



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Estadística Aplicada

**PROPUESTA DE UN INDICADOR COMPUESTO PARA MEDIR LA VIABILIDAD POTENCIAL  
DE LOS CURSOS DE PREGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA PARA SER  
IMPARTIDOS EN LA MODALIDAD DE EDUCACIÓN A DISTANCIA EN LA UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**Ing. Julio Fernando Flores Interiano**  
Asesorado por el Mtro. Kevin Adiel Lajpop Ajpacajá

Guatemala, abril de 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UN INDICADOR COMPUESTO PARA MEDIR LA VIABILIDAD POTENCIAL  
DE LOS CURSOS DE PREGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA PARA SER  
IMPARTIDOS EN LA MODALIDAD DE EDUCACIÓN A DISTANCIA EN LA UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. JULIO FERNANDO FLORES INTERIANO**  
ASESORADO POR EL MTRO. KEVIN ADIEL LAJPOP AJPACAJÁ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
MAESTRO EN ESTADÍSTICA APLICADA

GUATEMALA, ABRIL DE 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA DE TÉSIS**

DECANA	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco
EXAMINADOR	Mtro. William Eduardo Fagiani Cruz
EXAMINADORA	Dra. Aura Marina Rodríguez Pérez
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROPUESTA DE UN INDICADOR COMPUESTO PARA MEDIR LA VIABILIDAD POTENCIAL  
DE LOS CURSOS DE PREGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA PARA SER  
IMPARTIDOS EN LA MODALIDAD DE EDUCACIÓN A DISTANCIA EN LA UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 31 de enero de 2022.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a vertical line, positioned above the name.

**Julio Fernando Flores Interiano**



Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.399.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE UN INDICADOR COMPUESTO PARA MEDIR LA VIABILIDAD POTENCIAL DE LOS CURSOS DE PREGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA PARA SER IMPARTIDOS EN LA MODALIDAD DE EDUCACIÓN A DISTANCIA EN LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por: **Ing. Julio Fernando Flores Interiano**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Estadística aplicada después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, abril de 2023

AACE/gaoc





**Guatemala, abril de 2023**

LNG.EEP.OI.399.2023

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“PROPUESTA DE UN INDICADOR COMPUESTO PARA MEDIR LA VIABILIDAD POTENCIAL DE LOS CURSOS DE PREGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA PARA SER IMPARTIDOS EN LA MODALIDAD DE EDUCACIÓN A DISTANCIA EN LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA”**

presentado por **Ing. Julio Fernando Flores Interiano** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Estadística aplicada** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**





Guatemala, 29 de septiembre de 2022

**M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti**  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Presente

**Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti**

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **PROPUESTA DE UN INDICADOR COMPUESTO PARA MEDIR LA VIABILIDAD POTENCIAL DE LOS CURSOS DE PREGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA PARA SER IMPARTIDOS EN LA MODALIDAD DE EDUCACIÓN A DISTANCIA EN LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA** del estudiante **Julio Fernando Flores Interiano** quien se identifica con número de carné **201213230** del programa de Maestria En Estadística Aplicada.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



**Mtro. Ing. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco**  
Coordinador  
**Maestria En Estadística Aplicada**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**



Guatemala, 29 de septiembre de 2022

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrados  
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **"PROPUESTA DE UN INDICADOR COMPUESTO PARA MEDIR LA VIABILIDAD POTENCIAL DE LOS CURSOS DE PREGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA PARA SER IMPARTIDOS EN LA MODALIDAD DE EDUCACIÓN A DISTANCIA EN LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA"** del estudiante **Julio Fernando Flores Interiano** del programa de **Maestria En Estadística Aplicada** identificado(a) con número de carné 201213230.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Digitally signed by Kevin Adiel  
Lajpop Ajpacaja  
DN: C=GT, OU=Profesor Interino,  
O=Facultad de Ingeniería,  
CN=Kevin Adiel Lajpop Ajpacaja,  
E=kevinadiel@gmail.com  
Reason: I am approving this  
document with my legally binding  
signature  
Location: Ciudad de Guatemala  
Date: 2022.10.07 21:07:02-06'00'

---

Msc. Ing. Kevin Adiel Lajpop Ajpacaja

Colegiado No. 16092

Asesor de Tesis



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Luz que guía mi vida.
<b>Guatemala</b>	Nación por la cual trabajo arduamente.
<b>Mis abuelos (q. e. p. d.)</b>	Cuyo recuerdo e inspiración continúa impulsándome.
<b>Mis padres Ana María y Fernando</b>	Quienes me apoyan incondicionalmente.
<b>Mi esposa Alejandra</b>	Mi amada compañera en esta vida.
<b>Mi hija Marcela</b>	Quien me inspira para hacer de este un mundo mejor.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por la educación brindada al pueblo de Guatemala.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por el conocimiento que me fue impartido.
<b>Ing. Kevin Lajpop</b>	Por su asesoramiento durante la realización de mi trabajo de graduación.
<b>Mis compañeros y amistades de la maestría.</b>	Por su acompañamiento y el compartir las experiencias de aprendizaje.





2.1.7.2.	Pruebas sobre dos medias con varianzas desconocidas y distintas.....	12
2.1.8.	Análisis de la varianza .....	13
2.1.8.1.	Tratamientos en bloques .....	14
2.1.9.	Pruebas no paramétricas sobre dos muestras .....	14
2.1.9.1.	Prueba U de Mann-Withney para dos muestras.....	14
2.1.9.2.	Prueba de Fligner-Killeen .....	16
2.1.10.	Regresión lineal múltiple.....	16
2.1.11.	Prueba de Breusch-Pagan .....	17
2.1.12.	Modelo de auto ponderación jerárquico.....	17
2.1.13.	Escala de Likert .....	18
2.1.14.	Muestreo estratificado para estimación de media poblacional mediante afijación proporcional .....	19
2.1.14.1.	Estimación de la desviación estándar para muestreo.....	19
2.2.	Principios metodológicos .....	20
2.2.1.	Educación a distancia.....	20
2.2.2.	Indicadores compuestos .....	22
2.2.2.1.	Ventajas y desventajas.....	22
2.2.2.2.	Pasos para la construcción de un indicador compuesto .....	24
2.2.3.	Encuestas.....	32
2.2.3.1.	Muestreo para encuestas en línea .....	33
2.2.4.	Lenguaje de programación estadístico R .....	33

3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	35
3.1.	Objetivo 1: Contrastar por cada curso los indicadores académicos de aprobación y promedio entre las muestras con modalidades de educación a distancia y presencial, para determinar el número de indicadores que percibieron un cambio significativo en cada uno. ..	35
3.1.1.	Determinación de pruebas por curso .....	35
3.1.2.	Resultados de contrastes de indicadores: .....	36
3.2.	Objetivo 2: Obtener una muestra representativa y cuantificada de la opinión estudiantil respecto a la modalidad de educación a distancia, utilizando como base la aplicación de una encuesta y su posterior tabulación y cuantificación mediante auto ponderación. ....	49
3.2.1.	Cálculo de muestra .....	49
3.2.2.	Respuestas tabuladas.....	52
3.2.3.	Cálculo de ponderaciones.....	79
3.2.4.	Resultados cuantificados por encuesta.....	79
3.3.	Objetivo 3: Inferir el valor de la opinión estudiantil cuantificada con base en la muestra representativa obtenida, seleccionando el modelo de regresión de mejor ajuste y aplicándolo a cada uno de los cursos incluidos en el estudio.....	91
3.3.1.	Comparación de modelos .....	91
3.3.2.	Comprobación de supuestos para modelo seleccionado...	94
3.3.3.	Estimación de valores .....	97
3.4.	Objetivo general: Proponer un indicador compuesto para medir el potencial para ser impartidos en la modalidad de educación a	

distancia en los cursos de pregrado de la facultad de ingeniería, desde la perspectiva de la población estudiantil, mediante la agregación de las métricas auxiliares del estimador de desempeño académico y estimador de la aceptación estudiantil. ..	101
3.4.1.    Indicador calculado.....	102
4.    DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	111
4.1.    Análisis interno .....	111
4.2.    Análisis externo .....	115
CONCLUSIONES.....	119
RECOMENDACIONES .....	121
REFERENCIAS .....	123
ANEXOS.....	127

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Gráfica de frecuencias para puntuación en indicador aprobación .....	46
2. Gráfica de frecuencias para puntuación en indicador nota promedio ...	47
3. Gráfica de frecuencias para puntuación total por curso .....	48
4. Frecuencia relativa de edades .....	53
5. Frecuencia relativa del departamento .....	53
6. Frecuencia relativa de área de vivienda.....	54
7. Frecuencia relativa de dispositivo utilizado .....	54
8. Respuesta a enunciado 1 .....	55
9. Respuesta a enunciado 2 .....	56
10. Respuesta a enunciado 3 .....	56
11. Respuesta a enunciado 4 .....	57
12. Respuesta a enunciado 5 .....	58
13. Respuesta a enunciado 6 .....	58
14. Respuesta a enunciado 7 .....	59
15. Respuesta a enunciado 8 .....	60
16. Respuesta a enunciado 9 .....	60
17. Respuesta a enunciado 10 .....	61
18. Respuesta a enunciado 11 .....	62
19. Respuesta a enunciado 12 .....	62
20. Respuesta a enunciado 13 .....	63
21. Respuesta a enunciado 14 .....	64
22. Respuesta a enunciado 15 .....	65
23. Respuesta a enunciado 16 .....	65
24. Respuesta a enunciado 17 .....	66

25.	Respuesta a enunciado 18 .....	67
26.	Respuesta a enunciado 19 .....	67
27.	Respuesta a enunciado 20 .....	68
28.	Respuesta a enunciado 21 .....	69
29.	Respuesta a enunciado 22 .....	70
30.	Respuesta a enunciado 23 .....	70
31.	Respuesta a enunciado 24 .....	71
32.	Respuesta a enunciado 25 .....	72
33.	Respuesta de enunciado 26 .....	72
34.	Respuesta de enunciado 27 .....	73
35.	Respuesta de enunciado 28 .....	74
36.	Respuesta de enunciado 29 .....	74
37.	Respuesta de enunciado 30 .....	75
38.	Resumen de respuestas de pregunta ponderadora 1 .....	76
39.	Resumen de respuestas de pregunta ponderadora 2.....	76
40.	Resumen de respuestas de pregunta ponderadora 3.....	77
41.	Resumen de respuestas de pregunta ponderadora 4.....	78
42.	Resumen de respuestas de pregunta ponderadora 5.....	78
43.	Propuesta de modelo A para regresión .....	91
44.	Propuesta de modelo B para regresión .....	92
45.	Propuesta de modelo C para regresión .....	93
46.	Comparación de criterios de selección de modelo de regresión.....	93
47.	Comparación de pruebas de normalidad sobre residuos .....	94
48.	Prueba de Lilliefors de normalidad de residuos del modelo .....	95
49.	Gráfica cuantil-cuantil normal frente a residuos del modelo .....	95
50.	Prueba de Breusch-Pagan de homocedasticidad de residuos del modelo.....	96
51.	Correlograma de residuos del modelo.....	96

52. Gráfica de análisis de influencia sobre residuos estudentizados del modelo .....	97
--	----

## TABLAS

I. Cuadro de operativización de variables .....	XXIV
II. Situaciones posibles al probar una hipótesis estadística .....	10
III. Ventajas y desventajas de indicadores compuestos.....	23
IV. Pruebas aplicadas por curso.....	36
V. Estratos seleccionados para cálculo de muestra .....	50
VI. Tamaño de muestra mínimo para encuesta.....	51
VII. Número de respuestas recibidas.....	52
VIII. Vector de ponderadores.....	79
IX. Resultados de puntuación ponderada estudiantil .....	80
X. Valores predichos por modelo de regresión.....	98
XI. Propuesta de Indicador para medir viabilidad potencial.....	102



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$\alpha$	Nivel de significancia
$H_0$	Hipótesis nula
$H_1$	Hipótesis alterna
$\beta$	Probabilidad de error tipo II
$\mu$	Media poblacional
$\nu$	Grados de libertad
$\sigma$	Varianza poblacional
$\Sigma$	Sumatoria
$\lambda$	Valor propio o eigenvalor



## GLOSARIO

<b>ANOVA</b>	Análisis de varianza. Técnica estadística de tipo experimento factorial.
<b>College</b>	Institución educativa superior donde puede obtenerse un título de pregrado.
<b>COVID-19</b>	Enfermedad respiratoria causada por un coronavirus, caracterizado por fiebre, toz y dificultad para respirar. Identificada por primera vez en diciembre de 2019.
<b>Digitalización</b>	Proceso que engloba el conjunto de acciones que posibilitan la transformación hacia la virtualidad de procesos previamente no tecnológicos.
<b>Licencia GNU</b>	Licencia de código abierto, gratuita y permisiva con la copia.
<b>Media</b>	Promedio matemático de un grupo de valores.
<b>Mediana</b>	Valor perteneciente a un grupo que separa los valores restantes en una mitad superior y otra mitad inferior.

<b>Muestra estadística</b>	Grupo de datos provenientes de una población. Obtenidos usualmente de forma probabilística.
<b>Tasa de aprobación por curso</b>	Porcentaje de estudiantes asignados que obtienen una nota total de promoción igual o superior a la nota de aprobación del curso, la cual durante la duración del estudio fue de 61 puntos para todos los cursos.
<b>Técnicas no paramétricas</b>	Técnicas estadísticas que realizan inferencias sobre una o más muestras sin utilizar parámetros poblacionales de las mismas.
<b>Periodo académico</b>	Intervalo de tiempo en que se imparte un curso en su totalidad. Puede ser en modalidad semanal, durante seis meses o modalidad curso de vacaciones, donde el curso se imparte a diario durante un mes.
<b>Promedio académico por curso</b>	Puntaje medio de la nota total de promoción del curso, calculado entre todos los estudiantes de un curso específico.
<b>Sección de curso</b>	Grupo de estudiantes que reciben clases durante todo un periodo académico de un único profesor, con base en los contenidos y competencias de un curso en específico.
<b>Técnicas paramétricas</b>	Técnicas estadísticas que realizan inferencias sobre una o más muestras utilizando los parámetros poblacionales de las mismas.

<b>UEDi</b>	Unidad de Educación a Distancia de la Facultad de Ingeniería.
<b>Variable regresora</b>	Variable independiente de una regresión.
<b>Varianza</b>	Medida de variabilidad aleatoria asociada a una población.



## RESUMEN

En el presente trabajo se propuso un indicador para medir el potencial de impartir cada curso de la Facultad de Ingeniería en la modalidad de educación a distancia virtual, con el fin de optimizar la distribución de recursos tecnológicos disponibles, dando prioridad a los cursos que tengan un mayor potencial.

La investigación consistió en un estudio descriptivo, transversal y no experimental. La metodología utilizada se basó en la agregación de dos métricas, siendo la primera el estimador de desempeño académico, calculado mediante un contraste de medias de los datos históricos presenciales frente a los datos de modalidad a distancia, para cada uno de los cursos, obteniendo un punteo dependiendo del número de indicadores que fueron significativamente distintos. La segunda métrica es el estimador de la aprobación estudiantil, calculado mediante un modelo de regresión con base en las puntuaciones obtenidas de una muestra representativa de la población.

Con los resultados obtenidos utilizando un indicador compuesto se concluye que de los 225 cursos; 52 obtuvieron una clasificación alta, 161 obtuvieron una clasificación media-alta, y 12 obtuvieron una clasificación media-baja. Ningún curso obtuvo un punteo con una clasificación baja.

Por lo tanto, se sugiere a la Facultad de Ingeniería tomar en cuenta las estimaciones realizadas en este estudio, para predecir en qué cursos es más favorable crear secciones de educación a distancia virtual o híbridas, una vez se retomen las clases magistrales presenciales dentro del campus universitario.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### Contexto general

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, previo al año 2020, había implementado algunos avances en el área de educación en línea, como la apertura de cursos en modalidad virtual del Área de Física y la creación de la Unidad de Educación a Distancia (UEDi); sin embargo, la mayoría de sus cursos estaban diseñados únicamente para la modalidad de educación presencial.

Durante el año 2020, debido a las medidas de prevención de contagio contra la pandemia COVID-19, la facultad se vio en la necesidad de transformar, en protocolo de emergencia, la totalidad de sus cursos a una modalidad de educación a distancia, mediante el uso de herramientas virtuales como *Moodle* y *Google Meet*. Esta modalidad de educación a distancia provocada por el COVID-19, no debe considerarse equivalente a una educación a distancia planificada y con un diseño determinado con antelación, pero sí un paso inicial para la digitalización y modernización de los cursos, y la adaptación de herramientas nuevas por parte de los estudiantes y profesores.

Se contempla la posibilidad de que, al regresar a las labores presenciales, pueda continuarse con algunos beneficios de la modalidad en línea, especialmente en cursos que puedan impartirse totalmente a distancia o cursos en los que pueda aplicarse una modalidad mixta. Sin embargo, surge la duda sobre qué cursos son los candidatos ideales para ser priorizados en este proceso.

## **Descripción del problema**

No se cuenta con un indicador para cuantificar la viabilidad potencial que posee un curso para ser impartido de forma virtual, por lo que no se tiene una clasificación de qué cursos tienen más potencial para ser beneficiados o perjudicados debido a la modalidad de educación a distancia, desde la perspectiva de la población estudiantil.

## **Formulación del problema**

Se plantea el problema mediante una pregunta central de investigación y tres preguntas auxiliares.

## **Pregunta central**

¿Qué indicador puede proponerse para medir el potencial para ser impartidos en la modalidad de educación a distancia en los cursos de pregrado de la facultad de ingeniería, desde la perspectiva de la población estudiantil?

## **Preguntas auxiliares**

1. ¿Cuál es el efecto que perciben los indicadores académicos de los cursos a causa de la modalidad de educación a distancia?
2. ¿Cómo puede cuantificarse la opinión de los estudiantes respecto a la educación a distancia?
3. ¿Qué modelo puede utilizarse para estimar la opinión cuantitativa poblacional de los estudiantes respecto a la educación a distancia?

## **Delimitación del problema**

El estudio del problema se limita a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el área de estudios de pregrado, en las escuelas facultativas, realizando el análisis desde la perspectiva de la población estudiantil, dejando fuera del alcance del estudio la opinión de la población docente y administrativa.

Para el análisis se limitaron los datos académicos históricos utilizados dentro de un marco de 5 años, siendo éstos los años 2021, 2020, 2019, 2018 y 2017.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Proponer un indicador compuesto para medir el potencial para ser impartidos en la modalidad de educación a distancia en los cursos de pregrado de la facultad de ingeniería, desde la perspectiva de la población estudiantil, mediante la agregación de las métricas auxiliares del estimador de desempeño académico y estimador de la aceptación estudiantil.

### **Específicos**

1. Contrastar por cada curso los indicadores académicos de aprobación y promedio entre las muestras con modalidades de educación a distancia y presencial, para determinar el número de indicadores que percibieron un cambio significativo en cada uno.
2. Obtener una muestra representativa y cuantificada de la opinión estudiantil respecto a la modalidad de educación a distancia, utilizando como base la aplicación de una encuesta y su posterior tabulación y cuantificación mediante auto ponderación.
3. Inferir el valor de la opinión estudiantil cuantificada con base en la muestra representativa obtenida, seleccionando el modelo de regresión de mejor ajuste y aplicándolo a cada uno de los cursos incluidos en el estudio.



## **RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO**

### **Características del estudio**

El enfoque del estudio es cuantitativo, ya que se realizó un análisis de variables cuantitativas de datos históricos sobre el rendimiento académico y el análisis de variables cualitativas de opinión, que fueron convertidas a variables cuantitativas durante la metodología.

El diseño adoptado fue no experimental, pues la información de indicadores académicos históricos se analizó en su estado original sin ninguna manipulación y proviene de bases de datos, y la recolección de resultados de la encuesta no presenta un carácter experimental.

El tipo de estudio es: descriptivo, ya que se busca identificar los elementos y características del problema, para poder describir sus rasgos. El estudio es retrospectivo ya que se utilizaron datos históricos y transversal puesto que se estudió el fenómeno en relación a un momento dado. El alcance es descriptivo, dado que el análisis busca describir la información de la potencialidad de cada curso para ser impartido en modalidad a distancia, según los indicadores propuestos.

### **Unidades de análisis**

La población en estudio son los cursos de pregrado de la Facultad de Ingeniería, la cual se encuentra dividida en subpoblaciones dadas por la Escuela facultativa a la que pertenece cada curso.

Asimismo, se realizó una encuesta a la población estudiantil, usando un muestreo estratificado por carrera, para poder inferir el efecto de la carrera del estudiante sobre su opinión de la aceptación de las clases en línea.

## Variables e indicadores

Las variables en estudio se describen a continuación:

**Tabla I Cuadro de operativización de variables**

<b>Variable</b>	<b>Definición teórica</b>	<b>Definición operativa</b>
Indicador de viabilidad potencial de educación a distancia del curso	Variable cuantitativa continua. Indicador compuesto basado en métrica de rendimiento académico y métrica de aceptación estudiantil.	Variable respuesta del estudio. De carácter numérico y de intervalos, con un rango de valores entre -1 y 1.
Métrica de estimador de rendimiento académico del curso	Variable cuantitativa continua. Indicador compuesto basado en contrastes de hipótesis entre los datos de control y los datos en modalidad a distancia sobre las variables de tasa de aprobación de cursos, nota de aprobación y tasa de deserción de cursos.	Variable dependiente, de carácter numérico y de intervalos, con un rango de valores entre -2 y 2.
Métrica de estimador de aceptación estudiantil del curso	Variable cuantitativa continua. Indicador compuesto basado en un modelo de regresión multivariado formado con base en los resultados muestrales representativos de la aceptación estudiantil, aplicado a cada curso.	Variable dependiente, de carácter numérico de intervalos, con un rango de valores entre -6 y 6.
Tasa de aprobación del curso	Variable cuantitativa continua, que representa el porcentaje de alumnos que aprueban un curso del total de asignados.	Variable independiente, de carácter numérico y de razón, con un rango entre 1 y 100.

Continuación de tabla I.

Nota de aprobación promedio del curso	Variable cuantitativa continua, que representa la nota promedio de aprobación obtenida por los estudiantes de un curso.	Variable independiente, de carácter numérico y de intervalo, con un rango de valores entre 61 y 100.
Edad promedio de estudiantes del curso	Variable cuantitativa continua que representa la edad en años del estudiante.	Variable independiente, de carácter numérico y de intervalo.
Carreras del estudiante	Variabes cualitativas dicotómicas, que representan las carreras que un estudiante cursa.	Variabes independientes, de carácter categórico ordinal. Existe una variable por cada carrera de la facultad.
Edad del estudiante	Variable cuantitativa discreta que representa la edad en años del estudiante.	Variable independiente de carácter numérico y de razón.
Calificación del estudiante sobre impacto didáctico	Variable cualitativa politómica que representa la calificación de importancia que da un estudiante al impacto didáctico de la modalidad a distancia.	Variable independiente categórica ordinal.
Calificación del estudiante sobre impacto económico	Variable cualitativa politómica que representa la calificación de importancia que da un estudiante al impacto económico de la modalidad a distancia.	Variable independiente categórica ordinal.
Calificación del estudiante sobre impacto social	Variable cualitativa politómica que representa la calificación de importancia que da un estudiante al impacto social de la modalidad a distancia.	Variable independiente categórica ordinal.
Calificación del estudiante sobre impacto espacial-temporal	Variable cualitativa politómica que representa la calificación de importancia que da un estudiante al impacto espacial-temporal de la modalidad a distancia.	Variable independiente categórica ordinal.

Continuación de tabla I.

Calificación del estudiante sobre impacto tecnológico	Variable cualitativa politómica que representa la calificación de importancia que da un estudiante al impacto tecnológico de la modalidad a distancia.	Variable independiente categórica ordinal.
Impacto didáctico percibido	Variable cuantitativa discreta que representa una valoración subjetiva normalizada que da un estudiante al impacto didáctico que percibe.	Variable independiente numérica de intervalo.
Impacto económico percibido	Variable cuantitativa discreta que representa una valoración subjetiva normalizada que da un estudiante al impacto económico que percibe.	Variable independiente numérica de intervalo.
Impacto social percibido	Variable cuantitativa discreta que representa una valoración subjetiva normalizada que da un estudiante al impacto social que percibe.	Variable independiente numérica de intervalo.
Impacto personal percibido	Variable cuantitativa discreta que representa una valoración subjetiva normalizada que da un estudiante al impacto personal, psicológico y espacial-temporal que percibe.	Variable independiente numérica de intervalo.
Impacto tecnológico percibido	Variable cuantitativa discreta que representa una valoración subjetiva normalizada que da un estudiante al impacto tecnológico que percibe.	Variable independiente numérica de intervalo.

Fuente: elaboración propia

## Fases del estudio

### Fase 1: Revisión de literatura:

- Descripción: definición del marco conceptual, marco teórico y marco metodológico. Revisión de estudios anteriores. Entrevistas con expertos.
- Metas y entregables: determinar fuentes bibliográficas y materiales que sean útiles para la elaboración del estudio.

### **Fase 2: Recopilación de información histórica:**

- Descripción: descarga de datos desde la base de datos de ingeniería y el sitio de datos abiertos de la Facultad de Ingeniería.
- Metas y entregables: datos históricos de los últimos 5 años, respecto a indicadores de rendimiento académico.

### **Fase 3: Diseño y aplicación de encuestas:**

- Descripción: elaboración de formulario para llevar a cabo encuesta en línea para estudiantes de la Facultad de Ingeniería, desde el portal estudiantil. Habilitación de formularios y recepción de encuestas. Posterior imputación de datos.
- Metas y entregables: datos crudos de los resultados de la encuesta.

### **Fase 4: Análisis de información:**

- Descripción: análisis de datos históricos y contraste con datos en modalidad a distancia. Determinación del Indicador de rendimiento académico del curso con base en significancia de pruebas de hipótesis. Normalización y cuantificación de opiniones estudiantiles. Análisis estadístico descriptivo aplicado a los datos crudos. Modelación mediante regresión aplicada a los estimadores de opinión estudiantil, para generar métrica de estimador de aceptación estudiantil del curso. Combinación con Indicador de rendimiento académico del curso para obtener Indicador de

potencial de educación a distancia del curso. Para los cálculos se hará uso del software estadístico R.

- Metas y entregables: métrica de rendimiento académico del curso, métrica de estimador de aceptación estudiantil e Indicador de potencial de educación a distancia del curso aplicado a cada curso.

#### **Fase 5: Interpretación de la información:**

- Descripción: análisis e interpretación de los resultados obtenidos. Tabulación de los cursos en función de su valor del indicador. Elaboración de gráficas informativas para presentación de resultados.
- Metas y entregables: análisis descriptivo y gráfico de los resultados.

#### **Fase 6: Redacción de informe final:**

- Descripción: elaboración del informe final de la investigación.
- Metas y entregables: documento completo.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo consiste en la propuesta de un indicador compuesto que permitió evaluar el potencial de aprovechamiento de la modalidad de educación a distancia que poseen los cursos magistrales de pregrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, de tal forma que pudieron ser clasificados según su viabilidad potencial para ser impartidos de forma virtual.

Este trabajo de innovación tuvo como fin ordenar y mejorar el proceso de enseñanza virtual dentro de la Facultad de Ingeniería, y surgió como respuesta a la situación imprevista de la pandemia de COVID-19, la cual obligó a la universidad a trasladar sus cursos a una modalidad de educación a distancia de manera repentina. Se buscó aprovechar esta situación y convertirla en una oportunidad para mejorar el sistema educativo universitario.

La problemática consiste en que no existía ninguna medida que permitiera cuantificar la viabilidad potencial para cada curso al ser impartido en modalidad a distancia. Las autoridades de la Facultad de Ingeniería no contaban con la información necesaria para poder determinar qué cursos estaban siendo más efectivos en esta modalidad, y tampoco se tenía un estimado de qué cantidad de cursos eran viables para continuar bajo esta modalidad para poder realizar una inversión en hardware y software.

Este trabajo fue de importancia para que las autoridades tengan la información necesaria para tomar decisiones que modernicen las herramientas académicas de la universidad, de manera que pueda continuar siendo

competitiva en un mundo de tecnológico, cuyos instrumentos y conocimientos avanzan rápidamente. Adicionalmente es un aporte para el fortalecimiento de la enseñanza superior a nivel nacional, generando más conocimiento sobre los beneficios y amenazas de la educación a distancia.

Entre sus aportes y beneficios se incluyó poder medir el efecto sobre cada curso. Asimismo, puede establecerse un umbral mínimo de efectividad con base en el indicador, para tomar en cuenta solamente los cursos que cumplan con esta medida a la hora de tomar un estimado en la compra de recursos de software o hardware, lo cual reduciría los costos.

El esquema general de la construcción del indicador tuvo como base la integración de dos métricas auxiliares: la primera fue el indicador de desempeño académico, resultado de la comparación estadística de medias entre muestras de cursos con esta modalidad contra las muestras de control. la segunda fue el indicador de la aceptación estudiantil, obtenido mediante una encuesta cerrada, a cuyas respuestas se le aplica un algoritmo de auto ponderación jerárquica, posteriormente generando un modelo de regresión para estimar el valor en función a cada curso.

El estudio fue factible, dado que la Facultad de Ingeniería mantiene registro en una base de datos de toda la información histórica que fue necesaria, y se contó con las herramientas para aplicar una encuesta a gran escala dentro de la población estudiantil, mediante una integración al Portal estudiantil de la facultad.

El reporte del trabajo presentado a continuación se divide en los siguientes capítulos:

Primer capítulo, marco referencial, capítulo en el cual se abordan distintos antecedentes que funcionan como base para definir los objetivos, el alcance y la metodología del trabajo.

Segundo capítulo, marco teórico, capítulo en el cual se aborda la teoría sobre la que se basa el diseño del proceso de recopilación, procesamiento y análisis de los resultados, con base en una revisión de la literatura académica acorde al tema.

Tercer capítulo, presentación de resultados, capítulo en el cual se presenta el resultado directo de la recopilación de datos y el análisis correspondiente llevado a cabo en el trabajo.

Cuarto capítulo, discusión de resultados, capítulo en el cual se abordan los resultados de los análisis presentados, de la manera más concisa, clara y objetiva posible, con la finalidad de discutir el conocimiento generado.



## 1. MARCO REFERENCIAL

La pandemia del COVID-19, ha provocado una digitalización acelerada en el tema de la educación a distancia. La mayoría de las entidades educativas a nivel mundial se vieron en la necesidad de poder brindar un servicio de clases en línea para poder continuar con sus ciclos de enseñanza, sin embargo, existen entre éstas algunas que no estaban preparadas, o no tenían experiencia en el ámbito de la educación a distancia.

Esto es evidente a nivel latinoamericano, donde la falta de acceso a la tecnología y la poca experiencia en el ámbito digital se presentan como un obstáculo para poder proporcionar una educación en modalidad virtual de alta calidad, especialmente considerando que el cambio fue dado de forma repentina en protocolos de emergencia. Figallo (2020) recalca que en Latinoamérica a la educación en línea se le ha dado una connotación subjetiva de baja calidad, y argumenta que el cambio súbito puede afectar negativamente la, ya mala, opinión de la población general respecto a la misma. Por lo tanto, al realizar el estudio se tomaron en consideración los prejuicios y obstáculos tecnológicos, sociales y económicos que un estudiante pueda tener al diseñar las preguntas de la encuesta.

Lloyd (2020), por ejemplo, hace énfasis en la desigualdad que existe y se exagera entre la educación recibida en las diferentes clases socioeconómicas mexicanas, dando lugar a que muchos estudiantes de áreas rurales de dicho país no cuenten con las herramientas y conocimientos necesarios para poder recibir una educación adecuada a distancia, especialmente en el área de la educación pública. Debido a esto, se tomó la decisión de incluir el aspecto económico dentro de las preguntas de la encuesta.

Abreu (2020) recalca que la transformación de la educación presencial a educación a distancia en Latinoamérica pasó de ser algo opcional a una necesidad presente y palpable. Si bien la educación en línea implementada correctamente puede aumentar la accesibilidad, bajar los costos y presentar una interacción más centrada en el estudiante, no es posible decir que su implementación sea trivial y que pueda de forma inmediata reemplazar la enseñanza presencial. Es por lo tanto que se tomó la decisión de incluir el aspecto didáctico desde la perspectiva estudiantil dentro de las preguntas de la encuesta. Adicionalmente este estudio busca ser fuente de información respecto a los indicadores necesarios para mejorar la educación a distancia.

Con el objetivo de aprovechar la digitalización acelerada emergente, surge la necesidad de poder cuantificar el impacto que la modalidad a distancia está teniendo sobre la educación. Por tal motivo múltiples investigadores a nivel mundial buscan maneras de medir este efecto, y determinar si está siendo positivo o negativo. Gilbert (2015), por ejemplo, realizó un estudio observacional y de aplicación de encuestas, varios años antes de la pandemia, sobre una muestra pequeña de estudiantes estadounidenses recibiendo cursos en línea a nivel *college*, y determinó que los estudiantes consideran que los beneficios de los cursos en línea superan las dificultades que conlleva. No obstante, el estudio fue realizado con una muestra pequeña, por lo que la autora sugiere que un estudio más extenso es necesario, motivo por el cual se realizó una encuesta en línea y acoplada al portal estudiantil de la Facultad de Ingeniería con un tamaño de muestra aleatoria que sea significativo estadísticamente.

En India Muthuprasad et al. (2020) llevaron a cabo un estudio mediante encuestas, en el cual participaron 307 estudiantes de agricultura. Según los resultados del estudio, el 70% de los estudiantes está de acuerdo con recibir los

cursos en modalidad a distancia durante la pandemia. El 58% de los estudiantes respondieron que el dispositivo que prefieren para recibir sus clases son los teléfonos inteligentes, el 86% indicó que su conexión a internet proviene de paquetes de datos móviles, el 60% indicó que les gusta resolver los exámenes en línea, y un 54% indicó que su metodología de clases preferida es la de videos pregrabados y exámenes al final de cada clase. Los estudiantes estuvieron de acuerdo en que la flexibilidad y conveniencia de las clases virtuales lo convierten en una opción atractiva, pero en las áreas rurales el acceso al internet es un obstáculo para el uso de las herramientas. La metodología de encuestas aplicada en este estudio es de utilidad para conocer la opinión de la población estudiantil, y la transparencia de la encuesta y sus resultados fortalecen la robustez de la investigación. Se tomó la decisión de incluir preguntas respecto al dispositivo que utiliza el estudiante para enriquecer el conocimiento brindado por la encuesta, ya que la Facultad de Ingeniería no tiene estudios previos que indiquen los dispositivos que utilizan los estudiantes.

Berbyuk et al. (2021) plantean un estudio interdisciplinario y de múltiples enfoques para poder comprender los efectos, desafíos y oportunidades que el abrupto cambio a la modalidad a distancia conlleva para los países nórdicos. En su metodología plantean un estudio mixto, con perspectivas cuantitativas y cualitativas. El primer método propuesto es la entrevista a una muestra de estudiantes y profesores, analizando y codificando las respuestas para determinar temas y patrones repetidos. El segundo método propuesto es el análisis de cambios a los programas de cursos, para determinar si existen diferencias en las prácticas de enseñanza-aprendizaje y si esto provocó un impacto en la evaluación estudiantil. El tercer método es la aplicación de una encuesta a las poblaciones estudiantil y docente para evaluar la percepción sobre las experiencias de educación en línea, posteriormente realizando un análisis estadístico sobre las respuestas. Triangulando los métodos de captura de datos,

los investigadores esperan poder representar lo más fielmente posible la complejidad de la educación superior en línea. Esta metodología de múltiples enfoques fue usada como base dentro de la propuesta actual, ya que se consideró de mucha utilidad para evaluar un tema subjetivo como la aceptación de la modalidad por parte de los estudiantes.

Para poder cuantificar la aceptación de la modalidad de educación a distancia es necesario conocer los factores que determinan o influyen en la satisfacción del estudiante. Barbera (2013) realizó un estudio, aplicando una encuesta a 499 estudiantes de Estados Unidos, China y España y efectuando un análisis de varianzas (ANOVA) sobre las respuestas. Dentro de las variables institucionales que tomaron en cuenta dentro del estudio están: Plataforma de aprendizaje, apoyo tecnológico, presencia social, instrucción directa, interacción con el instructor, interacción entre estudiantes, contenido del curso y diseño del curso. Este estudio concluye que la satisfacción del estudiante está fuertemente correlacionada con la presencia social y la instrucción directa, mientras que, por su parte, el aprendizaje percibido está fuertemente relacionado con el contenido del curso y diseño del curso. Este estudio brindó un punto de inicio respecto a los factores que determinan la satisfacción, y de qué manera difiere del aprendizaje percibido, así como un caso de aplicación de ANOVA para la determinación de importancia de los factores.

Otro estudio que busca identificar los factores de satisfacción estudiantil fue realizado por González (2014) en España. Este estudio aplicó una encuesta a 218 estudiantes de carreras de ingeniería y realizó un análisis de regresión multivariada sobre los resultados. Las variables tomadas en cuenta en este estudio son las siguientes: Nota académica, metodología didáctica, apoyo del profesor, objetivos de aprendizaje, recursos en línea, grupo de estudios, reflexión autodidacta, dificultad, utilidad. Entre las conclusiones del estudio se determina

que la satisfacción del estudiante depende directamente de la metodología didáctica, en contra de la suposición *a priori* de que la satisfacción del estudiante dependa de la facilidad del curso y la obtención de una buena nota. Este estudio realiza la aplicación de un modelo de regresión multivariado para determinar los factores más influyentes. Esto fue aplicado como un punto inicial para considerar un análisis multivariado en el estudio.

Tsang (2021) llevó a cabo un estudio en Hong Kong, con el fin de determinar los factores determinantes del aprendizaje percibido y la satisfacción estudiantil para la educación a distancia causada por la pandemia de COVID-19. En este estudio aplicó una encuesta a 409 estudiantes universitarios, y al resultado de las encuestas les aplicó un modelado estructural por ecuaciones de mínimos cuadrados parciales (PLS-SEM), una técnica no paramétrica. Los resultados de su análisis indican que los factores predictivos de aprendizaje percibido son el diálogo estudiante-estudiante y el diseño del curso. La satisfacción del estudiante está determinada por el aprendizaje percibido y la iniciativa del estudiante. Este estudio concuerda en que uno de los factores más relevantes es el diseño del curso. Asimismo, el uso de técnicas no paramétricas se presenta como una opción para el análisis de datos cuando no es viable utilizar un método paramétrico.

Assis (2020) realizó un estudio sobre los estudiantes que realizaron el Examen nacional de la enseñanza secundaria en Brasil, aplicando los algoritmos CART y CTREE para comparar el poder predictivo de ambos algoritmos. Este estudio da una perspectiva de comparación entre los algoritmos de predicción multivariados por árboles de clasificación y regresión, y demuestra su aplicabilidad en el ámbito educativo.

Para el análisis de ponderación de los factores también pueden utilizarse métodos de análisis jerárquicos. Hurtado (2005) describe la construcción de un modelo auto ponderado y jerárquico, basado en el concepto de vector propio principal de una matriz de respuestas, recíproca y consistente. Este método fue utilizado para que la asignación de ponderadores a los factores esté dada por las propias respuestas de los estudiantes y pueda ser encuestada al mismo tiempo que los valores respuesta.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Principios estadísticos**

De acuerdo con Navidi (2006) “La estadística se dedica a la recopilación, el análisis y la interpretación de datos con incertidumbre. Los métodos de la estadística permiten que los científicos e ingenieros diseñen experimentos válidos y obtengan conclusiones confiables a partir de datos obtenidos” (p. 1).

Entre las ramas de la estadística se encuentra la descriptiva y la inferencial, cuyos fines son describir características de las muestras y poblaciones, y realizar inferencias acerca de la población con base en muestras, respectivamente.

#### **2.1.1. Inferencia estadística**

La inferencia estadística es una colección de metodologías que permiten hacer inferencias acerca de una población.

De acuerdo con Walpole (2012) estas metodologías pueden dividirse entre las clásicas y las bayesianas. Las metodologías clásicas realizan inferencias probabilísticas basadas en la información obtenida mediante muestras aleatorias de la población, teniendo un enfoque de lo particular a lo general.

La inferencia estadística clásica se puede dividir en dos áreas principales: estimación y pruebas de hipótesis.

### **2.1.2. Métodos de estimación**

Una estimación puntual de un estadístico es el cálculo de un valor con tendencia a ser igual al valor del parámetro poblacional. Este estimador puede considerarse sin sesgo cuando la diferencia entre su valor y la del parámetro se considera insignificante. Asimismo, si se consideran todos los estimadores posibles para un parámetro, el estimador más eficaz viene dado por el que tenga la distribución de muestras con la menor varianza.

Sin embargo, aunque se considere sin sesgo y el más eficaz, no puede esperarse que un estimador puntual sea exactamente igual al parámetro de la población, por lo que es preferible determinar intervalos de estimación, dentro de los cuales puede encontrarse el valor real del parámetro.

La estimación por intervalo posee un límite superior y un límite inferior, y se espera que una fracción determinada de la distribución de muestras se encuentre dentro de los límites. Dicho intervalo de valores es conocido como intervalo de confianza, y está definido por el grado de confianza, que a su vez es el complemento del nivel de significancia estadístico representado por  $\alpha$ , valor que es establecido por el investigador.

$$\text{Nivel de significancia} = \alpha$$

$$\text{Grado de confianza} = 1 - \alpha$$

(Ec. 1)

### **2.1.3. Pruebas de hipótesis**

De acuerdo con Walpole (2012) “Una hipótesis estadística es una aseveración o conjetura respecto a una o más poblaciones” (p. 319). Es imposible

conocer con certeza completa la verdad o falsedad de la hipótesis, pero la evidencia de las muestras en contra de una hipótesis puede llevar al rechazo de la misma. El rechazo de una hipótesis significa que, cuando es verdadera, la probabilidad de encontrar la información ~~muestra~~ observada es muy pequeña.

Dado que una hipótesis puede ser rechazada, cuando ésta es planteada formalmente suele acompañarse con una pareja complementaria, existiendo entonces dos hipótesis: la hipótesis nula o  $H_0$ , que será puesta a prueba, y la hipótesis alternativa o  $H_1$ , que asevera una conjetura opuesta y excluyente con la hipótesis nula.

Por lo tanto, la prueba o contraste de hipótesis consiste en realizar el cálculo de un estadístico de prueba, con base en la muestra, y contrastarlo con una región crítica, que es determinada por la aseveración de la hipótesis de prueba o nula. Una vez inferido si el estadístico de prueba está dentro o fuera de la región crítica se puede llegar a una de dos conclusiones:

- Rechazar la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa, debido a evidencia suficiente en los datos
- No rechazar la hipótesis nula debido a evidencia insuficiente en los datos.

Webster (2012) define el valor P como “el nivel más bajo de significancia (valor de  $\alpha$ ) al cual se puede rechazar la hipótesis nula. Es el área en la cola que está más allá del valor del estadístico para la muestra”. Por lo tanto, el valor P puede utilizarse de manera auxiliar para la determinación del rechazo o no rechazo de la hipótesis.

Navidi (2006) da la siguiente explicación de su uso:

La prueba de hipótesis implica medir la fuerza del desacuerdo entre la muestra y  $H_0$  para producir un número entre 0 y 1, llamado P-valor. Éste mide la factibilidad de  $H_0$ . Entre menor sea el P-valor, más fuerte será la evidencia en contra de  $H_0$ . Si el P-valor es suficientemente pequeño, se puede estar dispuesto a abandonar la suposición de que  $H_0$  es verdadera y creer, en su lugar, que  $H_1$  es verdadera (p. 369).

#### 2.1.4. Errores en pruebas de hipótesis y potencia de la prueba

Al realizar una prueba de contraste de hipótesis existe la posibilidad de tomar una conclusión errónea. Estas conclusiones están determinadas por el tipo de decisión tomada y se definen en dos tipos:

**Tabla II Situaciones posibles al probar una hipótesis estadística**

Decisión	$H_0$ es verdadera	$H_0$ es falsa
Rechazar $H_0$	Error tipo I	Acierto
No rechazar $H_0$	Acierto	Error tipo II

Fuente: Adaptado de Walpole (2012)

De acuerdo con Walpole (2012): “El rechazo de la hipótesis nula cuando es verdadera se denomina error tipo I... No rechazar la hipótesis nula cuando es falsa se denomina error tipo II” (p. 322). Las probabilidades de que ocurran los errores tipo I y II se denotan como  $\alpha$  y  $\beta$  respectivamente.

Los errores tipo I y II están relacionados, y una disminución en la probabilidad de cometer uno generalmente aumenta la probabilidad de cometer el otro. Sin embargo, un aumentar el tamaño de la muestra reduce la probabilidad de cometer ambos errores de forma simultánea.

La potencia de una prueba se define como la probabilidad de rechazo de la hipótesis nula dado que una alternativa es verdadera, y se puede calcular como  $1 - \beta$ .

#### **2.1.5. Prueba de Kolmogorov-Smirnov**

De acuerdo con González (1977) la prueba de Kolmogorov-Smirnov es una prueba para evaluar si una muestra aleatoria proviene de una distribución continua específica, mediante la determinación de la diferencia numérica entre la función de distribución específica y la distribución de la muestra. Utilizando esta prueba, puede ejecutarse una prueba de normalidad, mediante la hipótesis nula de que la muestra proviene de la distribución normal.

#### **2.1.6. Prueba de Lilliefors**

La prueba de Lilliefors está basada en la prueba de Kolmogorov-Smirnov, y también puede utilizarse para ejecutar pruebas de normalidad, mediante la hipótesis nula de que la muestra proviene de la distribución normal. Según González (1977) la prueba se ejecuta muy similar a Kolmogorov-Smirnov, con la diferencia de que se utilizan los estimadores sin sesgo de la media y de la varianza de la muestra para realizar el cálculo. La prueba no se aplica sobre la muestra directamente, sino sobre la muestra menos su media y este resultado dividido entre la desviación estándar de la muestra.

#### **2.1.7. Pruebas paramétricas sobre dos medias**

Estas pruebas son utilizadas para comprobar aseveraciones sobre la media de dos poblaciones utilizando métodos paramétricos. Cuando la varianza de las dos poblaciones se desconoce, pueden suponerse iguales o distintas, lo cual conlleva un procedimiento de prueba diferente:

### 2.1.7.1. Pruebas sobre dos medias con varianzas desconocidas e iguales

Si se quieren probar dos muestras con varianzas desconocidas, pero asumidas iguales, puede utilizarse la prueba t agrupada o prueba t de dos muestras. Para esta prueba el procedimiento se indica a continuación:

Dada la hipótesis:  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = d_0$ ;  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq d_0$

Se rechaza  $H_0$  al nivel de significancia  $\alpha$  cuando el estadístico  $t$  calculado:

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - d_0}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

(Ec. 2)

Donde:

$$s_p^2 = \frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}$$

(Ec. 3)

$$v = n_1 + n_2 - 2$$

(Ec. 4)

Excede a  $t_{\frac{\alpha}{2}, n_1+n_2-2}$  o es menor que  $-t_{\frac{\alpha}{2}, n_1+n_2-2}$

### 2.1.7.2. Pruebas sobre dos medias con varianzas desconocidas y distintas

Si se quieren probar dos muestras con varianzas desconocidas, pero asumidas distintas, puede utilizarse un procedimiento similar al que se utiliza para

la prueba de varianzas desconocidas pero asumidas iguales con la diferencia residiendo en el cálculo de los grados de libertad, el cual se realiza de la siguiente manera:

Dada la hipótesis:  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = d_0$ ;  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq d_0$

Donde:

$$v = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}}$$

(Ec. 5)

Se rechaza  $H_0$  al nivel de significancia  $\alpha$  cuando el estadístico  $t$  excede a  $t_{\frac{\alpha}{2}, v}$  o es menor que  $-t_{\frac{\alpha}{2}, v}$

### 2.1.8. Análisis de la varianza

De acuerdo con Walpole (2012), el análisis de la varianza es un método estadístico para la prueba de comparación de medias cuando se estudian más de dos muestras provenientes de dos o más poblaciones. La hipótesis nula indica que todas las muestras poseen una media significativamente igual, mientras que la hipótesis alterna indica que al menos dos muestras poseen una media distinta.

Puede observarse que se trata de una generalización de la prueba  $t$ , para más de dos muestras, donde a cada individuo de la muestra se le aplica una combinación de uno o más factores llamada tratamiento.

### **2.1.8.1. Tratamientos en bloques**

Al realizar un análisis de varianza puede determinarse que existen factores cuyo efecto es percibido dentro de las unidades de las muestras y provoca una fuente de variación, pero no se desea considerar esta variación dentro del estudio. Para aislar la variación provocada por estos factores se utiliza el concepto de bloque.

Según Walpole (2012), el uso de bloques busca reducir la variación ajena a la que es explicada por el tratamiento, reduciendo el error experimental.

### **2.1.9. Pruebas no paramétricas sobre dos muestras**

Existen múltiples situaciones en las cuales las pruebas paramétricas no pueden llevarse a cabo. Por ejemplo, la falta de ajuste de los datos a una distribución específica, o cuando se desea analizar muestras pequeñas de datos categóricos u ordinales. La alternativa a los métodos paramétricos son los no paramétricos, los cuales sacrifican cierto grado de precisión por mayor flexibilidad con los datos que pueden analizar.

#### **2.1.9.1. Prueba U de Mann-Withney para dos muestras**

Una alternativa no paramétrica para la prueba de hipótesis de dos medias es la U de Mann-Withney. Puede utilizarse para la comparación de dos muestras de variables cuantitativas continuas que no siguen una distribución normal.

Se utiliza para efectuar una comparación de dos muestras con una variable cuantitativa continua que no siga una distribución normal o de tipo cuantitativa discreta.

De acuerdo con Gómez (2003) para poder llevar a cabo la prueba se tiene tres supuestos:

1. La variable independiente es dicotómica y la escala de medición de la variable dependiente es al menos ordinal.
2. Los datos son de muestras aleatorias de observaciones independientes de dos grupos independientes, por lo que no hay observaciones repetidas.
3. La distribución de la población de la variable dependiente para los dos grupos independientes comparte una forma similar no especificada, aunque con una posible diferencia en las medidas de tendencia central (p. 96).

Gómez (2003) además indica cuál es la metodología para determinar esta prueba:

Las observaciones de ambos grupos se combinan y acomodan, con el rango promedio en el caso de pares. El número de pares debe ser pequeño en relación al número total de observaciones. Si las poblaciones son idénticas en situación, los rangos deben mezclarse al azar entre las dos muestras. Se calcula el número de veces que una cuenta del grupo 1 precede una cuenta del grupo 2 y el número de veces que una cuenta del grupo 2 precede una cuenta del grupo 1. La U de Mann-Whitney es el número más pequeño de estos dos números (p. 96).

### 2.1.9.2. Prueba de Fligner-Killeen

La prueba de Fligner-Killeen es una prueba no paramétrica para probar la hipótesis nula de homogeneidad de varianzas grupales basadas en rangos, siendo la hipótesis alterna que al menos dos grupos poseen varianzas heterogéneas. De acuerdo con Fligner M. (1976) las propiedades de la prueba incluyen no requerir una distribución específica y ser robusta ante muestras pequeñas.

### 2.1.10. Regresión lineal múltiple

De acuerdo con Walpole (2012) la mayoría de los problemas de investigación requiere el análisis de más de una variable independiente para el modelo de regresión. Esto se conoce como modelo de regresión múltiple, y cuando este modelo es lineal en los coeficientes, entonces se denomina modelo de regresión lineal múltiple.

La ecuación del modelo de regresión lineal múltiple se define de la siguiente manera:

$$y_i = \hat{y}_i + e_i = b_0 + b_1x_{1i} + b_2x_{2i} + \dots + b_kx_{ki} + e_i$$

(Ec. 6)

Donde  $e_i$  es el residual asociado con el valor ajustado  $\hat{y}_i$  y se tiene el supuesto de que estos residuos son independientes, distribuidos normalmente, con media cero y varianza común.

### **2.1.11. Prueba de Breusch-Pagan**

Breusch y Pagan (1979) definen una prueba contra la heteroscedasticidad, mediante el ajuste de un modelo de regresión lineal sobre los residuos de un modelo de regresión lineal original. Si una parte suficiente de la varianza es explicada por las variables adicionales se rechaza la heteroscedasticidad.

### **2.1.12. Modelo de auto ponderación jerárquico**

De acuerdo con Hurtado (2005) el modelo se estructura con una serie de vectores asociados a los factores, las características dentro de cada factor y los indicadores de cada característica. Esta serie de vectores se conoce como Sistema de ponderación vertical.

Dentro de la estrategia de ponderación se incluyen los siguientes elementos:

- 1) Las características se ponderan de forma global, sin tomar en cuenta el factor jerárquico al que pertenecen.
- 2) La suma de los ponderadores de características dentro de cada factor resulta en el ponderador del factor.
- 3) Las ponderaciones de cada característica con relación a la suma de las ponderaciones dentro del factor resultan en un vector de ponderaciones de características en cada factor.
- 4) El mecanismo de ponderación aplicado en el elemento 1 se utiliza luego para ponderar cada indicador dentro de las características.

Los pasos a seguir indicados por Hurtado (2005) son los siguientes:

1. Obtener datos de calificación cuantitativa por cada característica a evaluar. En caso de datos cualitativos deben ser transformados a un equivalente cuantitativo.

2. Determinar la calificación cuantitativa promedio obtenida por cada característica.
3. Construir una matriz utilizando el vector de calificaciones promedio, fundamentado de la siguiente forma:

Si  $w_1, w_2, \dots, w_n$  es el vector de calificaciones dadas por los actores a las  $n$  alternativas, entonces puede representarse por medio del cociente  $\frac{w_i}{w_j}$  la importancia relativa de la alternativa  $i$  respecto a  $j$ . De tal manera que las posibles parejas conforman la matriz:

$$W = \begin{bmatrix} 1 & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & 1 & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

(Ec. 7)

4. Determinar el vector propio principal de la matriz.
5. Normalizar el vector propio resultante para obtener el vector de prioridades para cada una de las características.

### 2.1.13. Escala de Likert

De acuerdo con Joshi, et al. (2015), la escala de Likert es un tipo de pregunta para cuestionario que cuenta con una escala de medición ordinal o de intervalo, dependiendo de la categorización de los ítems asociados, respecto a actitudes, formadas por conceptos cognitivos, afectivos o psicomotores, que sea medible científicamente y cuantificable.

#### 2.1.14. Muestreo estratificado para estimación de media poblacional mediante afijación proporcional

De acuerdo con Scheaffer et al. (2011) el tamaño de muestra requerido para estimar la media poblacional con un límite de error B, utilizando una afijación proporcional se determina mediante la ecuación:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L N_i \sigma_i^2}{ND + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L N_i \sigma_i^2} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde L es el número de estratos, N el número total de individuos,  $\sigma^2$  la varianza poblacional del estrato i, y D se define mediante la fórmula:

$$D = B^2/4 \quad (\text{Ec. 9})$$

El número de individuos por estrato se define mediante la ecuación:

$$n_i = n \left( \frac{N_i}{N} \right) \quad (\text{Ec. 10})$$

##### 2.1.14.1. Estimación de la desviación estándar para muestreo

La desviación estándar puede estimarse como un cuarto del rango de los valores, asumiendo que estos sigan una distribución normal, según Scheaffer et al. (2011).

$$\sigma \cong \frac{\text{Rango}}{4} = \frac{\text{Valor mayor} - \text{Valor menor}}{4}$$

(Ec. 11)

## 2.2. Principios metodológicos

Para poder construir un indicador compuesto insesgado es recomendado aplicar ciertas técnicas metodológicas probadas, para poder aumentar la transparencia y robustez.

### 2.2.1. Educación a distancia

De acuerdo con Hidalgo et al. (2015), la modalidad de educación a distancia difiere de la modalidad presencial en que no se requiere que el profesor y el estudiante estén presencialmente en el mismo lugar. Puede trabajarse mediante múltiples medios, incluyendo correo postal, email o plataformas educativas que surgen de las TIC y presentan flexibilidad sobre todo para los estudiantes que habitan en comunidades lejanas o en aquellas donde existe una brecha en el acceso digital.

Hidalgo et al. (2015) mencionan algunas modalidades de educación a distancia:

- Aprendizaje electrónico (*e-Learning*):  
Esta modalidad representa una formación completamente virtual por computadora, sin presencialidad y haciendo uso específico de herramientas como correo electrónico, blogs, foros, páginas web, wikis, videoconferencias, chat y *podcasts* entre otros, haciendo uso de herramientas de comunicación síncrona y asíncrona.

- **Aprendizaje semipresencial (*b-Learning*):**  
Esta modalidad es una combinación de lo virtual con lo presencial, con la finalidad de integrar las fortalezas de ambas modalidades para aprovechar lo mejor de cada una. Utiliza herramientas tecnológicas para la parte en línea y herramientas comunes para sus clases presenciales, manteniendo un énfasis en el contacto directo con el profesor, la importancia del grupo y el ritmo de aprendizaje, pero dando lugar a la búsqueda investigativa y autodidacta que el estudiante obtiene en la modalidad electrónica.
- **Aprendizaje móvil (*m-Learning*):**  
El aprendizaje móvil surge a partir del dominio del mercado de los dispositivos inteligentes, tales como *smartphones*, *tablets* y computadoras portátiles. Este tipo de dispositivos cobra importancia debido a su precio y accesibilidad, dando lugar a programas de enseñanza diseñados específicamente para ellos, con un énfasis en aprendizaje en contextos, donde el centro de atención es la movilidad de los estudiantes.
- **Aprendizaje ubicuo (*u-Learning*):**  
Esta modalidad es una evolución directa del avance que el aprendizaje móvil representa, buscando la proliferación de un ambiente de aprendizaje generalizado u omnipresente, en el cual se utilicen los dispositivos tecnológicos que se encuentren al alcance del estudiante para lograrlo, como por ejemplo la televisión interactiva, *smartphones*, libros electrónicos, consolas de videojuegos, etc. Esto busca no limitar la formación a solamente lo

recibido mediante una computadora, y que en su lugar sea accesible en todo momento a través del internet.

### **2.2.2. Indicadores compuestos**

De acuerdo con el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, o CCI (2008) "... un indicador es una medida cuantitativa o cualitativa derivada de una serie de datos observados que puede revelar posiciones relativas... en un campo definido" (p. 13).

Un indicador compuesto es formado cuando varios indicadores individuales son compilados en un único índice, basado en un modelo subyacente. El indicador compuesto idealmente debería medir conceptos multidimensionales no apreciables con un solo indicador.

#### **2.2.2.1. Ventajas y desventajas**

El Centro Común de Investigación (2008) plantea que los indicadores son similares a los modelos matemáticos o computacionales en el aspecto de que su construcción está más atribuida a la habilidad del modelador que a reglas científicas universalmente aceptadas para su codificación. Por este motivo son útiles para identificar tendencias y para atraer atención a casos particulares, para determinar la prioridad de políticas y en el monitoreo de desempeño. Sin embargo, los indicadores compuestos pueden dar mensajes tergiversados si son contruidos sin el diseño y cuidado necesario o si son mal interpretados si el lector realiza un análisis sobre simplificado. Es por esto por lo que muchas veces se disputa si los indicadores compuestos son buenos o malos *per se*.

A continuación, una tabla con las ventajas y desventajas que el Centro Común de Investigación (2008) advierte sobre los indicadores compuestos:

**Tabla III Ventajas y desventajas de indicadores compuestos**

Indicadores compuestos	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pueden resumir realidades complejas y multidimensionales para facilitar la comprensión de quienes deben tomar decisiones.</li> <li>• Son más simples de interpretar que un lote de varios indicadores separados.</li> <li>• Pueden ser utilizados para medir el progreso de acuerdo al tiempo.</li> <li>• Reduce el tamaño visible de complejidad de un grupo de indicadores sin dejar de tomar en cuenta la información base, de manera que puede incluirse más información en menos espacio.</li> <li>• Pueden hacer llegar fácilmente temas de desempeño y progreso a los políticos y tomadores de decisiones.</li> <li>• Facilita la comunicación con el público en general y promueve la transparencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pueden dar mensajes tergiversados si no son contruidos de manera apropiada.</li> <li>• Pueden dar lugar a análisis sobre simplificados.</li> <li>• Si no son transparentes o no tienen un principio estadístico sólido pueden ser usados como falacia para tratar de validar una política específica.</li> <li>• La selección de los indicadores subyacentes pueden ser tema de disputa.</li> <li>• Pueden esconder serias falencias en los indicadores de distintas dimensiones o incrementar la dificultad para determinar la causa del problema si el proceso de construcción no es transparente.</li> <li>• Puede llevar a conclusiones erróneas si no se toman en cuenta dimensiones, más aún aquellas que son difíciles de medir.</li> </ul>

Fuente: Adaptado y traducido de Joint Research Centre - European Commission. (2008)

### **2.2.2.2. Pasos para la construcción de un indicador compuesto**

El Centro Común de Investigación (2008) propone una serie de diez pasos para construir un indicador compuesto, con el objetivo de evitar los problemas técnicos y las falencias teóricas más comunes en el proceso. Los diez pasos se describen a continuación:

#### **Paso 1. Definir un marco teórico**

Un marco teórico debe ser desarrollado para ser usado como base del proceso de combinación de indicadores individuales para la creación del indicador compuesto. El marco debe definir el fenómeno a medir y sus componentes, basándose en lo que se desea medir, no importando los indicadores actualmente disponibles.

Dentro del marco teórico debe definir claramente el concepto de lo que está siendo medido, así como determinando los subgrupos en los que puede dividirse un concepto multidimensional. Estos subgrupos no necesitan ser estadísticamente independientes entre ellos y sus relaciones deben ser indicadas de manera explícita.

Adicionalmente, dentro del marco teórico también deben ser identificados los criterios de selección para indicadores individuales. El criterio debe usarse como guía para determinar la inclusión en el indicador compuesto.

## **Paso 2. Seleccionar las variables**

Los indicadores deben seleccionarse con base en su capacidad de ser medidos, su robustez, su relevancia respecto al fenómeno de estudio, su alcance y su relación con otros indicadores.

Una falencia de datos significativos puede limitar la habilidad de construir un indicador compuesto sólido. Cuando existe escasez de datos cuantitativos pueden utilizarse datos cualitativos de encuestas. Otra alternativa es el uso de indicadores relacionados para suplir la deficiencia de indicadores deseados, pero debe tenerse el cuidado de analizar, mediante un análisis de correlación y sensibilidad, la veracidad de la relación entre indicadores.

El investigador idealmente debe basarse en los datos que quiere medir, teniendo en cuenta que, si por falta de recursos se utilizan datos deficientes, se obtendrá un indicador deficiente. El proceso de construcción del indicador compuesto debe ser un motivador para identificar nuevos orígenes de datos. Sin embargo, a veces es necesario llegar a un compromiso con la información disponible. En este caso lo esencial es que exista una transparencia de los datos a utilizar y de los compromisos tomados.

## **Paso 3. Imputación de datos faltantes**

La falta de datos puede causar una falta de robustez en el indicador final. Los datos faltantes pueden presentarse tanto de manera aleatoria como no aleatoria, lo que afecta los métodos con los que pueden ser imputados. Los patrones son:

*Missing completely at random* (MCAR) o faltantes completamente aleatorios. Este tipo de datos faltantes no depende del valor de la variable observada, ni de ninguna variable del grupo de datos.

*Missing at random* (MAR) o faltantes aleatorios. Este tipo de datos faltantes no depende del valor de la variable observada, pero sí es condicional respecto a otra variable dentro del grupo de datos. Los datos faltantes por diseño se incluyen dentro de esta categoría.

*Not missing at random* (NMAR) o faltantes no aleatorios. Este tipo de datos faltantes es dependiente del valor de la variable observada.

La mayoría de los métodos de imputación de datos mantienen el supuesto de aleatoriedad en los datos faltantes. Si existen razones para asumir la existencia de un patrón de datos NMAR el patrón debe ser modelado explícitamente y ser considerado al momento de realizar el análisis. Sin embargo, aunque se tomen medidas, si se tiene un patrón NMAR aumenta la probabilidad de que el indicador compuesto pueda presentar un sesgo. Cuando los datos faltantes se presentan de forma aleatoria, puede aplicarse un método de imputación de datos. En general existen tres estrategias generales para hacer frente a un dato faltante:

La primera es la eliminación de la observación incompleta. Esta estrategia es la más sencilla, pero ignora las diferencias existentes entre muestras completas e incompletas. También es conocida por aumentar el error estándar, dada una reducción en el tamaño de la muestra.

La segunda es la imputación de datos individuales. Esta estrategia utiliza métodos de sustitución por media o mediana, regresión, medias móviles u algún

otro método para determinar el valor faltante. Es conocida por subestimar la varianza, debido a la incerteza de los métodos de imputación.

La tercera es la imputación de datos múltiples, utilizando métodos como cadenas de Markov, o algoritmos de simulación Monte Carlo. Esta estrategia genera múltiples valores para el mismo valor faltante, representando de mejor manera la incerteza debido a la imputación.

#### **Paso 4. Análisis multivariado**

Debe realizarse un análisis exploratorio multivariado de los datos, para verificar la estructura general de los indicadores, explicar las selecciones de metodología y comprobar la adecuación de los datos. La información puede ser agrupada y analizada en al menos dos dimensiones: indicadores individuales y población de estudio.

Al agrupar por indicadores individuales, pueden utilizarse varios métodos como el análisis multivariado de componentes principales. El fin principal es revelar de qué manera se asocian las variables entre ellas.

Al agrupar por la población de estudio puede aplicarse un análisis de conglomerados para clasificar la información en grupos manejables.

#### **Paso 5. Normalización**

Los indicadores deben normalizarse de tal forma que puedan ser comparados. Debe tomarse en especial consideración los valores extremos, ya que pueden causar un indicador sesgado.

Para este proceso existen múltiples métodos incluyendo los siguientes: Rankings, estandarización (valores Z), máximos y mínimos, distancia a un punto de referencia, escalas categóricas, valores sobre o debajo de la media, indicadores cíclicos, balance de opinión o porcentaje de diferencias sobre el tiempo.

### **Paso 6. Definición de ponderadores y agregación**

Los indicadores deberán ser pesados y agregados en concordancia con el marco teórico subyacente. Si existe correlación entre los indicadores debe ser evaluada, para determinar si debe eliminarse o mantenerse.

Existen varias técnicas para definición de ponderadores incluyendo las siguientes: Los derivados del análisis multivariado (factores o componentes principales), procesos de colocación de presupuestos, análisis jerárquico de procesos, análisis conjunto, pesos iguales y beneficio de la duda. No obstante, el método utilizado, los ponderadores son esencialmente juicios de valor, y aunque pueden basarse solamente en métodos estadísticos también pueden ser influenciados por la opinión de expertos, encuestas de opinión, o para reflejar la prioridad de políticas o factores teóricos.

Es importante tomar en cuenta que casi siempre existe algún grado de correlación entre diferentes indicadores del mismo agregado, por lo que se recomienda definir un umbral de verificación de doble conteo, dado que si dos o más variables están fuertemente correlacionadas el método de asignación de ponderadores puede aumentar artificialmente el peso de dichas variables dentro del indicador, creando un sesgo.

La definición del método de agregación también es un aspecto importante a tomar en cuenta:

**Agregación lineal:** Este método es útil cuando todos los indicadores individuales utilizan una misma unidad de medida. Este método recompensa a los indicadores base proporcionalmente al ponderador. La agregación lineal presenta compensación constante respecto a los valores.

**Agregación geométrica:** Este método es útil cuando se requiere algún grado de no compensación entre indicadores individuales o dimensiones. Este método recompensa a los objetos con valores más altos. La agregación geométrica presenta compensación menor a las observaciones con menor valor.

**Agregación de criterios múltiples:** Este método es útil cuando se requiere que no exista compensación. En su forma básica, este método no recompensa valores extremos, ya que mantiene únicamente información ordinal.

## **Paso 7. Análisis de robustez y sensibilidad**

Debe analizarse la robustez de un indicador compuesto en términos del mecanismo utilizado para incluir o excluir indicadores, el esquema de normalización e imputación de datos, la selección de pesos y el método de agregación. Una combinación de análisis de sensibilidad e incerteza pueden ayudar a probar la robustez del indicador final y aumentar la transparencia.

El análisis de incerteza se enfoca en la manera en la que la incerteza de los indicadores individuales afecta la estructura del indicador final, y afectan sus valores.

El análisis de sensibilidad valora la contribución de cada fuente de incerteza individual sobre la varianza del valor final.

Idealmente, todas las fuentes posibles de incerteza deben ser evaluadas. La propuesta dada por el Centro Común de Investigación (2008) incluye los siguientes pasos:

1. Inclusión y exclusión de indicadores individuales.
2. Modelar el error de los datos basado en la estimación de la varianza de la información disponible.
3. Usar distintos esquemas de edición e imputación.
4. Usar distintos esquemas de normalización.
5. Usar distintos esquemas de ponderación.
6. Usar distintos esquemas de agregación.
7. Usar diferentes valores posibles para los ponderadores.

Los resultados de los análisis de sensibilidad suelen ser representados en un diagrama de puntos, donde los valores del eje vertical son los del indicador compuesto para determinado objeto de estudio, y los valores del eje horizontal son los resultados de incerteza obtenidos para cada indicador individual o variable.

### **Paso 8. Regresando a los datos**

Un indicador compuesto debe ser transparente, de tal forma que pueda ser descompuesto en los valores de los indicadores subyacentes, para poder analizar de forma extendida el rendimiento del objeto de estudio.

Los resultados de la descomposición pueden ser presentados en forma de gráficas, por ejemplo: Gráfico de líderes y rezagados, diagramas de tela de araña y diagramas de semáforo, entre otros.

### **Paso 9. Relaciones con otras variables**

Debe realizarse un esfuerzo por evaluar si existe correlación del indicador compuesto con otros indicadores conocidos. Estas relaciones pueden ser utilizadas para evaluar el poder explicativo del indicador.

El impacto de las selecciones metodológicas (ponderadores, método de normalización, método de imputación, método de agregación u otros) sobre la correlación entre el indicador compuesto y otros indicadores puede ser evaluado mediante simulaciones Monte Carlo. Es importante destacar que si la variable con la que se está realizando la comparación es contenida por el indicador, o contiene alguno de los indicadores individuales que lo componen, puede darse el caso de un doble conteo, por lo que deben ser obviados durante las correlaciones o simulaciones.

### **Paso 10. Presentación y visualización**

La presentación de los indicadores no es un asunto trivial. Los indicadores compuestos deben poder ser visualizados de manera rápida y eficaz, de distintas maneras.

Las tablas son una manera de presentar la información de manera completa, pero pueden verse sobrecargadas de información. Esto dificulta la visualización de asuntos que pueden ser visualizados rápidamente en

representación gráfica. El presentador necesita decidir si la situación requiere una tabla, una gráfica o ambas.

### **2.2.3. Encuestas**

Anguita (2002) define la encuesta de la siguiente manera:

una técnica que utiliza un conjunto de procedimientos estandarizados de investigación mediante los cuales se recoge y analiza una serie de datos de una muestra de casos representativa de una población o universo más amplio, del que se pretende explorar, describir, predecir y/o explicar una serie de características (p. 528).

Entre las características más relevantes de la encuesta puede destacarse:

- La información es obtenida de forma indirecta. La información puede no ser certera completamente.
- Puede realizarse una aplicación masiva del instrumento, para recopilar grandes cantidades de respuestas.
- El objetivo de estudio no es el individuo que responde, sino la población de la que proviene.
- Permite que se cuestionen múltiples temas.
- La información se recopila de modo estandarizado.

Dada la complejidad logística de poder encuestar grandes poblaciones, suele utilizarse el muestreo para la realización de encuestas. Algunas de las técnicas de muestreo más utilizadas son: Muestreo aleatorio simple, muestreo aleatorio estratificado, muestreo por conglomerados y muestreo sistemático.

### **2.2.3.1. Muestreo para encuestas en línea**

Para la aplicación de encuestas en línea existen varios métodos para realizar un muestreo, fuera de los utilizados normalmente. De acuerdo con Fricker (2016) entre estos se encuentran los probabilísticos: Encuestas usando un marco muestral basado en listas, encuestas usando un muestreo aleatorio sin listas, encuestas de intercepción o *pop-up* y encuestas mixtas con opciones en línea. Entre los no probabilísticos están las encuestas sin restricción auto seleccionable y las encuestas voluntarias u optativas.

Las encuestas utilizando un marco muestral basado en listas se realizan de forma muy similar a las encuestas de muestreo aleatorio simple. Estas encuestas son más efectivas con grupos homogéneos grandes.

Por otro lado, en las encuestas voluntarias u optativas el método de muestreo no es probabilístico, y el usuario decide si quiere o no participar cuando se le pregunta, usualmente desde una página web. El problema con el muestreo no probabilístico es que la muestra puede no ser representativa de la población.

### **2.2.4. Lenguaje de programación estadístico R**

La definición dada por Santana (2014) es: “R es un lenguaje de programación interpretado, de distribución libre, bajo Licencia GNU, y se mantiene en un ambiente para el cómputo estadístico y gráfico” (p. 7). Creado en 1992 por Ross Ihaka y Robert Gentleman en Nueva Zelanda, surge como una evolución del lenguaje S.

R posee un sistema base y una variada gama de paquetes modulares, creados y distribuidos por la comunidad de usuarios del lenguaje. Este

modularidad permite que el código R pueda ser compartido y desarrollado con facilidad, así como tiene la capacidad de realizar múltiples tareas de acuerdo con los paquetes que tenga instalados.

Dado que R es un lenguaje con una orientación estadística muchos de los paquetes contienen pruebas y herramientas listas para utilizarse, que resultan útiles para el trabajo estadístico.

### **3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del trabajo de campo respecto a los objetivos de la investigación.

#### **3.1. Objetivo 1: Contrastar por cada curso los indicadores académicos de aprobación y promedio entre las muestras con modalidades de educación a distancia y presencial, para determinar el número de indicadores que percibieron un cambio significativo en cada uno.**

Se solicitaron los datos de indicadores académicos de tasa de aprobación y nota promedio de aprobación a la Facultad de Ingeniería, la cual otorgó acceso a los mismos. Los datos incluyen el registro promedio de cada indicador entre todas las secciones por cada curso agrupados por año y tipo de periodo académico, considerando como modalidad de educación en línea todos los registros posteriores al periodo académico de primer semestre del año 2020 inclusivo.

##### **3.1.1. Determinación de pruebas por curso**

Se realizó el contraste en cada curso de cada indicador académico, utilizando la prueba correspondiente de acuerdo con la disponibilidad de los datos que presentó cada curso y el cumplimiento de los supuestos para utilizar pruebas paramétricas, infiriendo la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad mediante la prueba de Fligner-Killeen. Cada curso fue clasificado en una de las siguientes tres categorías:

1. En los cursos que solamente fueron impartidos en un tipo de periodo académico específico y cuyas muestras cumplieron con el supuesto de normalidad, así como el de homogeneidad de varianzas se utilizó la prueba t de Student para el contraste de medias con varianzas desconocidas pero asumidas iguales.
2. En los cursos que solamente fueron impartidos en un tipo de periodo académico específico, y cuyas muestras no cumplieron con el supuesto de normalidad o el de homogeneidad de varianzas, se utilizó la prueba U de Mann-Whitney.
3. En los cursos que fueron impartidos en más de un tipo de periodo académico, se realizó un análisis de varianza de dos vías con bloques completos, utilizando el factor tipo de periodo académico como el bloqueo. Adicionalmente se realizó un contraste a priori sobre el factor del tipo de modalidad de educación.

### 3.1.2. Resultados de contrastes de indicadores:

A continuación, se presenta el listado de la prueba aplicada sobre cada curso e indicador, ordenado según el código de cada curso.

**Tabla IV. Pruebas aplicadas por curso**

Código de curso	Prueba de indicador aprobación	Prueba de indicador promedio	Puntuación de indicador aprobación	Puntuación de indicador promedio	Puntuación total
0001	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	1	2
0005	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0006	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1

Continuación Tabla IV.

<b>Código de curso</b>	<b>Prueba de indicador aprobación</b>	<b>Prueba de indicador promedio</b>	<b>Puntuación de indicador aprobación</b>	<b>Puntuación de indicador promedio</b>	<b>Puntuación total</b>
0008	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0009	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1
0010	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	1	2
0011	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0014	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0017	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0018	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0022	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	0	1
0027	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	0	1
0028	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0030	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	1	2
0039	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0040	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0060	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0069	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	-1	-1	-2
0071	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0073	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	0	1
0074	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0
0075	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0080	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0082	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	1	2
0084	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	1	1
0090	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	1	2
0101	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0103	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0

Continuación Tabla IV.

<b>Código de curso</b>	<b>Prueba de indicador aprobación</b>	<b>Prueba de indicador promedio</b>	<b>Puntuación de indicador aprobación</b>	<b>Puntuación de indicador promedio</b>	<b>Puntuación total</b>
0107	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0112	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	0	1
0114	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0116	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0118	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0120	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0122	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	1	2
0147	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	-1	0	-1
0150	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0152	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0154	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0156	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	1	2
0170	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0172	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1
0193	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0196	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0
0198	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	0	1
0200	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0201	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0202	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0204	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	0	1
0206	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	0	1
0209	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	1	1	2
0210	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0211	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0

Continuación Tabla IV.

Código de curso	Prueba de indicador aprobación	Prueba de indicador promedio	Puntuación de indicador aprobación	Puntuación de indicador promedio	Puntuación total
0212	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0213	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0214	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1
0216	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0218	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0220	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0221	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0222	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0224	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0
0233	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	1	0	1
0234	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0236	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0238	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0239	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	1	0	1
0240	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0241	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1
0243	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0245	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	1	1	2
0246	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1
0248	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1
0250	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0252	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0254	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0258	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	0	1
0262	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0

Continuación Tabla IV.

Código de curso	Prueba de indicador aprobación	Prueba de indicador promedio	Puntuación de indicador aprobación	Puntuación de indicador promedio	Puntuación total
0280	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	0	1
0282	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	0	1
0283	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0284	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	1	0	1
0285	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0286	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	0	1
0288	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	1	1
0300	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0302	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	-1	-1
0306	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0307	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0314	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0315	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	1	1
0321	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	1	1
0323	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0
0325	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0332	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0335	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0340	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0
0349	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	1	1
0352	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	1	2
0354	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1
0356	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0358	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0360	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	0	1

Continuación Tabla IV.

<b>Código de curso</b>	<b>Prueba de indicador aprobación</b>	<b>Prueba de indicador promedio</b>	<b>Puntuación de indicador aprobación</b>	<b>Puntuación de indicador promedio</b>	<b>Puntuación total</b>
0361	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0362	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0364	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0368	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0370	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0380	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	1	2
0382	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	0	1
0386	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	0	1
0388	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	0	1
0390	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	0	1
0394	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	0	1
0396	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1
0398	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	1	1
0409	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0410	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	0	1
0412	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0414	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	1	0	1
0416	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	1	1	2
0418	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	1	2
0421	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0
0423	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0
0425	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0
0428	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	0	1
0430	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0431	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0

Continuación Tabla IV.

<b>Código de curso</b>	<b>Prueba de indicador aprobación</b>	<b>Prueba de indicador promedio</b>	<b>Puntuación de indicador aprobación</b>	<b>Puntuación de indicador promedio</b>	<b>Puntuación total</b>
0433	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0
0434	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0437	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	0	1
0440	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	1	0	1
0442	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	-1	1	0
0452	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0453	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0454	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	1	2
0455	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	-1	0	-1
0456	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0458	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	1	2
0460	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0462	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0472	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0474	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0476	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0
0478	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0482	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	1	1
0486	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0504	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	-1	0
0506	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1
0508	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0511	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0
0512	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0
0513	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0

Continuación Tabla IV.

Código de curso	Prueba de indicador aprobación	Prueba de indicador promedio	Puntuación de indicador aprobación	Puntuación de indicador promedio	Puntuación total
0520	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	1	2
0522	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0524	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0526	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0528	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0530	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	1	2
0532	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0550	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	1	1
0560	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	1	1
0601	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0606	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0
0608	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0630	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0634	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0636	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	1	1	2
0638	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0640	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0642	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1
0644	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	1	1
0650	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0652	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	1	0	1
0656	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0658	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	1	1
0660	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0661	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0

Continuación Tabla IV.

<b>Código de curso</b>	<b>Prueba de indicador aprobación</b>	<b>Prueba de indicador promedio</b>	<b>Puntuación de indicador aprobación</b>	<b>Puntuación de indicador promedio</b>	<b>Puntuación total</b>
0663	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0664	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0666	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	1	1
0667	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	1	1	2
0669	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	1	1
0670	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0687	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0
0700	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0702	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0704	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0706	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0708	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0710	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0712	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	0	0	0
0722	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0724	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	0	1
0729	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1
0732	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0734	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0736	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0769	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0770	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1
0772	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0773	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0774	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	0	1

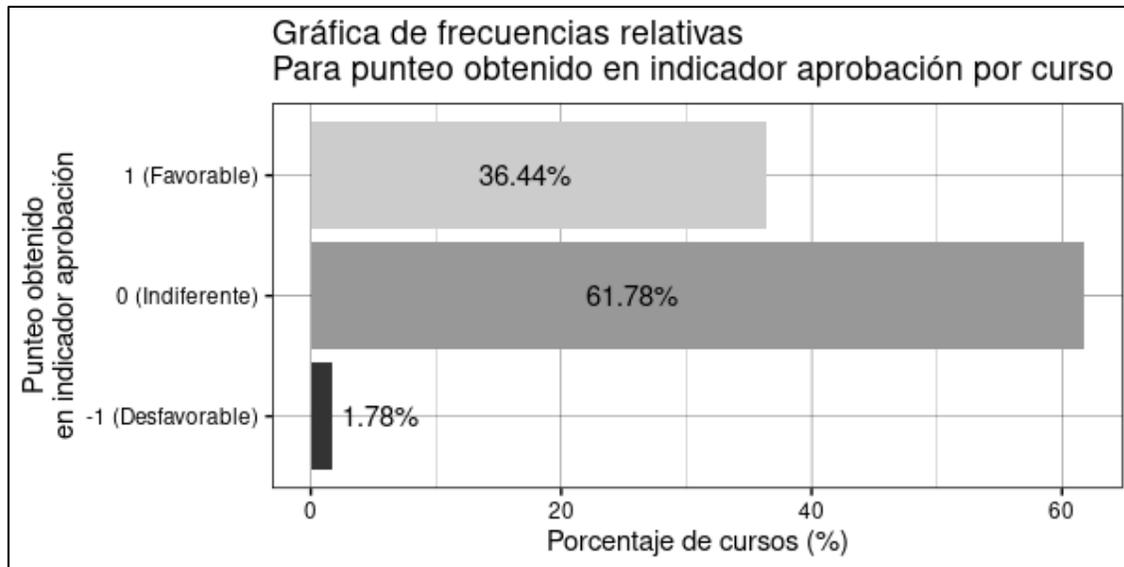
Continuación Tabla IV.

Código de curso	Prueba de indicador aprobación	Prueba de indicador promedio	Puntuación de indicador aprobación	Puntuación de indicador promedio	Puntuación total
0775	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0777	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	0	1
0778	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1
0779	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1
0780	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0785	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0786	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1
0790	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0795	Prueba U de Mann-Whitney	Prueba U de Mann-Whitney	1	1	2
0796	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0797	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0798	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	1	1
0799	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0879	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	0	0
0960	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0962	Comparación de medias de t de Student	Comparación de medias de t de Student	0	1	1
0964	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	1	1	2
0970	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0972	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	-1	-1
0975	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0980	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0
0991	ANOVA con bloques completos	ANOVA con bloques completos	0	0	0

Fuente: elaboración propia, utilizando software R.

A continuación, se resumen los resultados para cada uno de los indicadores académicos utilizados:

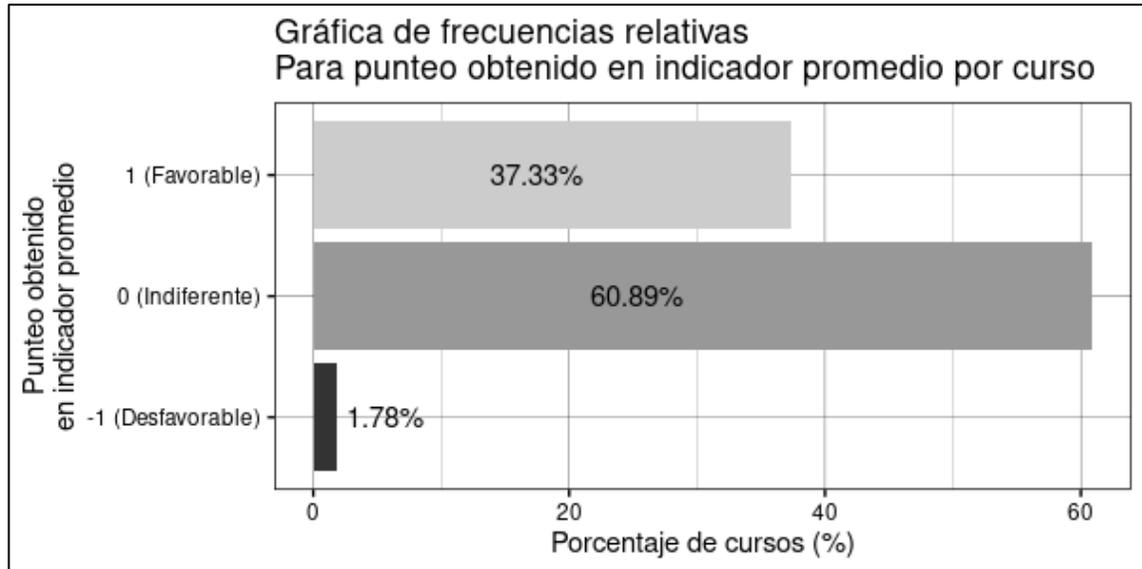
**Figura 1. Gráfica de frecuencias para puntuación en indicador aprobación**



Fuente: elaboración propia, utilizando software R.

Respecto al indicador aprobación, utilizando un nivel de significancia de 0.05, un 36.44% de los cursos mostraron un desempeño significativamente favorable al impartirse en modalidad virtual, un 61.78% fueron indistintos y un 1.78% mostraron comportamiento significativamente desfavorable.

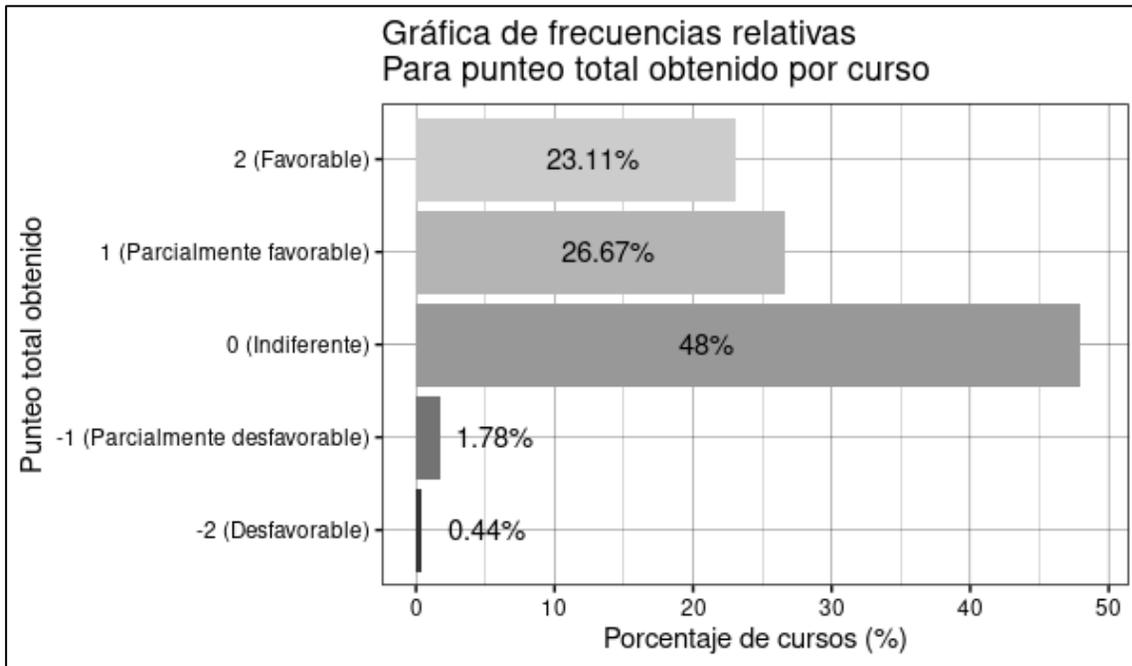
**Figura 2. Gráfica de frecuencias para puntuación en indicador nota promedio**



Fuente: Elaboración propia, utilizando software R.

Respecto al indicador de nota promedio, utilizando un nivel de significancia de 0.05 un 37.33% de los cursos mostraron un desempeño significativamente favorable al impartirse en modalidad virtual, un 60.89% fueron indistintos y un 1.58% mostraron un comportamiento significativamente desfavorable.

**Figura 3. Gráfica de frecuencias para puntuación total por curso**



Fuente: Elaboración propia, utilizando software R.

Respecto al indicador combinado total, obtenido mediante la sumatoria de las puntuaciones para cada indicador en cada curso, un 23.11% de los cursos mostraron un desempeño favorable al impartirse en modalidad virtual, obteniendo un punto positivo en ambos indicadores; un 26.67% mostraron un desempeño parcialmente favorable, obteniendo un desempeño positivo en uno de los indicadores; un 48.00% fueron indistintos, no teniendo diferencias u obteniendo un desempeño positivo en un indicador y uno negativo en el otro; un 1.78% mostraron un desempeño parcialmente desfavorable, obteniendo un desempeño negativo en un indicador; y un 0.44% mostraron un desempeño desfavorable, obteniendo un desempeño negativo en ambos indicadores.

**3.2. Objetivo 2: Obtener una muestra representativa y cuantificada de la opinión estudiantil respecto a la modalidad de educación a distancia, utilizando como base la aplicación de una encuesta y su posterior tabulación y cuantificación mediante auto ponderación.**

La encuesta se llevó a cabo durante el periodo académico de vacaciones del primer semestre de 2022, teniendo un número máximo de 5916 estudiantes asignados dentro de las 10 carreras facultativas.

**3.2.1. Cálculo de muestra**

Se aproximó una estimación de la desviación estándar dado que el valor es desconocido y el tema de estudio es nuevo, por lo que no se contó con estudios anteriores. Esta aproximación se realizó utilizando el rango entre los valores teóricos máximos y mínimos de los resultados de la encuesta, siendo estos 6 y -6 respectivamente, y se estimó que la desviación estándar corresponde a 3.

$$\sigma \cong \frac{6 - (-6)}{4} = 3$$

(Ec. 12)

Se estimó el tamaño de la muestra para la encuesta utilizando un modelo de muestreo estratificado con afijación proporcional, separando a los estudiantes por la carrera de ingeniería que estudian.

**Tabla V Estratos seleccionados para cálculo de muestra**

Número de estrato	Nombre de carrera de ingeniería	Estudiantes inscritos en periodo académico
1	Civil	737
2	Química	658
3	Mecánica	264
4	Eléctrica	304
5	Industrial	1078
6	Mecánica eléctrica	273
7	Mecánica industrial	297
8	En ciencias y sistemas	1779
9	Electrónica	466
10	Ambiental	60
TOTAL		5916

Fuente: Elaboración propia, con datos de la Facultad de Ingeniería

Se fijó un error máximo de 0.5 puntos para la media a estimar y se calculó el tamaño de la muestra mínimo de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^{10} N_i^2}{5916 \frac{0.5^2}{4} + \frac{1}{5916} \sum_{i=1}^{10} N_i^2} = 140.58$$

(Ec. 13)

Lo que resultó en un tamaño de muestra mínimo de aproximadamente 141 estudiantes.

Se calculó el número mínimo de estudiantes por estrato de acuerdo con la afijación proporcional:

$$n_i = n \left[ \frac{N_i}{5916} \right]$$

(Ec. 14)

Para reducir las respuestas nulas y aumentar la robustez de los datos se decidió aumentar el tamaño de la muestra. A discreción del investigador se decidió encuestar a un sexto de los estudiantes inscritos, aproximadamente 987, para encuestar al menos un 15% de los estudiantes inscritos, con el fin de tener una muestra suficientemente robusta sin interrumpir las actividades educativas de la mayoría de los estudiantes. La distribución final se presenta a continuación:

**Tabla VI Tamaño de muestra mínimo para encuesta**

Número de estrato	Nombre de carrera de ingeniería	Proporción de estudiantes	Tamaño mínimo de muestra del estrato	Tamaño de muestra utilizado
1	Civil	12.4577%	18	123
2	Química	11.1224%	16	110
3	Mecánica	4.4625%	7	44
4	Eléctrica	5.1386%	8	51
5	Industrial	18.2218%	26	180
6	Mecánica eléctrica	4.6146%	7	46
7	Mecánica industrial	5.0203%	8	50
8	En ciencias y sistemas	30.0710%	43	296
9	Electrónica	7.8769%	12	78
10	Ambiental	1.0142%	2	10
TOTAL		100%	147	988

Fuente: Elaboración propia.

La encuesta recibió un número de 249 participaciones, resultando en una tasa de participación cercana al 25% del total de la muestra, y cumpliendo con los tamaños mínimos calculados para cada estrato.

**Tabla VII Número de respuestas recibidas**

Número de estrato	Nombre de carrera de ingeniería	Número de encuestas completas	Tasa de participación
1	Civil	30	24.39%
2	Química	31	28.18%
3	Mecánica	16	36.36%
4	Eléctrica	13	25.49%
5	Industrial	50	27.78%
6	Mecánica eléctrica	13	28.26%
7	Mecánica industrial	14	28%
8	En ciencias y sistemas	62	20.95%
9	Electrónica	19	24.36%
10	Ambiental	4	40%
TOTAL		249	25.2%

Fuente: Elaboración propia

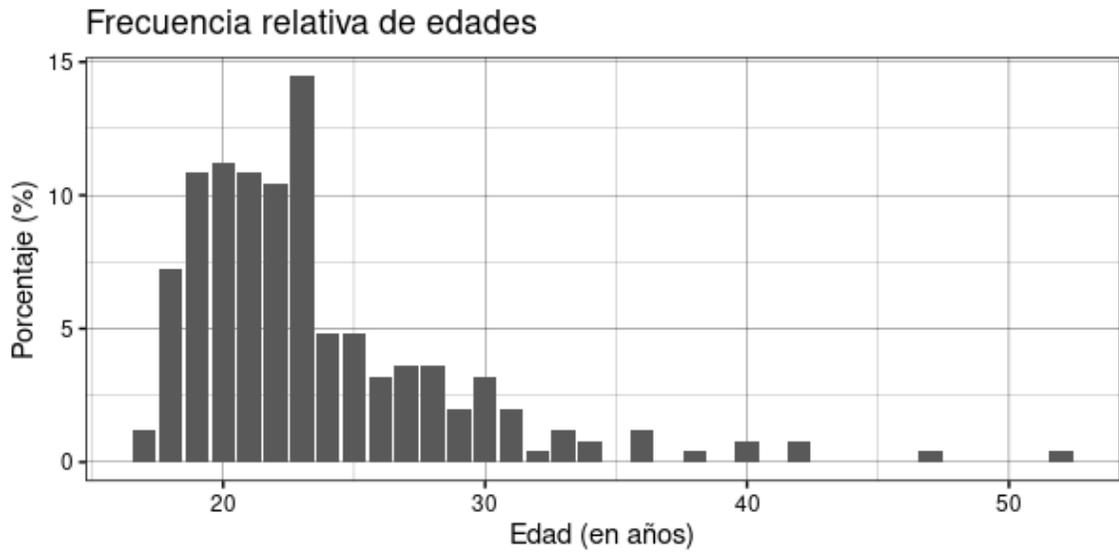
### **3.2.2. Respuestas tabuladas**

A continuación, se presentan los datos tabulados de las respuestas.

Sección de preguntas generales: En esta sección se muestran preguntas de opción cerrada, de información general del estudiante, con el fin de categorizar las respuestas.

- Pregunta: ¿Cuántos años tiene?

**Figura 4 Frecuencia relativa de edades**



Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

- Pregunta: ¿En qué departamento vive?

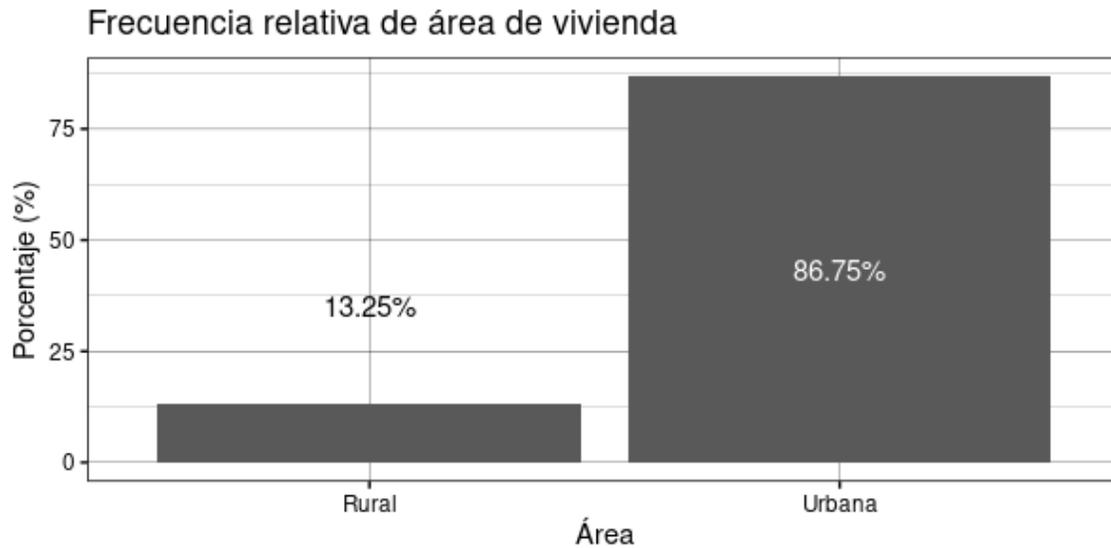
**Figura 5 Frecuencia relativa del departamento**



Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

- Pregunta: ¿Vive en área rural o urbana?

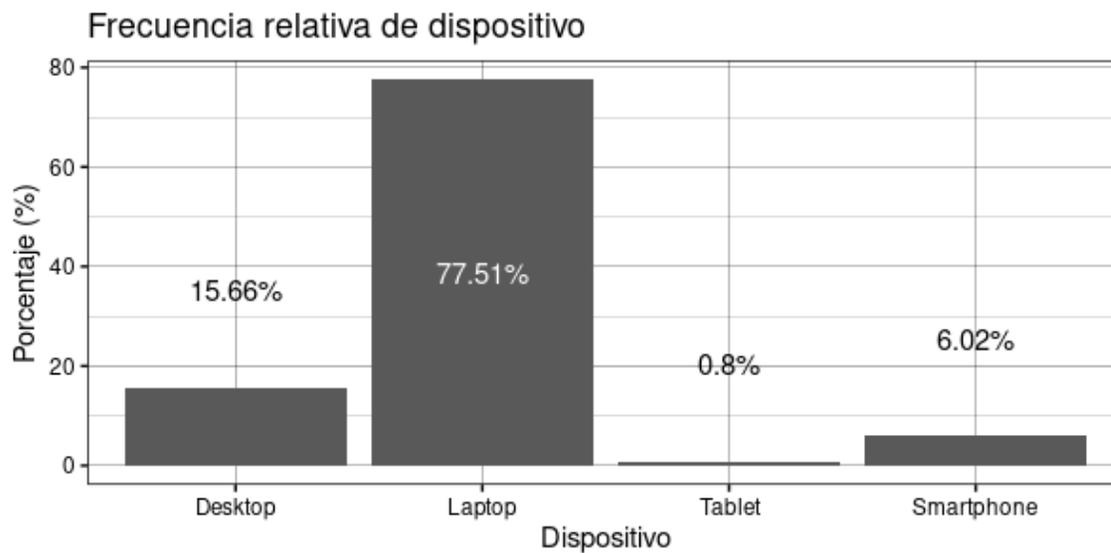
**Figura 6 Frecuencia relativa de área de vivienda**



Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

- Pregunta: ¿En qué dispositivo suele recibir sus clases usualmente?

**Figura 7 Frecuencia relativa de dispositivo utilizado**

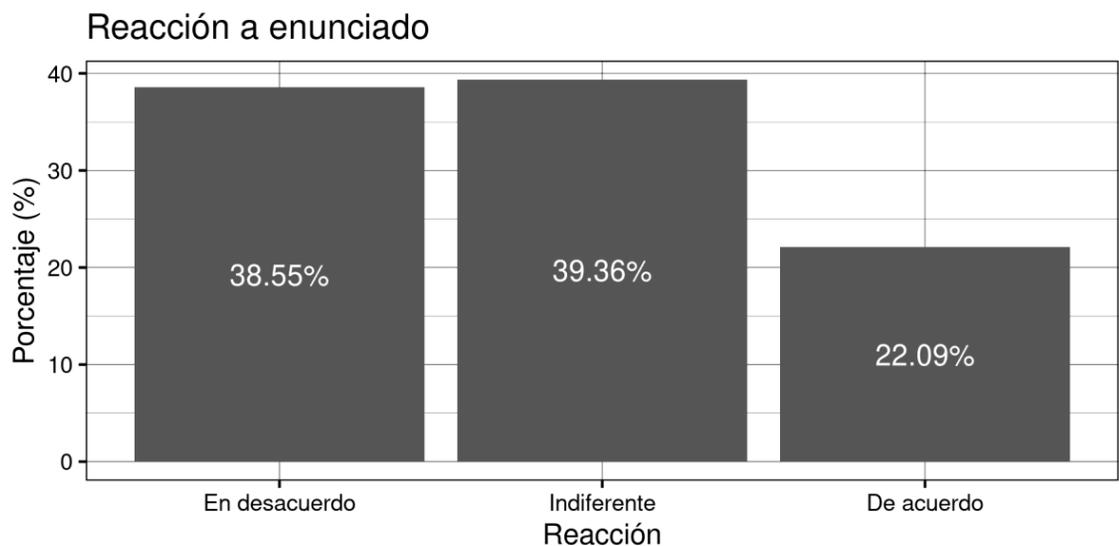


Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

Sección de aspectos de la modalidad a distancia: En esta sección se presentan enunciados en los cuales el estudiante respondió si se encontraba de acuerdo con el enunciado, si se mantenía indiferente o si estaba en desacuerdo, utilizando una escala de Likert con tres opciones de respuesta.

- Enunciado 1: En la modalidad a distancia, siento que he podido concentrarme muy poco en mis clases.

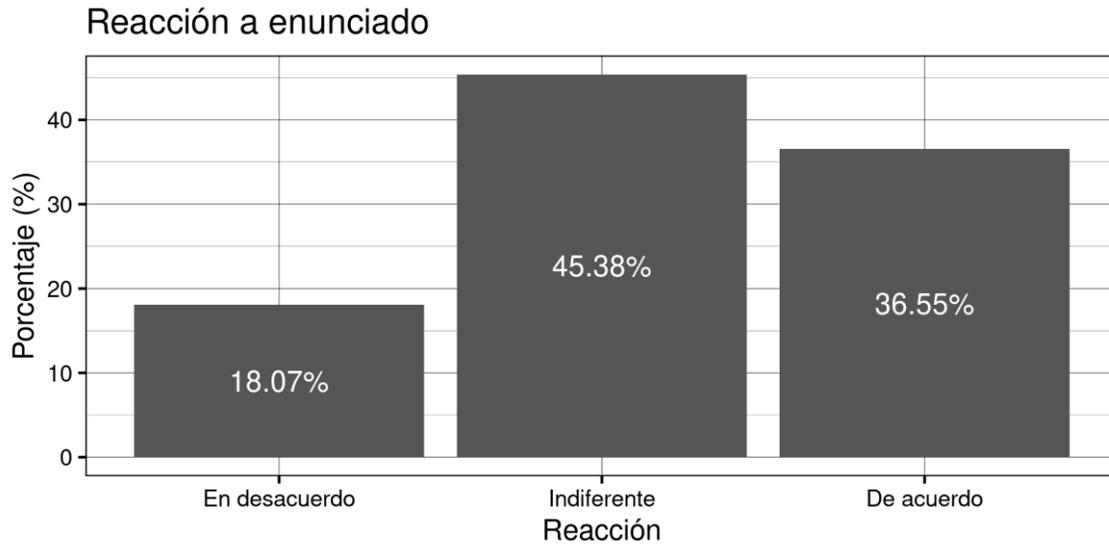
**Figura 8 Respuesta a enunciado 1**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 2: en la modalidad a distancia, siento que la mayoría de mis docentes se esfuerzan más en preparar sus clases.

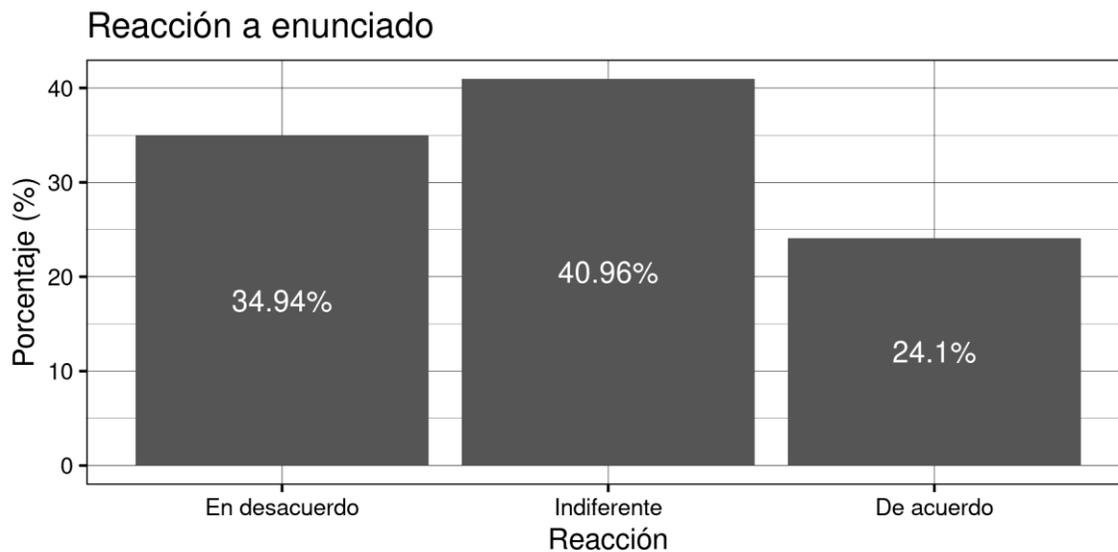
**Figura 9 Respuesta a enunciado 2**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 3: En la modalidad a distancia, me he sentido frustrado por mis notas.

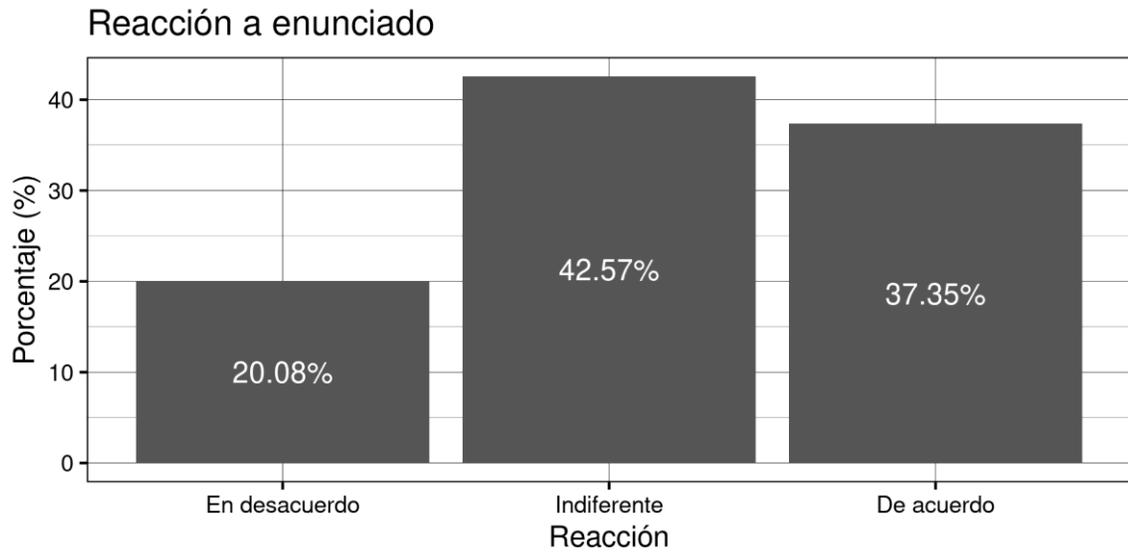
**Figura 10 Respuesta a enunciado 3**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 4: En la modalidad a distancia, siento que he podido concentrarme adecuadamente en mis clases.

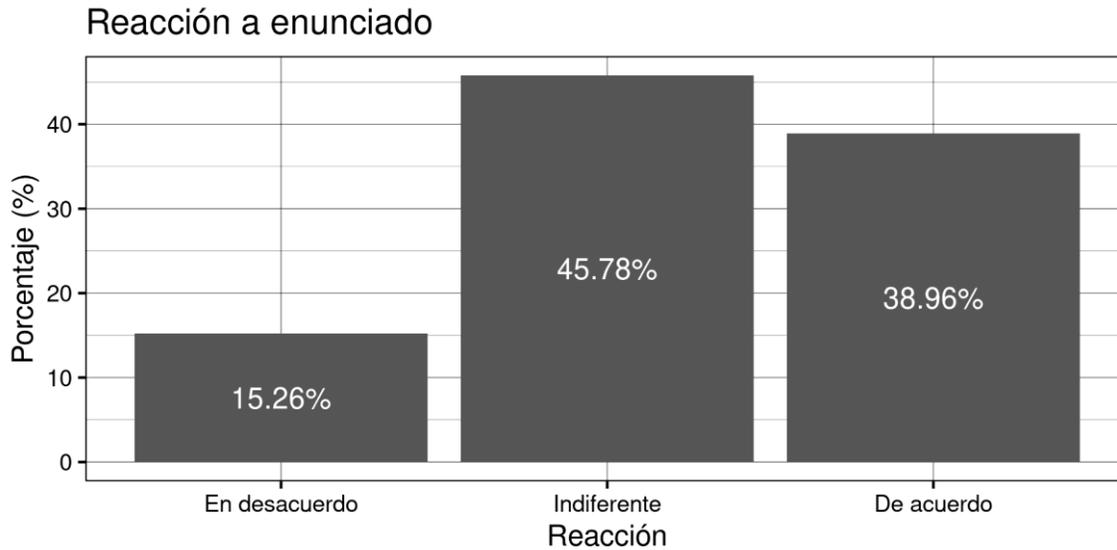
**Figura 11 Respuesta a enunciado 4**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 5: En la modalidad a distancia, me he sentido satisfecho con mis notas.

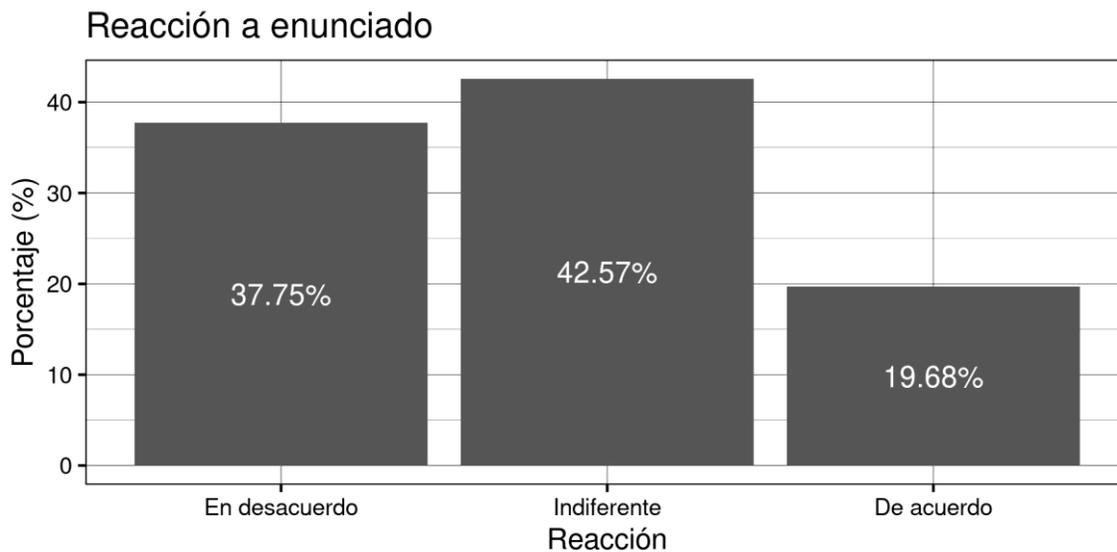
**Figura 12 Respuesta a enunciado 5**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 6: En la modalidad a distancia, siento que la mayoría de mis docentes se esfuerzan menos en preparar su clase.

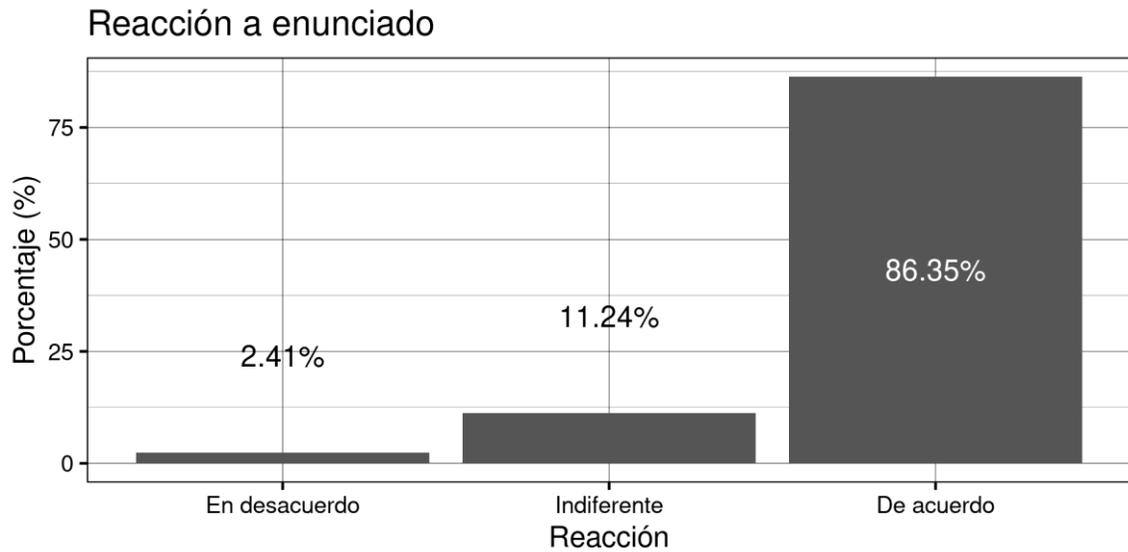
**Figura 13 Respuesta a enunciado 6**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 7: En la modalidad a distancia, siento que he ahorrado dinero al no tener que ir presencialmente a la Universidad.

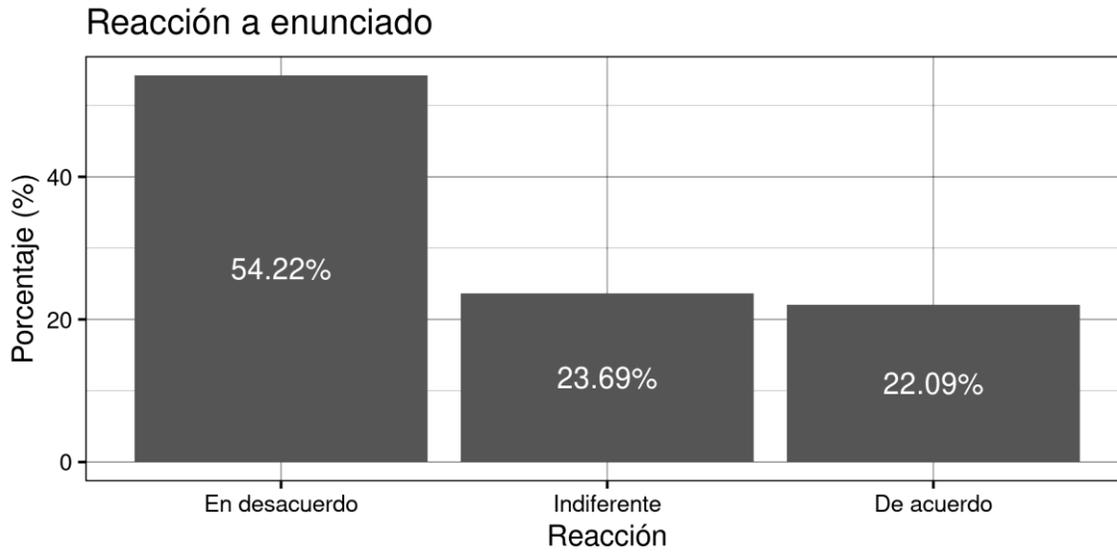
**Figura 14 Respuesta a enunciado 7**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 8: En la modalidad a distancia, he tenido que comprar equipo que antes no necesitaba para recibir mis cursos.

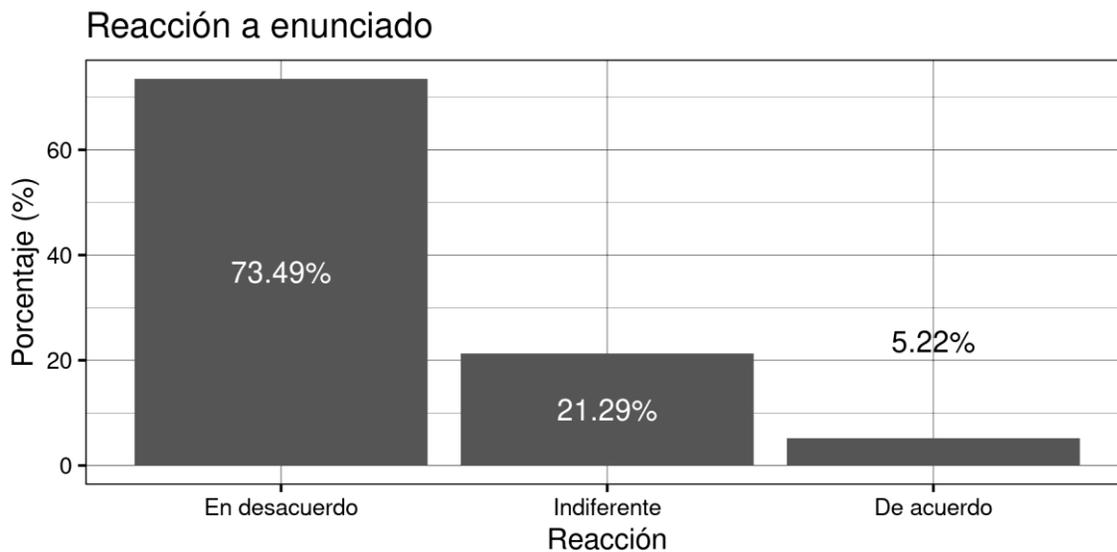
**Figura 15 Respuesta a enunciado 8**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 9: En la modalidad a distancia, siento que he gastado más dinero que antes, al recibir mis cursos en línea.

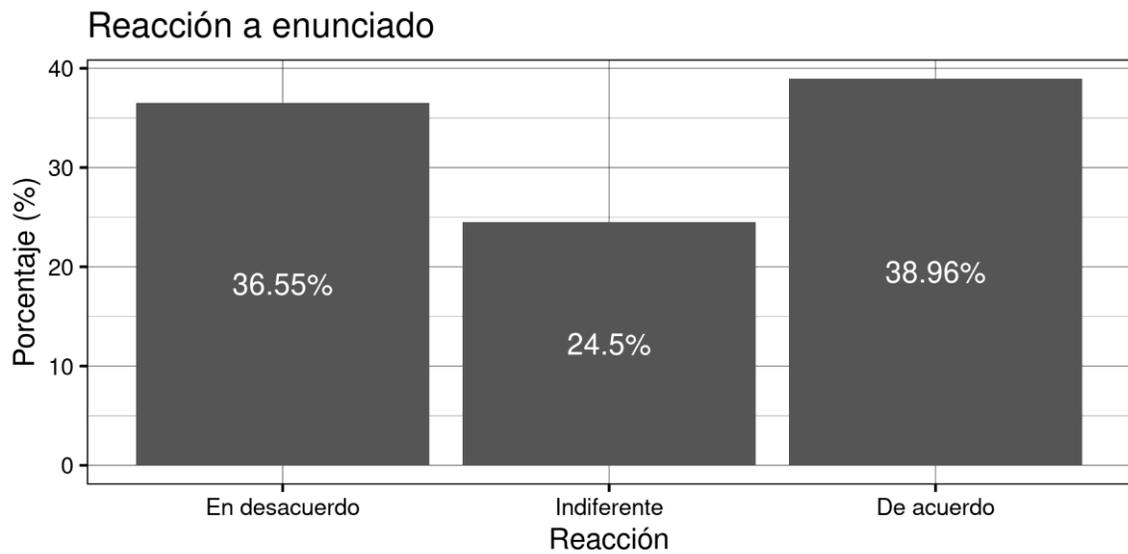
**Figura 16 Respuesta a enunciado 9**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 10: En la modalidad a distancia, he tenido que invertir en un mejor servicio de internet.

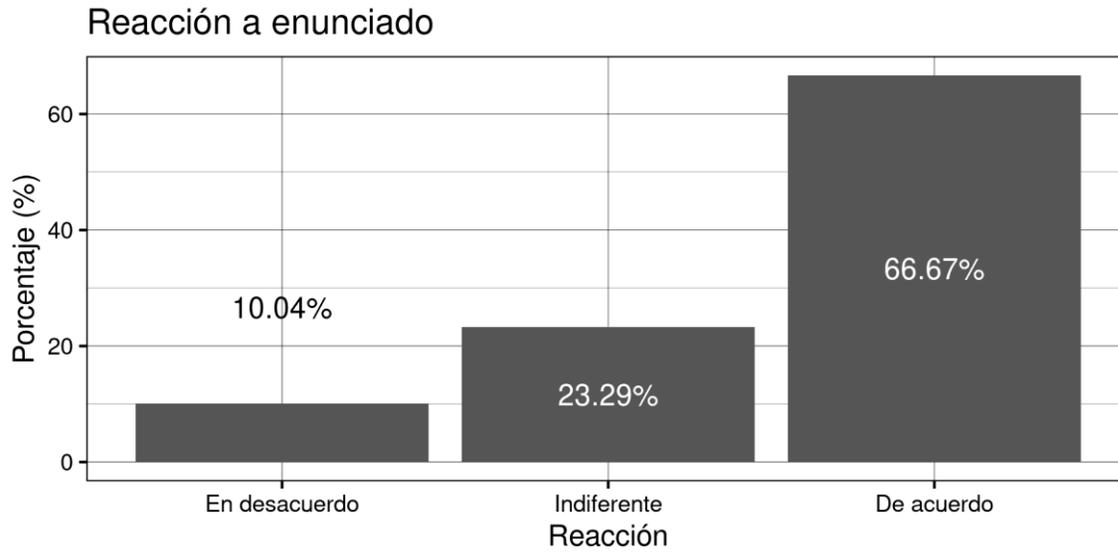
**Figura 17 Respuesta a enunciado 10**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 11: En la modalidad a distancia, he podido recibir mis cursos con equipo que ya tenía anteriormente.

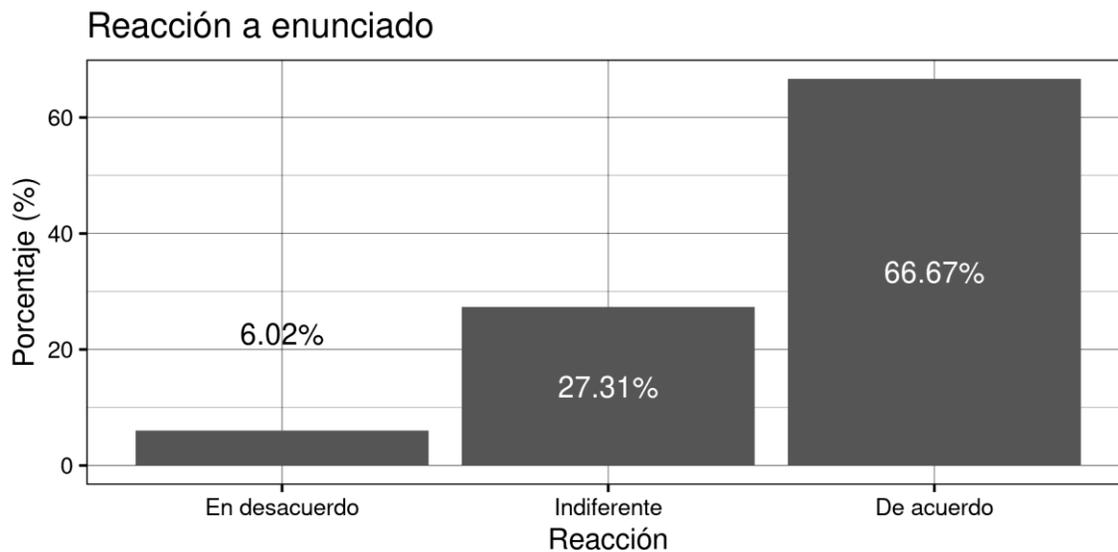
**Figura 18 Respuesta a enunciado 11**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 12: En la modalidad a distancia, he ahorrado al tener más acceso a recursos virtuales gratuitos.

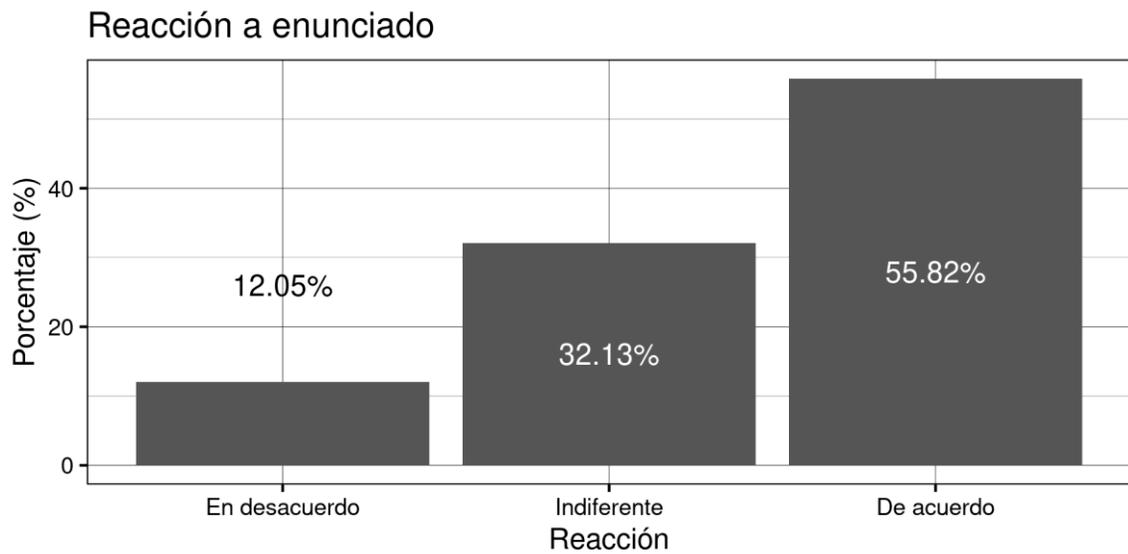
**Figura 19 Respuesta a enunciado 12**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 13: En la modalidad a distancia, siento que he interactuado muy poco con mis compañeros de clase.

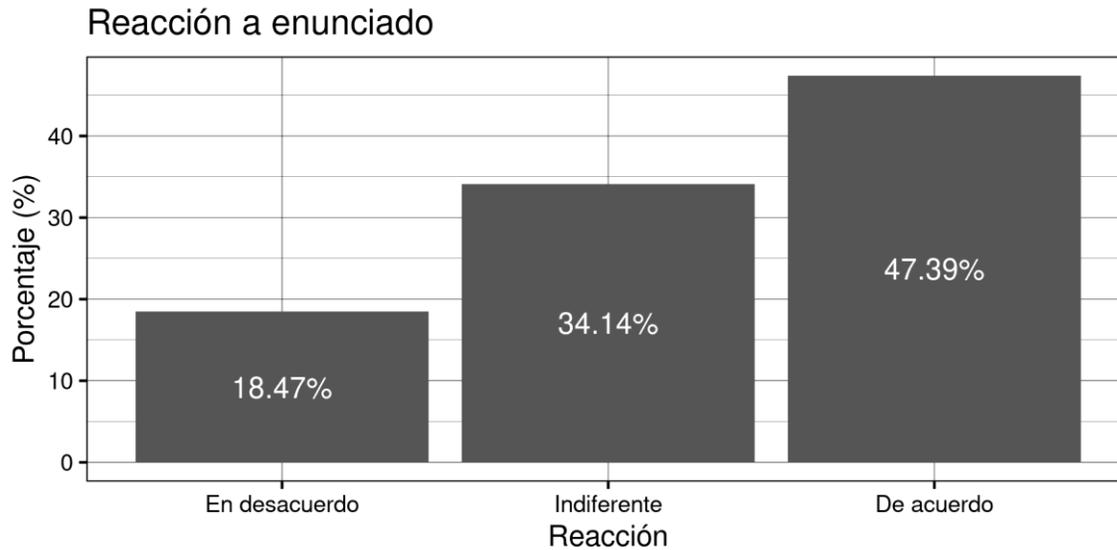
**Figura 20 Respuesta a enunciado 13**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 14: En la modalidad a distancia, he sentido calma y tranquilidad, por no estar presencialmente en clase a la hora de recibir mis cursos.

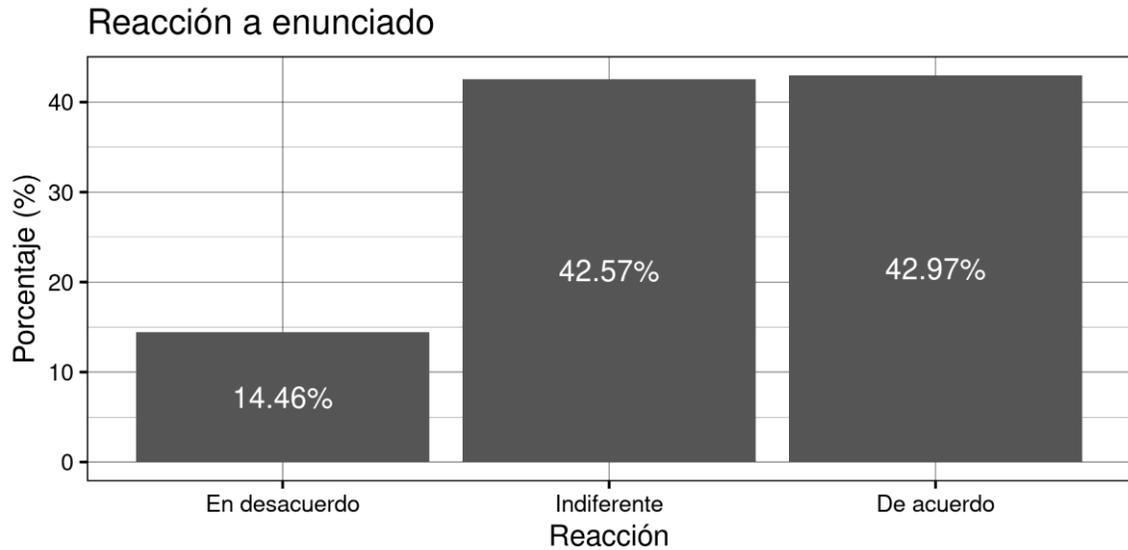
**Figura 21 Respuesta a enunciado 14**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 15: En la modalidad a distancia, he sentido que la mayoría de mis docentes han tenido comunicación adecuada con los estudiantes.

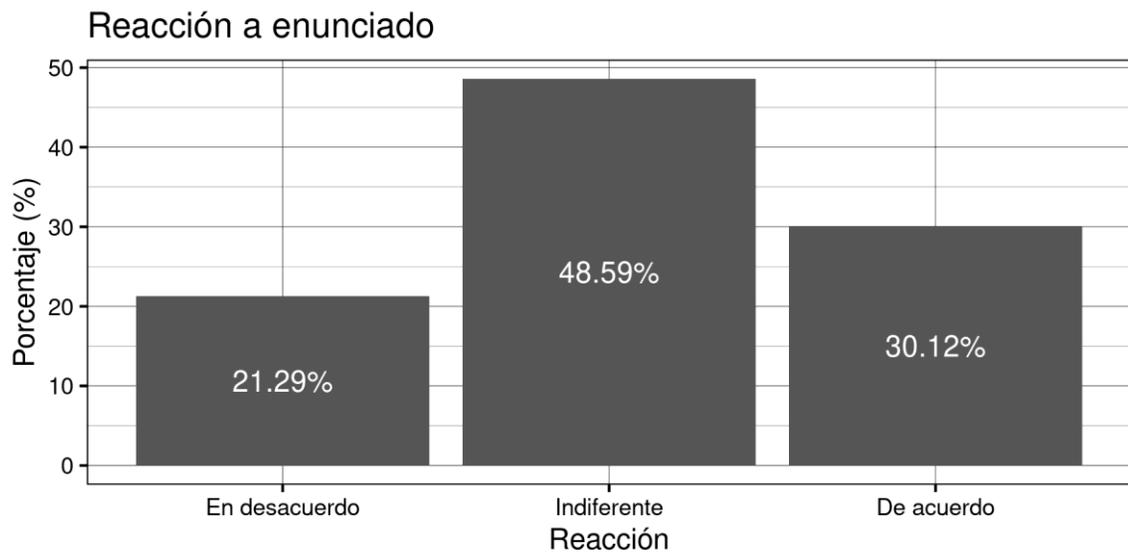
**Figura 22 Respuesta a enunciado 15**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 16: En la modalidad a distancia, siento que se me ha facilitado mantenerme en contacto con mis compañeros.

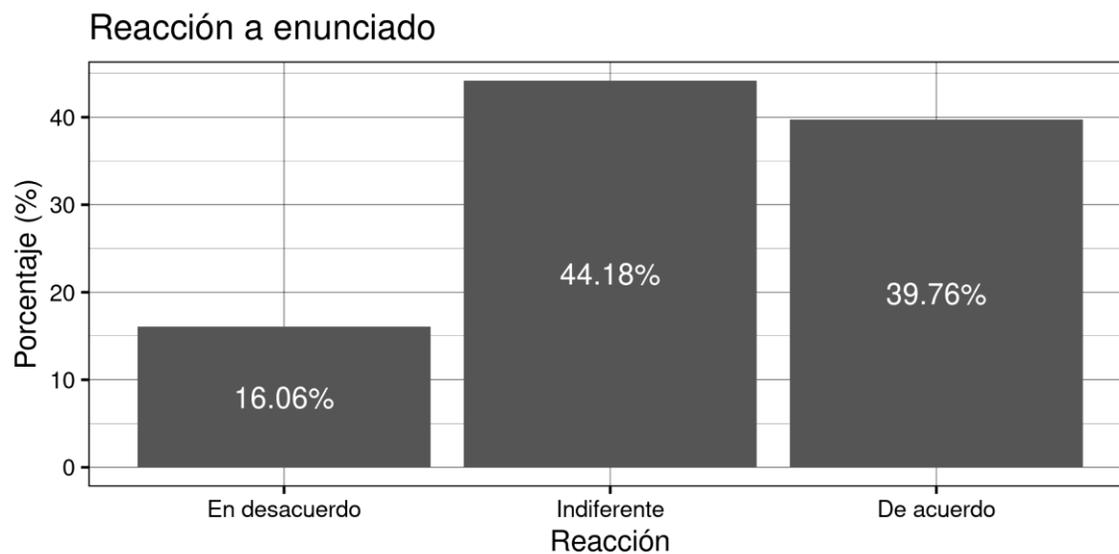
**Figura 23 Respuesta a enunciado 16**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 17: En la modalidad a distancia, siento que he interactuado muy poco con la mayoría de mis docentes.

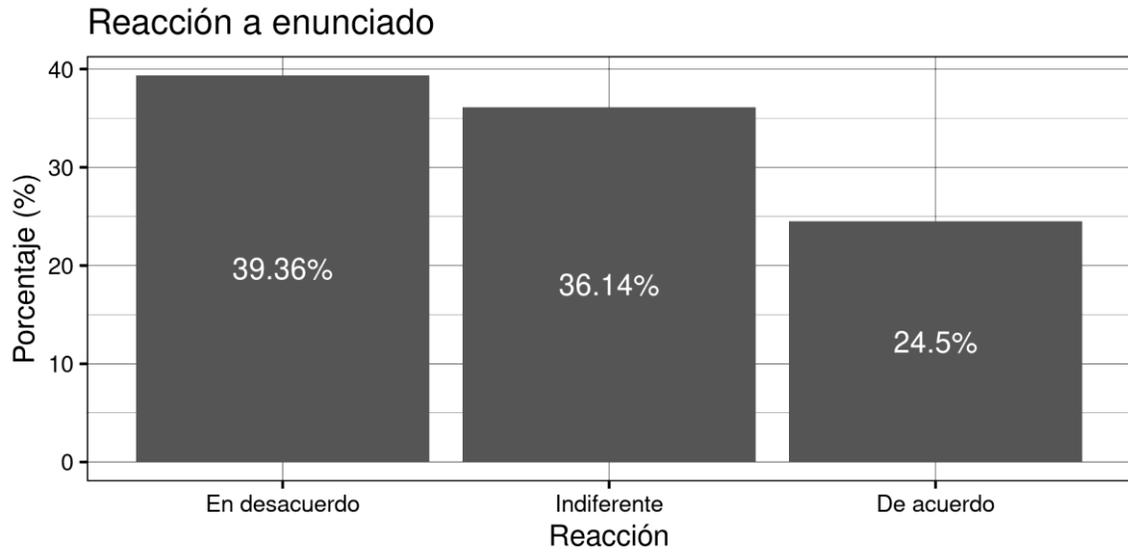
**Figura 24 Respuesta a enunciado 17**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 18: En la modalidad a distancia, he sentido soledad y nostalgia, por no estar presencialmente en clase a la hora de recibir mis cursos.

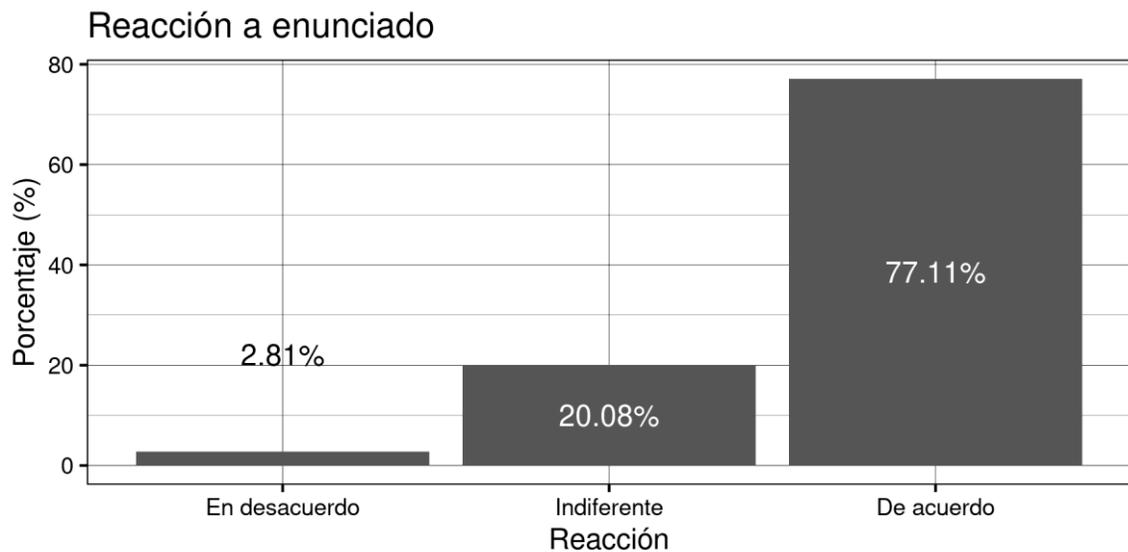
**Figura 25 Respuesta a enunciado 18**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 19: En la modalidad a distancia, me ha gustado utilizar herramientas tecnológicas para recibir clases.

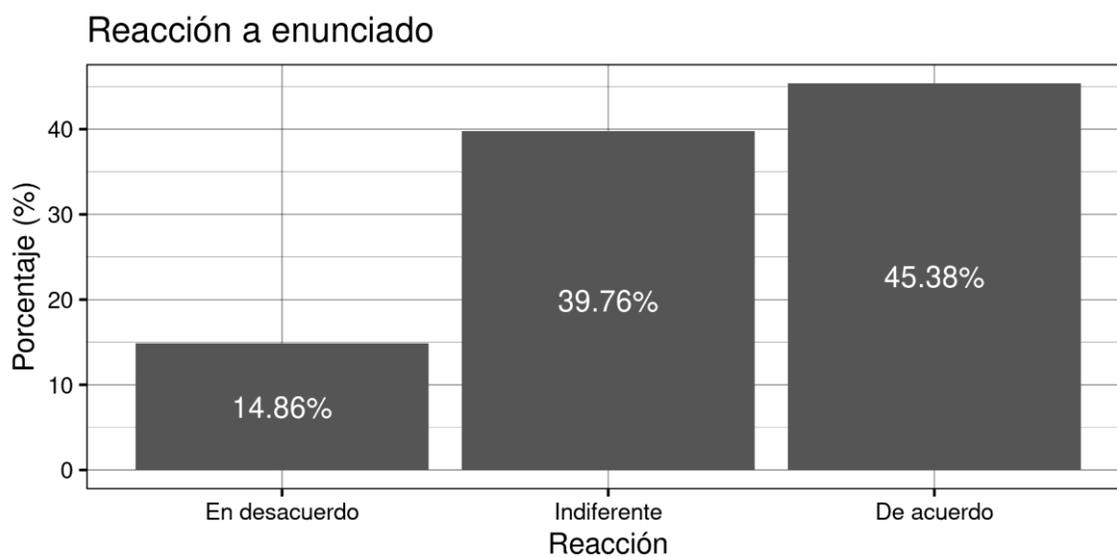
**Figura 26 Respuesta a enunciado 19**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 20: En la modalidad a distancia, siento que la Facultad de Ingeniería provee las herramientas suficientes para recibir mis cursos adecuadamente.

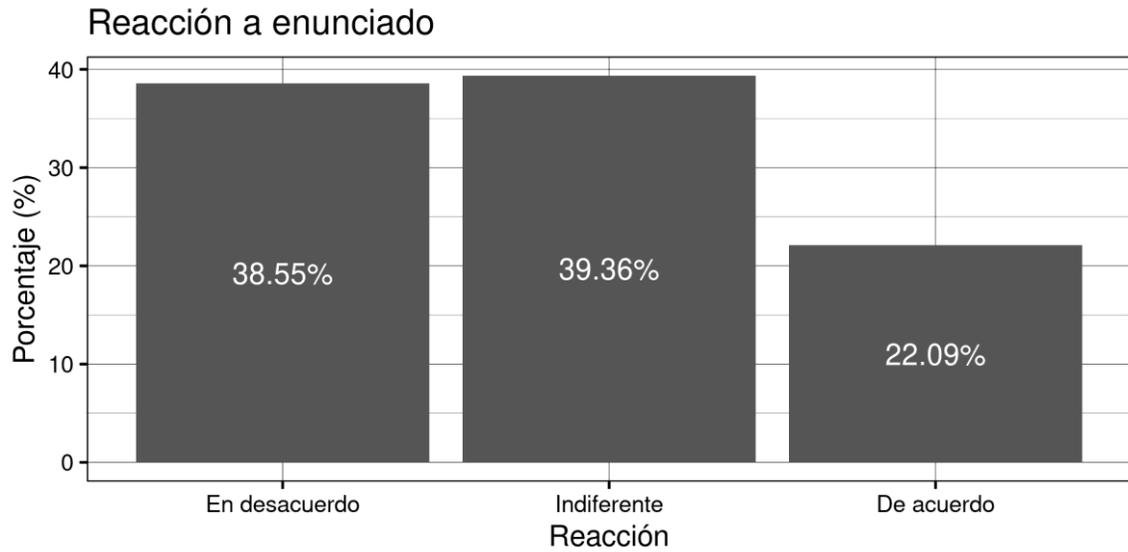
**Figura 27 Respuesta a enunciado 20**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 21: En la modalidad a distancia, siento que la educación se ha estancado, o se ha ralentizado, en la virtualidad.

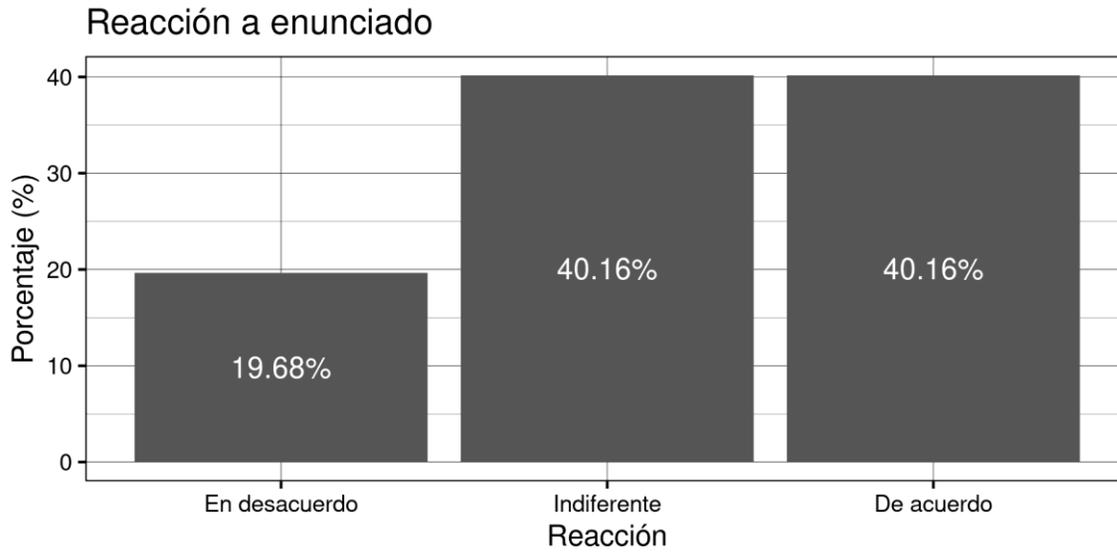
**Figura 28 Respuesta a enunciado 21**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 22: En la modalidad a distancia, siento que a la Facultad le hace falta proveer más herramientas para que pueda recibir los cursos adecuadamente.

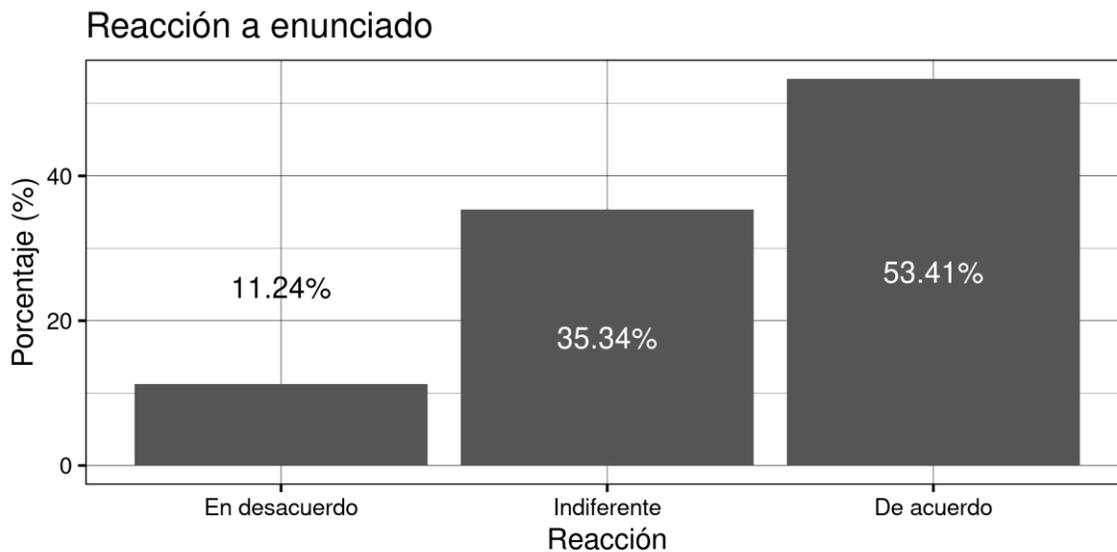
**Figura 29 Respuesta a enunciado 22**



Fuente: elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 23: En la modalidad a distancia, siento que la educación ha avanzado, o se ha modernizado, gracias a la virtualidad.

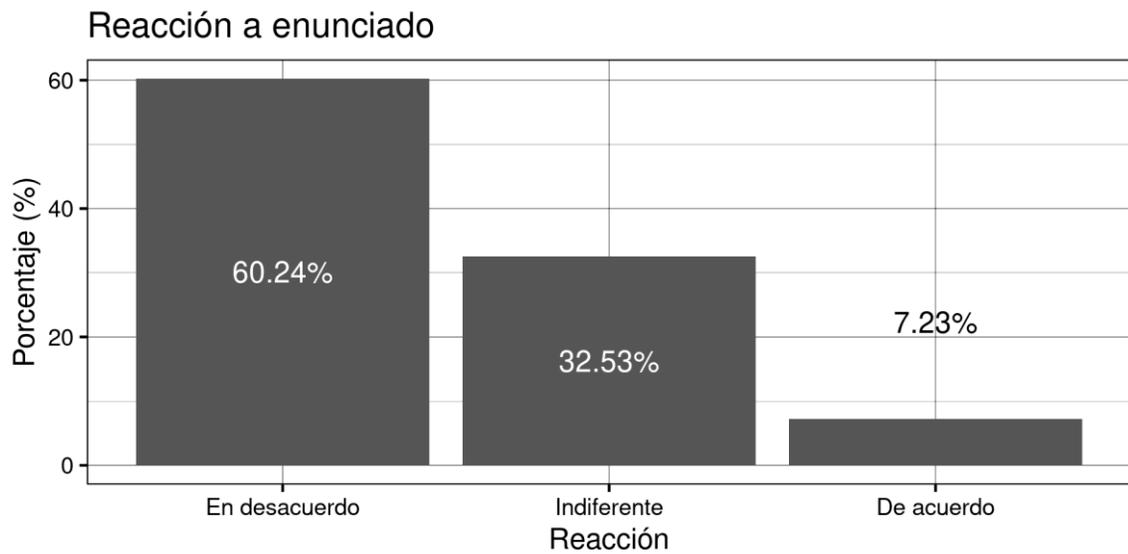
**Figura 30 Respuesta a enunciado 23**



Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 24: En la modalidad a distancia, siento que es muy complicado utilizar las herramientas para recibir clases.

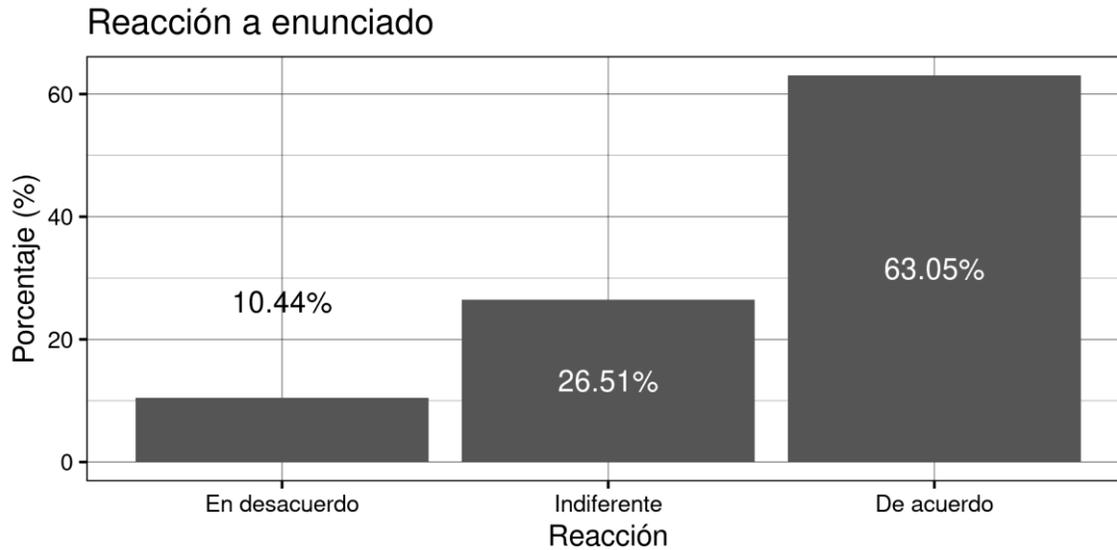
**Figura 31 Respuesta a enunciado 24**



Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 25: En la modalidad a distancia, me he sentido agradecido de poder recibir mis clases fuera de la Universidad.

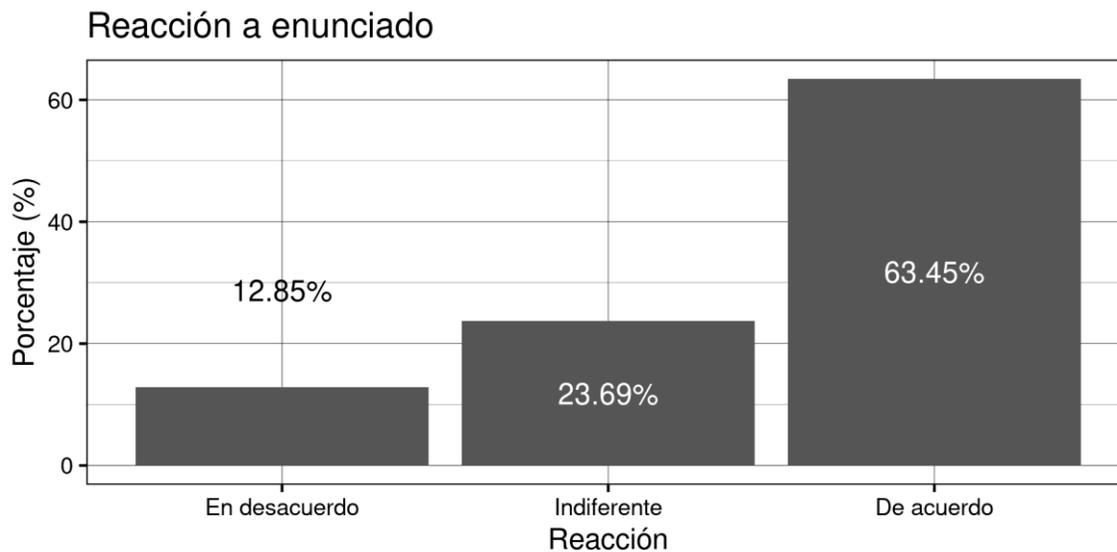
**Figura 32 Respuesta a enunciado 25**



Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 26: En la modalidad a distancia, siento que tengo más tiempo libre para dedicarme a lo que me gusta.

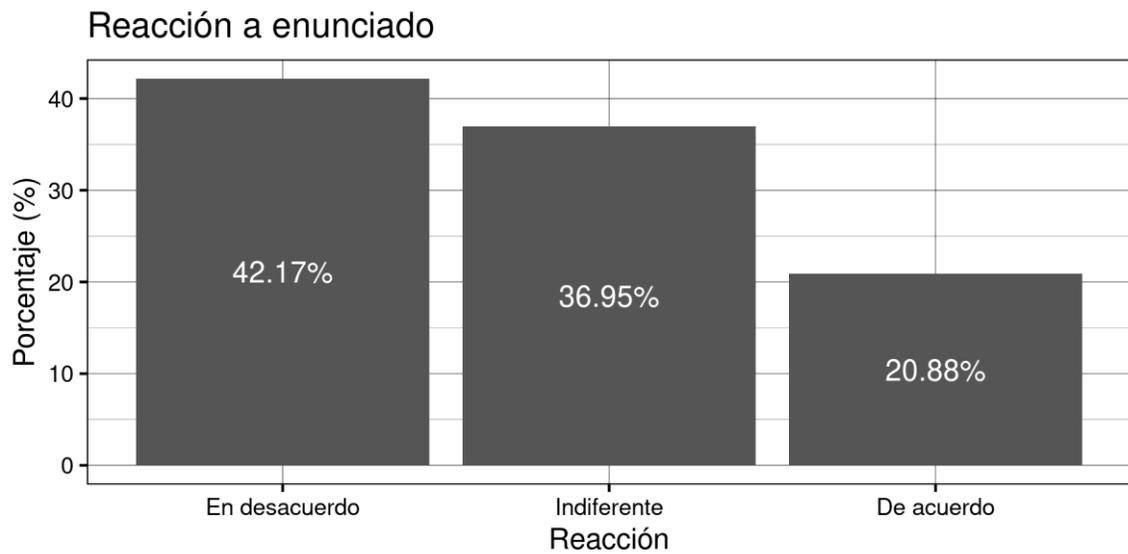
**Figura 33 Respuesta de enunciado 26**



Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 27: En la modalidad a distancia, me he sentido frustrado por no poder recibir mis clases dentro de la Universidad.

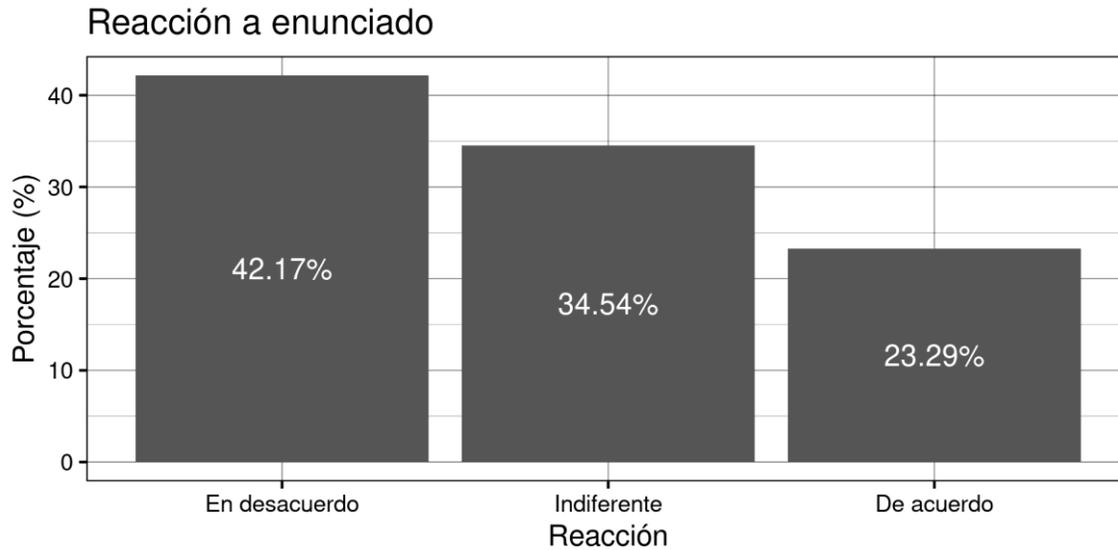
**Figura 34 Respuesta de enunciado 27**



Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 28: En la modalidad a distancia, siento que las clases absorben mi tiempo libre, y ahora paso más tiempo estudiando que antes.

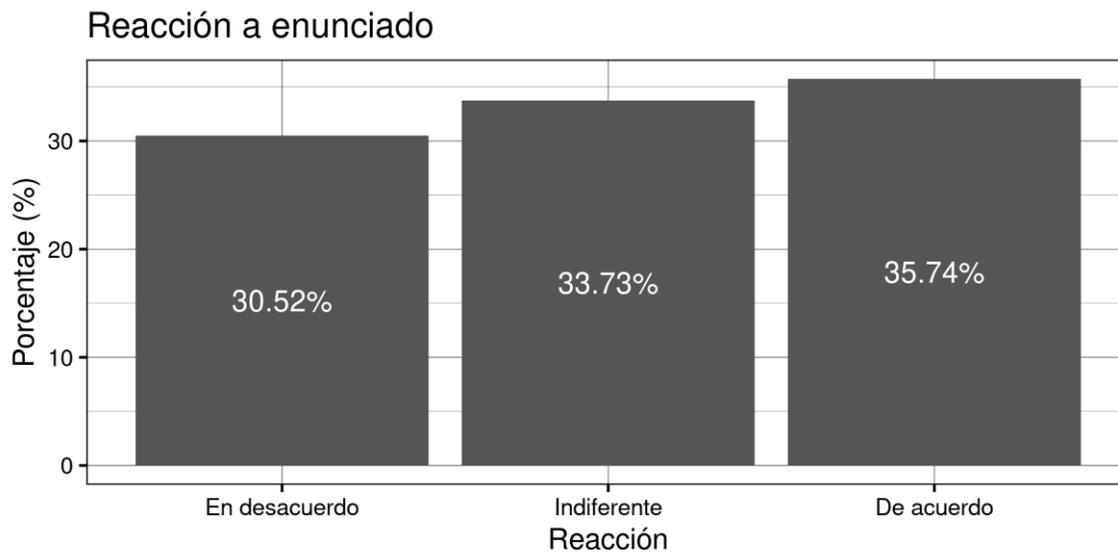
**Figura 35 Respuesta de enunciado 28**



Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 29: En la modalidad a distancia, siento que es más complicado realizar trabajos en grupo con mis compañeros.

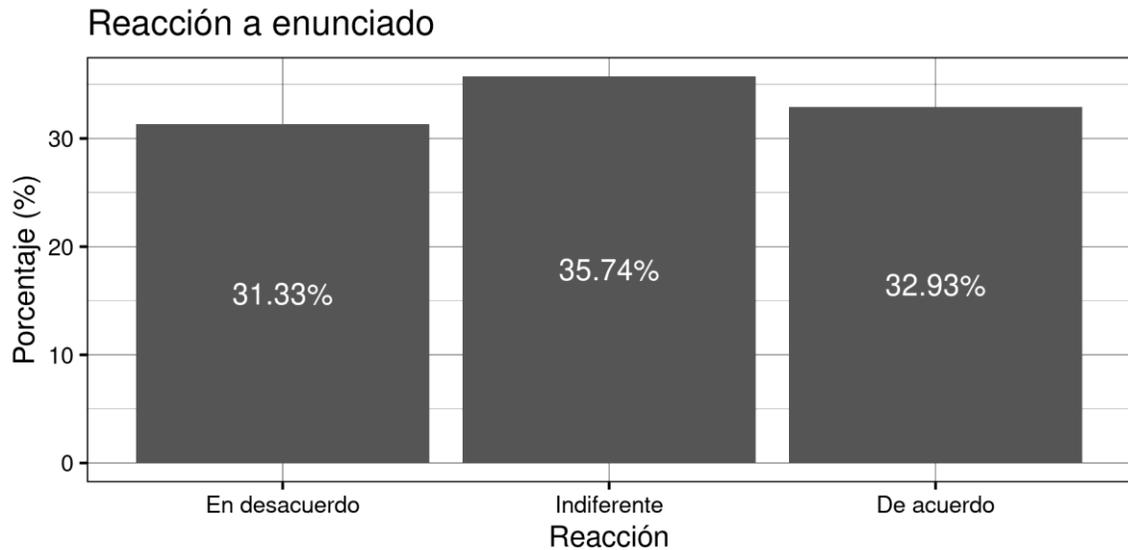
**Figura 36 Respuesta de enunciado 29**



Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

- Enunciado 30: En la modalidad a distancia, siento que es más sencillo realizar trabajos en grupo con mis compañeros.

**Figura 37 Respuesta de enunciado 30**



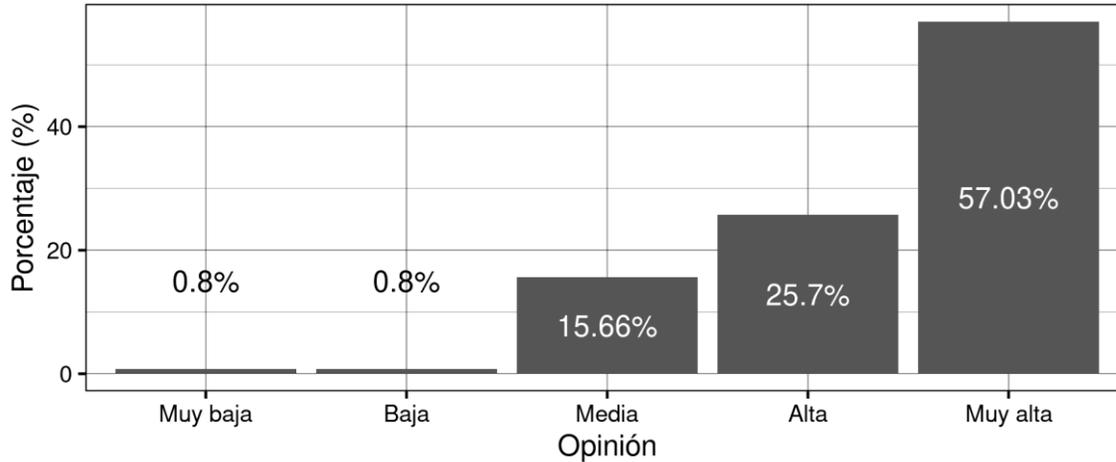
Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

Sección de definición de ponderaciones jerárquicas: En esta sección se presentan las preguntas que funcionan como definidoras de las ponderaciones para los enunciados, utilizando una escala de Likert con 5 opciones de respuesta.

- Pregunta ponderadora 1: ¿Qué tan importante considera que es el aspecto didáctico respecto a la educación a distancia?

**Figura 38 Resumen de respuestas de pregunta ponderadora 1**

Opinión de importancia  
Aspecto didáctico

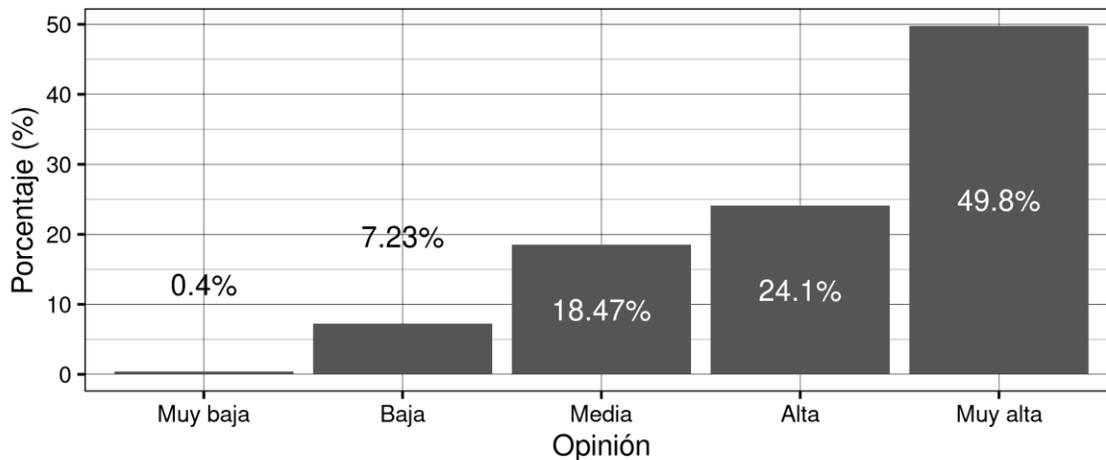


Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

- Pregunta ponderadora 2: ¿Qué tan importante considera que es el aspecto económico respecto a la educación a distancia?

**Figura 39 Resumen de respuestas de pregunta ponderadora 2**

Opinión de importancia  
Aspecto económico

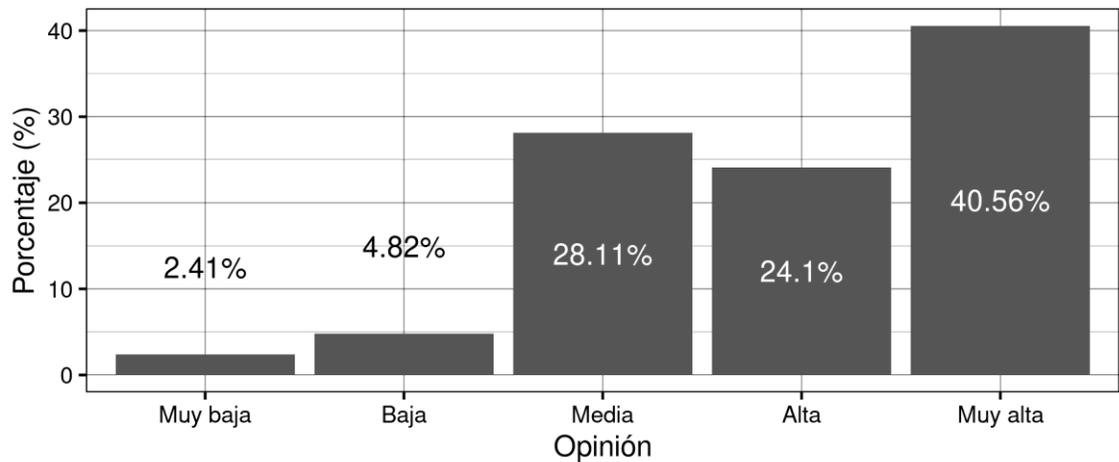


Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

- Pregunta ponderadora 3: ¿Qué tan importante considera que es el aspecto social respecto a la educación a distancia?

**Figura 40 Resumen de respuestas de pregunta ponderadora 3**

Opinión de importancia  
Aspecto social

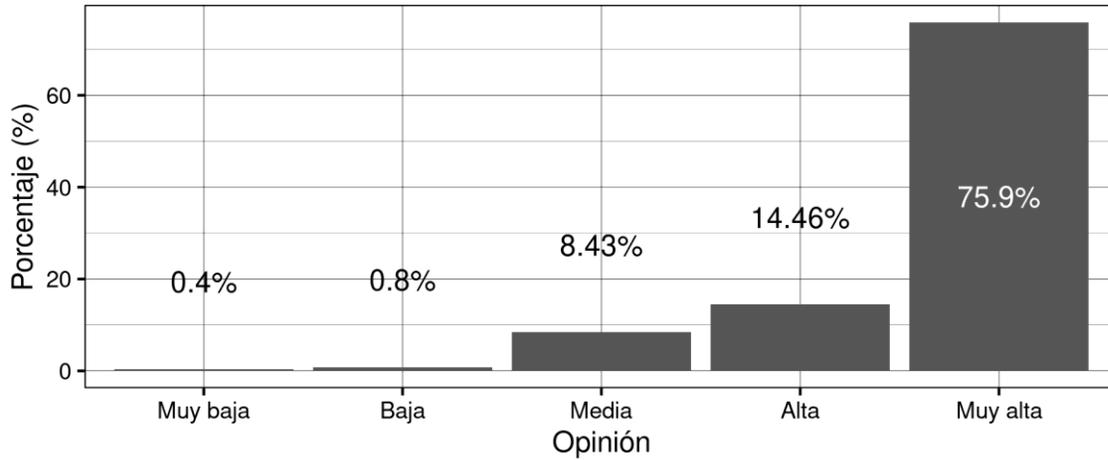


Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

- Pregunta ponderadora 4: ¿Qué tan importante considera que es el aspecto tecnológico respecto a la educación a distancia?

**Figura 41 Resumen de respuestas de pregunta ponderadora 4**

Opinión de importancia  
Aspecto tecnológico

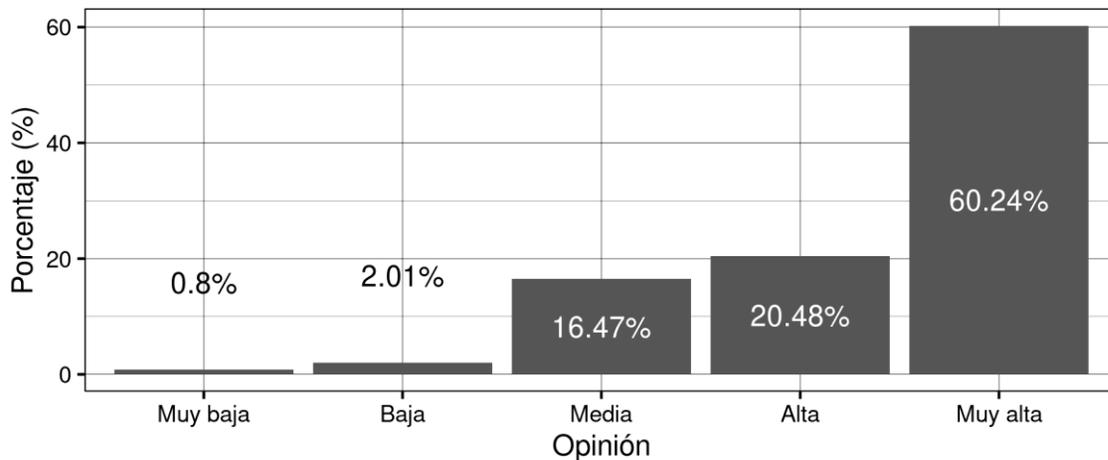


Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

- Pregunta ponderadora 5: ¿Qué tan importante considera que es el aspecto personal respecto a la educación a distancia?

**Figura 42 Resumen de respuestas de pregunta ponderadora 5**

Opinión de importancia  
Aspecto personal



Fuente: Elaboración propia, utilizando el software R

### 3.2.3. Cálculo de ponderaciones

Utilizando los resultados promedio de las preguntas anteriores se procedió a generar la matriz de ponderaciones:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1.0522 & 1.1056 & 0.9412 & 1 \\ 0.9504 & 1 & 1.0508 & 0.8946 & 0.9504 \\ 0.9045 & 0.9517 & 1 & 0.8513 & 0.9045 \\ 1.0624 & 1.1179 & 1.1746 & 1 & 1.0624 \\ 1 & 1.0522 & 1.1056 & 0.9412 & 1 \end{bmatrix}$$

Posteriormente se obtuvo el valor propio positivo máximo de la matriz y su correspondiente vector propio,  $\lambda=5.00$ .

$$(-0.4541 \quad -0.4316 \quad -0.4107 \quad -0.4824 \quad -0.4541)$$

Al normalizar el vector propio se obtuvo el vector de ponderadores para cada uno de los aspectos de la modalidad de educación a distancia:

**Tabla VIII Vector de ponderadores**

Aspecto didáctico	Aspecto económico	Aspecto social	Aspecto tecnológico	Aspecto personal
0.2034	0.1933	0.1839	0.2161	0.2034

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.4. Resultados cuantificados por encuesta

Al sumar el resultado de las respuestas de las secciones de enunciados y multiplicarlos por el ponderador correspondiente de cada categoría se obtiene la puntuación total correspondiente al estudiante que respondió la encuesta.

A continuación, se presenta la puntuación total obtenida por cada encuesta completada:

**Tabla IX Resultados de puntuación ponderada estudiantil**

<b>Carrera</b>	<b>Edad</b>	<b>Departamento</b>	<b>Área</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Puntuación</b>
Ciencias y Sistemas	28	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.246
Química	21	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	3.290
Ciencias y Sistemas	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.402
Química	22	Guatemala	Urbana	Teléfono inteligente	3.997
Civil	21	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.774
Ciencias y Sistemas	21	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.613
Ciencias y Sistemas	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	3.790
Ciencias y Sistemas	30	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	0.387
Civil	34	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.206
Industrial	29	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.012
Mecánica	27	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.948
Ambiental	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.000
Civil	25	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	3.213
Eléctrica	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-2.183
Civil	24	Quiché	Urbana	Computadora de escritorio	0.000
Ciencias y Sistemas	18	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-2.030
Ciencias y Sistemas	23	Guatemala	Rural	Computadora portátil o Laptop	2.157
Electrónica	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.344
Ciencias y Sistemas	23	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	3.389
Industrial	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.192
Mecánica	33	Sacatepéquez	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.989

Continuación Tabla IX.

<b>Carrera</b>	<b>Edad</b>	<b>Departamento</b>	<b>Área</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Puntuación</b>
Mecánica Industrial	23	Quetzaltenango	Urbana	Computadora de escritorio	1.203
Mecánica	19	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	-1.412
Industrial	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.000
Industrial	29	Retalhuleu	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-0.027
Eléctrica	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.463
Electrónica	23	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.388
Industrial	24	Guatemala	Urbana	Teléfono inteligente	3.447
Industrial	21	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	3.987
Civil	31	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.081
Civil	21	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	-3.928
Química	20	Guatemala	Rural	Computadora portátil o Laptop	1.866
Civil	21	Jutiapa	Rural	Teléfono inteligente	5.022
Civil	40	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	-0.526
Mecánica Eléctrica	22	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	-0.155
Industrial	26	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.626
Ciencias y Sistemas	26	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.472
Mecánica	26	Escuintla	Urbana	Computadora de escritorio	4.215
Ciencias y Sistemas	26	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	3.074
Mecánica	28	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	2.402
Mecánica	42	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.461
Civil	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-1.129
Civil	19	Sacatepéquez	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.483
Química	27	Guatemala	Rural	Computadora portátil o Laptop	3.006

Continuación Tabla IX.

<b>Carrera</b>	<b>Edad</b>	<b>Departamento</b>	<b>Área</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Puntuación</b>
Eléctrica	25	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	3.597
Mecánica Industrial	28	Chimaltenango	Urbana	Computadora portátil o Laptop	5.255
Ambiental	25	Sacatepéquez	Rural	Computadora portátil o Laptop	0.210
Eléctrica	24	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-0.397
Eléctrica	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.220
Mecánica Eléctrica	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-2.504
Mecánica	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-1.023
Mecánica Eléctrica	28	Escuintla	Urbana	Computadora portátil o Laptop	5.613
Industrial	32	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	5.797
Industrial	24	Alta Verapaz	Urbana	Teléfono inteligente	-2.597
Ciencias y Sistemas	23	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	0.418
Civil	20	Guatemala	Rural	Computadora portátil o Laptop	4.230
Industrial	24	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.612
Química	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-2.366
Civil	21	Chimaltenango	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.383
Ciencias y Sistemas	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.000
Industrial	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-0.313
Industrial	31	Sacatepéquez	Rural	Teléfono inteligente	0.590
Química	23	Huehuetenango	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.829
Ciencias y Sistemas	42	Chimaltenango	Rural	Computadora de escritorio	2.090
Mecánica Eléctrica	24	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	3.400
Eléctrica	52	Totonicapán	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.030
Industrial	25	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.438

Continuación Tabla IX.

<b>Carrera</b>	<b>Edad</b>	<b>Departamento</b>	<b>Área</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Puntuación</b>
Industrial	24	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.405
Ciencias y Sistemas	23	Guatemala	Urbana	Tablet	0.131
Electrónica	24	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	3.835
Electrónica	18	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-2.546
Mecánica	36	Chimaltenango	Urbana	Computadora de escritorio	2.223
Mecánica	25	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	3.370
Ciencias y Sistemas	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.754
Ambiental	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-1.883
Industrial	27	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	5.245
Ciencias y Sistemas	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	3.403
Ciencias y Sistemas	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.947
Ciencias y Sistemas	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-1.971
Industrial	30	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.256
Ciencias y Sistemas	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-1.693
Electrónica	40	Sacatepéquez	Rural	Computadora portátil o Laptop	5.593
Mecánica Eléctrica	21	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-3.376
Civil	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-2.377
Química	23	Chimaltenango	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.566
Eléctrica	22	Sacatepéquez	Urbana	Computadora portátil o Laptop	5.206
Mecánica	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	3.396
Química	17	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	0.269
Ciencias y Sistemas	33	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.380
Eléctrica	20	Chimaltenango	Rural	Teléfono inteligente	3.815

Continuación Tabla IX.

<b>Carrera</b>	<b>Edad</b>	<b>Departamento</b>	<b>Área</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Puntuación</b>
Química	18	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	-1.999
Civil	18	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.687
Mecánica Industrial	19	Guatemala	Rural	Computadora portátil o Laptop	0.193
Ciencias y Sistemas	30	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	6.000
Electrónica	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-0.755
Industrial	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.096
Industrial	23	Guatemala	Rural	Computadora portátil o Laptop	-1.094
Mecánica Industrial	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-1.194
Industrial	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.190
Química	18	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.608
Industrial	22	El Progreso	Rural	Computadora portátil o Laptop	0.602
Electrónica	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.990
Ciencias y Sistemas	18	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-1.138
Ciencias y Sistemas	31	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	6.000
Industrial	23	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	5.416
Ciencias y Sistemas	19	Guatemala	Rural	Computadora portátil o Laptop	3.064
Ciencias y Sistemas	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.376
Industrial	30	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	3.023
Industrial	29	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	6.000
Mecánica Industrial	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.429
Ciencias y Sistemas	18	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.209
Eléctrica	23	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.070
Ciencias y Sistemas	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-1.141

Continuación Tabla IX.

<b>Carrera</b>	<b>Edad</b>	<b>Departamento</b>	<b>Área</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Puntuación</b>
Ciencias y Sistemas	18	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	2.024
Mecánica	31	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.900
Química	23	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.339
Electrónica	19	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	2.839
Mecánica Industrial	21	Guatemala	Urbana	Teléfono inteligente	3.918
Química	23	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.409
Industrial	22	Sacatepéquez	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.223
Mecánica Industrial	18	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-0.941
Ciencias y Sistemas	20	Sacatepéquez	Rural	Computadora portátil o Laptop	0.585
Química	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	3.828
Ciencias y Sistemas	18	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.244
Ciencias y Sistemas	18	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.696
Electrónica	21	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.042
Mecánica Industrial	18	Guatemala	Urbana	Tablet	-0.987
Ciencias y Sistemas	23	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	5.384
Electrónica	20	Guatemala	Rural	Computadora portátil o Laptop	0.828
Química	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	5.390
Química	21	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.442
Electrónica	38	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.009
Química	31	Guatemala	Urbana	Teléfono inteligente	2.896
Química	19	Quetzaltenango	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-4.046
Ciencias y Sistemas	23	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	3.031
Civil	21	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	3.010

Continuación Tabla IX.

<b>Carrera</b>	<b>Edad</b>	<b>Departamento</b>	<b>Área</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Puntuación</b>
Química	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-4.647
Ciencias y Sistemas	20	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	4.287
Mecánica	27	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.203
Civil	23	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.619
Ciencias y Sistemas	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.419
Mecánica	23	Sacatepéquez	Rural	Computadora portátil o Laptop	3.387
Ambiental	23	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	-3.230
Ciencias y Sistemas	21	Chimaltenango	Rural	Computadora portátil o Laptop	5.784
Eléctrica	23	Guatemala	Rural	Computadora portátil o Laptop	0.068
Química	23	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	5.029
Mecánica Industrial	23	Sololá	Urbana	Computadora de escritorio	3.548
Electrónica	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-0.120
Civil	25	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.558
Electrónica	27	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.212
Industrial	30	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.480
Industrial	18	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.819
Civil	47	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.952
Electrónica	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.782
Industrial	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-0.947
Química	27	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.342
Ciencias y Sistemas	26	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	5.409
Ciencias y Sistemas	23	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-0.594
Civil	33	Jalapa	Rural	Computadora portátil o Laptop	5.593

Continuación Tabla IX.

<b>Carrera</b>	<b>Edad</b>	<b>Departamento</b>	<b>Área</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Puntuación</b>
Industrial	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-1.596
Química	20	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	4.045
Civil	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-2.604
Civil	23	Guatemala	Rural	Computadora portátil o Laptop	3.722
Electrónica	26	Escuintla	Rural	Computadora portátil o Laptop	3.175
Ciencias y Sistemas	22	Guatemala	Rural	Computadora portátil o Laptop	4.012
Química	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.460
Mecánica Industrial	28	Sacatepéquez	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-2.322
Ciencias y Sistemas	23	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	5.797
Ciencias y Sistemas	20	Guatemala	Rural	Computadora portátil o Laptop	0.653
Industrial	21	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.263
Industrial	36	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	6.000
Industrial	21	Escuintla	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-0.937
Civil	21	Guatemala	Rural	Computadora de escritorio	1.774
Ciencias y Sistemas	24	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.431
Mecánica Industrial	17	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-2.439
Mecánica	21	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	1.773
Mecánica Industrial	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	3.664
Industrial	18	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.419
Industrial	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.431
Ciencias y Sistemas	25	Sacatepéquez	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.806
Industrial	26	Guatemala	Rural	Computadora portátil o Laptop	4.054
Industrial	25	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.603

Continuación Tabla IX.

<b>Carrera</b>	<b>Edad</b>	<b>Departamento</b>	<b>Área</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Puntuación</b>
Civil	21	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-0.968
Industrial	36	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	4.674
Civil	21	Guatemala	Urbana	Teléfono inteligente	-1.342
Electrónica	28	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	-1.773
Civil	18	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	-1.607
Ciencias y Sistemas	18	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-0.030
Electrónica	21	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.041
Industrial	20	Guatemala	Urbana	Teléfono inteligente	-0.407
Química	25	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-1.135
Ciencias y Sistemas	21	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	5.409
Industrial	27	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	0.403
Ciencias y Sistemas	23	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.965
Industrial	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.164
Electrónica	17	Totonicapán	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.841
Mecánica Eléctrica	27	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-0.537
Química	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.000
Ciencias y Sistemas	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	3.447
Mecánica Eléctrica	23	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	1.164
Química	19	Escuintla	Urbana	Computadora de escritorio	2.292
Eléctrica	30	Guatemala	Urbana	Teléfono inteligente	-0.755
Electrónica	28	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-0.591
Química	23	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-1.631
Civil	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.912
Ciencias y Sistemas	25	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	5.223

Continuación Tabla IX.

<b>Carrera</b>	<b>Edad</b>	<b>Departamento</b>	<b>Área</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Puntuación</b>
Mecánica Industrial	21	Chimaltenango	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-0.195
Ciencias y Sistemas	22	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.373
Industrial	24	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-1.203
Civil	23	Sacatepéquez	Urbana	Teléfono inteligente	0.000
Eléctrica	23	Jutiapa	Rural	Teléfono inteligente	0.793
Ciencias y Sistemas	34	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	5.797
Industrial	23	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	5.019
Ciencias y Sistemas	21	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.965
Ciencias y Sistemas	21	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.024
Ciencias y Sistemas	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.811
Industrial	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-1.969
Química	24	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.663
Industrial	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.450
Mecánica Eléctrica	26	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.418
Química	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-3.533
Química	24	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	0.647
Industrial	23	Jutiapa	Rural	Teléfono inteligente	1.581
Química	19	Guatemala	Urbana	Teléfono inteligente	-4.194
Ciencias y Sistemas	20	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-1.162
Civil	18	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-3.094
Ciencias y Sistemas	25	Escuintla	Rural	Computadora portátil o Laptop	4.387
Ciencias y Sistemas	23	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	-2.168
Ciencias y Sistemas	18	Suchitepéquez	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-0.745
Civil	29	Chimaltenango	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.582

Continuación Tabla IX.

<b>Carrera</b>	<b>Edad</b>	<b>Departamento</b>	<b>Área</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Puntuación</b>
Mecánica	22	Guatemala	Rural	Computadora portátil o Laptop	1.613
Mecánica Eléctrica	25	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.621
Ciencias y Sistemas	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.664
Industrial	22	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	0.000
Industrial	23	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.857
Ciencias y Sistemas	23	Guatemala	Rural	Computadora portátil o Laptop	1.996
Civil	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.645
Mecánica	30	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	2.376
Química	23	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-0.203
Industrial	29	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.203
Mecánica Industrial	30	Guatemala	Rural	Computadora de escritorio	2.570
Mecánica Eléctrica	21	Guatemala	Urbana	Computadora de escritorio	2.373
Ciencias y Sistemas	23	Alta Verapaz	Urbana	Computadora portátil o Laptop	3.583
Eléctrica	28	Escuintla	Rural	Computadora portátil o Laptop	-1.807
Ciencias y Sistemas	21	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	0.000
Ciencias y Sistemas	21	Sacatepéquez	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-3.522
Industrial	28	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	1.770
Industrial	19	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	2.558
Industrial	27	Guatemala	Urbana	Computadora portátil o Laptop	-2.824

Fuente: Elaboración propia.

**3.3. Objetivo 3: Inferir el valor de la opinión estudiantil cuantificada con base en la muestra representativa obtenida, seleccionando el modelo de regresión de mejor ajuste y aplicándolo a cada uno de los cursos incluidos en el estudio.**

**3.3.1. Comparación de modelos**

Con base en la muestra recopilada se propusieron tres modelos de regresión lineal, utilizando como variable dependiente el total calculado para cada registro. Los modelos se presentan a continuación:

Modelo A: La variable independiente es la edad.

**Figura 43 Propuesta de modelo A para regresión**

```
Residuals:
  Min      1Q  Median      3Q      Max
-5.4074 -1.5782 -0.0537  1.8402  4.6849

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -2.45788    0.66925  -3.673 0.000294 ***
edad          0.16938    0.02779   6.095 4.18e-09 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.288 on 247 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1307,    Adjusted R-squared:  0.1272
F-statistic: 37.15 on 1 and 247 DF,  p-value: 4.184e-09
```

Fuente: elaboración propia, utilizando el software R.

Modelo B: Las variables independientes son la edad y la carrera.

**Figura 44 Propuesta de modelo B para regresión**

```

Residuals:
  Min      1Q  Median      3Q      Max
-5.3058 -1.5868  0.0519  1.6987  4.7312

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   -4.78898    1.29574   -3.696 0.000272 ***
edad           0.17333    0.02857    6.067 5.08e-09 ***
carreraCiencias y Sistemas  2.86121    1.16922    2.447 0.015125 *
carreraCivil   1.58567    1.20769    1.313 0.190456
carreraEléctrica  1.55207    1.29937    1.194 0.233482
carreraElectrónica  2.17151    1.24794    1.740 0.083139 .
carreraIndustrial  2.44040    1.17937    2.069 0.039603 *
carreraMecánica  2.35874    1.27469    1.850 0.065490 .
carreraMecánica Eléctrica  1.58287    1.34160    1.180 0.239242
carreraMecánica Industrial  2.03823    1.28484    1.586 0.113982
carreraQuímica  2.15447    1.20406    1.789 0.074830 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.266 on 238 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.178,    Adjusted R-squared:  0.1435
F-statistic: 5.155 on 10 and 238 DF,  p-value: 7.899e-07

```

Fuente: elaboración propia mediante software R

Modelo C: La variable independiente es la carrera.

**Figura 45 Propuesta de modelo C para regresión**

```

Residuals:
  Min      1Q  Median      3Q      Max
-5.759 -1.654  0.035  1.964  4.712

Coefficients:
                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)      -0.9757    1.2151  -0.803   0.4228
carreraCiencias y Sistemas  2.9646    1.2536   2.365   0.0188 *
carreraCivil      1.9381    1.2935   1.498   0.1354
carreraEléctrica  2.1387    1.3895   1.539   0.1251
carreraElectrónica 2.5090    1.3369   1.877   0.0618 .
carreraIndustrial 2.8356    1.2627   2.246   0.0256 *
carreraMecánica   3.2146    1.3585   2.366   0.0188 *
carreraMecánica Eléctrica 1.8775    1.4377   1.306   0.1928
carreraMecánica Industrial 2.0259    1.3777   1.470   0.1428
carreraQuímica    2.0874    1.2911   1.617   0.1072
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.43 on 239 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.05088, Adjusted R-squared:  0.01514
F-statistic: 1.423 on 9 and 239 DF, p-value: 0.1786
  
```

Fuente: elaboración propia mediante software R.

Para inferir cuál modelo presentó mejor ajuste, se realizó una comparación de criterios incluyendo la R cuadrada, R cuadrada ajustada, AIC, BIC, y MAAPE. Los resultados de la comparación se presentan a continuación:

**Figura 46 Comparación de criterios de selección de modelo de regresión**

modelo	R	R.Adj	AIC	BIC	MAAPE
A	0.13073080	0.12721150	1122.733	1133.286	69.50812
B	0.17802163	0.14348472	1126.805	1169.014	68.88421
C	0.05087662	0.01513558	1160.617	1199.309	72.30275

Fuente: elaboración propia mediante software R.

Al comparar los criterios se descartó el modelo C, dado que tuvo un ajuste menor a los otros dos modelos, y tuvo peores puntuaciones en todos los criterios utilizados. Los modelos A y B mostraron puntuaciones más cercanas, sin embargo, el modelo A presenta un menor ajuste en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el ajustado ( $R^2_{adj}$ ) y en el Error Porcentual Medio Arcotangente (MAAPE) frente al modelo B, aun así, mostró una mejor puntuación en los criterios de información (AIC y BIC), debido a que fue formado por un menor número de variables independientes, por lo que se consideró el mejor modelo debido a su parsimonia.

**Figura 47 Comparación de pruebas de normalidad sobre residuos**

modelo	shapiro.wilk	shapiro.francia	anderson.darling	lilliefors.ks
A	0.007853695	0.02480188	0.03200603	0.08796903
B	0.028849361	0.07607347	0.06883267	0.11832109

Fuente: elaboración propia mediante software R.

Sin embargo, al analizar los residuos de los modelos, mediante los valores p de las pruebas de Shapiro-Wilk, Shapiro-Francia, Anderson-Darling y Lilliefors, se observó que el modelo A no cumplió con el supuesto de normalidad, mientras que el modelo B cumple en tres de las cuatro pruebas utilizadas. Tomando en cuenta esto, y dado que las puntuaciones en ambos modelos fueron similares se optó por utilizar el modelo B.

### 3.3.2. Comprobación de supuestos para modelo seleccionado

A continuación, se muestran las pruebas de comprobación de supuestos para el modelo B:

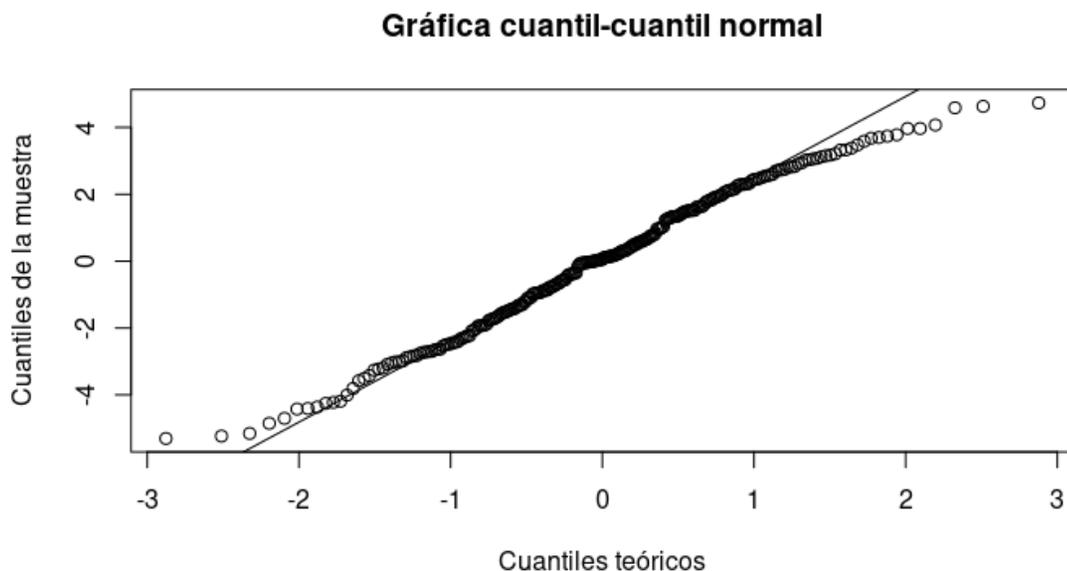
**Figura 48 Prueba de Lilliefors de normalidad de residuos del modelo**

```
Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
data: B$residuals
D = 0.051009, p-value = 0.1183
```

Fuente: elaboración propia mediante software R.

La prueba de Lilliefors no fue significativa con un nivel de significancia de 0.05, por lo que no se rechazó la normalidad de los residuos.

**Figura 49 Gráfica cuantil-cuantil normal frente a residuos del modelo**



Fuente: elaboración propia mediante software R.

La gráfica Cuantil-cuantil muestra un comportamiento similar a la normal teórica, solamente teniendo una desviación en los extremos de la gráfica.

**Figura 50 Prueba de Breusch-Pagan de homocedasticidad de residuos del modelo**

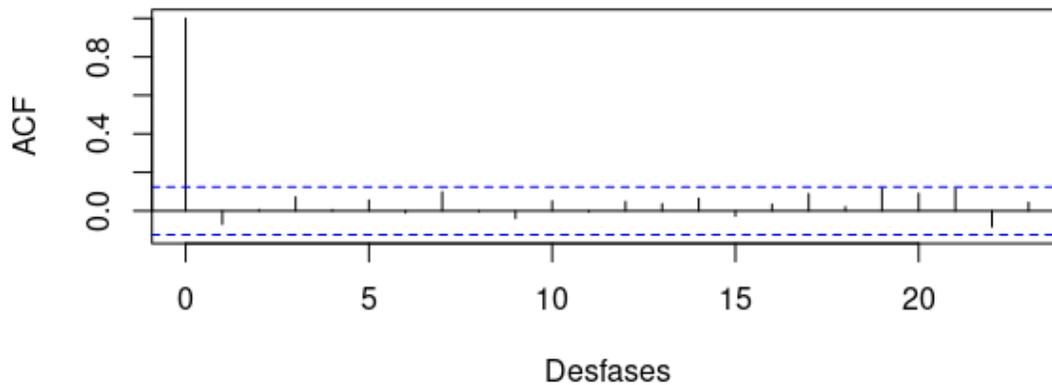
```
studentized Breusch-Pagan test
data: B
BP = 11.003, df = 10, p-value = 0.3573
```

Fuente: elaboración propia mediante software R.

La prueba de Breusch-Pagan, utilizando un nivel de significancia de 0.05, permite inferir una varianza homogénea de los residuos.

**Figura 51 Correlograma de residuos del modelo**

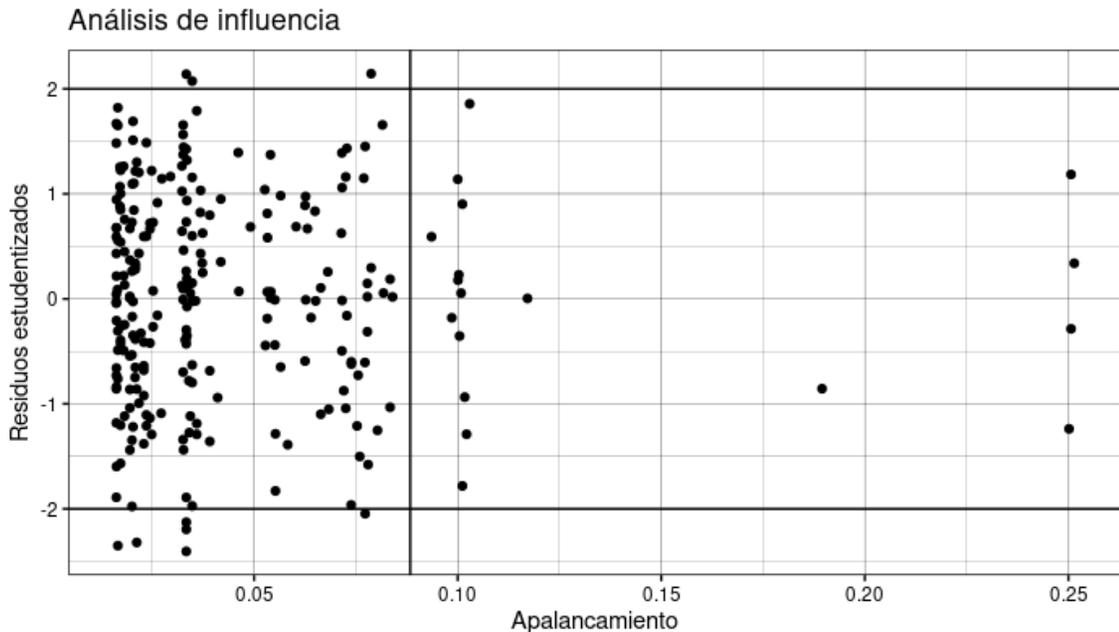
**ACF**  
**Prueba de independencia**



Fuente: elaboración propia mediante software R.

El gráfico de auto correlación sugiere que no existe dependencia en los residuos.

**Figura 52 Gráfica de análisis de influencia sobre residuos estudentizados del modelo**



Fuente: elaboración propia mediante software R.

El gráfico de análisis de influencia muestra que existen aproximadamente 9 residuos atípicos, con un valor mayor a 2 o menor a -2, así como también 18 residuos con un apalancamiento elevado, mayor al doble del apalancamiento medio de los residuos. Sin embargo, ningún residuo cumple con ambas características, por lo que no se considera que haya valores influyentes dentro de los residuos.

### 3.3.3. Estimación de valores

Para la estimación de los valores predichos se utilizaron los datos de estudiantes asignados desde el 2017 al 2021, calculando la edad promedio de todos los estudiantes, haciendo un recorte del 5% de los datos de cada extremo para combatir los datos atípicos. Para las carreras, se calculó la proporción de

estudiantes de cada carrera asignados en cada curso. Se aplicaron los coeficientes del modelo al promedio y la proporción de estudiantes de cada carrera para obtener el valor predicho por curso.

**Tabla X Valores predichos por modelo de regresión**

Código de curso	Predicho
0001	0.8922
0005	0.8698
0006	1.1785
0008	1.3877
0009	1.5501
0010	1.2169
0011	1.5956
0014	1.9317
0017	0.8755
0018	1.2353
0022	1.3825
0027	0.4324
0028	1.3462
0030	0.6799
0039	0.8738
0040	1.0293
0060	-0.7609
0069	0.8739
0071	0.7662
0073	1.5498
0074	0.2616
0075	-1.177
0080	0.4981
0082	0.6418
0084	0.2585
0090	1.2552
0101	0.895
0103	0.9259
0107	1.0767
0112	1.1481
0114	1.1315
0116	1.4755

Código de curso	Predicho
0118	1.2601
0120	1.325
0122	1.4801
0147	1.0076
0150	1.1458
0152	1.2996
0154	0.9846
0156	1.0936
0170	1.1185
0172	1.3905
0193	-0.7013
0196	0.0152
0198	0.9202
0200	1.4413
0201	0.5181
0202	1.5879
0204	0.8992
0206	0.9779
0209	1.5937
0210	0.9954
0211	1.4164
0212	0.8151
0213	0.8466
0214	0.9205
0216	1.1155
0218	0.9483
0220	1.1925
0221	1.3211
0222	1.2293
0224	1.1692
0233	1.5435
0234	1.4805

Continuación Tabla X.

<b>Código de curso</b>	<b>Predicho</b>
0236	1.2741
0238	1.0679
0239	1.6318
0240	1.399
0241	1.6001
0243	1.6731
0245	1.5744
0246	1.1661
0248	1.4461
0250	1.3134
0252	1.0761
0254	0.8588
0258	1.5534
0262	0.8128
0280	0.9043
0282	0.8791
0283	2.211
0284	0.7959
0285	2.4173
0286	0.8036
0288	1.2634
0300	1.3711
0302	1.0748
0306	1.0753
0307	0.8682
0314	0.9074
0315	1.2572
0321	1.2172
0323	1.2965
0325	1.2842
0332	1.1212
0335	1.2323
0340	1.2092
0349	0.317
0352	1.1174
0354	0.4135
0356	0.4655
0358	0.6364

<b>Código de curso</b>	<b>Predicho</b>
0360	1.0844
0361	1.0382
0362	0.6337
0364	0.9212
0368	1.8281
0370	0.9225
0380	1.048
0382	1.1943
0386	1.1238
0388	1.2301
0390	1.5971
0394	1.3041
0396	1.3396
0398	1.4772
0409	1.4923
0410	1.0873
0412	1.1763
0414	1.2874
0416	1.3601
0418	1.4764
0421	1.6449
0423	1.4326
0425	1.9129
0428	1.3872
0430	1.4193
0431	-0.8566
0433	1.5796
0434	1.4416
0437	1.2567
0440	0.9249
0442	1.4077
0452	1.3685
0453	0.5155
0454	1.4101
0455	0.5837
0456	0.8207
0458	0.7208
0460	1.1795

Continuación Tabla X.

<b>Código de curso</b>	<b>Predicho</b>
0462	0.9176
0472	1.2832
0474	1.3155
0476	1.4694
0478	1.0092
0482	1.5687
0486	1.5127
0504	1.827
0506	1.4357
0508	1.7979
0511	1.9785
0512	1.7762
0513	2.348
0520	1.5669
0522	1.7198
0524	1.3644
0526	1.4309
0528	1.7328
0530	1.3548
0532	1.5505
0550	0.9909
0560	1.0332
0601	1.6945
0606	2.3544
0608	1.2641
0630	1.2537
0634	1.6755
0636	1.7809
0638	1.8533
0640	1.9241
0642	1.7211
0644	2.3285
0650	1.5628
0652	1.6622
0656	1.5365
0658	1.6134
0660	1.7145
0661	2.1118

<b>Código de curso</b>	<b>Predicho</b>
0663	-0.8617
0664	1.7659
0666	1.2097
0667	2.123
0669	2.4688
0670	-0.7576
0687	0.8554
0700	1.2755
0702	1.973
0704	1.4444
0706	1.6107
0708	2.007
0710	1.2162
0712	1.1229
0722	2.0435
0724	2.0829
0729	2.2464
0732	1.1963
0734	1.5368
0736	1.4672
0769	0.7424
0770	1.6876
0772	1.9148
0773	2.0738
0774	2.1334
0775	2.3709
0777	1.9676
0778	2.0612
0779	2.1856
0780	2.4816
0785	2.3094
0786	2.2857
0790	2.413
0795	1.6186
0796	1.7887
0797	2.1983
0798	2.3816
0799	2.6167

Continuación Tabla X.

Código de curso	Predicho
0879	-1.1247
0960	1.6479
0962	1.7213
0964	1.8973
0970	2.1446

Código de curso	Predicho
0972	2.511
0975	2.2702
0980	1.6024
0991	0.8817

Fuente: elaboración propia mediante software R.

En la tabla se muestra el código del curso, junto a su valor predicho de la métrica del estimador de aceptación estudiantil.

**3.4. Objetivo general: Proponer un indicador compuesto para medir el potencial para ser impartidos en la modalidad de educación a distancia en los cursos de pregrado de la facultad de ingeniería, desde la perspectiva de la población estudiantil, mediante la agregación de las métricas auxiliares del estimador de desempeño académico y estimador de la aceptación estudiantil.**

Para la agregación de las métricas del estimador de desempeño académico y el estimador de aceptación estudiantil se determinó a criterio del investigador que ambas tuvieran la misma ponderación, por lo que ambas métricas fueron estandarizadas mediante la división entre su rango teórico de valores, para obtener un valor de -0.5 a 0.5, para posteriormente realizar una suma aritmética y obtener un valor de -1 a 1, correspondientes a un potencial negativo y un potencial positivo respectivamente.

Para la estandarización del estimador de desempeño académico el rango teórico fue de -2 a 2, por lo que se dividió el valor estimado por 4. Para la

estandarización del estimador de aceptación estudiantil el rango teórico fue de - 6 a 6, por lo que se dividió el valor estimado por 12.

### 3.4.1. Indicador calculado

A continuación, se presenta el indicador calculado mediante la suma de ambas métricas estandarizadas, ordenado de mayor a menor potencial.

**Tabla XI Propuesta de Indicador para medir viabilidad potencial**

<b>Código</b>	<b>Curso</b>	<b>Estimador de desempeño académico</b>	<b>Estimador de aceptación estudiantil</b>	<b>Indicador compuesto de potencial</b>
0780	SOFTWARE AVANZADO	0.5000	0.2068	0.7068
0285	SISTEMAS OPERATIVOS 2	0.5000	0.2014	0.7014
0283	ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS 1	0.5000	0.1843	0.6843
0667	PROGRAMACIÓN COMERCIAL 1	0.5000	0.1769	0.6769
0773	MANEJO E IMPLEMENTACIÓN DE ARCHIVOS	0.5000	0.1728	0.6728
0772	ESTRUCTURAS DE DATOS	0.5000	0.1596	0.6596
0964	ORGANIZACIÓN COMPUTACIONAL	0.5000	0.1581	0.6581
0638	CONTROLES INDUSTRIALES	0.5000	0.1544	0.6544
0636	DISEÑO PARA LA PRODUCCIÓN	0.5000	0.1484	0.6484
0522	PROCESOS DE MANUFACTURA 2	0.5000	0.1433	0.6433
0660	MERCADOTECNIA 1	0.5000	0.1429	0.6429
0634	INGENIERÍA DE MÉTODOS	0.5000	0.1396	0.6396
0795	LÓGICA DE SISTEMAS	0.5000	0.1349	0.6349
0706	PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS 1	0.5000	0.1342	0.6342
0011	IDIOMA TÉCNICO 4	0.5000	0.1330	0.6330
0209	INSTALACIÓN DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS	0.5000	0.1328	0.6328
0245	COMUNICACIONES 3	0.5000	0.1312	0.6312
0520	PROCESOS DE MANUFACTURA 1	0.5000	0.1306	0.6306
0656	ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS 1	0.5000	0.1280	0.6280
0234	ELECTRÓNICA 4	0.5000	0.1234	0.6234
0122	MATEMÁTICA APLICADA 4	0.5000	0.1233	0.6233
0418	IQ-5 TRANSFERENCIA DE MASA EN UNIDADES CONTINUAS	0.5000	0.1230	0.6230
0736	ANÁLISIS PROBABILÍSTICO	0.5000	0.1223	0.6223

Continuación Tabla XI.

Código	Curso	Estimador de desempeño académico	Estimador de aceptación estudiantil	Indicador compuesto de potencial
0526	DISEÑO DE MÁQUINAS 2	0.5000	0.1192	0.6192
0454	METALURGIA Y METALOGRAFÍA	0.5000	0.1175	0.6175
0300	RESISTENCIA DE MATERIALES 1	0.5000	0.1143	0.6143
0452	CIENCIA DE LOS MATERIALES	0.5000	0.1140	0.6140
0524	DISEÑO DE MÁQUINAS 1	0.5000	0.1137	0.6137
0416	IQ-4 TRANSFERENCIA DE MASA	0.5000	0.1133	0.6133
0530	MECANISMOS	0.5000	0.1129	0.6129
0028	ECOLOGÍA	0.5000	0.1122	0.6122
0250	MECÁNICA DE FLUIDOS	0.5000	0.1095	0.6095
0236	SISTEMAS DE CONTROL 1	0.5000	0.1062	0.6062
0090	PROGRAMACIÓN DE COMPUTADORAS 1	0.5000	0.1046	0.6046
0630	INGENIERÍA DE LA PRODUCCIÓN	0.5000	0.1045	0.6045
0018	FILOSOFÍA DE LA CIENCIA	0.5000	0.1029	0.6029
0222	PROTECCIÓN DE SISTEMAS DE POTENCIA	0.5000	0.1024	0.6024
0010	LÓGICA	0.5000	0.1014	0.6014
0732	ESTADÍSTICA 1	0.5000	0.0997	0.5997
0352	QUÍMICA 2	0.5000	0.0931	0.5931
0156	FÍSICA 4	0.5000	0.0911	0.5911
0252	HIDRÁULICA	0.5000	0.0897	0.5897
0380	FÍSICO QUÍMICA 1	0.5000	0.0873	0.5873
0210	TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA 1	0.5000	0.0830	0.5830
0154	FÍSICA 3	0.5000	0.0821	0.5821
0370	QUÍMICA AMBIENTAL	0.5000	0.0769	0.5769
0462	ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA BÁSICA	0.5000	0.0765	0.5765
0001	ÉTICA PROFESIONAL	0.5000	0.0744	0.5744
0254	HIDROLOGÍA	0.5000	0.0716	0.5716
0458	MECÁNICA DE SUELOS 1	0.5000	0.0601	0.5601
0030	GEOGRAFÍA	0.5000	0.0567	0.5567
0082	TOPOGRAFÍA 2	0.5000	0.0535	0.5535
0669	ECONOMÍA INDUSTRIAL	0.2500	0.2057	0.4557
0798	SEMINARIO DE SISTEMAS 2	0.2500	0.1985	0.4485
0644	INGENIERÍA TEXTIL 1	0.2500	0.1940	0.4440
0786	SISTEMAS ORGANIZACIONALES Y GERENCIALES 1	0.2500	0.1905	0.4405
0729	MODELACIÓN Y SIMULACIÓN 1	0.2500	0.1872	0.4372
0779	ARQUITECTURA DE COMPUTADORES Y ENSAMBLADORES 2	0.2500	0.1821	0.4321

Continuación Tabla XI.

<b>Código</b>	<b>Curso</b>	<b>Estimador de desempeño académico</b>	<b>Estimador de aceptación estudiantil</b>	<b>Indicador compuesto de potencial</b>
0774	SISTEMAS DE BASES DE DATOS 1	0.2500	0.1778	0.4278
0724	TEORÍA DE SISTEMAS 2	0.2500	0.1736	0.4236
0778	ARQUITECTURA DE COMPUTADORES Y ENSAMBLADORES 1	0.2500	0.1718	0.4218
0777	ORGANIZACIÓN DE LENGUAJES Y COMPILADORES 1	0.2500	0.1640	0.4140
0642	SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL	0.2500	0.1434	0.3934
0962	MATEMÁTICA PARA COMPUTACIÓN 2	0.2500	0.1434	0.3934
0770	INTRODUCCIÓN A LA PROGRAMACIÓN Y COMPUTACIÓN 1	0.2500	0.1406	0.3906
0652	CONTABILIDAD 2	0.2500	0.1385	0.3885
0239	ELECTRÓNICA APLICADA 2	0.2500	0.1360	0.3860
0658	ADMINISTRACIÓN DE PERSONAL	0.2500	0.1344	0.3844
0241	RADIOCOMUNICACIONES TERRESTRES	0.2500	0.1333	0.3833
0390	TERMODINÁMICA 1	0.2500	0.1331	0.3831
0482	OPERACIONES Y PROCESOS EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA	0.2500	0.1307	0.3807
0258	MÁQUINAS HIDRÁULICAS	0.2500	0.1295	0.3795
0009	IDIOMA TÉCNICO 3	0.2500	0.1292	0.3792
0073	DIBUJO TÉCNICO MECÁNICO	0.2500	0.1292	0.3792
0233	ELECTRÓNICA APLICADA 1	0.2500	0.1286	0.3786
0398	CINÉTICA DE PROCESOS QUÍMICOS	0.2500	0.1231	0.3731
0248	ELECTRÓNICA 5	0.2500	0.1205	0.3705
0506	PLANTAS DE VAPOR	0.2500	0.1196	0.3696
0172	MECÁNICA ANALÍTICA 2	0.2500	0.1159	0.3659
0428	LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA 1	0.2500	0.1156	0.3656
0022	PSICOLOGÍA INDUSTRIAL	0.2500	0.1152	0.3652
0396	TERMODINÁMICA 4	0.2500	0.1116	0.3616
0394	TERMODINÁMICA 3	0.2500	0.1087	0.3587
0414	IQ-3 TRANSFERENCIA DE CALOR	0.2500	0.1073	0.3573
0288	INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	0.2500	0.1053	0.3553
0315	CONCRETO PREESFORZADO	0.2500	0.1048	0.3548
0437	CONTROL DE CONTAMINANTES INDUSTRIALES	0.2500	0.1047	0.3547
0388	LABORATORIO DE FÍSICO QUÍMICA 2	0.2500	0.1025	0.3525
0321	DISENO ESTRUCTURAL	0.2500	0.1014	0.3514
0666	COSTOS PRESUPUESTOS Y AVALÚOS	0.2500	0.1008	0.3508
0382	FÍSICO QUÍMICA 2	0.2500	0.0995	0.3495

Continuación Tabla XI.

<b>Código</b>	<b>Curso</b>	<b>Estimador de desempeño académico</b>	<b>Estimador de aceptación estudiantil</b>	<b>Indicador compuesto de potencial</b>
0006	IDIOMA TÉCNICO 1	0.2500	0.0982	0.3482
0246	ELECTRÓNICA 3	0.2500	0.0972	0.3472
0112	ÁREA MATEMÁTICA INTERMEDIA 2	0.2500	0.0957	0.3457
0386	LABORATORIO DE FÍSICO QUÍMICA 1	0.2500	0.0936	0.3436
0410	BALANCE DE MASA Y ENERGÍA	0.2500	0.0906	0.3406
0360	QUÍMICA ORGANICA 2	0.2500	0.0904	0.3404
0560	VÍAS TERRESTRES 2	0.2500	0.0861	0.3361
0550	VÍAS TERRESTRES 1	0.2500	0.0826	0.3326
0206	CIRCUITOS ELÉCTRICOS 2	0.2500	0.0815	0.3315
0440	MICROBIOLOGÍA	0.2500	0.0771	0.3271
0198	CALIDAD DEL AGUA	0.2500	0.0767	0.3267
0214	MÁQUINAS ELÉCTRICAS	0.2500	0.0767	0.3267
0280	INGENIERÍA SANITARIA 1	0.2500	0.0754	0.3254
0204	CIRCUITOS ELÉCTRICOS 1	0.2500	0.0749	0.3249
0282	INGENIERÍA SANITARIA 2	0.2500	0.0733	0.3233
0286	HIDRÁULICA DE CANALES	0.2500	0.0670	0.3170
0284	SANEAMIENTO AMBIENTAL	0.2500	0.0663	0.3163
0027	BIOLOGÍA	0.2500	0.0360	0.2860
0354	QUÍMICA 3	0.2500	0.0345	0.2845
0349	QUÍMICA PARA INGENIERÍA CIVIL	0.2500	0.0264	0.2764
0084	TOPOGRAFÍA 3	0.2500	0.0215	0.2715
0799	SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN	0.0000	0.2181	0.2181
0790	EMPRENEDORES DE NEGOCIOS INFORMÁTICOS	0.0000	0.2011	0.2011
0775	SISTEMAS DE BASES DE DATOS 2	0.0000	0.1976	0.1976
0606	ANÁLISIS DE SISTEMAS INDUSTRIALES	0.0000	0.1962	0.1962
0513	MANTENIMIENTO DE HOSPITALES 2	0.0000	0.1957	0.1957
0785	ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS 2	0.0000	0.1924	0.1924
0975	REDES DE COMPUTADORAS 2	0.0000	0.1892	0.1892
0797	SEMINARIO DE SISTEMAS I	0.0000	0.1832	0.1832
0970	REDES DE COMPUTADORAS 1	0.0000	0.1787	0.1787
0661	MERCADOTECNIA 2	0.0000	0.1760	0.1760
0722	TEORÍA DE SISTEMAS 1	0.0000	0.1703	0.1703
0708	PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS 2	0.0000	0.1673	0.1673
0511	MANTENIMIENTO DE HOSPITALES 1	0.0000	0.1649	0.1649
0702	INGENIERÍA ECONÓMICA 2	0.0000	0.1644	0.1644

Continuación Tabla XI.

<b>Código</b>	<b>Curso</b>	<b>Estimador de desempeño académico</b>	<b>Estimador de aceptación estudiantil</b>	<b>Indicador compuesto de potencial</b>
0014	ECONOMÍA	0.0000	0.1610	0.1610
0640	CONTROL DE LA PRODUCCIÓN	0.0000	0.1603	0.1603
0425	INTRODUCCIÓN A LA GESTIÓN TECNOLÓGICA	0.0000	0.1594	0.1594
0368	PRINCIPIOS DE METROLOGÍA	0.0000	0.1523	0.1523
0504	MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	0.0000	0.1523	0.1523
0508	MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO	0.0000	0.1498	0.1498
0796	LENGUAJES FORMALES Y DE PROGRAMACIÓN	0.0000	0.1491	0.1491
0512	INSTRUMENTACIÓN MECÁNICA	0.0000	0.1480	0.1480
0664	LEGISLACIÓN 2	0.0000	0.1472	0.1472
0528	DISEÑO DE MÁQUINAS 3	0.0000	0.1444	0.1444
0601	INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES I	0.0000	0.1412	0.1412
0243	COMUNICACIONES 4	0.0000	0.1394	0.1394
0960	MATEMÁTICA PARA COMPUTACIÓN 1	0.0000	0.1373	0.1373
0421	GESTIÓN TOTAL DE LA CALIDAD	0.0000	0.1371	0.1371
0980	PROYECTOS DE COMPUTACIÓN APLICADA A I.E.	0.0000	0.1335	0.1335
0202	INGENIERÍA ELÉCTRICA 2	0.0000	0.1323	0.1323
0433	INGENIERÍA DEL AZÚCAR	0.0000	0.1316	0.1316
0650	CONTABILIDAD 1	0.0000	0.1302	0.1302
0532	VIBRACIONES	0.0000	0.1292	0.1292
0734	ESTADÍSTICA 2	0.0000	0.1281	0.1281
0486	DISEÑO DE PLANTAS	0.0000	0.1261	0.1261
0409	SEPARACIÓN POR MEDIO DE MEMBRANAS SELECTIVAS	0.0000	0.1244	0.1244
0116	MATEMÁTICA APLICADA 3	0.0000	0.1230	0.1230
0476	GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO	0.0000	0.1225	0.1225
0704	INGENIERÍA ECONÓMICA 3	0.0000	0.1204	0.1204
0200	INGENIERÍA ELÉCTRICA 1	0.0000	0.1201	0.1201
0434	PROCESOS QUÍMICOS INDUSTRIALES	0.0000	0.1201	0.1201
0423	EXTRACCIONES INDUSTRIALES	0.0000	0.1194	0.1194
0430	LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA 2	0.0000	0.1183	0.1183
0211	TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA 2	0.0000	0.1180	0.1180
0442	BIOINGENIERÍA 1	0.0000	0.1173	0.1173
0240	ELECTRÓNICA 2	0.0000	0.1166	0.1166
0008	IDIOMA TÉCNICO 2	0.0000	0.1156	0.1156
0120	MATEMÁTICA APLICADA 2	0.0000	0.1104	0.1104

Continuación Tabla XI.

<b>Código</b>	<b>Curso</b>	<b>Estimador de desempeño académico</b>	<b>Estimador de aceptación estudiantil</b>	<b>Indicador compuesto de potencial</b>
0221	SISTEMAS DE GENERACIÓN	0.0000	0.1101	0.1101
0474	INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA PETROLERA	0.0000	0.1096	0.1096
0152	FÍSICA 2	0.0000	0.1083	0.1083
0323	DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN MAMPOSTERÍA	0.0000	0.1080	0.1080
0325	DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS 1	0.0000	0.1070	0.1070
0472	TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS	0.0000	0.1069	0.1069
0700	INGENIERÍA ECONÓMICA 1	0.0000	0.1063	0.1063
0608	INTRODUCCIÓN DE PROYECTOS GERENCIALES	0.0000	0.1053	0.1053
0118	MATEMÁTICA APLICADA 1	0.0000	0.1050	0.1050
0335	GESTIÓN DE DESASTRES	0.0000	0.1027	0.1027
0710	PLANEAMIENTO	0.0000	0.1014	0.1014
0340	MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN	0.0000	0.1008	0.1008
0220	ANÁLISIS DE SISTEMAS DE POTENCIA 1	0.0000	0.0994	0.0994
0460	PAVIMENTOS	0.0000	0.0983	0.0983
0412	FLUJO DE FLUIDOS	0.0000	0.0980	0.0980
0224	ALTA TENSIÓN	0.0000	0.0974	0.0974
0150	FÍSICA 1	0.0000	0.0955	0.0955
0114	ÁREA MATEMÁTICA INTERMEDIA 3	0.0000	0.0943	0.0943
0712	URBANISMO	0.0000	0.0936	0.0936
0332	PUENTES	0.0000	0.0934	0.0934
0170	MECÁNICA ANALÍTICA 1	0.0000	0.0932	0.0932
0216	SUBESTACIONES	0.0000	0.0930	0.0930
0107	ÁREA MATEMÁTICA INTERMEDIA 1	0.0000	0.0897	0.0897
0306	ANÁLISIS ESTRUCTURAL 1	0.0000	0.0896	0.0896
0238	AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	0.0000	0.0890	0.0890
0361	BIOQUÍMICA 1	0.0000	0.0865	0.0865
0040	DEPORTES 2	0.0000	0.0858	0.0858
0478	PETROLOGÍA	0.0000	0.0841	0.0841
0218	LINEAS DE TRANSMISIÓN	0.0000	0.0790	0.0790
0103	ÁREA MATEMÁTICA BÁSICA 2	0.0000	0.0772	0.0772
0364	ANÁLISIS CUANTITATIVO	0.0000	0.0768	0.0768
0314	CONCRETO ARMADO 1	0.0000	0.0756	0.0756
0101	ÁREA MATEMÁTICA BÁSICA 1	0.0000	0.0746	0.0746
0991	LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN APLICADOS A I.E.	0.0000	0.0735	0.0735

Continuación Tabla XI.

<b>Código</b>	<b>Curso</b>	<b>Estimador de desempeño académico</b>	<b>Estimador de aceptación estudiantil</b>	<b>Indicador compuesto de potencial</b>
0017	ÁREA SOCIAL HUMANÍSTICA 1	0.0000	0.0730	0.0730
0039	DEPORTES 1	0.0000	0.0728	0.0728
0005	TÉCNICAS DE ESTUDIO E INVESTIGACIÓN	0.0000	0.0725	0.0725
0307	TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL	0.0000	0.0723	0.0723
0687	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	0.0000	0.0713	0.0713
0213	CONVERSIÓN DE ENERGÍA ELECTROMECÁNICA 2	0.0000	0.0705	0.0705
0456	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	0.0000	0.0684	0.0684
0212	CONVERSIÓN DE ENERGÍA ELECTROMECÁNICA 1	0.0000	0.0679	0.0679
0262	AGUAS SUBTERRÁNEAS	0.0000	0.0677	0.0677
0071	ÁREA TÉCNICA COMPLEMENTARIA 2	0.0000	0.0638	0.0638
0769	INTRODUCCIÓN A LA PROGRAMACIÓN DE COMPUTADORAS	0.0000	0.0619	0.0619
0358	QUÍMICA ORGÁNICA 1	0.0000	0.0530	0.0530
0362	ANÁLISIS CUALITATIVO	0.0000	0.0528	0.0528
0201	INSTALACIONES ELÉCTRICAS (CIVIL)	0.0000	0.0432	0.0432
0453	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN 1	0.0000	0.0430	0.0430
0080	TOPOGRAFÍA 1	0.0000	0.0415	0.0415
0356	QUÍMICA 4	0.0000	0.0388	0.0388
0074	DIBUJO CONSTRUCTIVO PARA INGENIERÍA	0.0000	0.0218	0.0218
0196	CALIDAD DEL AIRE	0.0000	0.0013	0.0013
0972	INTELIGENCIA ARTIFICIAL 1	-0.2500	0.2093	-0.0407
0193	MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	0.0000	-0.0584	-0.0584
0670	LEGISLACIÓN AMBIENTAL 2	0.0000	-0.0631	-0.0631
0060	TALLER DE SIST DE INF. GEOGRÁFICA	0.0000	-0.0634	-0.0634
0431	ECONOMÍA DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES	0.0000	-0.0714	-0.0714
0663	LEGISLACIÓN AMBIENTAL 1	0.0000	-0.0718	-0.0718
0879	CLIMATOLOGÍA	0.0000	-0.0937	-0.0937
0075	DIBUJO COMPUTARIZADO	0.0000	-0.0981	-0.0981
0302	RESISTENCIA DE MATERIALES 2	-0.2500	0.0896	-0.1604
0147	FÍSICA BÁSICA	-0.2500	0.0840	-0.1660
0455	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN 2	-0.2500	0.0486	-0.2014
0069	ÁREA TÉCNICA COMPLEMENTARIA 1	-0.5000	0.0728	-0.4272

Fuente: elaboración propia mediante software R.

Este indicador permite medir la viabilidad potencial de un curso para ser impartido en la modalidad de educación a distancia, teniendo un valor cercano a 1 cuando el curso tiene un potencial alto, y cercano a -1 cuando tiene un potencial bajo. En este caso los tres cursos con mayor potencial fueron: Software avanzado, Sistemas operativos 2 y Análisis y diseño de sistemas 1, mientras que los tres cursos con menor potencial fueron: Física básica, Materiales de construcción 2 y Área técnica complementaria 1.

Se concluye que, de los 225 cursos, 52 (23.11%) obtuvieron un puntaje mayor a 0.5 teniendo una clasificación alta, 161 (71.56%) obtuvieron un puntaje entre 0 y 0.5, teniendo una clasificación media-alta, y 12 (5.33%) obtuvieron un puntaje entre 0 y -0.5, teniendo una clasificación media-baja. Ningún curso de los 225 obtuvo un puntaje menor a -0.5, con una clasificación baja.



## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Análisis interno

Fueron contrastados los indicadores de rendimiento académico para cada curso, generando un punteo basado en el rendimiento durante los periodos de modalidad virtual, cumpliendo así con el objetivo 1.

Fue posible aplicar la encuesta diseñada para conocer la opinión estudiantil y se cumplió con el número de respuestas mínimo, según los cálculos del tamaño de la muestra realizados. Con base en las respuestas estudiantiles, pudieron calcularse los ponderadores de importancia sobre aspectos educativos en modalidad a distancia, con los cuales fue posible asignar un valor cualitativo a cada respuesta, cumpliendo así con el objetivo 2.

Realizando un análisis sobre estos valores, fue posible inferir que el factor más influyente para la opinión estudiantil es la edad del estudiante, existiendo una correlación lineal positiva. Se infiere según los criterios AIC y BIC cuál es el modelo con mejor ajuste, sin embargo, se utilizó el segundo mejor, dado que el modelo de mejor ajuste no cumple con los supuestos para una regresión lineal, mientras que el segundo los cumple. Adicionalmente los criterios del mejor modelo y del segundo mejor son similares, por lo que se optó por utilizarlo, cumpliendo así con el objetivo 3.

Fue construido el indicador de viabilidad potencial de un curso para poder ser impartido en línea mediante la agregación de las métricas estimadas con base en el desempeño académico y la aceptación estudiantil. Cumpliendo así el objetivo general de la investigación.

Se espera que los resultados obtenidos por el estudio puedan ser utilizados por la Facultad de Ingeniería como base para crear secciones magistrales que hagan uso de la modalidad a distancia en los cursos donde es beneficioso, así como para evitar crear secciones de esta modalidad para cursos que son perjudicados por la misma.

Adicionalmente, la información inferida por los resultados de la encuesta, sobre tipos de dispositivo puede ser de utilidad para optimizar las plataformas virtuales de la Facultad de Ingeniería a los dispositivos más utilizados por los estudiantes, y la información sobre el departamento de residencia puede ser de utilidad para inferir si es viable impartir prácticas y laboratorios en modalidad presencial dentro del Campus central.

Dentro del estudio se tomaron en cuenta las siguientes suposiciones teóricas:

- Fueron utilizados para el estudio los datos agrupados mediante el valor promedio de los indicadores académicos de rendimiento de todas las secciones para cada curso en los periodos en que fue impartido, suponiendo que la variabilidad entre cada sección, y en consecuencia de cada docente, no debería ser un factor significativo para el resultado del análisis, y dicha variabilidad debió verse reducida al utilizar datos agrupados.
- Durante los años 2020 y 2021, debido a la pandemia del COVID-19, el Consejo Superior Universitario acordó que los cursos perdidos por los estudiantes no fueran tomados en cuenta dentro del plan de repitencia. Por lo tanto, una variación del índice de deserción del estudiante no puede atribuirse directamente a la modalidad de

educación a distancia, ya que existe variabilidad por la excepción al plan de repitencia. Debido a esto, se decidió no tomar en cuenta este indicador dentro de los indicadores de rendimiento académico y utilizar solamente el promedio y la tasa de aprobación, los cuales únicamente deberían haber variado por la modalidad en la que se imparte el curso.

- El factor del sexo del estudiante no fue tomado en consideración dentro del estudio, dado que según los datos de inscripción disponibles en la página de datos abiertos de la Facultad de Ingeniería la distribución es en su mayoría masculina dentro de la Facultad, con excepción de las carreras correspondientes a la Escuela de Química, ingeniería Ambiental e ingeniería Química, las cuales poseen una proporción mayor de mujeres que el resto de las carreras. Por lo tanto, el factor del sexo del estudiante es una variable dependiente con la carrera que estudia, y se optó por seleccionar únicamente la carrera para mantener la parsimonia de la investigación, teniendo el menor número de variables posibles.
- La edad media teórica del estudiante para cada curso se asumió conforme una media recortada en un 5% de cada extremo, con el fin de evitar datos atípicos.

Durante el proceso de investigación se encontraron ciertas limitantes y falencias de investigación que se indican a continuación:

- No se utilizaron todos los cursos de la Facultad de Ingeniería, eliminando desde el inicio las prácticas a cargo de la unidad de Ejercicio Profesional Supervisado que no manejan una nota sobre 100 puntos, ya que solamente se aprueban o reprueban sin nota.

- Posteriormente se eliminaron cerca de 30 cursos debido a la falta de datos, en donde la modalidad a distancia o la modalidad presencial no tenía suficientes registros como para realizar un análisis estadístico, por lo que estos cursos fueron descartados.
- Dentro de los datos originales también fueron detectados ciertos cursos que fueron afectados por una modificación al pensum de ingeniería Civil durante el año 2017, por lo que algunos no contaban con información completa, al no haberse impartido durante todo el periodo de muestreo, por lo que fueron descartados del estudio.
- La cantidad de muestras por cada curso en el análisis de indicadores de rendimiento académico es baja, y dado que el análisis de cada curso y la verificación de los supuestos se realizó de manera automatizada, puede que algún dato sesgado haya sido tomado en cuenta erróneamente. A pesar de esto los métodos de prueba utilizados son considerados robustos, por lo que no representa una amenaza mayor para la validez de los resultados.
- Respecto a la encuesta, no se contó con la validación de un profesional de humanidades en la redacción de las preguntas, y estas fueron desarrolladas a discreción del investigador, por lo que no se tiene certeza de que las preguntas sean completamente insesgadas.
- La agregación del indicador compuesto final fue compuesta en un 50% por cada métrica, lo cual fue decidido a discreción del investigador. Por lo que el criterio final es susceptible a presentar cierto sesgo si se cambia la ponderación que se dio a cada métrica.

- El estudio solamente tomó en consideración la estimación de la aceptación estudiantil, dejando fuera del alcance la aceptación docente, por lo que la estimación de la aceptación docente se muestra como un posible punto de partida para un nuevo estudio, con intención de reforzar lo concluido en éste estudio.

#### **4.2. Análisis externo**

Bracamonte (2022), coordinador de la Unidad de Análisis de Datos de la Facultad de Ingeniería, presentó el Informe Estadístico de los resultados de la encuesta sobre la adaptación de la población estudiantil de la Facultad de Ingeniería a la educación en modalidad virtual en el primer semestre del año 2022, por lo que fue posible validar la representatividad de la muestra de estudiantes calculada para la encuesta mediante la comparación de datos característicos.

El porcentaje de estudiantes que viven en el departamento de Guatemala, de acuerdo con Bracamonte, es del 82%, dato que concuerda con la muestra obtenida, en la cual un 81.93% de los estudiantes indicaron vivir en el departamento de Guatemala, mientras que el 18.67% restante indicaron vivir en otros departamentos del país.

De igual manera, el porcentaje de estudiantes de la muestra que indicaron vivir en área urbana es de un 86.75% y el porcentaje para el área rural es de 13.25%, asimismo de acuerdo con Bracamonte el número de estudiantes viviendo en área urbana es del 85% y el de área rural es de 15%, por lo que también aumenta la confiabilidad de la muestra.

Respecto al dispositivo utilizado para recibir sus clases, los resultados de Bracamonte indican que un 72% utiliza computadora personal o portátil, un 23% utiliza computadora de escritorio, un 4% utiliza un teléfono inteligente, y un 1% utiliza una Tablet, mientras que los estudiantes de la muestra indicaron que un 77.51% utilizan computadora personal o portátil, un 15.66% utilizan computadora de escritorio, un 6.02% utiliza un teléfono inteligente y un 0.8% utiliza una Tablet. Aunque las proporciones no son iguales, son bastante parecidas, brindando más confiabilidad a la muestra obtenida.

Respecto a los aspectos ponderados por la población estudiantil puede observarse que dentro de la Facultad de Ingeniería el aspecto social fue el menos importante, según los estudiantes encuestados, sin embargo Barbera (2013) concluyó que la satisfacción del estudiante español, chino y estadounidense está fuertemente correlacionada con la presencia social y la instrucción directa, por lo que es un punto de partida para una nueva investigación que pueda indagar en el tema de diferencias socioculturales de la educación en línea.

De igual forma puede observarse una gran diferencia sociocultural con el estudio de Muthuprasad et al. (2020) donde el 58% de los estudiantes de agricultura en India respondieron que el dispositivo que prefieren para recibir sus clases son los teléfonos inteligentes, mientras que en la Facultad de Ingeniería solamente el 6.02% indicó que era su dispositivo usual para recibir sus clases.

De acuerdo con Kamoen et al. (2011) los encuestados tienen una probabilidad más alta de estar en desacuerdo con un enunciado negativo que de estar de acuerdo con su enunciado equivalente positivo en las preguntas de acuerdo y desacuerdo. Esto puede sugerir que existe cierto sesgo desde el proceso cognitivo que puede afectar el resultado de este tipo de preguntas. En particular dentro de este estudio se trabajó con un enunciado negativo y su

equivalente positivo por cada pregunta del tipo acuerdo y desacuerdo, lo que implica que los datos de opinión pueden estar sesgados hacia la positividad. Sin embargo Kamoen resalta que aunque exista esta diferencia, no implica que las opiniones de los encuestados no sean válidas o que no cumplan con un proceso cognitivo normal.



## CONCLUSIONES

1. Según los indicadores académicos de aprobación y promedio que percibieron un cambio significativo en cada curso con un nivel de significancia de 0.05, se infiere que los efectos son favorables para el 23.11% de los cursos, parcialmente favorables para el 26.67%, indistintos para el 48%, parcialmente desfavorables para el 1.78% y desfavorables para un 0.44%.
2. A partir de una muestra representativa y cuantificada de la opinión estudiantil, con un tamaño de 249 registros, la auto ponderación indica que los aspectos se ordenan en importancia de la siguiente forma: primero el tecnológico, con una tasa de valoración de 21.61%, seguido de didáctico y personal con 20.34% cada uno, posteriormente el económico con un 19.33%, y finalmente el social con 18.39%.
3. Se infiere el valor de la opinión estudiantil cuantificada, aplicando el modelo de regresión lineal que presenta el mejor ajuste, compuesto por las variables independientes edad y carrera del estudiante.
4. Se propone un indicador compuesto por las métricas de estimadores de desempeño académico y de aceptación estudiantil para medir el potencial de cada curso, obteniendo que, de los 225 cursos, 52 (23.11%) obtuvieron un puntaje mayor a 0.5 teniendo una clasificación alta, 161 (71.56%) obtuvieron un puntaje entre 0 y 0.5, teniendo una clasificación media-alta, y 12 (5.33%) obtuvieron un puntaje entre 0 y -0.5, teniendo una clasificación media-baja. Ningún curso de los 225 obtuvo un puntaje menor a -0.5, con una clasificación baja.



## RECOMENDACIONES

1. Se aconseja a los investigadores tomar en consideración el indicador de rendimiento académico de deserción dentro de un análisis futuro, para determinar si es significativo o no dentro de los factores a tomar en cuenta para los contrastes, dado que durante los años que se tomaron de referencia para el estudio, este indicador se vio afectado por el factor externo del acuerdo del Consejo Superior Universitario sobre no tomar en cuenta la repitencia debido a la pandemia, por lo que no se incluyó para evitar sesgos no asociados de manera directa a la educación a distancia.
2. Las distintas facultades y centros regionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala podrían realizar estudios para caracterizar a sus poblaciones estudiantiles, y de esta forma tener una base sobre la cual brindar un mejor servicio educativo según las necesidades de la población.
3. Se propone a la Facultad de Ingeniería tomar en cuenta aquellos cursos que son del último año de estudios del pensum de cada carrera, y aquellas secciones que son especificadas únicamente para estudiantes de repitencia, como candidatos a ser impartidos en modalidad de educación a distancia, debido a la correlación positiva con la edad que mostraron los modelos.
4. Se sugiere a la Facultad de Ingeniería tomar en cuenta las estimaciones realizadas en este estudio, para determinar en qué cursos es más favorable crear secciones de educación a distancia virtual o híbridas, una vez se retomen las clases magistrales presenciales dentro del campus universitario.



## REFERENCIAS

1. Abreu, J. L. (2020). *Tiempos de Coronavirus: La Educación en Línea como Respuesta a la Crisis*. Revista Daena (International Journal of Good Conscience), 15(1), 1-15. Recuperado de [http://www.spentamexico.org/v15-n1/A1.15\(1\)1-15.pdf](http://www.spentamexico.org/v15-n1/A1.15(1)1-15.pdf)
2. Anguita, J. C., Labrador, J. R., Campos, J. D., Casas Anguita, J., Repullo Labrador, J., & Donado Campos, J. (2003). *La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I)*. Atención primaria, 31(8), 527-538. Recuperado de <http://www.unidadocentemfyclaspalmas.org.es/resources/9+Aten+Primaria+2003.+La+Encuesta+I.+Cuestionario+y+Estadistica.pdf>
3. Assis, C. (2020) *Comparing the Predictive Power of the CART and CTREE algorithms*. Avaliação Psicológica. 19(1), 87-96. Recuperado de <http://pepsic.bvsalud.org/pdf/avp/v19n1/11.pdf>
4. Barbera E, Clarà M, Linder-Vanberschot J. (2013) *Factors Influencing Student Satisfaction and Perceived Learning in Online Courses*. E-Learning and Digital Media 10(3). Recuperado de: <https://core.ac.uk/reader/287653639>
5. Berbyuk Lindström, N., Sofkova Hashemi, S., Háhn, J., Palviainen, Å., Asatiani, A., & Kedra, J. (2021). *Development Speeded up by Necessity: The Future of Higher Education and Academic Work Online*. In AMCIS 2021: Proceedings of the 27th Americas Conference on Information Systems (Article 1245). Association for Information Systems. Recuperado de [https://aisel.aisnet.org/amcis2021/is\\_education/sig\\_education/3/](https://aisel.aisnet.org/amcis2021/is_education/sig_education/3/)
6. Bracamonte, E. (2022). *Informe Estadístico de los resultados de la encuesta sobre la adaptación de la población estudiantil de la Facultad de Ingeniería a la educación en modalidad virtual en el primer semestre del año 2022*. (Junta Directiva. Acta No. 20-2022 14-06-2022/4.5) Guatemala: Facultad de Ingeniería.

7. Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1979). *A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation*. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 1287-1294.
8. Cayuela, L. (2010). *Modelos lineales: Regresión, ANOVA y ANCOVA*. Eco Lab, Centro Andaluz de Medio Ambiente, Universidad de Granada. Notas de clase, 1-57.
9. Figallo, F. (2020). *Después de la educación presencial, ¿qué?* *ESAL-Revista de Educación Superior en América Latina*, 8, 41-44. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/326779616.pdf>
10. Fligner, M. A., & Killeen, T. J. (1976). *Distribution-free two-sample tests for scale*. *Journal of the American Statistical Association*, 71(353), 210-213.
11. Fricker, R. D. (2016). *Sampling methods for online surveys*. *The SAGE handbook of online research methods*, 12(3), 184-202.
12. Gilbert, B. (2015). *Online learning revealing the benefits and challenges (tesis de maestría)* St. John Fisher College, Nueva York. Recuperado de [http://fisherpub.sjfc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1304&context=education\\_ETD\\_masters](http://fisherpub.sjfc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1304&context=education_ETD_masters)
13. Gómez, M., Danglot, C. y Vega, L. (2003). *Sinopsis de pruebas estadísticas no paramétricas. Cuándo usarlas*. *Revista Mexicana de Pediatría*, 70(2) 91-99.
14. González A, Rodríguez M, Olmos S, Borham M, García-Peñalvo J. (2014) *Key Factors for Determining Student Satisfaction in Engineering: A Regression Study*. *International Journal of Engineering Education (IJEE)* 30(3), 576-584. Recuperado de: <https://core.ac.uk/reader/211474311>
15. Gonzalez, T., Sahni, S., & Franta, W. R. (1977). *An efficient algorithm for the Kolmogorov-Smirnov and Lilliefors tests*. *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*, 3(1), 60-64. Recuperado de <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/355719.355724>
16. Hidalgo, S., Orozco, M., Daza, M. (2015) *Trabajando con Aprendizaje Ubicuo en los alumnos que cursan la materia de Tecnologías de la*

*Información*. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo (RIDE), 6(11).

17. Hurtado, L. H., García, M. D., & Salcedo, G. E. (2005). *Un modelo de ponderación para la autoevaluación de un programa académico*. *Scientia et technica*, 11(29), 69-73. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84911948029.pdf>
18. Joint Research Centre-European Commission. (2008). *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. Recuperado de [https://knowledge4policy.ec.europa.eu/sites/default/files/jrc47008\\_handbook\\_final.pdf](https://knowledge4policy.ec.europa.eu/sites/default/files/jrc47008_handbook_final.pdf)
19. Joshi, A., Kale, S., Chandel, S., & Pal, D. K. (2015). *Likert scale: Explored and explained*. *British journal of applied science & technology*, 7(4), 396.
20. Kamoen, N., Holleman, B., Mak, P., Sanders, T., & Van Den Bergh, H. (2011). *Agree or disagree? Cognitive processes in answering contrastive survey questions*. *Discourse Processes*, 48(5), 355-385.
21. Lloyd, M. W. (2020). *Desigualdades educativas y la brecha digital en tiempos de COVID-19*. *Educación y pandemia: una visión académica*, 115-121. Recuperado de [http://132.248.192.241:8080/jspui/bitstream/IISUE\\_UNAM/546/1/LloydM\\_2020\\_Desigualdades\\_educativas.pdf](http://132.248.192.241:8080/jspui/bitstream/IISUE_UNAM/546/1/LloydM_2020_Desigualdades_educativas.pdf)
22. Muthuprasad T, Aiswarya S, Aditya, Jha K.S., Girish K., Students' *Perception and Preference for Online Education in India During COVID - 19 Pandemic*. Recuperado de: <https://ssrn.com/abstract=3596056> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3596056>
23. Navidi, W. (2006) *Estadística para ingenieros*. Primera edición. McGraw-Hill Interamericana, México.
24. Santana, J. y Mateos, E. (2014) *El arte de programar en R: un lenguaje para la estadística*. Primera edición. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. UNESCO, México.

25. Scheaffer, R. L., Mendenhall III, W., Ott, R. L., & Gerow, K. G. (2011). *Elementary survey sampling*. Séptima edición. Cengage Learning, Estados Unidos de América.
26. Tsang J.T.Y., So M.K.P, Chong A.C.Y., Lam B.S.Y., Chu, A.M.Y. (2021) *Higher Education during the Pandemic: The Predictive Factors of Learning Effectiveness in COVID-19 Online Learning*. Educ. Sci. 2021, 11(8), 446. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/educsci11080446>
27. Walpole R., Myers R., Myers S. (2012) *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Novena edición. Pearson Educación, México.
28. Webster, A. (2000) *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. Tercera edición. McGraw-Hill, Colombia.

## ANEXOS

### Anexo 1 Matriz de coherencia: Problema, preguntas y objetivos

Problema	Pregunta de investigación	Objetivo
No se cuenta con un indicador para cuantificar la viabilidad potencial que posee un curso para ser impartido de forma virtual, por lo que no se tiene una clasificación de qué cursos tienen más potencial para ser beneficiados o perjudicados debido a la modalidad de educación a distancia, desde la perspectiva de la población estudiantil.	General: ¿Qué indicador puede proponerse para medir el potencial para ser impartidos en la modalidad de educación a distancia en los cursos de pregrado de la facultad de ingeniería, desde la perspectiva de la población estudiantil?	General: Proponer un indicador compuesto para medir el potencial para ser impartidos en la modalidad de educación a distancia en los cursos de pregrado de la facultad de ingeniería, desde la perspectiva de la población estudiantil, mediante la agregación de las métricas auxiliares del estimador de desempeño académico y estimador de la aceptación estudiantil.
	Específica 1: ¿Cuál es el efecto que perciben los indicadores académicos de los cursos a causa de la modalidad de educación a distancia?	Específico 1: Contrastar por cada curso los indicadores académicos de aprobación y promedio entre las muestras con modalidades de educación a distancia y presencial, para determinar el número de indicadores que percibieron un cambio significativo en cada uno.
	Específica 2: ¿Cómo puede cuantificarse la opinión de los estudiantes respecto a la educación a distancia?	Específico 2: Obtener una muestra representativa y cuantificada de la opinión estudiantil respecto a la modalidad de educación a

Continuación Anexo 1.

		distancia, utilizando como base la aplicación de una encuesta y su posterior tabulación y cuantificación mediante auto ponderación.
	<p>Específica 3:</p> <p>¿Qué modelo puede utilizarse para estimar la opinión cuantitativa poblacional de los estudiantes respecto a la educación a distancia?</p>	<p>Específico 3:</p> <p>Inferir el valor de la opinión estudiantil cuantificada con base en la muestra representativa obtenida, seleccionando el modelo de regresión de mejor ajuste y aplicándolo a cada uno de los cursos incluidos en el estudio.</p>

Fuente: elaboración propia.

**Anexo 2 Matriz de coherencia: Metodología y resultados**

Metodología	Resultado
<p>General:</p> <p>Agregar múltiples métricas auxiliares para construir un indicador compuesto, fácil de interpretar para la población general y transparente.</p>	<p>Generales:</p> <p>Se utilizaron las métricas auxiliares de estimador de desempeño académico y estimador de aceptación estudiantil, realizando una agregación aritmética simple con las métricas estandarizadas y ponderadas con el mismo peso. Se determinó que un 95% de los cursos presentaron un potencial positivo en el indicador propuesto.</p>
<p>Específica 1:</p> <p>Realizar una comparación de medias de los datos históricos en modalidad de educación a distancia frente a los datos de modalidad presencial para cada uno de los cursos, obteniendo un puntaje dependiendo del número</p>	<p>Específico 1:</p> <p>Se solicitaron los datos a la Facultad de ingeniería, la cual los proporcionó. Se realizó una comprobación de supuestos para poder aplicar los métodos paramétricos. Todos los cursos que no cumplieron fueron analizados utilizando pruebas no paramétricas.</p>

## Continuación Anexo 2.

<p>de indicadores que fueron significativamente distintos, positiva o negativamente para cada curso.</p>	<p>Se utilizaron análisis de varianza con bloques completos para bloquear el periodo académico como factor no relevante en la investigación.</p> <p>Se determinó que más del 50% de los cursos tuvieron un resultado positivo.</p>
<p>Específica 2: Aplicar una encuesta para conocer la posición estudiantil al respecto de la modalidad de educación a distancia. Aplicar un algoritmo de auto ponderación a las preguntas ponderadoras en escala de Likert de los resultados para transformar los datos cualitativos a cuantitativos, con base en las ponderaciones dadas por los mismos estudiantes.</p>	<p>Específico 2: Se diseñó una encuesta y se publicó mediante el portal de la facultad de ingeniería solamente a una muestra de estudiantes, la cual fue calculada con estratos con afijación proporcional a la carrera del estudiante.</p> <p>Se obtuvieron 249 respuestas, sobre las cuales se realizó el algoritmo de auto ponderación, determinando que para los estudiantes el aspecto tecnológico es el más importante dentro de la educación a distancia, seguido por los aspectos didácticos y personales, luego el aspecto económico y finalmente el más bajo fue el aspecto social.</p>
<p>Específica 3: Proponer un modelo de regresión lineal, con base en las puntuaciones obtenidas de la muestra representativa, seleccionando el que presente mejor ajuste y aplicar la regresión a cada uno de los cursos para obtener un valor estimado.</p>	<p>Específico 3: Se analizaron tres propuestas de modelo y se determinó cuál tenía mejor ajuste, basado en los criterios AIC y BIC, así como la viabilidad del modelo según los supuestos. Se determinó que el modelo a utilizar sería el modelo que toma la edad y la carrera del estudiante como variables independientes.</p> <p>Se obtuvo la edad promedio de los estudiantes cuando asignaron cada curso desde el año 2017 al 2021, así como su carrera, para poder utilizar el modelo para realizar estimaciones de la aceptación estudiantil por curso.</p>

Fuente: elaboración propia.

### Anexo 3 Matriz de coherencia: Conclusiones y recomendaciones

Conclusión	Recomendación
<p>General:</p> <p>Se propone un indicador compuesto por las métricas de estimadores de desempeño académico y de aceptación estudiantil para medir el potencial de cada curso, obteniendo que, de los 225 cursos, 52 (23.11%) obtuvieron un punteo mayor a 0.5 teniendo una clasificación alta, 161 (71.56%) obtuvieron un punteo entre 0 y 0.5, teniendo una clasificación media-alta, y 12 (5.33%) obtuvieron un punteo entre 0 y -0.5, teniendo una clasificación media-baja. Ningún curso de los 225 obtuvo un punteo menor a -0.5, con una clasificación baja.</p>	<p>General:</p> <p>Se sugiere a la Facultad de Ingeniería tomar en cuenta las estimaciones realizadas en este estudio, para determinar en qué cursos es más favorable crear secciones de educación a distancia virtual o híbridas, una vez se retomen las clases magistrales presenciales dentro del campus universitario.</p>
<p>Específica 1:</p> <p>Según los indicadores académicos de aprobación y promedio que percibieron un cambio significativo en cada curso con un nivel de significancia de 0.05, se infiere que los efectos son favorables para el 23.11% de los cursos, parcialmente favorables para el 26.67%, indistintos para el 48%, parcialmente desfavorables para el 1.78% y desfavorables para un 0.44%.</p>	<p>Específica 1:</p> <p>Se aconseja a los investigadores tomar en consideración el indicador de rendimiento académico de deserción dentro de un análisis futuro, para determinar si es significativo o no dentro de los factores a tomar en cuenta para los contrastes, dado que durante los años que se tomaron de referencia para el estudio, este indicador se vio afectado por el factor externo del acuerdo del Consejo Superior Universitario sobre no tomar en cuenta la repitencia debido a la pandemia, por lo que no se incluyó para evitar sesgos no asociados de manera directa a la educación a distancia</p>
<p>Específica 2:</p> <p>A partir de una muestra representativa y cuantificada de la opinión estudiantil, con un tamaño de 249 registros, la auto ponderación</p>	<p>Específica 2:</p> <p>Las distintas facultades y centros regionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala podrían realizar estudios para</p>

### Continuación Anexo 3.

<p>indica que los aspectos se ordenan en importancia de la siguiente forma: primero el tecnológico, con una tasa de valoración de 21.61%, seguido de didáctico y personal con 20.34% cada uno, posteriormente el económico con un 19.33%, y finalmente el social con 18.39%.</p>	<p>caracterizar a sus poblaciones estudiantiles, y de esta forma tener una base sobre la cual brindar un mejor servicio educativo según las necesidades de la población.</p>
<p>Específica 3: Se infiere el valor de la opinión estudiantil cuantificada, aplicando el modelo de regresión lineal que presenta el mejor ajuste, compuesto por las variables independientes edad y carrera del estudiante.</p>	<p>Específica 3: Se propone a la Facultad de Ingeniería tomar en cuenta aquellos cursos que son del último año de estudios del pensum de cada carrera, y aquellas secciones que son especificadas únicamente para estudiantes de repitencia, como candidatos a ser impartidos en modalidad de educación a distancia, debido a la correlación positiva con la edad que mostraron los modelos.</p>

Fuente: elaboración propia.