de estudiantes implica una mayor interacción entre ellos y aumentan las posibilidades de networking.
Tabla relación calidad y satisfacción		Adaptado de (Chen & Chen, 2014)

Nombre de la variable	Valor/Curva	Fuente
Tabla relación discrepancia calidad y actualización	<p>El gráfico muestra una función de actualización de materias. El eje horizontal representa la 'Discrepancia meta calidad' con marcas en -0.5, 0, 0.5 y 1. El eje vertical representa el 'Porcentaje actualización materias' con marcas en 0.3, 0.35, 0.4, 0.45 y 0.5. La línea comienza en (0, 0.33) y permanece constante hasta x=0.2. En x=0.2, la línea salta verticalmente a y=0.5 y continúa horizontalmente hasta x=1.</p>	Supuesto. Política de actualización de asignaturas. Se asume que, si la discrepancia de la meta de calidad está por debajo del 20%, se actualizará el 33% de las materias. Si la discrepancia es mayor al 20%, se actualizará la mitad de las materias.
Número de asignaturas a virtualizar	16 [Adimensional]	Basado en las características del modelo virtual de la Universidad de La Sabana.
Número promedio de créditos por asignatura	3 [Adimensional]	Basado en las características del modelo virtual de la Universidad de La Sabana.
Costo para virtualizar 1 crédito	7 [MillonesCOP]	Supuesto
Horas hombre para calificar y evaluar por asignatura	48 [Horas clase/Semestre]	Supuesto basado en las características del modelo virtual de la Universidad de La Sabana
Horas hombre para encuentros sincrónicos por asignatura	16 [Horas clase/Semestre]	Basado en las características del modelo virtual de la Universidad de La Sabana.
Horas hombre para asesorías de tesis	16 [Horas clase/Semestre]	Basado en las características del modelo virtual de la Universidad de La Sabana.
Costo hora hombre mentor	0,15 [MillonesCOP/Horas clase]	Supuesto
Costo hora hombre profesor	0,15 [MillonesCOP/Horas clase]	Supuesto
Costo hora hombre asesoría	0,15 [MillonesCOP/Horas clase]	Supuesto
Costo software y licencias	3,1 [MillonesCOP]	Supuesto basado en (Universidad de La Sabana, 2021a). En 2020, la universidad gastó 423 millones COP en publicidad, lo cual se dividió para los 135 programas formales académicos.
Porcentaje del costo de virtualización para actualización	0,6 [Adimensional]	Supuesto. Se asume que el costo de actualización de una asignatura es el 60% del costo que requiere virtualizar la misma asignatura.
Valor inicial de publicidad	16 [MillonesCOP/Semestre]	Supuesto basado en (Universidad de La Sabana, 2021a)
Valor máximo de porcentaje para publicidad respecto a ingresos	0,05 [Adimensional]	Supuesto basado en (Universidad de La Sabana, 2021a)
Inversión inicial administrativa	58 [MillonesCOP]	Supuesto.
Tasa de descuento	0,06 [1/Año]	Basado en (Damodaran, 2021; Universidad de La Sabana, 2021a)

Nombre de la variable	Valor/Curva	Fuente
Tabla relación discrepancia calidad vs porcentaje de ingresos		Supuesto. Política de asignación de un porcentaje de ingresos para capacitación. Se asume que, si no se presenta discrepancia de la meta de la calidad, se destina el 0,5% de los ingresos para horas de capacitación a los docentes. Si se presenta discrepancia con la meta, se incrementa paulatinamente el porcentaje de ingresos asignados a capacitación.
Tabla relación discrepancia de estudiantes y porcentaje de inversión en publicidad		Supuesto. Política de inversión en publicidad de acuerdo con la discrepancia de estudiantes.
Porcentaje de gastos operacionales sobre los ingresos	0,25 [Adimensional]	Supuesto basado en (Universidad de La Sabana, 2021a). En 2020, el porcentaje de egresos operacionales sobre ingresos operacionales fue de 50%. De acuerdo con la entrevista a efectuada a Miguel Ángel Cárdenas, nos comentó que los gastos administrativos de la maestría presencial son mayores que los de una maestría virtual. Razón por la cual, la matrícula de una maestría presencial es 1,5 millones COP a 2 millones COP más costosa que una maestría virtual. Por tal motivo, se considera que este porcentaje disminuye a la mitad debido a que en una maestría virtual se incurre en menos costos de administración.
Porcentaje de gastos no operacionales sobre los ingresos	0,03 [Adimensional]	Basado en (Universidad de La Sabana, 2021a)
Tasa de inflación	0,015 [1/Semestre]	Basado en (Trading Economics, 2021). La inflación promedio de Colombia de los últimos tres años fue de 3% anual, lo cual implica 1,5% al semestre.

#### 4.4. Condiciones iniciales

Las condiciones iniciales de las variables de nivel se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7. Lista de condiciones iniciales de las variables de nivel del modelo de simulación. Fuente: Elaboración propia.

Variable de nivel	Valor inicial	Fuente
Estudiantes interesados	30 [ <i>Estudiantes</i> ]	Supuesto
Estudiantes de maestría virtual	0 [ <i>Estudiantes</i> ]	Supuesto. Se asume que, al ser una maestría nueva, no se cuenta con estudiantes activos.
Estudiantes egresados	0 [ <i>Estudiantes</i> ]	Supuesto
Estudiantes graduados de maestría virtual	0 [ <i>Estudiantes</i> ]	Supuesto
Estudiantes desinteresados	0 [ <i>Estudiantes</i> ]	Supuesto
Estudiantes desertores	0 [ <i>Estudiantes</i> ]	Supuesto
Egresados desertores	0 [ <i>Estudiantes</i> ]	Supuesto
Calidad inicial	0,6 [ <i>Unidades calidad</i> ]	Supuesto
Precio de matrícula por semestre	11 [ <i>MillonesCOP/Estudiantes</i> ]	Basado en los precios actuales de la Universidad de La Sabana

### 5. VALIDACIÓN DEL MODELO

El objetivo principal de la validación de un modelo es establecer confianza en la solidez y utilidad de este (Forrester & Senge, 1979). De acuerdo con Barlas (1996), el primer paso es establecer la validez de la estructura del modelo, y una vez que se tiene la suficiente confianza en dicha estructura, se determina que el comportamiento corresponde al sistema real.

#### 5.1. Validación de la estructura

##### 5.1.1. Test de verificación de estructura

La verificación de la estructura implica la comparación de la estructura de un modelo con la del sistema real al que el modelo representa (Forrester & Senge, 1979). De acuerdo con Barlas (1996), la práctica de comparar las ecuaciones del modelo con las relaciones que existen en el sistema real se considera un test de verificación de

estructura empírica; de igual modo, la comparación de las ecuaciones del modelo con el conocimiento hallado en la literatura se considera un test de verificación de estructura teórica. En el caso de este trabajo, el modelo se elaboró a partir de: 1) información cuantitativa y cualitativa obtenida directamente del sistema real a través de entrevistas no estructuradas y 2) literatura encontrada de las características del sistema. Por lo tanto, el procedimiento llevado a cabo para la construcción del modelo fue importante para establecer la credibilidad de la estructura del modelo de la virtualización de un programa de maestría.

### 5.1.2. Condiciones extremas

Los modelos dinámicos tienen que ser validados en condiciones extremas, que probablemente no sucedan en el mundo real (Sterman, 2000). El propósito de esta prueba es comprobar la validez de las ecuaciones del modelo mediante la evaluación de la credibilidad de los resultados frente a lo que sucedería en el sistema real (Barlas, 1996). En consecuencia, las condiciones validadas son las siguientes:

- **Meta de estudiantes igual a cero**

Comportamiento esperado: no se debe presentar tasa de matriculación ni ingresos.

Comportamiento presentado: en este caso, la simulación mostró que la tasa de matriculación en el programa es cero (ver Figura 13), por lo cual no hay estudiantes en el programa. De igual forma los coeficientes  $p$  y  $q$  son cero, ya que no hay inversión en publicidad y no hay efecto voz a voz al no existir graduados ni estudiantes. Asimismo, las horas hombre de docencia son cero, por lo cual, no hay capacitación. En lo que respecta a la satisfacción, su valor es cero debido a que no hay estudiantes; sin embargo, como la calidad de la enseñanza tiene un valor inicial, este va disminuyendo por su flujo de salida a lo largo de la simulación y no presenta valores en el flujo de entrada.

Igualmente, los flujos de caja neto son negativos debido que solo se presentan egresos correspondientes a la actualización de las materias determinada por el nivel de calidad de la enseñanza.

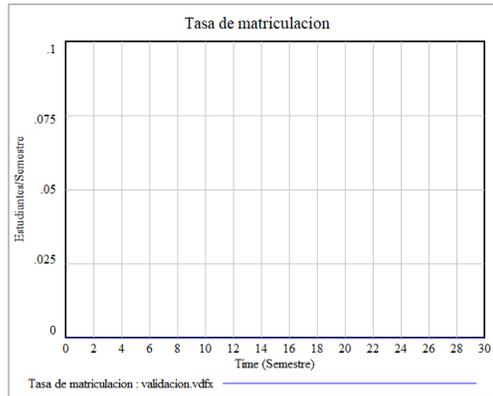


Figura 13. Tasa de matriculación con meta de estudiantes igual a cero. Fuente: Elaboración propia.

- **Meta de estudiantes superior a la capacidad de la maestría**

Comportamiento esperado: la tasa de matriculación no debe exceder la capacidad de la maestría.

Comportamiento presentado: al inicio de la simulación, se presenta una disminución en la tasa de matriculación (Figura 14) puesto que el nivel de interesados es menor a la capacidad de la maestría (30 estudiantes). No obstante, a medida que los interesados aumentan la tasa de matriculación incrementa y el número de estudiantes alcanza la meta, y no excede la capacidad máxima de 30 estudiantes por semestre.

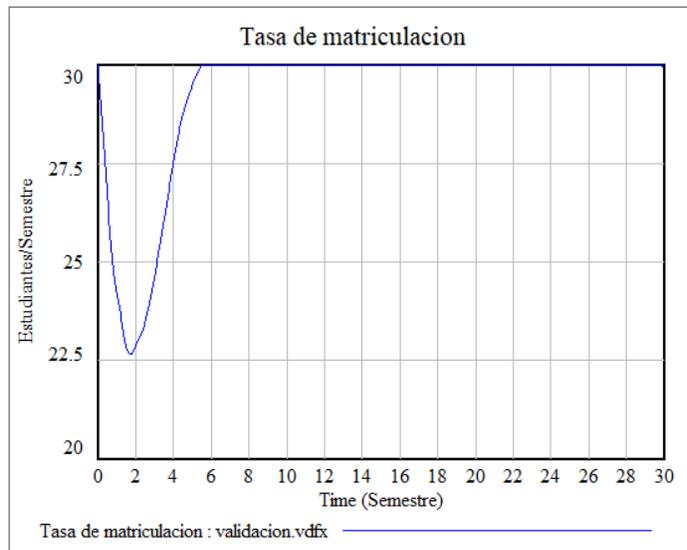


Figura 14. Tasa de matriculación con meta de estudiantes superior a la capacidad de la maestría. Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, a lo largo de la simulación se evidencia que el número de interesados (ver Figura 15) disminuye debido a que los estudiantes potenciales también disminuyen. Sin embargo, no se evidencia una afectación en la tasa de matriculados debido a que el nivel de interesados se mantiene por encima de 30 estudiantes, el máximo de la capacidad.

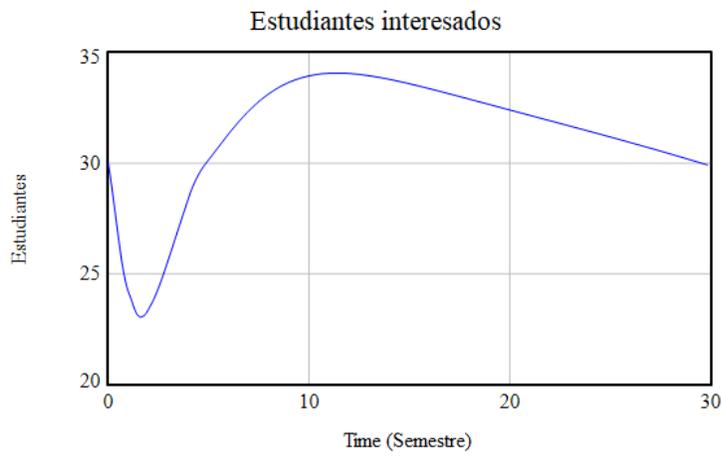


Figura 15. Estudiantes interesados con meta de estudiantes superior a la capacidad de la maestría. Fuente: Elaboración propia.

- **Incremento en precio de la matrícula por semestre muy alto**

Comportamiento esperado: una disminución representativa del número de estudiantes debido a un incremento en los desertores por insatisfacción.

Comportamiento presentado: para este caso, la simulación indicó que la satisfacción del programa baja ostensiblemente, lo que aumenta la tasa de deserción (ver Figura 16) y hace disminuir hasta cero el número de estudiantes de la maestría virtual (ver Figura 17). Al no existir estudiantes, no se tienen ingresos y los flujos de caja netos se vuelven negativos.

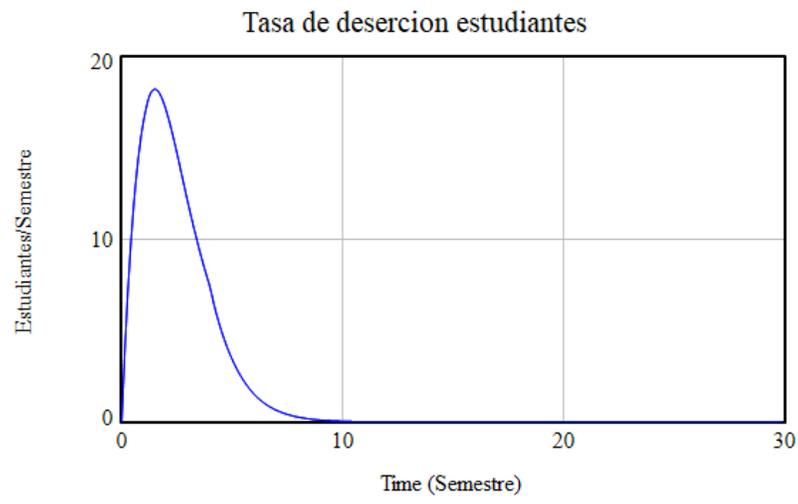


Figura 16. Tasa de deserción de estudiantes de la maestría virtual con incremento en precio de matrícula por semestre muy alto. Fuente: Elaboración propia.

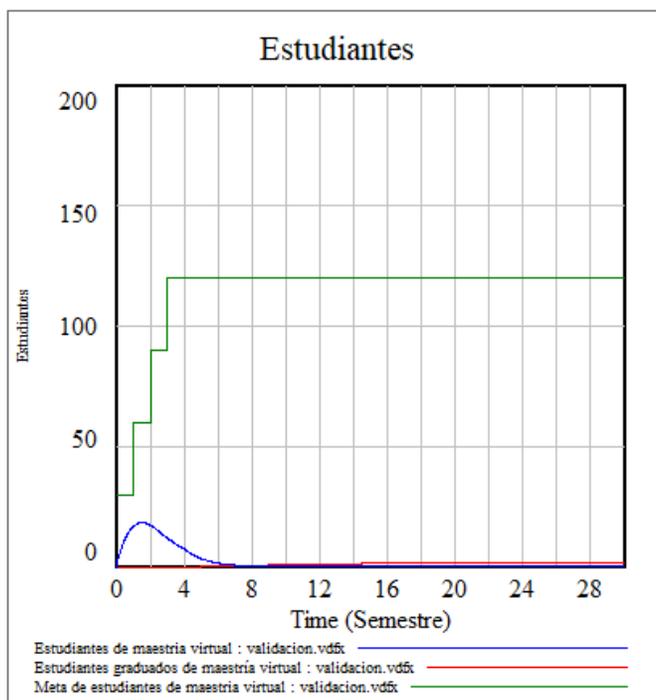


Figura 17. Estudiantes de la maestría virtual con incremento en precio de matrícula por semestre muy alto. Fuente: Elaboración propia.

- **Precio muy alto de la matrícula**

Comportamiento esperado: la tasa de interesados debe ser nula.

Comportamiento presentado: en esta situación el número inicial de interesados ingresa a la maestría, sin embargo, ya no se generan más interesados debido a que el precio es muy alto, como se indica en la Figura 18. Asimismo, los estudiantes que ingresaron en la maestría salen tiempo después por la baja satisfacción. De igual manera, el flujo neto se hace negativo.

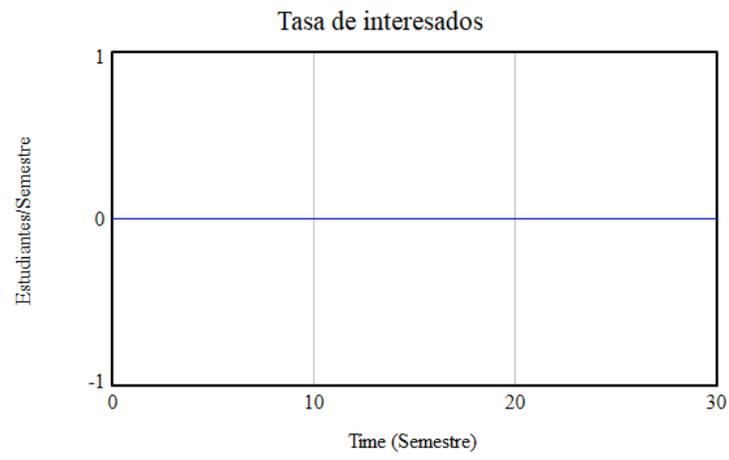


Figura 18. Tasa de interesados con precio muy alto de la matrícula. Fuente: Elaboración propia.

- **Presupuesto nulo para publicidad**

Comportamiento esperado: disminución representativa de la tasa de interesados.

Comportamiento presentado: si el presupuesto de publicidad es cero, la tasa de interesados disminuye visiblemente (ver Figura 19), lo que implica que el número de estudiantes del programa tiende a cero. También, la satisfacción del programa disminuye al no haber estudiantes.

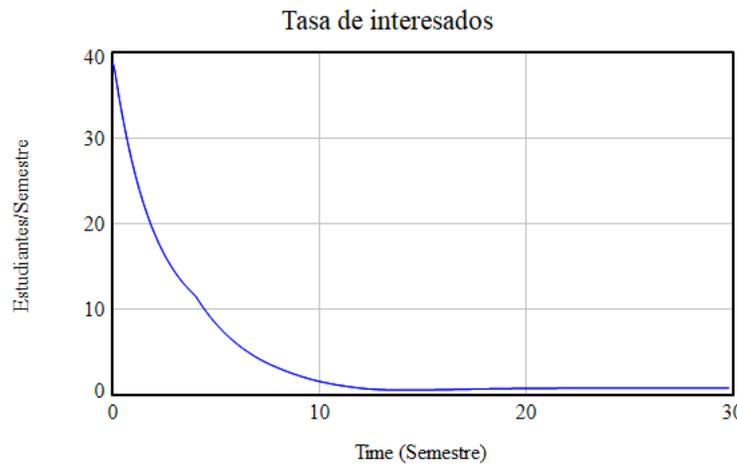


Figura 19. Tasa de interesados con presupuesto nulo para publicidad. Fuente: Elaboración propia.

- **Presupuesto nulo de capacitación**

Comportamiento esperado: disminución en la satisfacción y en el número de estudiantes.

Comportamiento presentado: la calidad de la enseñanza tiende a disminuir a cero a lo largo de la simulación debido a que no se cuenta con capacitación para generar flujo de entrada y se mantiene la pérdida de calidad por el flujo de salida. Debido a lo anterior, la satisfacción del programa disminuye (ver Figura 20), por lo que disminuyen el número de estudiantes (ver Figura 21).

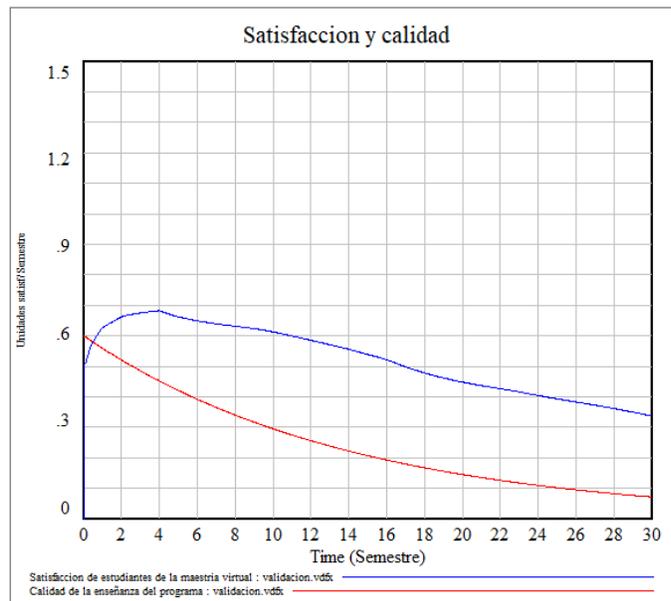


Figura 20. Estudiantes de la maestría virtual con presupuesto nulo de capacidad. Fuente: Elaboración propia.

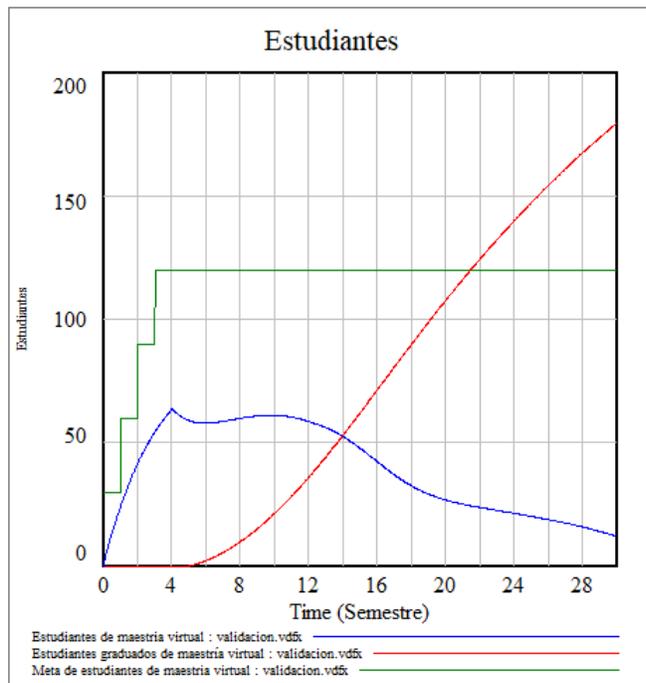


Figura 21. Estudiantes de la maestría virtual con presupuesto nulo de capacidad. Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.3. Consistencia dimensional

La prueba de verificación de consistencia dimensional fue realizada mediante el uso de la herramienta ‘Units Check’ incluida en Vensim para la revisión de unidades. Esta verificación es necesaria antes de correr la simulación del modelo.

## 5.2. Validación del comportamiento

### 5.2.1. Test de sensibilidad

El test de sensibilidad se enfoca en analizar el comportamiento del modelo ante cambios en los valores de parámetros en los que existe incertidumbre (Forrester & Senge, 1979). Por lo cual, se realizaron las siguientes pruebas:

- **Variación en el índice de inflación y en el incremento de precio de la matrícula:**

Cuando únicamente se aumenta el índice de inflación, se llega un punto en que los egresos son altos y los flujos de caja neto son negativos. Asimismo, debido a que la inflación afecta el valor máximo de presupuesto que produce el mayor coeficiente  $p$ , el presupuesto asignado termina sin poder alcanzar este máximo, lo que genera que no se presenten estudiantes interesados (Figura 22). Por otro lado, si el incremento del precio de la matrícula es mayor, el número de estudiantes (Figura 23) tiende a cero por insatisfacción y porque se presentan menos interesados a lo largo de la simulación, además, el valor del precio excede significativamente el precio de referencia.

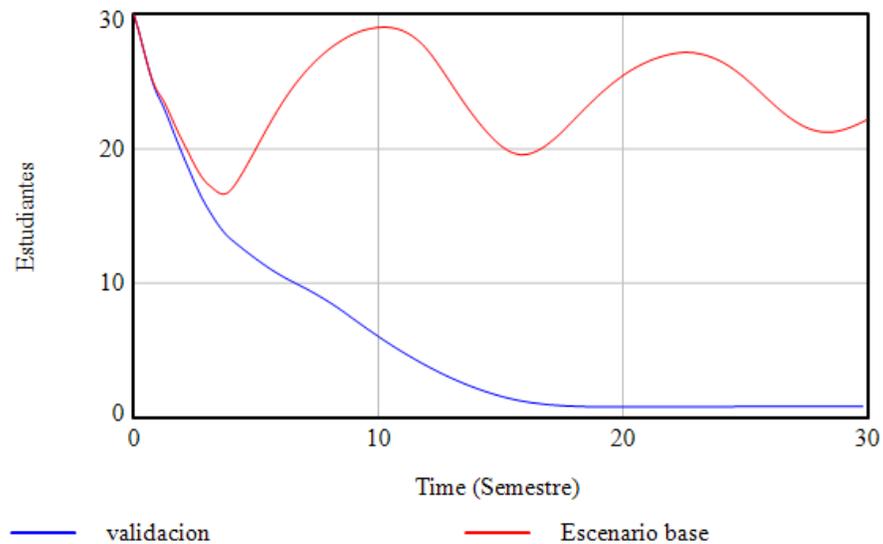


Figura 22. Estudiantes interesados en el test de sensibilidad de variación en el índice de inflación.  
Fuente: Elaboración propia.

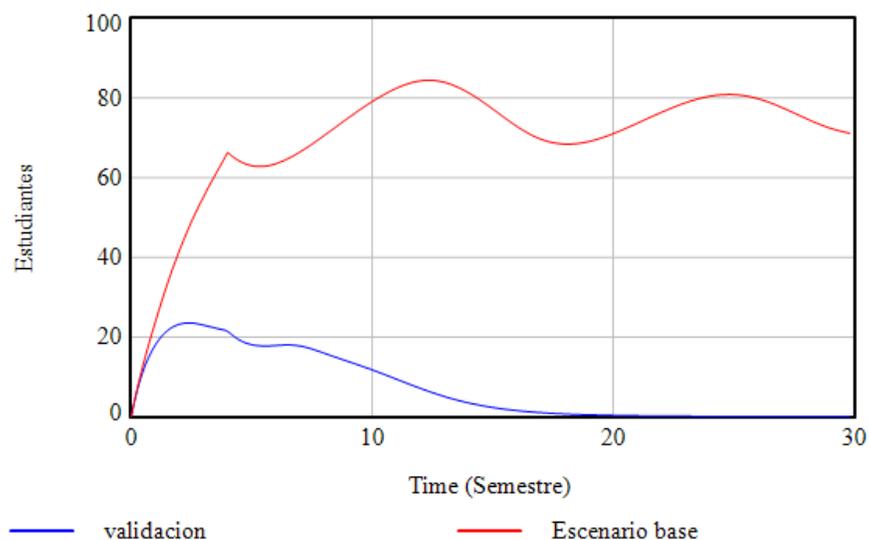


Figura 23. Estudiantes de maestría virtual en el test de sensibilidad del incremento del precio de la matrícula. Fuente: Elaboración propia.

- **Variación en el peso de calidad de la enseñanza, incremento de precio y número de estudiantes sobre la satisfacción de los estudiantes:**

Se efectuaron varias pruebas modificando los pesos de los parámetros mencionados y no se encontraron valores que hagan que el modelo tenga un comportamiento diferente a los patrones observados en las pruebas anteriores.

- **Variación de la tasa de graduados:**

El modelo muestra que una mayor tasa de graduados genera un efecto voz a voz positivo (Figura 24) que se traduce en aumento de estudiantes en el programa.

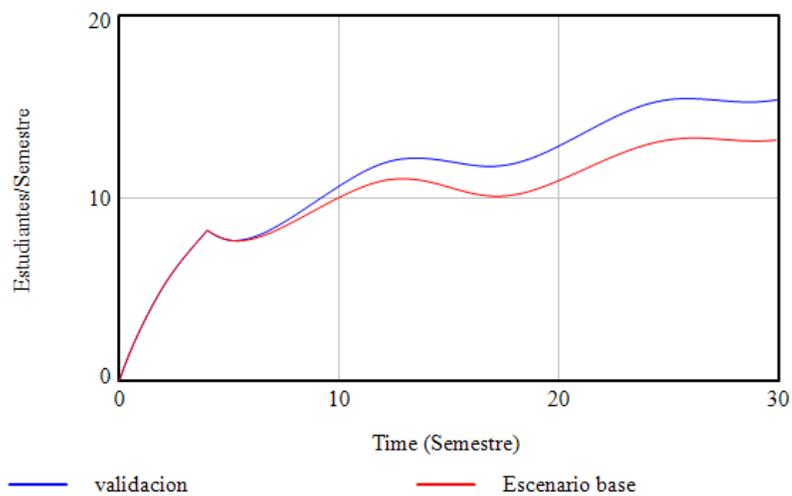


Figura 24. Tasa de voz a voz test de variación de la tasa de graduados. Fuente: Elaboración propia.

En definitiva, luego de realizar pruebas con diferentes valores en los parámetros mencionados y analizar el comportamiento del modelo, se encontró que el precio, el incremento del precio de matrículas y la inflación son parámetros sensibles del modelo. Cabe resaltar, que el sistema real también es muy sensible a los parámetros en cuestión.

Para concluir, en este test de validación no se encontró un conjunto de valores que hagan que el modelo falle en su comportamiento.

## 6. ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Se crearon escenarios de tipo “qué pasa si” con base en situaciones que pueden presentarse en el sistema real. Para esto, fue necesario definir los indicadores de desempeño del sistema, los cuales se detallan a continuación:

- Estudiantes de maestría virtual
- Estudiantes interesados
- Calidad de la enseñanza del programa maestría virtual

- Satisfacción de estudiantes de la maestría virtual
- Presupuesto de publicidad
- Presupuesto de capacitación
- Flujo de caja neto
- VPN – TIR

Para los resultados de los escenarios, se consideraron los valores promedio a lo largo de los 30 semestres de simulación de los siguientes indicadores: estudiantes de la maestría, estudiantes interesados, presupuesto de publicidad y presupuesto de capacitación.

### 6.1. Descripción de escenarios

Se propuso el escenario base con todos los parámetros y condiciones iniciales antes mencionados. A este escenario se le hicieron variaciones en sus parámetros y/o condiciones iniciales de acuerdo con lo que podría ocurrir en el sistema real. Los escenarios se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8. Resumen de escenarios. Fuente: Elaboración propia.

Escenario	Acción (variable afectada)	Criterio	Escenario base	Escenario	Cambio respecto al escenario base
1	Reducción del presupuesto de publicidad	Aumentar el flujo neto por el ahorro en publicidad	100%	50%	-50%
2	Reducción del presupuesto de capacitación	Aumentar el flujo neto por el ahorro en capacitación	100%	20%	-80%
3	Reducción del precio inicial de la matrícula	Incrementar el número de estudiantes en la maestría virtual	11 Millones COP precio de la matrícula	8 Millones COP precio de la matrícula	-27%
4	Reducción del precio de la matrícula y aumento del incremento	Incrementar el número de estudiantes en la maestría virtual y	11 Millones COP precio de la matrícula y 1,1%	8 Millones COP precio de la matrícula y 2%	-27% en precio de la matrícula y +80% en el incremento

Escenario	Acción (variable afectada)	Criterio	Escenario base	Escenario	Cambio respecto al escenario base
	semestral de la matrícula	obtener mayores ingresos por un mayor incremento	incremento semestral del precio	incremento semestral del precio	semestral de la matrícula
5	Reducción del precio de la matrícula y aumento del presupuesto máximo para invertir en publicidad	Incrementar el número de estudiantes en la maestría virtual	11 Millones COP precio de la matrícula y 5% de presupuesto máximo para invertir en publicidad	8 Millones COP precio de la matrícula y 8% de presupuesto máximo para invertir en publicidad	-27% en precio de la matrícula y +60% del presupuesto máximo para invertir en publicidad

Por otro lado, se asumió un valor de 410 Millones COP como inversión inicial, los cuales se desagregan a continuación: 1) 336 Millones COP por concepto de virtualización de todos los créditos de las asignaturas de la maestría, 48 Millones COP de 16 computadores, 16 Millones COP de la inversión inicial de publicidad y 10 Millones COP por concepto de imprevistos. Por otro lado, para el cálculo de los indicadores financieros se exportaron a Excel los valores del flujo de caja neto de los 15 años de la simulación y se asumió una tasa de descuento del 6% anual (Damodaran, 2021; Universidad de La Sabana, 2021a).

A continuación, se detallan los resultados de los escenarios:

## 6.2. Escenario base

De acuerdo con las condiciones iniciales del modelo y las características descritas anteriormente, se presentan los siguientes resultados para los indicadores (Ver Tabla 9):

Tabla 9. Resumen resultados del escenario base. Fuente: Elaboración propia.

<b>Indicador</b>	<b>Escenario base</b>
Valor Presente Neto (VPN) [Millones COP]	1 503,4
Tasa Interna de Retorno (TIR) [%]	27,2%
Periodo de recuperación descontado [años]	5,5
VPN Futuros / Inversión	4,7
Estudiantes [Número de estudiantes]	68
Estudiantes interesados [Número de estudiantes]	24
Presupuesto publicidad [Millones COP/Semestre]	12,2
Presupuesto capacitación [Millones COP/Semestre]	2,8

En la Figura 25 se evidencia que los niveles de estudiantes se mantienen sobre 75 estudiantes, sin embargo, no se cumple la meta propuesta debido a que a lo largo de la simulación hay estudiantes desertores. No obstante, los índices de los niveles de satisfacción y de calidad tienden a 0,73 aproximadamente. Los costos aumentan a lo largo del tiempo por efecto de la inflación y se presentan flujos de caja positivos. Estos resultados se explican con base en los análisis y comportamientos descritos previamente.

Se evidencia que en los primeros 4 semestres del flujo de caja neto se presentan oscilaciones debido a los cambios que se producen en la meta de estudiantes. Cuando la meta de estudiantes aumenta, hay una discrepancia mayor por lo cual se invierte más en publicidad y se reduce el flujo de caja neto. Sin embargo, se incrementan los estudiantes debido a la inversión en publicidad, lo que genera más ingresos. Adicionalmente, antes del semestre 8, se observa un aumento en el flujo de caja neto (ver Figura 25) que corresponde a la disminución presentada en la gráfica de costos por concepto de la actualización de las materias (en ese tiempo, se pasa de actualizar el 50% de las materias al 33% debido a la discrepancia de la calidad).

Por otro lado, a partir del semestre 8 aproximadamente se estabiliza el número de estudiantes y se presenta un comportamiento oscilatorio debido a los ciclos de retroalimentación de publicidad.

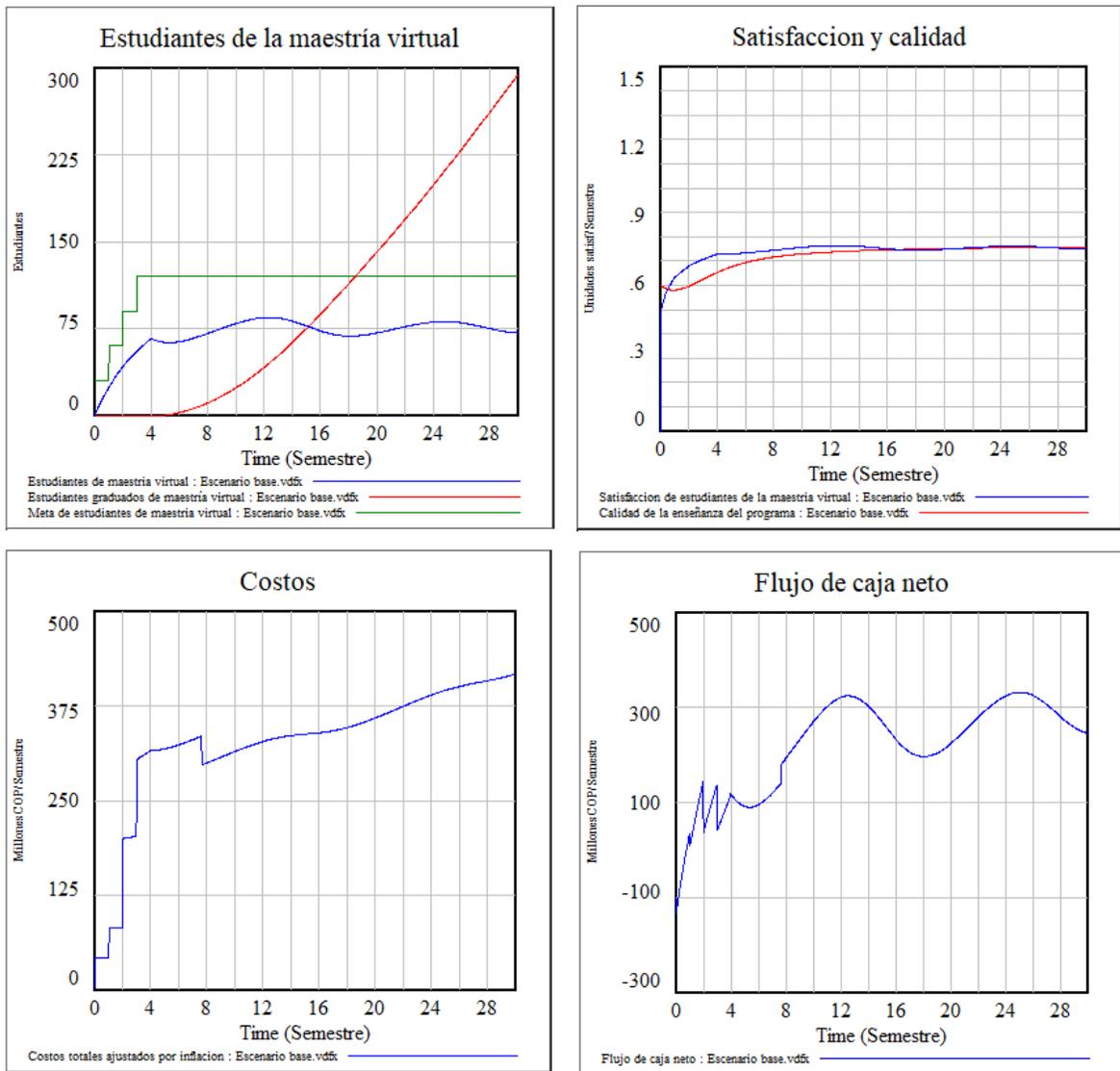


Figura 25. Resumen de indicadores del escenario base. Fuente: Elaboración propia.

### 6.3. Escenario 1

#### 6.3.1. Resultados – Escenario 1

El escenario 1 se establece con el concepto de *qué pasaría si* se reduce en un 50% el porcentaje máximo de los ingresos para inversión en publicidad, con el criterio de disminuir gastos. En cuanto al número de estudiantes del programa virtual, se presenta una reducción de aproximadamente del 25% (ver Figura 26). No se

presenta un cambio significativo en la calidad y la satisfacción respecto al escenario base. No obstante, al inicio del flujo de caja neto (ver Figura 27) se evidencia un comportamiento similar al escenario base, sin embargo, se presenta una disminución debido a que, al reducir el presupuesto en publicidad se presentan menos interesados, por lo que se obtienen menores ingresos de estudiantes matriculados. Por otro lado, el VPN y la TIR presentan valores positivos lo que representa que el proyecto sea viable financieramente y se recupere la inversión en el año 13.

Teniendo en cuenta los resultados promedio de los indicadores del escenario base y el escenario 1 (Tabla 10), se observa que en el escenario 1 hay un ahorro de 69 Millones COP en publicidad, lo cual implica una disminución de 1 342 Millones COP en el VPN (es decir, una reducción de 89%) en los 15 años de simulación.

Tabla 10. Resumen resultados promedio del escenario base y escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

<b>Indicador</b>	<b>Escenario base</b>	<b>Escenario 1</b>
Valor Presente Neto (VPN) [Millones COP]	1 503,4	161
Tasa Interna de Retorno (TIR) [%]	27,2%	9,2%
Periodo de recuperación descontado [años]	5,5	13,2
VPN Futuros / Inversión	4,7	1,4
Estudiantes [Número de estudiantes]	68	51
Estudiantes interesados [Número de estudiantes]	24	19
Presupuesto publicidad [Millones COP/Semestre]	12,2	9,9
Presupuesto capacitación [Millones COP/Semestre]	2,8	2,7

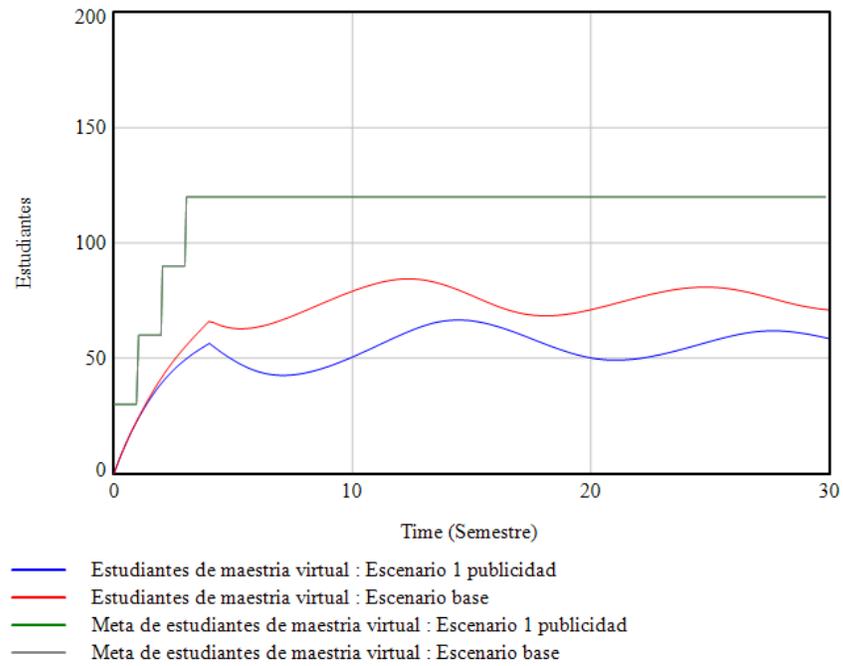


Figura 26. Estudiantes de la maestría virtual. Comparación entre escenario base y escenario 1.  
Fuente: Elaboración propia.

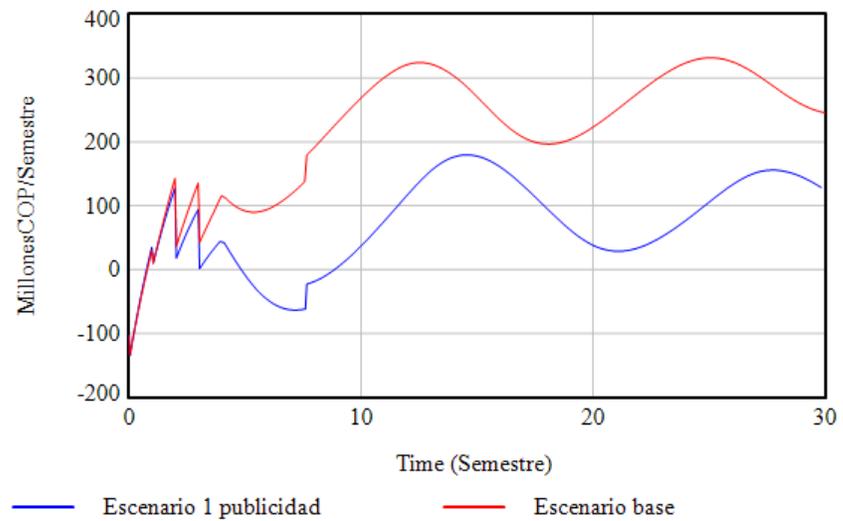


Figura 27. Flujo de caja neto de la maestría virtual. Comparación entre escenario base y escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

### 6.3.2. Análisis de resultados – Escenario 1

Con estos resultados de este escenario se observa que la disminución de presupuesto de publicidad no implica un aumento en el flujo de caja neto (por reducción de gastos), sino que, al contrario, se tienen menos estudiantes interesados en el programa (ver Figura 28); lo que conlleva a menores ingresos y, en definitiva, menor flujo de caja neto. Los ingresos por matrículas de estudiantes son menores al escenario base, sin embargo, son los suficientemente altos para cubrir los costos y gastos de la maestría; lo que genera un VPN positivo y una TIR mayor a la tasa de descuento del 6%.

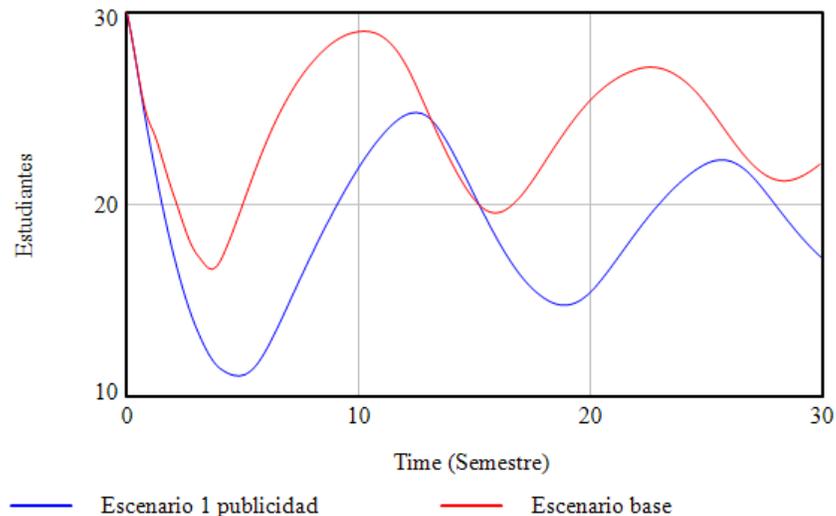


Figura 28. Estudiantes interesados. Comparación entre escenario base y escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

## 6.4. Escenario 2

### 6.4.1. Resultados – Escenario 2

El escenario 2 se establece con el concepto de *qué pasaría si* se reduce en un 80% el presupuesto de capacitación, con el fin de reducir gastos. En cuanto a los indicadores mencionados previamente no se presenta un cambio significativo respecto al escenario base. Asimismo, al inicio del flujo de caja neto (ver Figura 29)

se evidencia un comportamiento similar al escenario base, sin embargo, a lo largo de la simulación se la presentan valores inferiores debido a que incrementa el gasto en publicidad. Por otro lado, el VPN y la TIR presentan valores positivos lo que genera que el proyecto sea viable financieramente y se recupere la inversión en el año 7 (Ver Tabla 11).

Teniendo en cuenta los resultados promedio de los indicadores del escenario base y el escenario 2 (Tabla 11), se observa que el escenario 2 representa un ahorro de 40 Millones COP en capacitación y un gasto de 45 Millones COP más de publicidad. Este gasto genera una disminución de 558 Millones COP en el VPN (-37%) en los 15 años de simulación.

Tabla 11. Resumen resultados del escenario base y escenario 2. Fuente: Elaboración propia.

<b>Indicador</b>	<b>Escenario base</b>	<b>Escenario 2</b>
Valor Presente Neto (VPN) [Millones COP]	1 503,4	945,6
Tasa Interna de Retorno (TIR) [%]	27,2%	21,7%
Periodo de recuperación descontado [años]	5,5	6,5
VPN Futuros / Inversión	4,7	3,31
Estudiantes [Número de estudiantes]	68	64
Estudiantes interesados [Número de estudiantes]	24	25
Presupuesto publicidad [Millones COP/Semestre]	12,2	13,5
Presupuesto capacitación [Millones COP/Semestre]	2,8	1,5

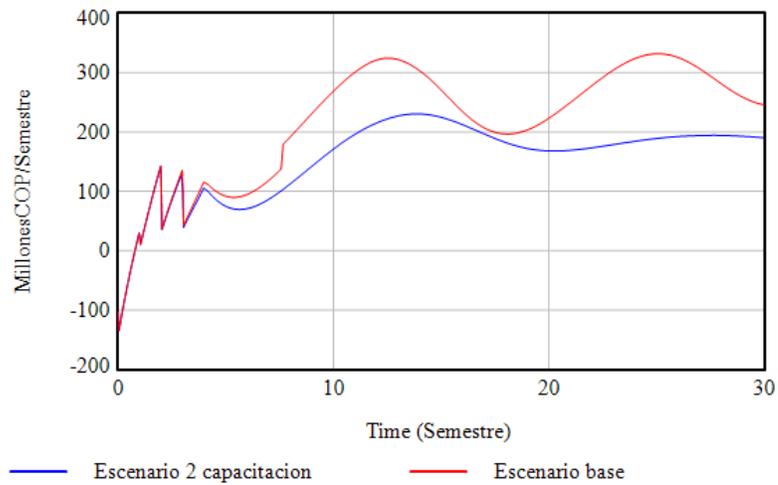


Figura 29. Flujo de caja neto de la maestría virtual. Comparación entre escenario base y escenario 2. Fuente: Elaboración propia.

#### 6.4.2. Análisis de resultados – Escenario 2

El comportamiento de este escenario se da debido a que se presenta una leve reducción en la satisfacción efecto de la disminución de la calidad de la enseñanza, lo que genera mayores deserciones (ver Figura 30 y Figura 31). Por lo tanto, el modelo busca ajustar la discrepancia de la meta de estudiantes a través de la inversión en publicidad (ver Figura 32). Esto genera que se presenten más interesados, sin embargo, se incrementan los egresos respecto al escenario base por el mismo gasto en publicidad.

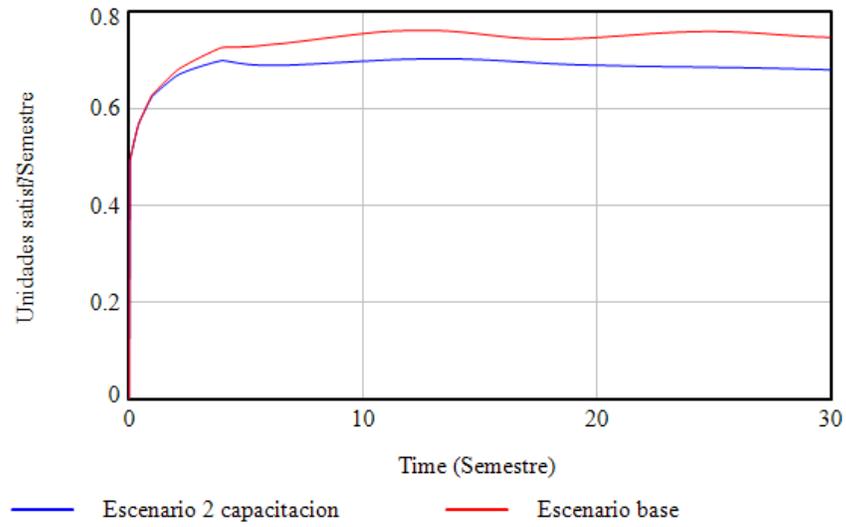


Figura 30. Satisfacción de estudiantes de la maestría virtual Comparación entre escenario base y escenario 2. Fuente: Elaboración propia.

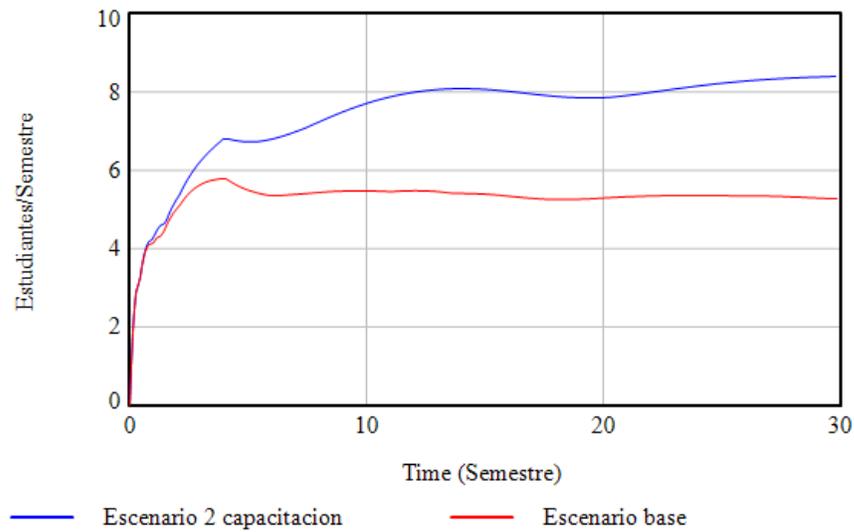


Figura 31. Tasa deserción de estudiantes. Comparación entre escenario base y escenario 2. Fuente: Elaboración propia.

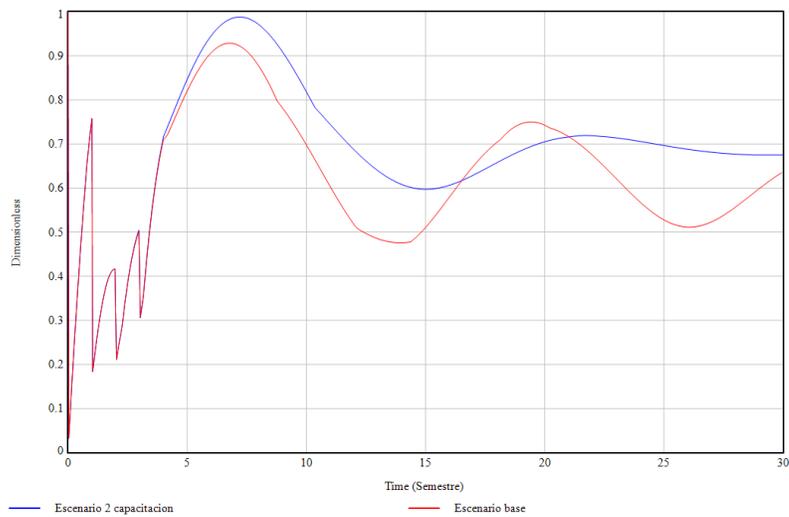


Figura 32. Porcentaje de inversión en publicidad respecto al valor máximo que produce mayor coeficiente  $p$ . Comparación entre escenario base y escenario 2. Fuente: Elaboración propia.

En el número de estudiantes (ver Figura 33) presenta un comportamiento más amortiguado respecto al escenario base dado que, como se mencionó anteriormente, aumentan los desertores por efecto de la disminución en la satisfacción. Sin embargo, al disminuir el número de estudiantes, domina el bucle de balance B1 *Inversión en publicidad atrae más estudiantes* lo que genera el aumento de inversión en publicidad para mantener el número de estudiantes a través del incremento de interesados. De acuerdo con este comportamiento, se evidencia que, al disminuir 1 Millón COP el presupuesto promedio de capacitación, se incrementa 1,12 Millones COP el presupuesto promedio de publicidad. Esto genera que, los indicadores de estudiantes interesados y de estudiantes de la maestría se mantengan similares respecto al escenario base.

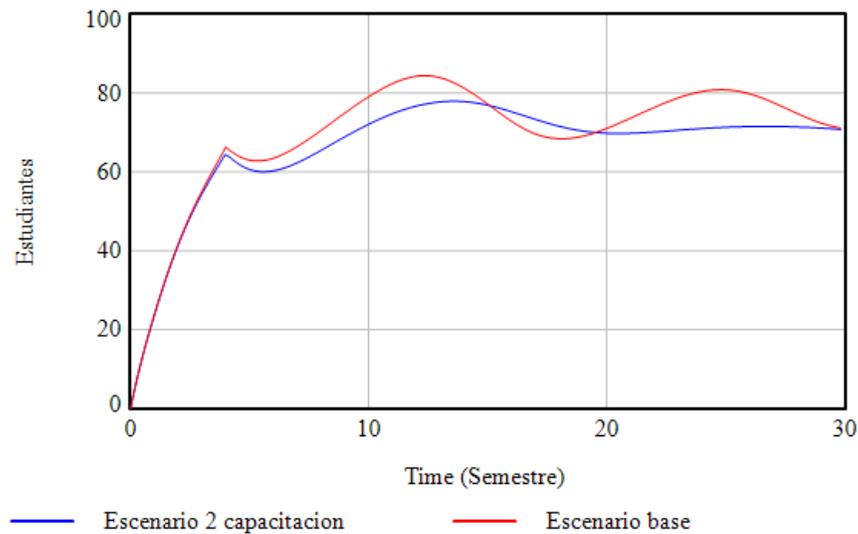


Figura 33. Estudiantes de la maestría virtual. Comparación entre escenario base y escenario 2. Fuente: Elaboración propia.

De estos resultados se deduce que la capacitación de los docentes es necesaria, y aunque se pretenda ahorrar recursos en este rubro, el sistema intenta alcanzar la meta de estudiantes invirtiendo más en publicidad, lo que genera un impacto negativo en el VPN del proyecto.

Cabe resaltar que, inicialmente, se consideró que el comportamiento se daba debido a que el presupuesto destinado alcanza a cubrir un porcentaje de las horas de capacitación necesarias, lo que produce una reducción en la calidad de la enseñanza y disminución de gastos. Esto refuerza el beneficio de la dinámica de sistemas para identificar relaciones causales que no se ven a simple vista.

## 6.5. Escenario 3

### 6.5.1. Resultados – Escenario 3

El escenario 3 se establece con el concepto de *qué pasaría si* se inicia con un valor inferior (de 11 Millones COP a 8 Millones COP) de precio de la matrícula, con el fin de contar con mayor número de estudiantes. En cuanto al número de estudiantes del programa virtual, hay una reducción de aproximadamente del 12%. Además, no

se presenta un cambio significativo en la calidad y la satisfacción. No obstante, se observa un cambio ostensible en el flujo de caja neto (ver Figura 34), ya que, al disminuir el precio de la matrícula, se obtienen menores ingresos. Por otro lado, el VPN y la TIR presentan un valor negativo por lo que el escenario no es viable financieramente (ver Tabla 12).

Tabla 12. Indicadores financieros del escenario base y escenario 3. Fuente: Elaboración propia.

Indicador	Escenario base	Escenario 3
Valor Presente Neto (VPN) [Millones COP]	1 503,4	-557
Tasa Interna de Retorno (TIR) [%]	27,2%	-
Periodo de recuperación descontado [años]	5,5	-
VPN Futuros / Inversión	4,7	-
Estudiantes [Número de estudiantes]	68	60
Estudiantes interesados [Número de estudiantes]	24	22
Presupuesto publicidad [Millones COP/Semestre]	12,2	11,2
Presupuesto capacitación [Millones COP/Semestre]	2,8	2,8

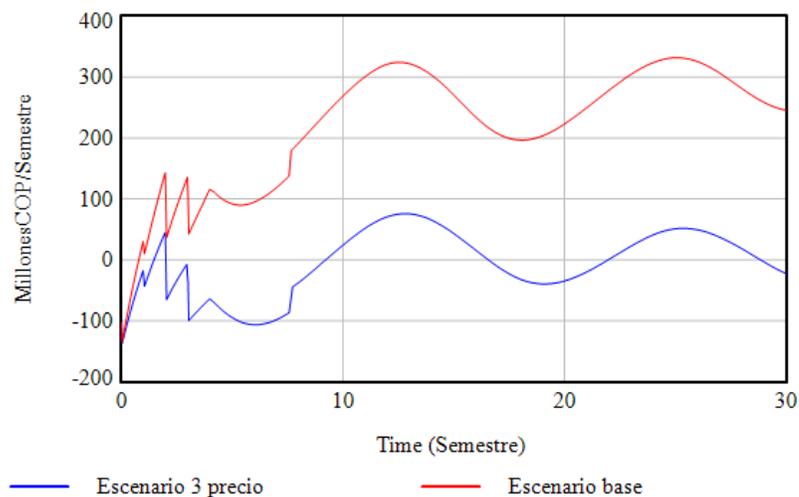


Figura 34. Flujo de caja neto de la maestría virtual. Comparación entre escenario base y escenario 3. Fuente: Elaboración propia.

### 6.5.2. Análisis de resultados – Escenario 3

Se observa que, al iniciar con un valor de 8 Millones COP de precio de matrícula, los estudiantes de la maestría se mantienen por satisfacción, como se aprecia en la Figura 35. Sin embargo, los ingresos no son los suficientemente altos para cubrir los costos y gastos de la maestría; lo cual genera flujos de caja negativos y que el proyecto no sea viable desde el punto de vista financiero.

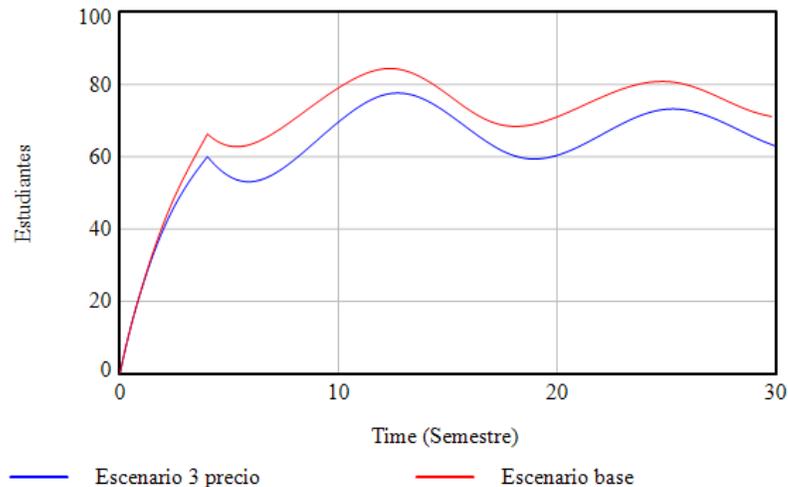


Figura 35. Estudiantes de maestría virtual y estudiantes interesados. Comparación entre escenario base y escenario 3. Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 36, al bajar el precio de la matrícula, el valor de la inversión en publicidad es menor (depende de los ingresos), lo que hace disminuir los interesados y, por ende, los estudiantes matriculados. Para ajustar la discrepancia de estudiantes se incrementa el porcentaje de ingresos destinados a publicidad (ver Figura 37). Sin embargo, el valor no alcanza a generar los interesados necesarios para incrementar los estudiantes matriculados.

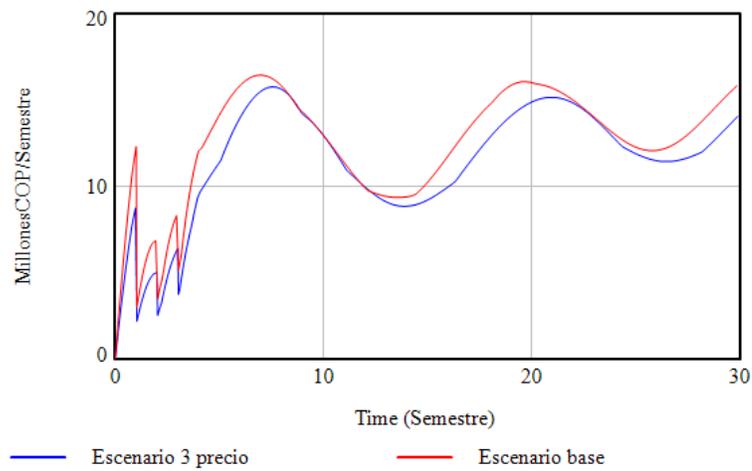


Figura 36. Presupuesto de publicidad. Comparación entre escenario base y escenario 3. Fuente: Elaboración propia.

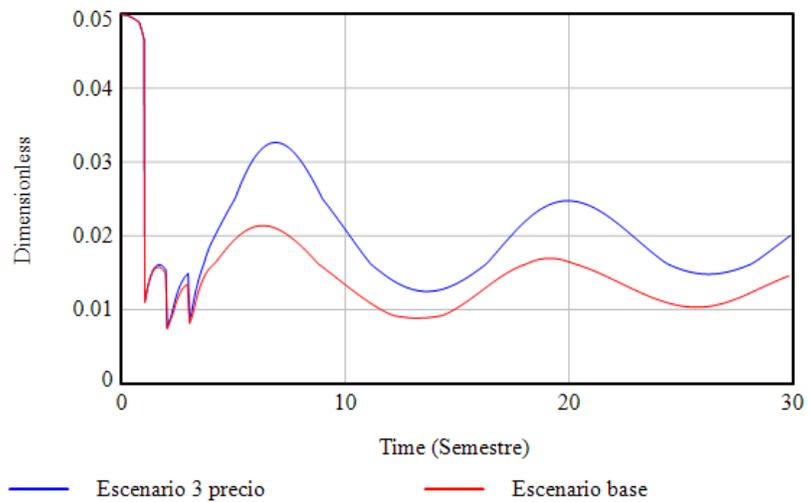


Figura 37. Porcentaje de ingresos para presupuesto de publicidad. Comparación entre escenario base y escenario 3. Fuente: Elaboración propia.

## 6.6. Escenario 4

### 6.6.1. Resultados – Escenario 4

El escenario 4 se establece con el concepto de *qué pasaría si* se inicia con un valor inferior (de 11 Millones COP a 8 Millones COP) del precio de la matrícula y adicionalmente, se incrementa el precio en un 2% semestralmente, con el fin de

observar el efecto en la satisfacción de los estudiantes y los flujos de caja. En cuanto al número de estudiantes del programa virtual, se presenta una reducción (respecto al escenario base) al inicio de la maestría y un aumento a partir del semestre 6 (ver Figura 38). Se presenta una disminución de aproximadamente el 14% en la satisfacción. Cabe mencionar que no se presenta un cambio significativo en la calidad respecto al escenario base. No obstante, se observa que en el flujo de caja (Figura 39) inicialmente se presentan valores negativos y a partir del semestre 12 se presentan flujos positivos; dado que, al inicio, se obtienen menores ingresos por el precio de la matrícula de los estudiantes. En este escenario el VPN y la TIR presentan un valor negativo por lo que el escenario no es viable financieramente. Los resultados del escenario 4 se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Indicadores financieros del escenario base y escenario 4. Fuente: Elaboración propia.

<b>Indicador</b>	<b>Escenario base</b>	<b>Escenario 4</b>
Valor Presente Neto (VPN) [Millones COP]	1 503,4	-575
Tasa Interna de Retorno (TIR) [%]	27,2%	-
Periodo de recuperación descontado [años]	5,5	-
VPN Futuros / Inversión	4,7	-
Estudiantes [Número de estudiantes]	68	53
Estudiantes interesados [Número de estudiantes]	24	24
Presupuesto publicidad [Millones COP/Semestre]	12,2	14,7
Presupuesto capacitación [Millones COP/Semestre]	2,8	2,7

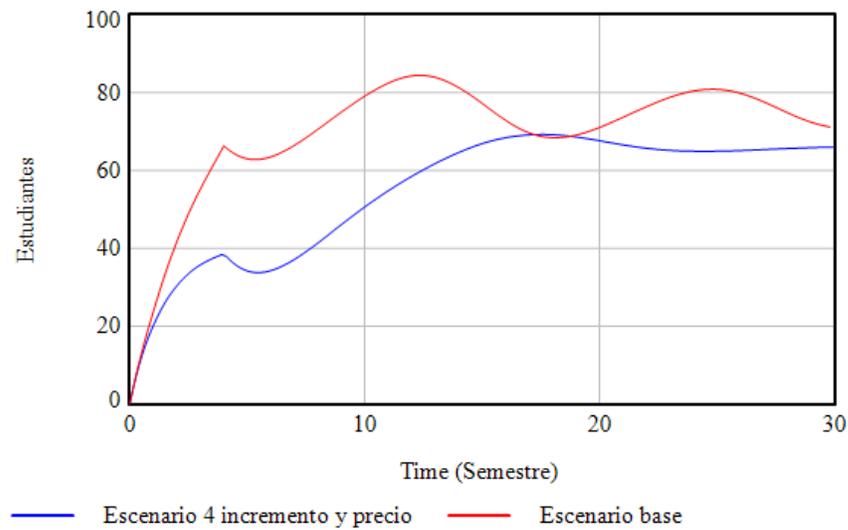


Figura 38. Estudiantes de maestría virtual y estudiantes interesados. Comparación entre escenario base y escenario 4. Fuente: Elaboración propia.

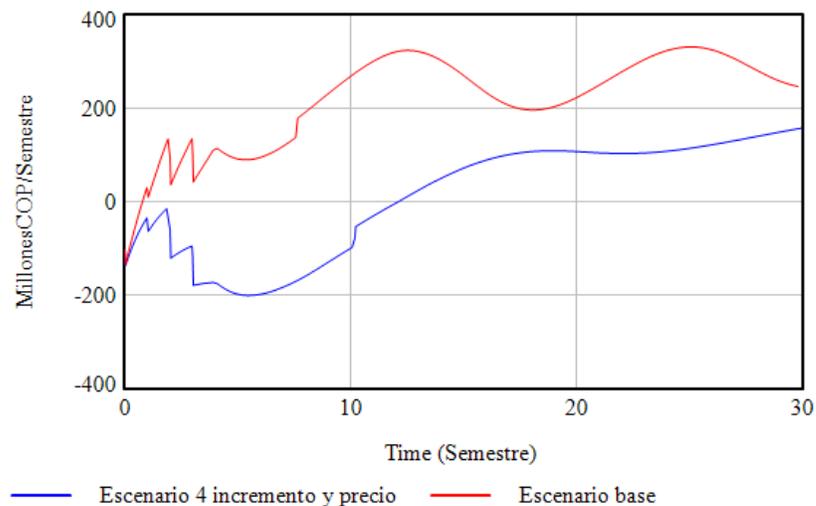


Figura 39. Flujo de caja neto. Comparación entre escenario base y escenario 4. Fuente: Elaboración propia.

### 6.6.2. Análisis de resultados – Escenario 4

El comportamiento del escenario se da porque, inicialmente, aumentan los desertores como consecuencia del incremento en el precio (ver Figura 40). Sin embargo, no se obtienen suficientes ingresos para invertir en publicidad y generar

nuevos interesados que incrementen el número de estudiantes. Cabe resaltar que, a partir del semestre 6, se presenta un incremento en los estudiantes puesto que los ingresos aumentan significativamente (por el precio de la matrícula) y se genera una mayor inversión en publicidad para aumentar el número de estudiantes (ver Figura 41).

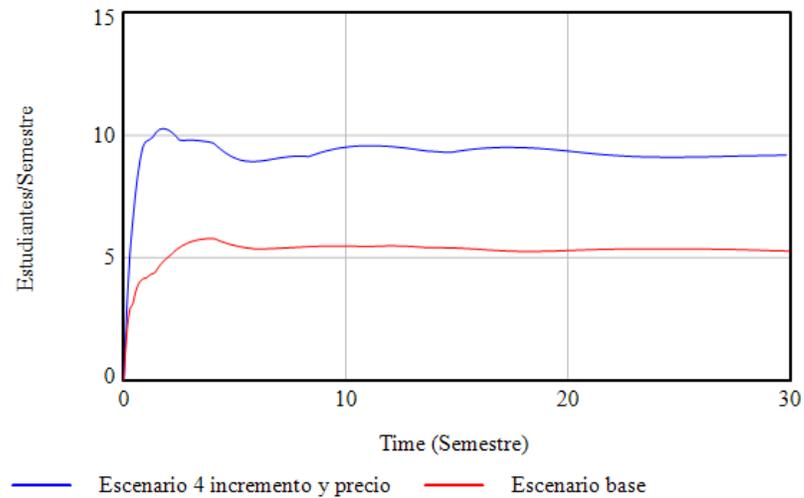


Figura 40. Tasa de deserción estudiantes. Comparación entre escenario base y escenario 4. Fuente: Elaboración propia.

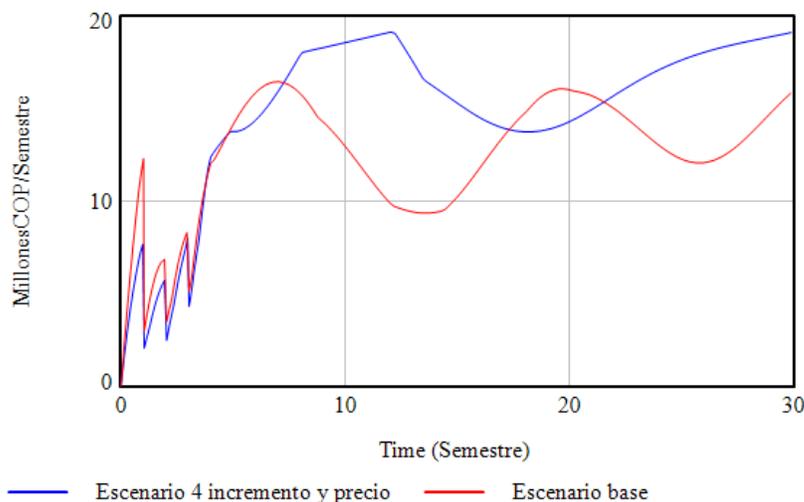


Figura 41. Presupuesto de publicidad. Comparación entre escenario base y escenario 4. Fuente: Elaboración propia.

El resultado de este escenario evidencia una búsqueda de invertir recursos (en publicidad) para mitigar los estudiantes desertores y generar más interesados para incrementar los matriculados en la maestría.

## 6.7. Escenario 5

### 6.7.1. Resultados – Escenario 5

El escenario 5 se establece con el concepto de *qué pasaría si* se inicia con un valor inferior (de 11 Millones COP a 8 Millones COP) de precio de la matrícula y se incrementa el valor máximo de ingresos que se puede invertir en publicidad (del 5% al 8%). En cuanto al número de estudiantes de la maestría, se evidencia un nivel mayor respecto al escenario base (ver Figura 42) debido al incremento de publicidad. No se presenta un cambio significativo en la calidad y la satisfacción respecto al escenario base. Por otro lado, el VPN y la TIR presentan valores positivos lo que genera que el proyecto sea viable financieramente y se recupere la inversión en el año 14 (ver Tabla 14).

Tabla 14. Resumen resultados del escenario base y escenario 5. Fuente: Elaboración propia.

Indicador	Escenario base	Escenario 5
Valor Presente Neto (VPN) [Millones COP]	1 503,4	52,4
Tasa Interna de Retorno (TIR) [%]	27,2%	7,1%
Periodo de recuperación descontado [años]	5,5	14,11
VPN Futuros / Inversión	4,7	1,13
Estudiantes [Número de estudiantes]	68	71
Estudiantes interesados [Número de estudiantes]	24	25
Presupuesto publicidad [Millones COP/Semestre]	12,2	12,7
Presupuesto capacitación [Millones COP/Semestre]	2,8	2,9

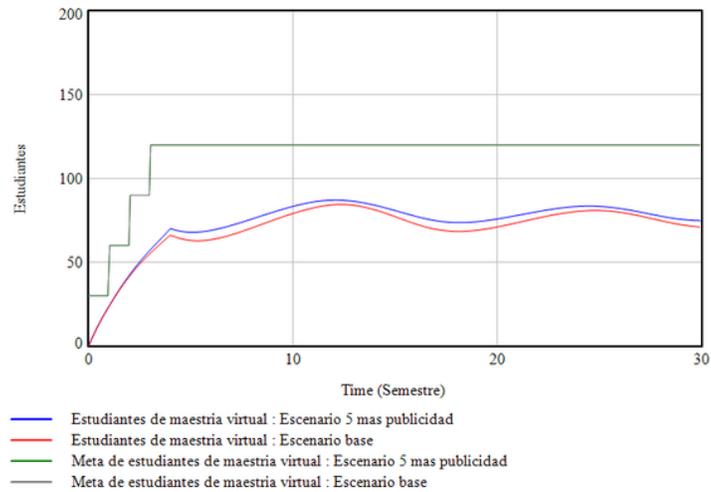


Figura 42. Estudiantes de la maestría virtual. Comparación entre escenario base y escenario 5. Fuente: Elaboración propia.

### 6.7.2. Análisis de resultados – Escenario 5

El comportamiento de este escenario se da debido a que la satisfacción se mantiene similar al escenario base por efecto del bajo precio de la matrícula (ver Figura 43); y como se destina un mayor porcentaje de los ingresos a inversión en publicidad (ver Figura 44), se fomenta la generación de interesados lo que resulta en un mayor número de estudiantes matriculados y por lo tanto, mayores ingresos.

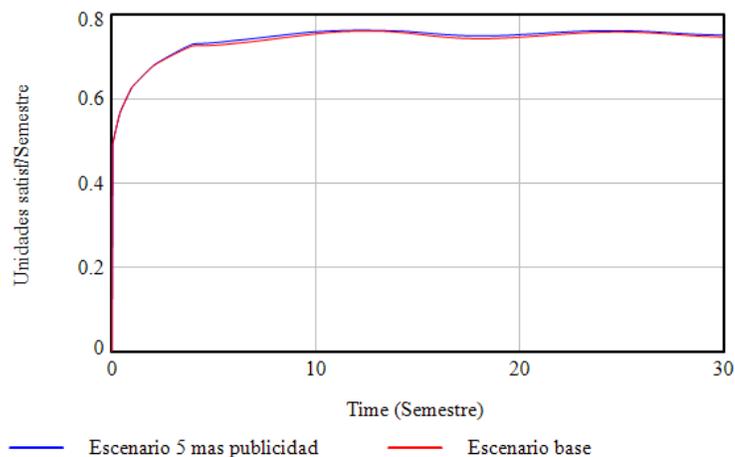


Figura 43. Satisfacción de estudiantes maestría virtual. Comparación entre escenario base y escenario 5. Fuente: Elaboración propia.

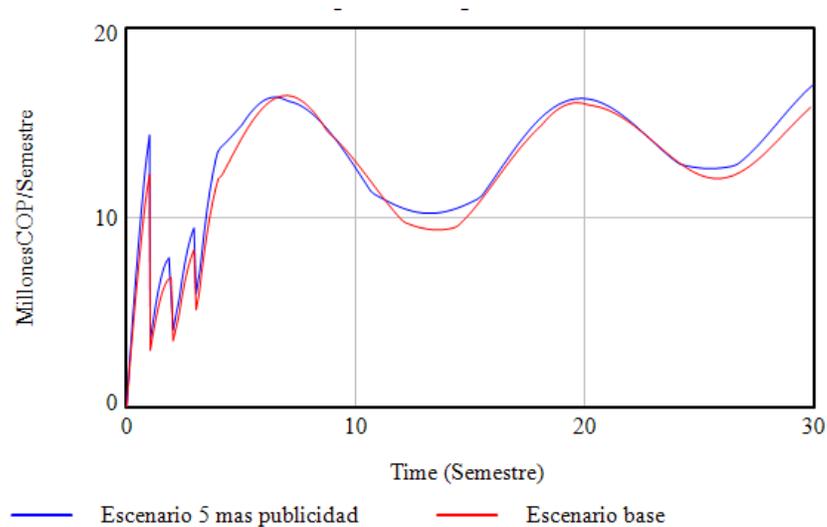


Figura 44. Presupuesto de publicidad. Comparación entre escenario base y escenario 5. Fuente: Elaboración propia.

Igualmente, debido a que a lo largo de la simulación se va incrementando el precio de la matrícula y el número de estudiantes también incrementa por efecto de la publicidad, a partir del semestre 7 los ingresos son mayores que los egresos por lo que se obtienen flujos de caja positivos (ver Figura 45).

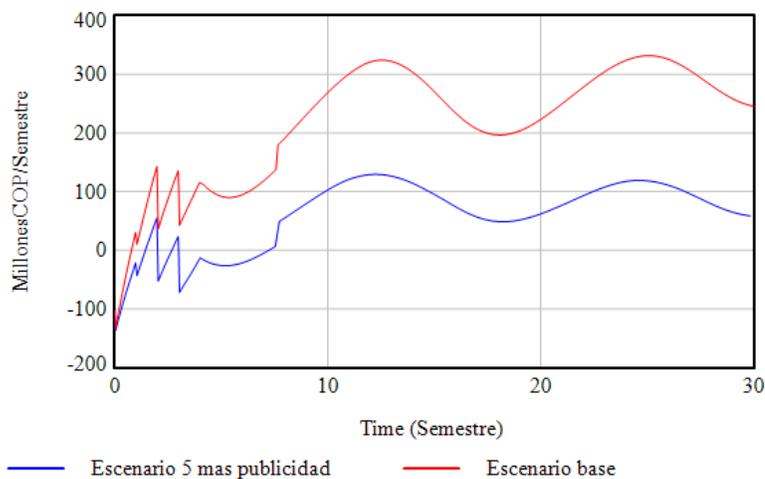


Figura 45. Flujo de caja neto de la maestría virtual Comparación entre escenario base y escenario 5. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los resultados de este escenario, se evidencia que el modelo compensa la reducción de precio con el incremento de estudiantes a través de la generación de interesados por publicidad.

### 6.8. Discusión de escenarios

- De acuerdo con los resultados del escenario base y el escenario 5, se puede ser más competitivo en el mercado con un precio inicial de la matrícula menor al precio de referencia. Sin embargo, para mantener los niveles de estudiantes, calidad, satisfacción y flujos de efectivo deseados, se debe incrementar el porcentaje máximo de los ingresos que se pueden invertir en publicidad.
- Con base en los resultados de las pruebas de robustez y el escenario 2 que impactaban el presupuesto de capacitación, se infiere que máximo se pueden reducir en un 80% los niveles de presupuesto asignado a capacitación y mantener los niveles de estudiantes, calidad, satisfacción y un VPN positivo. Se puede mantener en niveles bajos, pero es indispensable contar con capacitación.
- De acuerdo con los resultados de los escenarios, se confirmó que la publicidad es una variable crítica puesto que de esta depende el número de interesados, que después se convierten en estudiantes de la maestría. Asimismo, como en el modelo se mide la discrepancia entre la meta de estudiantes y los estudiantes matriculados, se refuerzan los lazos de retroalimentación que buscan aumentar el nivel de estudiantes y esto se obtiene principalmente por la inversión en publicidad.
- Teniendo en cuenta la prueba de condiciones extremas *Meta de estudiantes superior a la capacidad de la maestría* se identificó que independientemente de la meta de estudiantes y la capacidad de la maestría, el sistema se encuentra limitado por los coeficientes de innovación y voz a voz. Por ende, no se puede forzar al sistema a que cada vez genere más interesados.

## 7. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta los resultados de la evaluación de una inversión en virtualización de un programa de maestría de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de La Sabana, a través de la elaboración de un modelo de simulación empleando la metodología de Dinámica de Sistemas. Los resultados arrojados por el modelo evidenciaron que la inversión en virtualización de un programa de maestría puede generar resultados financieros positivos para la Facultad de Ingeniería.

Los diagramas de módulos permiten identificar la naturaleza dinámica de la estructura de la virtualización del programa y las relaciones causales complejas entre los subsistemas que la conforman como: número de estudiantes, satisfacción de estudiantes, virtualización y, finanzas y presupuestos. Adicionalmente, esta representación le permite a la administración universitaria un mejor entendimiento de las relaciones causa-efecto entre las variables involucradas en la virtualización de un programa de maestría y los resultados de su implementación.

Mediante la integración de la dinámica de sistemas y el cálculo tradicional de los indicadores financieros, se obtienen los resultados de las decisiones estratégicas, respecto a la virtualización de un programa de maestría, antes de ser implementadas. Esto debido a que, la dinámica de sistemas permite simular estas decisiones en el sistema y los cálculos se realizan con base en valores dinámicos que son establecidos bajo las diferentes relaciones causales de las variables involucradas en el modelo.

En definitiva, el modelo puede ser replicado por otras universidades interesadas en tomar decisiones estratégicas en torno a los procesos de innovación de educación virtual.

## **8. RECOMENDACIONES**

El modelo realizado consolida una base para entender y tomar decisiones estratégicas en torno a la virtualización de un programa de maestría. Para futuros trabajos se propone ampliar las definiciones del modelo respecto a los niveles de calidad objetiva y su efecto en el posicionamiento del programa. Adicionalmente, construir nuevos escenarios que tengan en cuenta: el dinamismo del impacto y el atractivo de la maestría en el mercado, la competencia con otros programas y universidades, un aumento en la capacidad de acuerdo con las dinámicas del mercado y, el comportamiento de los estudiantes en cada uno de los semestres. De esta forma, se ampliaría el entendimiento de las relaciones causales de las variables que inciden en la virtualización educativa.

## Referencias

- Alonso, J., & Arellano, A. (2015). Heterogeneidad y difusión de la economía digital : el caso español. *BBVA Research*, 15(28).
- Aves, J. (2016). Customer Think. Recuperado de If customer satisfaction is not enough, how do we create fans? website: <https://customerthink.com/if-customer-satisfaction-is-not-enough-how-do-we-create-fans/>
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, 12(3).
- Becerra, L. (2020, abril 27). La República. *Universidades evalúan dar clases con un modelo 'blended' para el otro semestre*. Recuperado de <https://www.larepublica.co/empresas/universidades-evaluan-de-dar-clases-con-un-modelo-blended-para-el-otro-semester-2997845>
- Benner, S. (2020). Boise State University. Recuperado de Disruptive Innovation in Higher Education website: <https://www.boisestate.edu/bluereview/disruptive-innovation-in-higher-education/>
- Chen, L.-H., & Chen, C.-N. (2014). A QFD-Based Mathematical Model for New Product Development Considering the Target Market Segment. *Journal of Applied Mathematics*.
- Christensen, C., Kaufman, S., & Shih, W. (2008). Las Asesinas de la Innovación. *Harvard Business Review*, 86, 78–85.
- Corporación Universitaria Minuto de Dios. (2021). *Educación virtual no es educación remota*. Recuperado de <https://virtual.uniminuto.edu/blog/educacion-virtual-no-es-educacion-remota/>
- Damodaran, A. (2021). Damodaran Online. Recuperado de Data: Current - Discount Rate Estimation website: <http://www.stern.nyu.edu/~adamodar/pc/datasets/DollarGlobal.xls>
- Dávila, F. (2020). Razón Pública. *Virtualizar la educación: una oportunidad dorada*. Recuperado de <https://razonpublica.com/virtualizar-la-educacion-una-oportunidad-dorada/>
- Devaney, J., Shimshon, G., Rascoff, M., & Maggioncalda, J. (2020). Higher Ed Needs a Long-Term Plan for Virtual Learning. *Harvard Business Review*. Recuperado de <https://hbr.org/2020/05/higher-ed-needs-a-long-term-plan-for-virtual-learning>
- EAE Business School. (s/f). EAE Business School. Recuperado el 14 de marzo de 2021, de ¿Qué es la calidad percibida y cómo se mide? website: [https://www.eaeprogramas.es/blog/marketing/que-es-la-calidad-percibida-y-como-se-mide#:~:text=La calidad percibida es "la,percepción%2C un criterio completamente subjetivo.](https://www.eaeprogramas.es/blog/marketing/que-es-la-calidad-percibida-y-como-se-mide#:~:text=La calidad percibida es )
- Economist Intelligence Unit. (2020). The Economist Intelligence Unit. En *New schools of thought. Innovative models for delivering higher education*. Londres.
- Eisenbeiss, M., Cornelissen, M., Backhaus, K., & Hoyer, W. D. (2014). Nonlinear and asymmetric returns on customer satisfaction : do they vary across situations and consumers ? *Journal of the Academic Marketing Science*, 242–263. <https://doi.org/10.1007/s11747-013-0366-1>
- Fontalvo, T., Morelos, J., & Mendoza, A. (2019). Evaluación de la eficiencia de las empresas del sector carbón en Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, Vol. 27, pp. 43–55.
- Forrester, J. (1997). Industrial Dynamics. *Journal of the Operational Research Society*, 48(10), 1037–1041. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600946>
- Forrester, J., & Senge, P. (1979). Tests for building confidence in system dynamics models. *M.I.T. System*

*Dynamics Group.*

- GitHub. (s/f). GitHub. Recuperado de Chapter 15 Product Market Forecasting using the Bass Model website: <https://srdas.github.io/MLBook/productForecastingBassModel.html>
- Govindarajan, V., & Srivastava, A. (2020). What the Shift to Virtual Learning Could Mean for the Future of Higher Ed. *Harvard Business Review*. Recuperado de <https://hbr.org/2020/03/what-the-shift-to-virtual-learning-could-mean-for-the-future-of-higher-ed>
- Graham, J., & Harvey, C. (2002). HOW DO CFOs MAKE CAPITAL BUDGETING AND CAPITAL STRUCTURE DECISIONS? *Journal of Applied Corporate Finance*, 15(1), 8–23. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6622.2002.tb00337.x>
- Grüneisen, P., Stahl, B., Kasperek, D., Maurer, M., & Lohmann, B. (2015). Qualitative System Dynamics Cycle Network of the Innovation Process of Product Service Systems. *Procedia CIRP*, 30, 120–125. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.189>
- Haigh, A. (2020). Brand Finance. Recuperado de Measuring Return on Marketing Investment (ROMI) website: <https://brandfinance.com/insights/measuring-marketing-romi>
- Hamel, G. (2012). *Lo que importa ahora*. Bogotá, Colombia: Grupo Editorial Norma.
- Hawari, N., & Tahar, R. (2010). System Dynamics Simulation Model for Higher Education Strategic Planning. *Asian Pacific Operational Research Conference*, 1–6. Recuperado de <http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/4221/1/scan0003.pdf>
- Hawari, N., & Tahar, R. (2011). *Some issues in the strategic university management*. 1–5.
- Hawari, N., & Tahar, R. (2015). A dynamic model of balanced scorecard to enhance strategic university planning process. *International Symposium on Mathematical Sciences and Computing Research*, 361–366.
- Hussein, S. (2010). Education Quality Control Based on System Dynamics and Evolutionary Computation, Modeling Simulation and Optimization - Focus on Applications. *InTech*, (April). <https://doi.org/10.5772/8963>
- Hussein, S., & Abo El-Nasr, M. (2013). Resources Allocation in Higher Education based on System Dynamics and Genetic Algorithms. *International Journal of Computer Applications*, 77(10), 40–48. <https://doi.org/10.5120/13434-1136>
- Ibáñez, F. (2020, noviembre). Observatorio. *Educación en línea, Virtual, a Distancia y Remota de Emergencia, ¿cuáles son sus características y diferencias?* Recuperado de <https://observatorio.tec.mx/edu-news/diferencias-educacion-online-virtual-a-distancia-remota>
- Kenton, W. (2021). Investopedia. Recuperado de Demand Curve website: <https://www.investopedia.com/terms/d/demand-curve.asp>
- Kodukula, P., & Papudesu, C. (2006). *Project valuation using real options : a practitioner's guide*. Fort Lauderdale, Florida, United States of America: J. Ross Publishing, Inc.
- Krishnamurthy, S. (2020). The future of business education: A commentary in the shadow of the Covid- 19 pandemic. *Journal of Business Research*, 117(1–5).
- Liu, X., Ma, S., Tian, J., Jia, N., & Li, G. (2015). A system dynamics approach to scenario analysis for urban passenger transport energy consumption and CO 2 emissions : A case study of Beijing. *Energy Policy*, 85, 253–270. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.007>

- Machado, C. P., Wolf, M. I., & Sellito, M. (2019). System Dynamics and Learning Scenarios for Process Improvement and Regional Resilience: A Study in The Footwear Industry of Southern Brazil. *Systemic Practice and Action Research*, 32, 663–686. <https://doi.org/10.1007/s11213-019-9480-4>
- Mahajan, V., Muller, E., & Bass, F. (1990). New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research. *Journal of Marketing*, 54(1), 1–26.
- Marketingintel. (s/f). Marketinginteli. Recuperado de ¿Qué es la publicidad y cómo funciona? website: <https://www.marketinginteli.com/documentos-marketing/integrated-marketing-communications/efectos-de-la-publicidad/#:~:text=Efectos de corto plazo%3A Relacionados,y reconocimiento de las marcas.>
- Menard, J. (2021). ListedTech. Recuperado de Average Lifespan Of IT Systems In Higher Education website: <https://www.listedtech.com/blog/average-lifespan-of-it-systems-in-higher-education>
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2019). *Ministerio de Educación Nacional Información Nacional 2010-2018 Educación Superior*.
- Nava, R., & Marbelis, A. (2009). Análisis financiero: una herramienta clave para una gestión financiera eficiente. En *Revista Venezolana de Gerencia (RVG) Año* (Vol. 14).
- Ofek, E. (2007). Harvard Business School. *Forecasting the Adoption of a New Product*.
- Onkham, W. (2013). *A Real Option Dynamic Decision (rodd) Framework For Operational Innovations* (Tesis doctoral, University of Central Florida, United States of America). Recuperado de <https://stars.library.ucf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3873&context=etd>
- Ospina, F. (2020). *Revista Empresarial y Laboral. Reinventando la educación superior en Colombia*. Recuperado de <https://revistaempresarial.com/educacion/reinventado-la-educacion-superior-en-colombia/#respond>
- Oyo, B. (2010). *Integration of System Dynamics and Action Research with Application to Higher Education Quality Management*. Makerere University.
- Pereira, M. (2014). *Educación superior universitaria: calidad percibida y satisfacción de los egresados*. Universidad de A Coruña.
- Sapag, N. (2011). *Proyectos de inversión. Formulación y evaluación 2da edición*. Chile: Pearson Education.
- Soffer, T., Nachmias, R., & Ram, J. (2010). Diffusion of Web Supported Instruction in Higher Education - The Case of Tel-Aviv University. *Educational Technology and Society*, 13(3).
- Sokele, M., & Moutinho, L. (2018). Bass Model with Explanatory Parameters. *Innovative Research Methodologies in Management*.
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics, System Thinking and Modeling for a Complex World* (Vol. 19). Boston, United States of America: McGraw-Hill.
- Strielkowski, W. (2020). *COVID-19 pandemic and the digital revolution in academia and higher education*. <https://doi.org/10.20944/preprints202004.0290.v1>
- Tako, A. A., & Robinson, S. (2011). The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context. *Decision Support Systems*, 52, 802–815. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2011.11.015>
- Trading Economics. (2021). Trading Economics. Recuperado de Colombia Inflation Rate website: <https://tradingeconomics.com/colombia/inflation-cpi>

- Universidad de La Sabana. (2020). Universidad de La Sabana. Recuperado de Sabana E-Learning: educación virtual para los nuevos tiempos website: <https://www.unisabana.edu.co/portaldenoticias/paso-en-la-sabana/sabana-e-learning/>
- Universidad de La Sabana. (2021a). *Estados Financieros por los años terminados el 31 de diciembre de 2020 y 2019 e Informe del Revisor Fiscal*.
- Universidad de La Sabana. (2021b). *Informe justificación de los incrementos de la matrícula año 2021*. Recuperado de [https://www.unisabana.edu.co/fileadmin/Archivos\\_de\\_usuario/Documentos/Documentos\\_la\\_Universidad/derechos\\_pecuniarios/2021-informe-justificacion\\_de-los-incrementos-de-la-matricula-para-el.pdf](https://www.unisabana.edu.co/fileadmin/Archivos_de_usuario/Documentos/Documentos_la_Universidad/derechos_pecuniarios/2021-informe-justificacion_de-los-incrementos-de-la-matricula-para-el.pdf)
- Universidad de La Sabana. (2021c). Universidad de La Sabana. Recuperado de Diplomados y Seminarios website: <https://www.unisabana.edu.co/programas/educacion-continua/diplomados-y-seminarios/>
- Van Wassenhove, L. N., & Besiou, M. (2013). Complex problems with multiple stakeholders: how to bridge the gap between reality and OR/MS? *Journal of Business Economics*, 83(1), 87–97. <https://doi.org/10.1007/s11573-012-0643-3>
- Villarreal Larrinaga, O., & Landeta Rodríguez, J. (2010). El estudio de casos como metodología de investigación científica en dirección y economía de la empresa. Una aplicación a la internacionalización. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 16(3), 31–52. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1135-2523\(12\)60033-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1135-2523(12)60033-1)
- Zaini, R., Saeed, K., Radzicki, M. J., & Pavlov, O. (2013). A System Dynamics Analysis of Organizational Change. *Strategies for University Growth*, (July). Worcester.
- Zambrano, J. (2016). Factores predictores de la satisfacción de estudiantes de cursos virtuales. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 19(2), 217–235.
- Zawadzki, T. (2009). Applying system dynamics modeling to IT project management. *IFAC Proceedings Volumes*, 14(1), 152–157. <https://doi.org/10.3182/20090819-3-pl-3002.00027>

## ANEXOS

### ANEXO A: Variables involucradas en los bucles de retroalimentación

Variable	Descripción
Discrepancia del número de estudiantes de la maestría	Diferencia entre la meta de estudiantes y los estudiantes actualmente en la maestría.
Presupuesto de publicidad	Dinero destinado a publicidad. Depende del valor de los ingresos monetarios.
Estudiantes de maestría virtual	Número de estudiantes actuales en la Maestría Virtual. [ <i>Estudiantes</i> ]
Estudiantes interesados	Número de estudiantes (aspirantes) que presentan interés en la maestría. [ <i>Estudiantes</i> ]
Tasa de matriculación	Tasa a la cual los estudiantes interesados se convierten en estudiantes de la Maestría Virtual. $\left[ \frac{\text{Estudiantes}}{\text{Semestre}} \right]$
Discrepancia calidad de la enseñanza	Diferencia entre la meta de calidad de la enseñanza y el nivel actual.
Presupuesto de capacitación	Dinero destinado a capacitación (horas capacitación). Depende del valor de los ingresos monetarios.
Horas capacitación docente	Horas para capacitar a los docentes para cumplir el nivel de capacitación deseado. Política
Estudiantes interesados	Número de estudiantes que presentan interés en la maestría [ <i>Estudiantes</i> ]
Tasa de matriculación	Tasa a la cual los estudiantes interesados se convierten en estudiantes de la Maestría Virtual $\left[ \frac{\text{Estudiantes}}{\text{Semestre}} \right]$
Estudiantes graduados de maestría virtual	Número de estudiantes que se gradúan de la Maestría [ <i>Estudiantes</i> ]
Satisfacción de los estudiantes	Grado de congruencia entre las expectativas previas de los estudiantes y los resultados obtenidos respecto al aprendizaje en modalidad virtual.
Estudiantes desertores	Número de estudiantes de la maestría virtual que desertan por efecto de la satisfacción [ <i>Estudiantes</i> ]

## ANEXO B: Ecuaciones principales del módulo Estudiantes

TASAS		
Variable	Definición	Ecuación
Tasa de adopción por publicidad	Número de estudiantes potenciales interesados por el efecto de publicidad $\left[ \frac{\text{Estudiantes}}{\text{Semestre}} \right]$	Coficiente de innovacion p percibido*Estudiantes potenciales
Tasa voz a voz por estudiantes	Número de estudiantes potenciales que se convierten en estudiantes interesados por el efecto voz a voz positivo de los estudiantes actuales de la maestría virtual en un periodo de tiempo $\left[ \frac{\text{Estudiantes}}{\text{Semestre}} \right]$	(Coficiente de imitacion q de estudiantes*Estudiantes potenciales)*(Estudiantes de maestría virtual/TOTAL MERCADO ESTUDIANTES VIRTUALES N)
Tasa de adopción por voz a voz	Número de estudiantes potenciales que se convierten en estudiantes interesados por el efecto del voz a voz de estudiantes de la maestría, estudiantes graduados y desertores en un periodo de tiempo $\left[ \frac{\text{Estudiantes}}{\text{Semestre}} \right]$	Tasa voz a voz por graduados+Tasa voz a voz por estudiantes+Tasa voz a voz por desertores
Tasa de interesados	Número de estudiantes potenciales que se convierten en estudiantes interesados en un periodo de tiempo $\left[ \frac{\text{Estudiantes}}{\text{Semestre}} \right]$	(Tasa de adopcion por publicidad+Tasa de adopcion por voz a voz)*(Factor de perdida de interesados por precio de matricula)
Tasa de matriculación	Tasa a la cual los estudiantes interesados se convierten en estudiantes de la Maestría Virtual $\left[ \frac{\text{Estudiantes}}{\text{Semestre}} \right]$	IF THEN ELSE(Discrepancia percibida en numero de estudiantes de maestría virtual<=0, 0, MIN(CAPACIDAD DE LA MAESTRIA, Estudiantes interesados /TIEMPO EN QUE SE DA LA APERTURA DE MATRICULAS))
Tasa de egreso	Tasa a la cual los estudiantes de la maestría se convierten en estudiantes egresados $[\text{Estudiantes}/\text{Semestre}]$	Estudiantes de maestría virtual*TIEMPO EN EL QUE LOS ESTUDIANTES EGRESAN*FRACCION DE EGRESO
Tasa de graduación	Tasa a la cual los estudiantes egresados se convierten en estudiantes graduados de la Maestría virtual $[\text{Estudiantes}/\text{Semestre}]$	Estudiantes egresados*FRACCION DE GRADUADOS*TIEMPO EN EL QUE LOS ESTUDIANTES SE GRADUAN
Tasa de perdida de interés	Es la tasa a la cual los estudiantes interesados pierden el interés de matricularse en la maestría virtual $[\text{Estudiantes}/\text{Semestre}]$	Estudiantes interesados/TIEMPO DE PERMANENCIA COMO INTERESADOS

Tasa de deserción de estudiantes	Tasa a la cual los estudiantes de la Maestría virtual se convierten en desertores por efecto de la satisfacción [Estudiantes/Semestre]	Porcentaje de desercion*Estudiantes de maestría virtual
Tasa de deserción egresados	Tasa a la cual los estudiantes egresados se convierten en desertores dado por un porcentaje semestral constante [Estudiantes/Semestre]	FRACCION DE DESERCIÓN DE EGRESADOS*Estudiantes egresados

VARIABLES DE NIVEL		
Variable	Definición	Ecuación
Estudiantes potenciales	Número de estudiantes que no hacen parte de la Maestría y pueden llegar a interesarse por la Maestría [Estudiantes]	$\int -Tasa\ de\ interesados * dt$ <p>Valor inicial= TOTAL MERCADO ESTUDIANTES VIRTUALES N-Estudiantes interesados-Estudiantes de maestría virtual-Estudiantes egresados-Estudiantes graduados de maestría virtual-Estudiantes que pierden interes-Estudiantes desertores</p>
Estudiantes interesados	Número de estudiantes que presentan interés en la maestría [Estudiantes]	$\int (Tasa\ de\ interesados - Tasa\ de\ matriculacion - Tasa\ de\ perdida\ de\ interes) * dt$ <p>Valor inicial= NUMERO INICIAL DE INTERESADOS EN MAESTRIA VIRTUAL</p>
Estudiantes de maestría virtual	Número de estudiantes actuales en la Maestría Virtual [Estudiantes]	$\int (Tasa\ de\ matriculacion - Tasa\ de\ desercion\ estudiantes - Tasa\ de\ egreso) * dt$ <p>Valor inicial= NUMERO INICIAL DE ESTUDIANTES EN MAESTRÍA VIRTUAL</p>
Estudiantes egresados	Estudiantes que culminan los 4 semestres de materias [Estudiantes]	$\int (Tasa\ de\ egreso - Tasa\ de\ desercion\ egresados - Tasa\ de\ graduacion) * dt$ <p>Valor inicial= NUMERO INICIAL DE ESTUDIANTES EGRESADOS EN MAESTRIA VIRTUAL</p>

Estudiantes graduados de maestría virtual	Número de estudiantes que se gradúan de la Maestría [Estudiantes]	$\int (Tasa\ de\ graduacion) * dt$ <p>Valor inicial= NUMERO INICIAL ESTUDIANTES GRADUADOS EN MAESTRIA VIRTUAL</p>
Estudiantes desinteresados	Número de estudiantes interesados que han perdido interés [Estudiantes]	$\int (Tasa\ de\ perdida\ de\ interes) * dt$ <p>Valor inicial= 0</p>
Estudiantes desertores	Número de estudiantes de la maestría virtual que desertan por efecto de la satisfacción [Estudiantes]	$\int (Tasa\ de\ desercion\ estudiantes) * dt$ <p>Valor inicial= 0</p>
Egresados desertores	Número de estudiantes egresados que desertan [Estudiantes]	$\int (Tasa\ de\ desercion\ egresados) * dt$ <p>Valor inicial= 0</p>