



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

Ph.D. Program in Model Based Public Planning, Policy Design and Management (Modelli per il miglioramento della performance nel settore pubblico)

Dipartimento di Scienze Politiche e delle Relazioni Internazionali (DEMS)

SSD: SECS-P/07

Tesi in cotutela con l'Università di Bogotá Jorge Tadeo Lozano

## MODELLING AND ANALYSING STUDENT DROPOUT IN COLOMBIAN HIGHER EDUCATION THROUGH POLICY AND PUBLIC MANAGEMENT

LA DOTTORESSA  
PHD CANDIDATE  
**Sandra Patricia Barragán Moreno**

IL COORDINATORE  
PHD COORDINATOR  
**Prof. Carmine Bianchi**

IL TUTOR  
THESIS SUPERVISOR  
UNIVERSITÀ DI PALERMO

**Prof. Federico Cosenz**

IL TUTOR  
THESIS SUPERVISOR  
UNIVERSITÀ DI BOGOTÁ  
JORGE TADEO LOZANO

**Prof. Favio Cala**

CICLO XXX  
ANNO CONSEGUIMENTO TITOLO 2018

# **1. MODELLING AND ANALYSING STUDENT DROPOUT IN COLOMBIAN HIGHER EDUCATION THROUGH POLICY AND PUBLIC MANAGEMENT.**

## **Abstract.**

The complexity of the phenomenon of student dropout in higher education requires several modeling techniques. In this doctoral dissertation, findings of blending mathematical, statistical and Dynamic Performance Management as modelling techniques are presented to allow a deeper comprehension of Colombian student dropout in higher education.

## **Purpose.**

The aim of this doctoral dissertation is to interpret student retention and dropout considering the social and academic integration of students in Colombian higher education and to strengthen a set of indicators which can be presented as elements of information for decision making at universities to formulate and monitor institutional retention plans.

## **Design.**

To achieve the objective, a comprehensive bibliographic exploratory research was performed based on a primary source study. Descriptive methodology, quantitative and qualitative methods were enforced to improve knowledge about student stay and dropout.

## **Findings.**

Firstly, a student ranking in propensity to stay in higher education was established in each dropout factor according to vectors of priority, also Ministerial determinant factors were ordered depending on their subjective importance and a general classification of students according to propensity to stay in all determinant factors was obtained.

Secondly, it was found that the groups with higher levels of spontaneous interaction of the extracurricular activities and the activity in social networks presented less favourable academic results and there was not a significant difference on the mean grades obtained by the students; the mean grades between both sexes; the mean grade between those who are from Bogotá and those that are not; the mean age of those who passed and failed a course.

Thirdly, combining modelling theories, an assessment process was adequately refined allowing valid inferences about academic achievement in the sense of academic integration.

Finally, student dropout was characterized with its dynamic complexity which allows identifying student retention as an administrative product. Performance indicators for managing dropout were designed using an instrumental perspective provided by the Dynamic Performance Management approach,

### **Implications.**

The understanding of the dropout phenomenon requires combining methodologies and theories for a detailed analysis of social and academic integration, as well as the relevant performance indicators to feed the public policies related to the quality of evaluation and student retention in higher education.

### **Originality.**

This work is presented as a doctoral thesis which comprises five chapters through an interdisciplinary perspective. The first one provided a review of the Colombian public policies. The next four chapters were written in article format to adequately address the theory and methodology. A concluding section shows the main findings.

## 2. TABLA DE CONTENIDO.

1. MODELLING AND ANALYSING STUDENT DROPOUT IN COLOMBIAN HIGHER EDUCATION THROUGH POLICY AND PUBLIC MANAGEMENT.....	2
2. TABLA DE CONTENIDO.....	4
3. LISTA DE FIGURAS.....	6
4. LISTA DE TABLAS.....	7
5. PREFACIO.....	8
6. CAPÍTULO 1: PRESENCIA ACTUAL DE LA PERMANENCIA Y LA RETENCIÓN ESTUDIANTIL EN LAS POLÍTICAS PÚBLICAS COLOMBIANAS.....	14
6.1. Cifras en torno a la matrícula, permanencia, graduación y deserción en la educación superior colombiana.....	17
6.2. Principales determinantes de la deserción estudiantil en Colombia.....	20
6.3. Impacto social de la permanencia y deserción estudiantil en la educación superior.....	20
7. CAPÍTULO 2: MODELO MULTICRITERIO PARA LA PROPENSIÓN A LA PERMANENCIA EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR.....	23
7.1. Descripción del proceso AHP.....	23
7.2. Metodología para la modelación matemática con el proceso AHP.....	24
7.3. Muestra.....	27
7.3.1. Participantes.....	27
7.3.2. Instrumentos.....	27
7.3.3. Procedimiento.....	27
7.4. Resultados y discusión.....	29
8. CAPÍTULO 3: ACERCAMIENTO A LA DESERCIÓN ESTUDIANTIL DESDE LA INTEGRACIÓN SOCIAL Y ACADÉMICA.....	31
8.1. Caso de estudio.....	33
8.2. Método para la modelación en las rutas de la teoría de grafos y estadística.....	35
8.3. Muestra.....	36
8.3.1. Participantes.....	36
8.3.2. Instrumentos.....	36
8.3.3. Procedimiento.....	37
8.4. Resultados del procesamiento.....	39
8.4.1. En la ruta de la teoría de grafos.....	39
8.4.2. En la ruta estadística.....	42
9. CAPÍTULO 4: MODELACIÓN CON TEORÍA DE GRAFOS PARA LA UNIDIMENSIONALIDAD DE UN INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN.....	50
9.1. Teoría de Respuesta al Ítem.....	50
9.2. Teoría de Grafos.....	53
9.3. Caso de estudio.....	53
9.4. Método.....	54
9.4.1. Participantes.....	54
9.4.2. Instrumento de evaluación.....	54
9.4.3. Procedimiento.....	55
9.5. Resultados del procesamiento.....	56
9.5.1. Resultados del Modelo de Rasch.....	56
9.5.1. Órdenes para los ítems y para los evaluados.....	56
9.5.2. Matrices de dominación para ítems y para evaluados.....	61
9.5.3. Cálculo del índice de consistencia de Cliff.....	64
9.5.4. Subconjuntos unidimensionales de ítems y de evaluados.....	65
10. CAPÍTULO 5: MODELANDO LA PERMANENCIA ESTUDIANTIL EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR A TRAVÉS DE UNA PERSPECTIVA DE LA GESTIÓN DINÁMICA DEL DESEMPEÑO.....	71
10.1. Caracterización de la deserción estudiantil como sistema de complejidad dinámica.....	71
10.2. Antecedentes en las perspectivas de la Gestión Dinámica del Desempeño: instrumental, objetiva y subjetiva.....	73
10.3. Otros antecedentes de la Dinámica de Sistemas en la modelación de la deserción estudiantil.....	74

10.4. Analizando el grado de consistencia de algunos parámetros usuales para el control de la deserción estudiantil .....	75
10.5. Elementos para la perspectiva instrumental de la DPM aplicada a la permanencia estudiantil. ....	76
10.5.1. La permanencia estudiantil como producto administrativo de la cadena de valor en la prestación de servicios académicos. ....	76
10.5.2. Los profesores: un recurso estratégico de las IES en la perspectiva de la Gestión Dinámica del Desempeño para la permanencia estudiantil. ....	77
10.5.3. Impulsores de desempeño para los resultados finales de la cadena de generación de valor. ....	77
10.6. Modelo cualitativo para la permanencia estudiantil en la educación basado en la actividad de los profesores como recurso estratégico. ....	82
11. CONCLUSIONES. ....	85
12. REFERENCIAS. ....	88

### 3. LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Aporte de los modelos y los capítulos al objetivo del trabajo. ....	9
Figura 2. Breve resumen de las políticas públicas relacionadas con la permanencia en la educación superior en Colombia. ....	19
Figura 3. Modelo Ecológico del Abandono Estudiantil en la Educación Superior. ....	21
Figura 4. Impacto de la permanencia estudiantil en la educación superior. ....	22
Figura 5. Determinantes de la deserción estudiantil. ....	25
Figura 6. Diagrama para priorización de estudiantes. ....	25
Figura 7. Jerarquía de la propensión a permanecer en la IES. ....	28
Figura 8. Modelo de interacción de Vincent Tinto. ....	31
Figura 9. Rutas para el análisis de la integración social y académica. ....	32
Figura 10. Estudios realizados alrededor del desempeño de Álgebra Lineal. ....	34
Figura 11. Registros académicos para Álgebra Lineal en los cuatro periodos previos. ....	34
Figura 12. Sociogramas <b>G214</b> (izquierda) y <b>G224</b> (derecha). ....	39
Figura 13. Comparativo de diagramas radiales para los grupos 2 y 4. ....	41
Figura 14. Dos 2- cadenas entre dos estudiantes del grupo 4, para la consulta 2 para celular. ....	42
Figura 15. Sociograma <b>G327</b> . ....	42
Figura 16. Dispersión entre fallas y calificación definitiva. 0=No aprobado, 1=Aprobado. ....	43
Figura 17. Diferencias entre los totales de expansividad para la consulta 2 y la consulta 1. ....	43
Figura 18. Correlaciones entre expansividad y popularidad. ....	44
Figura 19. Árbol de decisión para la variable de interés: aprobación en Álgebra Lineal. ....	45
Figura 20. Nodos 0, 1 y 2 del árbol de decisión. ....	45
Figura 21. Nodos 1, 3, 4, 7, 8, 9, 15, 16. ....	46
Figura 22. Nodos 4, 9, 15, 16, 21, 22. ....	46
Figura 23. Nodos 4, 10, 17, 18, 23, 24. ....	47
Figura 24. Nodos 2, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 19, 20. ....	47
Figura 25. Descripción de los métodos empleados para estudiar la unidimensionalidad. ....	52
Figura 26. Resultados del Examen de Clasificación de Matemáticas Básicas. ....	54
Figura 27. Diagramas de dispersión para las relaciones en los órdenes para ítems y evaluados para C1. ....	57
Figura 28. Grafo asociado a la matriz de dominación <b>A2</b> . ....	62
Figura 29. Matriz <b>NC3, 1I</b> * de la matriz <b>Z</b> asociada a <b>NC3, 1I</b> . ....	66
Figura 30. Matriz <b>NC1, 2I</b> *. ....	67
Figura 31. Matriz de accesibilidad <b>PC1, 2I</b> para <b>NC1, 2I</b> *. ....	67
Figura 32. Jerarquía por grado para la matriz de accesibilidad para <b>NC1, 2I</b> *. ....	68
Figura 33. Mapa de ítems de WINSTEPS 3.73. ....	69
Figura 34. Discrepancia entre la tasa de deserción actual y la deseada. ....	72
Figura 35. Incidencia de los planes de reducción de la deserción en la población de estudiantes. ....	72
Figura 36. Diagrama de flujo de la metodología seguida. ....	75
Figura 37. Perspectivas: instrumental, objetiva y subjetiva para la permanencia estudiantil. ....	81
Figura 38. Diagrama de bucle causal para la permanencia estudiantil basada en la actividad de los profesores como recurso estratégico. ....	83

## 4. LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Descripción de la escala de Saaty.....	24
Tabla 2. Índice de consistencia de una matriz generada al azar. ....	26
Tabla 3. Características de los estudiantes a priorizar. ....	27
Tabla 4. Matriz de comparación pareada para el determinante individual. ....	28
Tabla 5. Matriz de comparación pareada para el determinante académico. ....	28
Tabla 6. Matriz de comparación pareada para el determinante institucional. ....	29
Tabla 7. Matriz de comparación pareada para el determinante Socioeconómico. ....	29
Tabla 8. Matriz de comparación pareada para los determinantes. ....	29
Tabla 9. Parámetros encontrados en la estimación de la consistencia. ....	30
Tabla 10. Listado de relaciones estudiadas.....	35
Tabla 11. Segunda potencia de la matriz de adyacencia <b>A224</b> . ....	41
Tabla 12. Correlaciones entre las variables de expansividad y popularidad.....	44
Tabla 13. Importancia de las variables en el árbol de decisión. ....	48
Tabla 14. Parámetros para cada uno de los cuadernillos. ....	56
Tabla 15. Órdenes e intervalos para cada uno de los cuadernillos. ....	56
Tabla 16. Comparativo entre los órdenes para ítems y para evaluados. ....	57
Tabla 17. Parte inicial del Escalograma de Gutman para el C3.....	60
Tabla 18. Esquina superior izquierda de la matriz <b>S1tS1</b> de dominación de los ítems del C1.....	63
Tabla 19. Esquina superior izquierda de la matriz <b>S1S1t</b> de dominación de los evaluados con C1.....	63
Tabla 20. Nuevos nombres de las matrices de dominación de los ítems y de los evaluados después de la reordenación. ....	64
Tabla 21. Índice de consistencia de Cliff para las matrices de dominación de los ítems. ....	64
Tabla 22. Índice de consistencia de Cliff para las matrices de dominación de los evaluados. ....	65
Tabla 23. Relación entre las varianzas para los cuadernillos.....	65
Tabla 24. Jerarquía por dominación significativa para la matriz de accesibilidad <b>PC1, 2I</b> para <b>NC1, 2I</b> *.....	68
Tabla 25. Jerarquía encontrada. ....	69

## 5. PREFACIO.

El documento que a continuación se presenta corresponde al trabajo para optar al título de doctora en Modelado para la Política y la Gestión Pública en la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y al título de doctora en el programa denominado Model Based Public Planning, Policy Design & Management, de la Università degli Studi di Palermo.

El problema que se abordó en esta investigación se enmarca en las políticas públicas colombianas relacionadas con la deserción, la retención y la permanencia estudiantil en la educación superior como lados de un problema complejo y multifactorial. Las mencionadas políticas recorren muchos aspectos señalando su diagnóstico, tratamiento y seguimiento, además de evaluar los planes para mitigar la deserción y la calidad de la evaluación.

Este trabajo tuvo un carácter interdisciplinar puesto que el análisis y el tratamiento de la deserción estudiantil precisa de recursos combinados provenientes de la modelación matemática, la modelación estadística, la psicometría, la Gestión Dinámica del Desempeño (DPM)<sup>1</sup> y la Dinámica de Sistemas (SD). Esta combinación de diferentes técnicas de modelado, para los variados requerimientos del problema mismo, produce el mejor acercamiento a la comprensión de la retención de estudiantes en la educación superior lo cual puede llegar a servir como insumo para la implementación y formulación de políticas públicas permitiendo optimizar los recursos humanos y económicos.

Con el objetivo de interpretar la deserción, la permanencia y la retención estudiantil desde la integración social y académica de los estudiantes de la educación superior colombiana, se inició el presente escrito con un estudio de las políticas públicas vinculadas con este fenómeno partiendo de las definiciones y el Modelo de Interacción de Tinto como uno de los modelos explicativos que ha adoptado el Ministerio de Educación Nacional (MEN).

Este modelo de interacción de Tinto propone que el nivel de compromiso de un estudiante con sus metas, con los objetivos que se plantean en la formación y con la institución se reflejan en el grado de éxito para la obtención de un título universitario. El desarraigo y la poca o inexistente afiliación institucional son catalizadores para el abandono de los programas académicos en la educación superior. Este es un espacio propicio para la modelación alrededor de la interacción de la integración social (formal e informal) y la integración académica en vista del rol categórico que tienen en el momento en que un estudiante se ve enfrentado a decidir si continuar o no los estudios. Aparece entonces el desafío de combinar técnicas de modelado para profundizar en cada una de las integraciones, en su interacción y en cómo se incorporan al Plan de graduación y retención de la Institución de Educación Superior (IES).

Por otra parte, tanto las políticas públicas como el mismo ejercicio voluntario del seguimiento a la deserción estudiantil exigen la evaluación del desempeño de las instituciones educativas en la permanencia estudiantil incluyendo indicadores originados desde diferentes ángulos y que permitan tener una visión integral del desempeño

---

<sup>1</sup> La sigla se tomó por su nombre en inglés *Dynamic Performance Management*.

organizacional. La Figura 1 recopila el aporte de los modelos y los capítulos escritos al objetivo del trabajo según se fueron diseñando y construyendo. Más adelante se describen con detalle cada uno de los desafíos enfrentados desde la modelación para comprender la deserción estudiantil en la educación superior colombiana.

Figura 1. Aporte de los modelos y los capítulos al objetivo del trabajo.



Fuente: Elaboración propia usando la herramienta gratuita canvas.com.

El primer capítulo está destinado a resumir algunas de las políticas públicas colombianas que tienen relación directa con la permanencia y la deserción estudiantil en las IES. Este

capítulo se tituló *Presencia actual de la permanencia y la retención estudiantil en las políticas públicas colombianas*. Aquí se hizo un recorrido por la política pública desde la aparición del libro guía que proporciona las definiciones gubernamentales para la terminología en la deserción estudiantil, que da las pautas generales para su tratamiento y diagnóstico e instaura los modelos gubernamentales a seguir para la comprensión del fenómeno. Además, en este capítulo se presentan con detalle los acápites de las políticas atadas al Aseguramiento de la Calidad Educativa que están relacionadas con el seguimiento a la deserción y a la evaluación de los estudiantes. El siguiente aspecto tratado en este capítulo es el de los planes y proyectos que se encuentran vigentes y que están encaminados a mitigar la deserción en el nivel educativo superior, con lo cual se muestran las cifras recientes en los indicadores más usuales y las metas que los organismos de apoyo al gobierno colombiano han propuesto para tal fin. Para terminar este capítulo se hizo una fusión de modelos con la intención de resaltar la importancia de que un estudiante de la educación superior obtenga su título.

Al hacer la revisión de las políticas públicas se vio la necesidad de aportar desde la modelación hacia el enfoque preventivo por lo que se consideró el estudio de una técnica orientada a emitir alertas hacia el riesgo de deserción. En este contexto se trabajó para el siguiente capítulo.

El segundo capítulo se llamó *Modelo multicriterio para la propensión a la permanencia en la educación superior*. En este capítulo se mostró el proceso analítico jerárquico (AHP) como modelación multicriterio de la retención estudiantil, con la meta de priorizar los estudiantes en la propensión a permanecer en la educación superior, teniendo como criterios los determinantes de la deserción estudiantil formulados por el MEN. Con un caso de estudio se ejecutaron los algoritmos tanto del proceso como de la estimación de consistencia para las matrices de comparación pareada y para criterios. Se jerarquizaron los estudiantes en la propensión a permanecer en la institución por cada determinante, así como los determinantes de acuerdo con la importancia subjetiva. Se hizo una clasificación general de los estudiantes en la propensión a permanecer respecto a los determinantes. Esta clasificación puede ser incorporada a un Sistema de Alertas tempranas (SAT) para prevenir el abandono de los estudiantes lo que es una herramienta para fortalecer la cultura de la información institucional del modelo de gestión para la permanencia y graduación. Este modelo se sintoniza con los requerimientos del Consejo Nacional de Acreditación (CNA) y el Consejo Nacional de Educación Superior (CESU) así con la intencionalidad de las políticas públicas dirigidas a prevenir más que a contabilizar después de ocurridos los hechos como expresamente lo plantea el MEN y el Viceministerio de la Educación Superior. La versión en artículo de este capítulo fue publicada en la Revista de Educación en Ingeniería – Colombia (Barragán, 2016).

Al completar el primer capítulo se corroboró la necesidad de entender y modelar la integración social de los estudiantes como compañeros de clase y la influencia que ésta tiene sobre la integración académica, para lo cual se juzgó adecuada la combinación de técnicas de modelado en vista de la presencia de intangibles que actúan sobre la deserción estudiantil. Por esto en el siguiente capítulo se emplearon técnicas que tienen origen en el Álgebra y en la Estadística para aproximarse al entendimiento de la mencionada interacción.

El título del tercer capítulo fue *Acercamiento a la deserción estudiantil desde la integración social y académica*. En este capítulo se propuso la combinación novedosa de la Teoría de Grafos y los Árboles de Decisión para modelar la interacción espontánea de estudiantes en algunas redes sociales con miras a estimar la contribución de esta interacción a la integración social y a la académica. La hipótesis general que gobernó este capítulo fue que entre más estrecha la interacción entre pares (compañeros de clase) se disminuía la reprobación, la pérdida por fallas y la deserción simultáneamente, lo cual redundaría en la retención estudiantil. Se enfatizó en la interacción mediante redes sociales dados los estudios contemporáneos que resaltan su uso en educación. La propuesta se validó con un caso de estudio mostrando los algoritmos ejecutados con apoyo de herramientas informáticas lo cual facilitó el análisis de resultados. Los resultados de este capítulo pueden contribuir a la discusión del Modelo de Interacción de Tinto aceptado no solo en las políticas públicas colombianas sino a nivel internacional. La versión en artículo fue publicada en la Revista de Educación Superior – México (Barragán & González, 2017).

Finalizando el tercer capítulo se evidenció que el foco estuvo puesto en la estimación del nivel de integración social y que era oportuno refinar las inferencias que se hicieran para el nivel de logro académico de los estudiantes pues con ellas se emiten conceptos (o calificaciones) que hacen parte de los registros en poder de las IES y que dan cuenta de la integración académica de los estudiantes. Igual que antes se pensó que la mejor forma de abordar este reto era mediante la combinación de técnicas, por esto en el siguiente capítulo se compaginaron teorías provenientes del Álgebra y la Psicometría.

El cuarto capítulo se trabajó bajo el título *Modelación con teoría de grafos para la unidimensionalidad de un instrumento de evaluación*. Aquí se consideran las políticas públicas que propenden porque los sistemas de evaluación de los estudiantes estén basados en políticas institucionales claras y transparentes que propicien una identificación integral de las condiciones académicas y actitudinales de los estudiantes; lo que exige tecnificar y modernizar los procesos de evaluación para fortalecer la emisión de inferencias confiables sobre el logro académico. En últimas este logro académico viene siendo una expresión de la integración académica del estudiante y por tanto la calibración del instrumento de evaluación se vuelve imprescindible dado el carácter decisorio que tiene. En este capítulo se hizo una aplicación de algunas de las definiciones y teoremas básicos de la Teoría de Grafos con la intención de potenciar su uso para el estudio del supuesto de unidimensionalidad de la Teoría de Respuesta al Ítem (TRI) como alternativa para robustecer la evaluación. La unidimensional fue entendida en el sentido de la homogeneidad escalar y de criterio para las relaciones de orden definidas por la dominación tanto para ítems como para evaluados: para los ítems conforme al número de evaluados que los contestaron correctamente y a la dificultad; para los evaluados respecto al número de respuestas correctas y a la habilidad. Se aplicó la combinación de las dos teorías a un caso de estudio, con esto se ofreció un valor agregado porque se evidencian los resultados de forma algorítmica y visual con ayuda de herramientas informáticas especializadas; lo que robustece los sistemas de evaluación y por tanto fortalece los juicios que la institución dé sobre la integración académica de los estudiantes. El artículo correspondiente fue aceptado

para publicación en la Revista de psicología y ciencias afines Interdisciplinaria – Argentina para el primer número de 2018<sup>2</sup>.

Con la experiencia adquirida en la escritura de los capítulos anteriores se advirtió la oportunidad de formular un conjunto de indicadores dirigidos a estimar el desempeño de las IES en torno a la permanencia, la deserción y la graduación de estudiantes incluyendo los aspectos más relevantes identificados en los estudios previos. En el capítulo final, iguiendo el mecanismo de razonamiento de antes, se optó por la combinación de técnicas, notando que resultaba ideal abordar el diseño de los indicadores desde la DPM y la SD.

El quinto capítulo se denominó *Modelando la permanencia estudiantil en la educación superior a través de una perspectiva de la gestión dinámica del desempeño*. Considerando el reto institucional que supone la construcción de un modelo institucional de gestión para la permanencia y graduación, este capítulo tuvo como objetivo principal la formulación y articulación de indicadores para estimar el desempeño de las instituciones de educación superior en el seguimiento de la deserción estudiantil. Para llevar a cabo este objetivo se caracterizó la deserción como un sistema de complejidad dinámica posibilitando el uso de la teoría y metodología asociadas a la DPM y la SD para su modelación y estudio. El acercamiento tridimensional a la deserción desde las perspectivas: instrumental, objetiva y subjetiva de la DPM posibilitó identificar de manera novedosa a la permanencia estudiantil como un producto administrativo de la cadena de generación de valor en la prestación de servicios académicos y a los profesores como un recurso estratégico de las IES en donde recaen gran parte de las estrategias del plan de permanencia y graduación que hace parte de las recomendaciones del Viceministerio de Educación superior. Al final de este capítulo con base en los indicadores propuestos se sugirió el diseño de políticas articuladas con los planes de permanencia y graduación que coordinen, armonicen y fortalezcan las habilidades docentes y de investigación - creación de los profesores en vista de su estrecha relación con la visibilidad en SCOPUS, la presencia en Google Scholar, el valor académico agregado y el tamaño promedio de los cursos que son recursos estratégicos decisivos para mitigar la deserción. El artículo correspondiente a este capítulo, en su versión en inglés, fue revisado en la Università degli Studi di Palermo, sometido para evaluación y posible publicación en el International Journal of Educational Management bajo el título de *A dynamic performance management perspective to frame higher education dropout in colombia*<sup>3</sup>.

Con este trabajo se mejoró la comprensión del fenómeno de la deserción estudiantil desde la modelación para el análisis detallado de la integración social y la integración académica, así como del diseño de indicadores de desempeño relevantes con el fin de alimentar las políticas públicas relacionadas con la calidad de la evaluación y con la permanencia de los estudiantes en la educación superior colombiana. Esto se evidenció en que se logró construir una jerarquización en el riesgo de desertar que puede incorporarse en un SAT;

---

<sup>2</sup> La primera parte del escrito fue presentada en el Encuentro internacional de matemáticas, estadística y educación matemática (EIMEM), organizado por la Licenciatura en Matemáticas y Estadística, la Licenciatura en Matemáticas y el programa de Matemáticas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) en la ciudad de Duitama, Colombia. Este trabajo quedó registrado en las memorias del encuentro.

<sup>3</sup> Una versión muy resumida de este capítulo fue presentada en la Séptima conferencia latinoamericana sobre el abandono en la educación superior CLABES VII con el nombre de *Indicadores del desempeño organizacional para la permanencia y la deserción estudiantil desde la perspectiva de la gestión dinámica del desempeño*. El Comité científico de CLABES VII en una valoración conjunta del documento escrito y la presentación oral por cinco evaluadores otorgó una mención de calidad a este trabajo. Este evento fue organizado por la Facultad de ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

también se mostró que la combinación de técnicas de modelado ofrece alternativas para profundizar en los diferentes aspectos relacionados con las integraciones social y académica y su interacción. La combinación de técnicas de modelado presentada en los diferentes capítulos, en primer lugar en forma teórica, permitió comprender este fenómeno intrincado contribuyendo al objetivo de esta tesis y en segundo lugar en forma práctica mediante datos reales y con software actual, permitiendo la ejecución de los algoritmos con un modesto esfuerzo de cálculo. Esto significa que los procedimientos y algoritmos son aplicables en los contextos particulares de las IES bajo sus propios Proyectos Educativos Institucionales (PEI) favoreciendo la obtención de elementos de juicio concretos que los tomadores de decisiones a nivel de las IES pueden considerar en el momento de elaborar planes y políticas.

## 6. CAPÍTULO 1: PRESENCIA ACTUAL DE LA PERMANENCIA Y LA RETENCIÓN ESTUDIANTIL EN LAS POLÍTICAS PÚBLICAS COLOMBIANAS.

Las políticas públicas colombianas relacionadas con la deserción estudiantil en la educación superior se fortalecieron en el año 2009 con la publicación del libro del MEN *Deserción estudiantil en la educación superior colombiana. Metodología de seguimiento, diagnóstico y elementos para su prevención* (Ministerio de Educación Nacional, 2009). En este libro se define un desertor<sup>4</sup> como un individuo que siendo estudiante de una institución superior no presenta actividad académica durante dos semestres académicos consecutivos, lo cual equivale a un año de inactividad académica (Ministerio de Educación Nacional, 2009, pág. 23).

En este mismo libro, el MEN adopta el modelo de interacción de Vincent Tinto (Tinto, 1993, pág. 114) como uno<sup>5</sup> de los modelos para analizar la deserción estudiantil (Ministerio de Educación Nacional, 2009, págs. 23-32). Tinto (ver Figura 8) refiere la integración académica y la integración social como los componentes principales que fundamentan la persistencia de un estudiante en la educación superior, es decir el nivel de compromiso del estudiante con su carrera, con los objetivos de formación y con la institución influyen al momento de tomar la decisión de abandonar o no los estudios<sup>6</sup>. En este modelo la estructura de la IES y la integración social de los estudiantes los estimulan a alcanzar sus metas y a la obtención de un título universitario (Pineda, 2010, págs. 40-43).

Por otra parte, para realizar el seguimiento de la deserción estudiantil a nivel de las IES y a nivel nacional, el MEN implementó un módulo en el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES) (Ministerio de Educación Nacional, 2009, pág. 56) llamado Sistema de Prevención y Análisis de la Deserción en las Instituciones de Educación Superior (SPADIES) (Ministerio de Educación Nacional, 2009, pág. 17)<sup>7</sup>, este sistema, entre otras cosas, permite recopilar información histórica de las IES acerca de la deserción así como delinear curvas de riesgo para los estudiantes mediante modelos estadísticos como los modelos de duración.

En el año 2015, el Viceministerio de la Educación Superior formuló la *Guía para la implementación del modelo de gestión de permanencia y graduación estudiantil en Instituciones de educación superior* (Ministerio de Educación Nacional, 2015). En esta guía se explicita que el objetivo del modelo gubernamental es definir lineamientos, estrategias e instrumentos para fortalecer la capacidad de la IES en diseñar, ejecutar y evaluar políticas,

---

<sup>4</sup> Aunque el término deserción puede tener una posible connotación negativa, la inactividad académica no siempre tiene implicaciones adversas para el desertor puesto que las personas pueden cambiar de opinión, de proyecto de vida, identificar sus talentos o reorientarse profesionalmente. No obstante, hasta la *Guía para la implementación del modelo de gestión de permanencia y graduación estudiantil en Instituciones de educación superior* (Ministerio de Educación Nacional, 2015) del Viceministerio de la Educación Superior, las políticas públicas se enfocan prioritariamente en la deserción.

<sup>5</sup> Aparte de este modelo también usa los modelos de duración y el análisis de sobrevivencia, por supuesto con diferentes fines.

<sup>6</sup> El modelo de Tinto ha recibido diferentes tipos de críticas sobre todo porque no involucra ciertas variables tradicionalmente referenciadas en la mayoría los modelos deserción como las variables socioeconómicas. Un análisis de las críticas se puede consultar en el trabajo de McCubbin (McCubbin, 2003).

<sup>7</sup> El micrositio del SPADIES es <http://www.mineducacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/w3-propertyname-2895.html>

programas de fomento de la permanencia y la graduación de los estudiantes en 8 ejes - componentes: 1) Posición y fortalecimiento; 2) Cultura de la información; 3) Mejoramiento de la calidad; 4) Trabajo conjunto con las instituciones de educación media; 5) Programas de apoyo a estudiantes; 6) Compromiso del núcleo familiar; 7) Gestión de recursos y 8) Trabajo colaborativo (Ministerio de Educación Nacional, 2015, págs. 18-19).

En la mencionada guía, el Viceministerio de la Educación Superior definió la permanencia estudiantil como la iniciativa permanente de las IES para generar estrategias de fortalecimiento de la capacidad institucional, que contribuyan a disminuir las tasas de deserción estudiantil (Ministerio de Educación Nacional, 2015, pág. 196). Esta definición hace que la permanencia (y por tanto la deserción) adquiera un rol de eje transversal en la gestión institucional que requiere aproximaciones preventivas más que ex - post.

Aparte de estas políticas que dan un viraje hacia la prevención, también existen políticas de constatación del seguimiento de las IES a la deserción estudiantil. En el documento *Lineamientos para la acreditación de programas de pregrado*, el Consejo Nacional de Acreditación (CNA) divulga las características y los aspectos a evaluar relacionados con la deserción estudiantil (Ramírez, y otros, 2013) literalmente de la siguiente manera:

- Característica 19: Estrategias de enseñanza y aprendizaje; aspectos a evaluar:

i) Estudios realizados por la institución y el programa para identificar y evaluar la permanencia y retención<sup>8</sup>, de acuerdo con la metodología de enseñanza en que se ofrece el programa.

j) Correlación entre la duración prevista para el programa, de acuerdo con su metodología y plan de estudios, y la que realmente tiene lugar.

k) Estrategias para garantizar el éxito académico de los estudiantes en el tiempo previsto para el desarrollo del plan de estudios, atendiendo los estándares de calidad.

n) Existencia de mecanismos de seguimiento, acompañamiento especial a estudiantes y adecuaciones locativas para facilitar el óptimo desempeño de admitidos en condición de vulnerabilidad y discapacidad, entre otros.

- Característica 32: Permanencia y retención estudiantil; aspecto a evaluar:

c) Existencia de proyectos que establezcan estrategias pedagógicas y actividades extracurriculares orientadas a optimizar las tasas de retención y de graduación de estudiantes en los tiempos previstos, manteniendo la calidad académica del programa.

En relación con los sistemas de evaluación de los estudiantes que atañen directamente a la integración académica de los estudiantes a la IES, el CNA contempla la siguiente característica en la que pide robustecer tal sistema (Consejo Nacional de Acreditación, 2013, págs. 33-34):

- Característica 20: Sistema de evaluación de estudiantes; aspectos a evaluar:

---

<sup>8</sup> El Viceministerio de la Educación Superior adoptó el concepto de retención estudiantil como la habilidad de una IES para que el estudiante permanezca en ella desde la admisión hasta la graduación (Ministerio de Educación Nacional, 2015, pág. 15).

- a) Criterios, políticas y reglamentaciones institucionales y del programa en materia de evaluación académica de los estudiantes. Evidencias de aplicación y divulgación de la misma.
- b) Correspondencia entre las formas de evaluación de los aprendizajes, los propósitos de formación y los perfiles de egreso definidos por el programa.
- c) Apreciación de directivos, profesores y estudiantes del programa sobre la correspondencia entre las formas de evaluación académica de los estudiantes, la naturaleza del mismo y los métodos pedagógicos empleados para su desarrollo.
- d) Apreciación de los estudiantes acerca de la utilidad del sistema de evaluación académica en la adquisición de competencias, tales como las actitudes, los conocimientos, las capacidades y las habilidades propias del programa.
- e) Criterios y procedimientos orientados a la evaluación de competencias especialmente actitudes, conocimientos, capacidades y habilidades, y estrategias de retroalimentación de la actividad académica de los estudiantes.
- f) Criterios y procedimientos para la revisión de los sistemas de evaluación académica de los estudiantes.

A propósito de las condiciones de calidad de los programas de pregrado la OECD se ha pronunciado a favor de elevar los requisitos de calidad existentes en Colombia para los centros de educación tanto para registro como para operación en vista de que esto mejora la calidad de la educación superior (Robano, Bert, Heriard-Dubreil, Lehuede, & Jankowska, 2015, pág. 25).

Es importante notar que, en Colombia, los indicadores de eficiencia de la educación están definidos como deserción y repitencia de los cursos, y los de calidad con los resultados de las pruebas estandarizadas gubernamentales denominadas Saber (Departamento Nacional de Planeación, 2015, pág. 92). La prueba Saber 11° se aplica en la finalización de la educación secundaria y la prueba Saber Pro en la finalización de la educación superior.

En el año 2015, el MEN dio a conocer el *Modelo de Indicadores del desempeño en la Educación Superior* (MIDE) destinado a comunicar sobre las variables que proporcionan información sobre la evaluación de la calidad educativa (Ministerio de Educación Nacional, 2015). Para el objeto de la presente investigación se puede mencionar que solo contiene un indicador destinado directamente a la permanencia y está definido como

$$\text{Permanencia} = 1 - \text{deserción acumulada}$$

La deserción acumulada en el MIDE es entendida como la deserción por cohorte<sup>9</sup> y es tomada de SPADIES (Ministerio de Educación Nacional, 2015, pág. 22). El MEN aclara que el MIDE no está relacionado con los lineamientos de acreditación del CNA.

Adicionalmente, el proceso de paz está plasmado también en planes, proyectos y objetivos gubernamentales relacionados con la deserción estudiantil del *Plan Nacional de Desarrollo. Todos por un nuevo país* del Departamento Nacional de Planeación (DNP)

---

<sup>9</sup> La tasa de deserción por cohorte mide la deserción de quienes ingresaron en un mismo periodo. Ese indicador se estudiará en el Capítulo 5.

(Departamento Nacional de Planeación, 2015, págs. 272-275, 365, 369) y del *Acuerdo por lo superior 2034. Propuesta de política pública para la excelencia de la educación superior en Colombia en el escenario de la paz* del Consejo Nacional de Educación Superior (CESU) (Consejo Nacional de Educación Superior, 2014, págs. 109-113, 138,150,165). En este acuerdo el CESU propone 10 temas para estructurar el sistema de educación superior a 2034. Estos temas son: 1) Educación inclusiva; 2) Calidad y pertinencia; 3) Investigación en ciencia, tecnología e innovación incluyendo la innovación social; 4) Regionalización; 5) Articulación de la educación media con la educación superior y la formación para el trabajo y el desarrollo humano; 6) Comunidad universitaria y bienestar; 7) Nuevas modalidades educativas; 8) Internacionalización; 9) Estructura y gobernanza del sistema y 10) Sostenibilidad financiera (Consejo Nacional de Educación Superior, 2014, pág. 94).

### 6.1. Cifras en torno a la matrícula, permanencia, graduación y deserción en la educación superior colombiana.

Para 2016, el MEN publicó el *Compendio estadístico de la educación superior colombiana* en donde informa que para 2015 existían 287 IES divididas en: 82 universidades, 120 instituciones universitarias/escuela tecnológica, 51 instituciones tecnológicas, 34 instituciones técnicas profesionales. De las universidades el 61% son privadas mientras que el 38% es oficial (el 1% tiene un régimen especial) (Ministerio de Educación Nacional, 2016, pág. 23). Es de resaltar, que a pesar de que las universidades privadas superan ampliamente en número a las oficiales, en 2015, las oficiales atrajeron al 50,92% de los matriculados frente al 49,07% de las privadas. La cifra total de matriculados en pregrado y posgrado en 2015 fue de 2.293.550 (Ministerio de Educación Nacional, 2016, pág. 136). De estos estudiantes matriculados el 52,93% eran mujeres y el 47,06% eran hombres (Ministerio de Educación Nacional, 2016, pág. 166).

Por otro lado, el sector privado ofrecía 6.967 (62,13%) programas académicos de los 11.213 existentes en los diferentes niveles de formación, entretanto el sector público ofrecía 4.246 (37,86%) (Ministerio de Educación Nacional, 2016, pág. 33). De los programas académicos en el nivel universitario se encontraron 772 acreditados de alta calidad de los que el 46,11% estaban en el sector oficial y el 53,88% en el sector privado (Ministerio de Educación Nacional, 2016, pág. 50).

El Tomo 1 del PND dice que la cobertura en educación superior pasó del 37,1% en 2010 al 45,5%<sup>10</sup> en 2015 (Departamento Nacional de Planeación, 2015, pág. 77) y que la deserción interanual nacional pasó del 12,9% en 2010 a 10,4% en 2013 (Departamento Nacional de Planeación, 2015, pág. 274). Aquí se anunció que la meta es avanzar de una deserción interanual del 10,4% en 2013 (como línea de base) a una del 8% en 2018 (Departamento Nacional de Planeación, 2015, pág. 365).

Las tasas de deserción por periodo en el total nacional en los niveles de formación para 2015 fueron de 32,59% para el técnico profesional, 18,03% para tecnológico, 18,32% para técnico profesional y tecnológico agregado y de 9,25% para el universitario (Ministerio de

---

<sup>10</sup> La tasa de cobertura aparece como 49,42% en el *Compendio estadístico de la educación superior colombiana* (Ministerio de Educación Nacional, 2016, pág. 281). La diferencia puede deberse a las fechas de corte y/o a las cifras ajustadas del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).

Educación Nacional, 2016, pág. 296). Aquí se observa que, a medida que se avanza en el nivel de formación se disminuye la deserción por periodo. Las tasas de deserción por cohorte a 2015, fueron de 56,92% para el técnico profesional, 52,13% para tecnológico, 53,64% para técnico profesional y tecnológico agregado y de 46,05% para el universitario (Ministerio de Educación Nacional, 2016, pág. 301)<sup>11</sup>.

El CESU relaciona la tasa de graduación por cohorte<sup>12</sup> en las universidades como del 34,3%. Para las instituciones oficiales es del 31,17% y del 33,77% para las no oficiales (Consejo Nacional de Educación Superior, 2014, pág. 57). Para 2015, el número de graduados fue de 374.738 distribuidos en el 47,26% en el sector oficial y 52,73% en el privado. Del total el 55,16% eran mujeres (Ministerio de Educación Nacional, 2016, págs. 185,187).

Adicionalmente se resalta que, para 2015, la educación superior colombiana registraba 149.280 profesores en las IES, cuya composición mostraba que el 46,56% en el sector oficial y el 53,43% en el privado. Del total de profesores de las IES más del 60% eran hombres. También se observó que, del total de profesores, el 29,81% contaba con especialización, el 29,37% con maestría y el 6,34% con doctorado. El porcentaje restante se divide entre técnico profesional, tecnólogo o no informaron (Ministerio de Educación Nacional, 2016, pág. 58).

De otro lado, en el tomo 1 del PND se menciona que el gasto nacional en actividades de ciencia, tecnología e innovación (ACTI) se ubica en el 0,5 % del PIB en 2013 y el gasto en investigación y desarrollo es tan solo del 0,2 % del PIB (del cual solo el 30 % es financiado por empresas), mientras que en Brasil es del 1,2 % (50 % financiado por el sector privado) y en la OCDE del 2,4 % (65-75 % invertido por empresas) (Departamento Nacional de Planeación, 2015, pág. 120). Este panorama no es muy alentador considerando que en el PND se dice textualmente que Colombia será la más educada de América Latina para 2025.

Para 2005, en el comparativo del MEN de la deserción por cohorte, con 11 países latinoamericanos, Colombia tuvo una posición aceptable con un 49,0% igual que Honduras, superada por Argentina con 40% y Cuba con el 25%. Con tasas mayores que Colombia se encontraron República Dominicana con el 76,0%, Uruguay con el 72%, Brasil con el 59,0%, Chile con 53,7%, México con 53,0% y Venezuela con 52,0% (Ministerio de Educación Nacional, 2009, pág. 67). En contraste, en julio de 2017, el Observatorio de Educación Superior de Medellín afirmó que para 2013, Bolivia, Nicaragua y Colombia, presentaron las tasas de deserción por cohorte más altas en Latinoamérica (Observatorio de Educación Superior de Medellín, 2017, pág. 5).

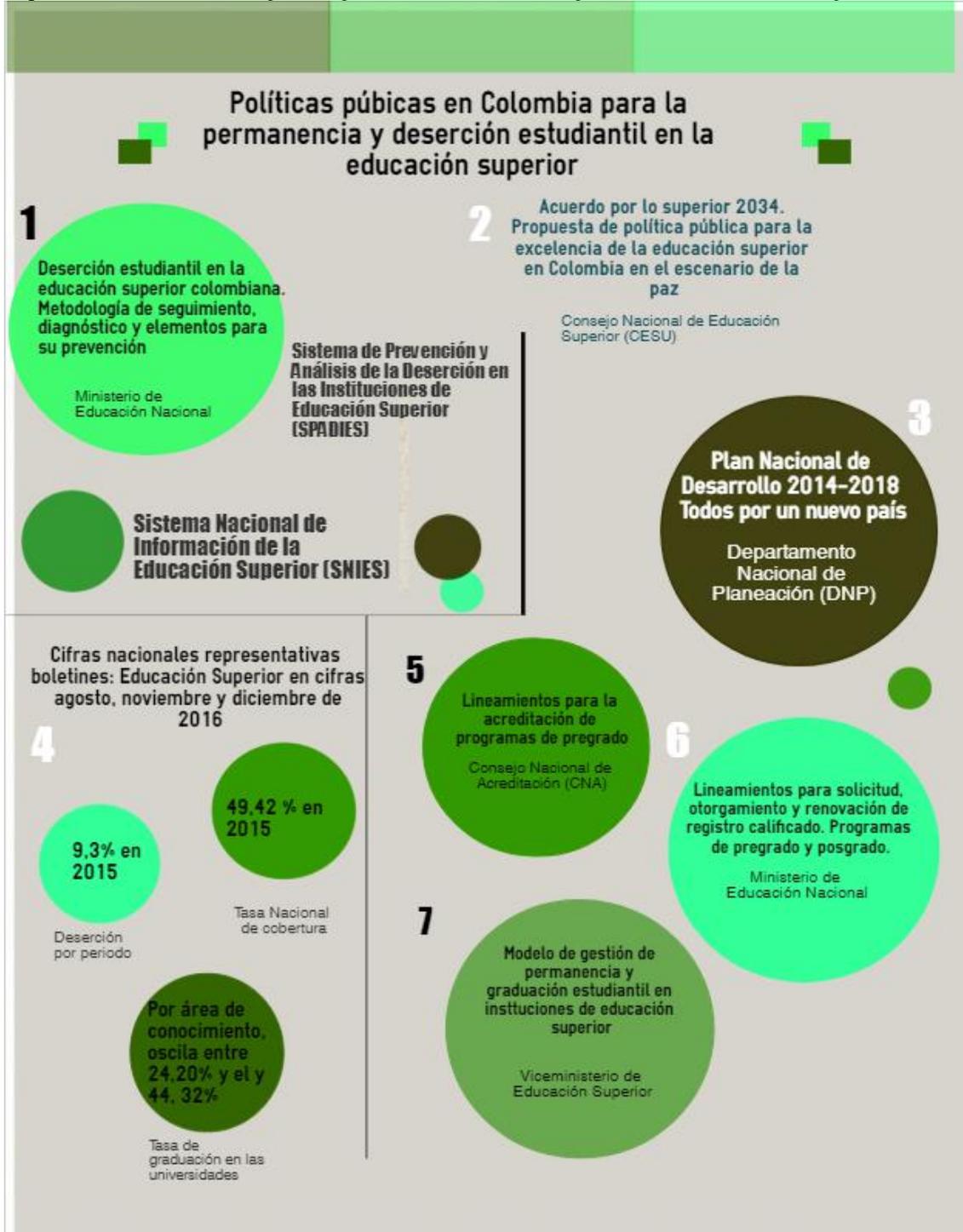
La Figura 2 muestra un resumen de las políticas públicas que tienen relación con la deserción estudiantil en Colombia. También se muestra un breve compendio de las principales cifras vinculadas.

---

<sup>11</sup> En los *Boletines Educación superior en cifras* de agosto, noviembre y diciembre de 2016, en los que el MEN informó que para 2015, la tasa de deserción por periodo fue de 9,3% con una tasa nacional de cobertura del 49,42%, y una tasa de graduación en las universidades que oscilaba entre el 24,20 y el 44,32% dependiendo del área de conocimiento (Ministerio de Educación Nacional, 2016).

<sup>12</sup> La tasa de graduación es el porcentaje de graduados para un grupo de estudiantes que ingresaron a primer curso en un mismo periodo académico (cohorte) para el nivel universitario se calcula en el decimocuarto semestre, y para técnico y tecnológico en el noveno (Consejo Nacional de Educación Superior, 2014, pág. 56).

Figura 2. Breve resumen de las políticas públicas relacionadas con la permanencia en la educación superior en Colombia.



Fuente: Elaboración propia con la plantilla gratuita de [www.easel.ly](http://www.easel.ly).

## 6.2. Principales determinantes de la deserción estudiantil en Colombia.

En 2009, el MEN divulgó que:

«Los recientes resultados del seguimiento de la deserción estudiantil en educación superior demuestran que el principal factor determinante del abandono de estudios en Colombia se sitúa en la dimensión académica: está asociado al potencial o capital cultural y académico con el cual ingresan los estudiantes a la educación superior. Los factores financieros y socioeconómicos están a continuación, seguidos por los institucionales y los de orientación vocacional y profesional» (Ministerio de Educación Nacional, 2009, pág. 10).

Posteriormente y de acuerdo con las cifras obtenidas desde SPADIES, el informe consolidado de los determinantes de la deserción estudiantil mostró que los hombres presentaron una tasa mayor de deserción que las mujeres, cifra que alcanza una diferencia de 10 puntos porcentuales a la altura del décimo semestre. Además, la tasa de deserción siempre es mayor para los estudiantes que trabajaban al momento de presentar la prueba Saber 11° frente a los que no. Respecto a los rangos de edad, el que tiene el mayor porcentaje de deserción es el de 21 a 25 años. Por otra parte, a mayor rango de ingreso salarial familiar son menores los porcentajes de desertores. A lo que se suma que a mayor nivel educativo de la madre menor es el porcentaje de desertores. También hay una clara relación inversa en la clasificación de los resultados de Saber 11° (bajo, medio y alto) con los porcentajes de deserción (Sistema de Prevención y Análisis de la Deserción en las Instituciones de Educación Superior, 2014, págs. 34-37).

Con la consideración del cambio de los determinantes en el tiempo, recientemente con base en la Encuesta Multipropósito<sup>13</sup> del año 2014 financiada por la Secretaría Distrital de Planeación de la ciudad de Bogotá y desarrollada por el Departamento Nacional de Estadísticas (DANE) se realizó un estudio sobre las razones por las que los bogotanos dejaban de estudiar, encontrando que las dos principales razones para el abandono escolar son la falta de dinero y la necesidad de trabajar y que el estado civil es un predictor más determinante que el sexo o el estrato socioeconómico (Barragán & González, 2017).

Todas las observaciones sobre los determinantes deben ligarse al impacto social que tiene que los estudiantes que empiezan su formación en la educación superior la culminen con éxito.

## 6.3. Impacto social de la permanencia y deserción estudiantil en la educación superior.

Los beneficios sociales de que un estudiante obtenga su título de formación universitaria se evidencian fusionando las contribuciones de Swail, Reed, & Perna con los ámbitos del modelo ecológico de Schmitt & Santos (Swail, Reed, & Perna, 2003, págs. 4-9), (Schmitt &

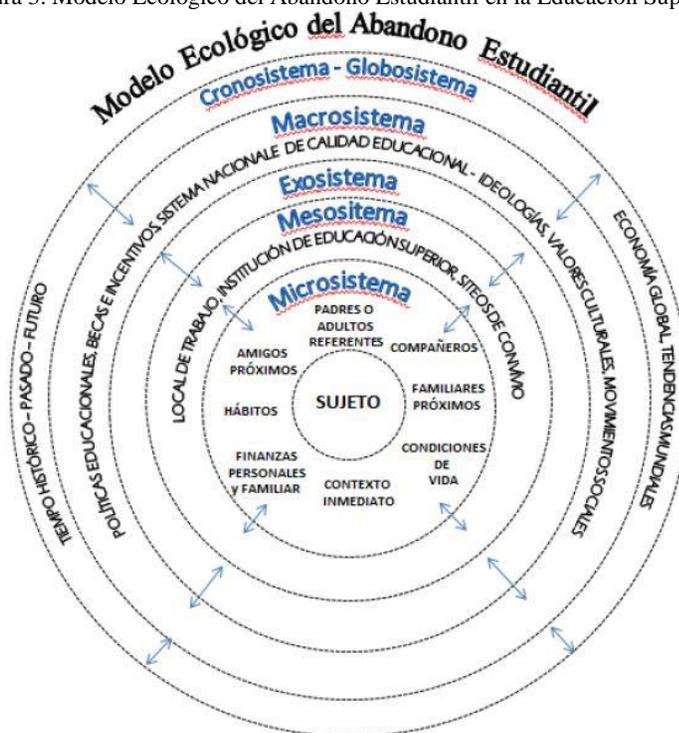
---

<sup>13</sup> La encuesta se aplicó a una muestra de 61.725 personas, que según el diseño muestral representan a 7.794.463 bogotanos habitantes de áreas urbanas.

Santos, 2013, págs. 210-212), (Bronfenbrenner, 1996, págs. 8-18) con lo que se observa que (ver Figura 3):

- 1) En el microsistema y el mesosistema se encuentra el estudiante, su familia, amigos cercanos y compañeros de trabajo. Aquí el estudiante aprovecha el conocimiento teórico y práctico producto de su actividad académica en la cotidianidad de los estudios universitarios.
- 2) En el macrosistema: los graduados obtienen mayores ingresos de por vida, mejor acceso a servicios de salud y mayor esperanza de vida. También se incrementa la probabilidad de ser elector y comprador informado y se disminuye la probabilidad de desempleo. Al respecto, la OCDE afirma que los graduados universitarios en Colombia ganan en promedio 6 veces más que los que solo completan la secundaria (Robano, Bert, Heriard-Dubreil, Lehuede, & Jankowska, 2015, pág. 24).
- 3) En el globosistema: los beneficios se ven en la disminución de los índices de criminalidad y de subsidios estatales. Se aumenta la participación en voluntariados y en votantes que fortalecen la participación democrática y el civismo. El mayor provecho según Swail, Reed, & Perna es el intergeneracional ya que las generaciones futuras se benefician de los logros educativos de sus padres (Swail, Reed, & Perna, 2003, págs. 26-28).

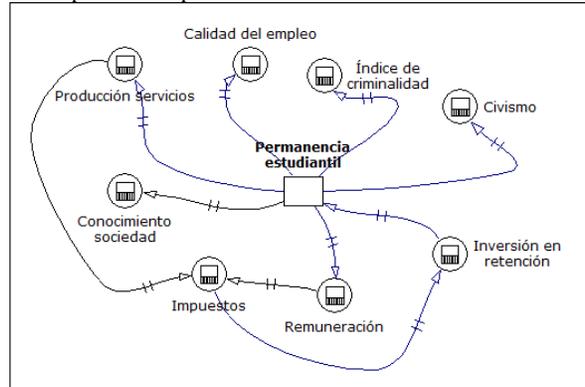
Figura 3. Modelo Ecológico del Abandono Estudiantil en la Educación Superior.



Fuente: (Schmitt & Santos, 2013, pág. 212).

La Figura 4 es una representación del impacto social de la permanencia estudiantil. Las marcas dobles significan que los beneficios sociales no son inmediatos, sino que requieren tiempo para reflejarse.

Figura 4. Impacto de la permanencia estudiantil en la educación superior.



Fuente: Elaboración propia con base en (Swail, Reed, & Perna, 2003, págs. 4-9).

Después de tomar como referentes la revisión detallada de las recomendaciones del MEN y la renovación que hizo el CNA, en el año 2013, de los *Lineamientos para la acreditación de programas de pregrado*, el impacto social de la obtención de un título de pregrado es obligado aludir a los trabajos del proyecto Gestión Universitaria Integral del Abandono (GUIA) en vista de la importancia que ha tenido para Latinoamérica en los últimos años. El proyecto GUIA ha explicitado:

«que se reafirma el empleo del término abandono y la comprensión del mismo como un evento relacional, de interacción y dinámico, en el que se presenta un acto individual, institucional y social que modifica las interacciones entre los distintos agentes educativos, efecto de la valoración construida en lo formativo a partir de expectativas, ofertas, y demandas de tipo intrínseco y extrínseco. Un evento contextualizado y complejo que debe ser abordado interdisciplinariamente, a partir de estrategias múltiples y complementarias» (Proyecto ALFA GUIA DCI-ALA/2010/94, 2013, págs. 13-14).

Con esta definición se ratifica que la estadística que describe la evolución de la deserción estudiantil es apenas un peldaño en el análisis propiciando la modelación desde diversos frentes y técnicas puesto que: 1) el fenómeno del abandono es multifactorial y complejo; 2) el alcance impacta a la persona, su familia, su entorno y en últimas a la sociedad y 3) las posibles variables explicativas son dinámicas. Todo esto representa simultáneamente un gran desafío y una gran oportunidad para la modelación orientada a la comprensión integral del fenómeno de la deserción estudiantil.

En primera instancia se decidió iniciar la modelación hacia el enfoque preventivo por lo que se consideró el uso de una técnica que permitiera la emisión de alertas tempranas en el riesgo de desertar. En este contexto se trabajó para el siguiente capítulo.

## 7. CAPÍTULO 2: MODELO MULTICRITERIO PARA LA PROPENSIÓN A LA PERMANENCIA EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR.

La última reflexión del capítulo anterior motivó la modelación matemática mediante la aplicación del proceso jerárquico analítico (AHP) con el ánimo de aproximarse a la deserción estudiantil priorizando los estudiantes de acuerdo con la propensión a permanecer en las IES. Esto puede constituirse en parte de un enfoque preventivo y puede llegar a integrarse a un SAT.

Se eligió este método cuantitativo ya que en la teoría de la decisión multicriterio discreta, el AHP permite introducir factores subjetivos en la toma de una decisión lo que resulta adecuado en los estudios para permanencia y retención estudiantil en las IES puesto que el proceso requiere que quien hace el análisis aporte juicios sobre la importancia relativa de cada objetivo y que especifique una preferencia sobre el objetivo para cada alternativa de decisión (Anderson, Sweeny, & Williams, 1998, pág. 746). Esta es una gran ventaja ya que pueden incluirse juicios subjetivos basados en las características particulares de la población de la IES considerando, por ejemplo: el perfil del aspirante, los distintivos que le imprime el Proyecto Educativo Institucional (PEI) a cada estudiante, las características particulares y el clima social del campus.

La modelación propuesta en este capítulo resulta novedosa desde el punto de vista de la priorización de los estudiantes a permanecer en la IES debido a que no se localizó ningún trabajo con esa orientación, lo que puede considerarse un aporte a la discusión sobre la deserción estudiantil. Se encontraron algunos trabajos relacionados con la implementación de AHP en educación, pero en otros aspectos:

- 1) En Asia estudiaron cómo determinar la mejor herramienta de evaluación para estudiantes de escuela vocacional con alto riesgo de desertar (Chen-Feng, Chun-Ta, & Pei-Min, 2013), (Chen-Feng, Chun-Ta, & Pei-Min, 2012), (Li, Xie, Liu, & Wang, 2010);
- 2) En Colombia hubo un reporte de caso en el que ponderaron los factores en procesos de autoevaluación para programas de pregrado con fines de acreditación de alta calidad (Mendoza, 2013).

### 7.1. Descripción del proceso AHP.

El AHP fue presentado por Thomas Saaty en 1980 usando una escala de números que indica cuántas veces un elemento es más importante sobre otro respecto al criterio de comparación (Mendoza, 2013, pág. 29). La escala de Saaty aparece en la Tabla 1.

Intensidad de preferencia	Definición	Explicación
1	Indiferencia	Las dos opciones son igualmente importantes para el experto
3	Importancia débil	La experiencia del experto determina que una alternativa es ligera o débilmente más importante que la otra
5	Importancia esencial o fuerte	El experto tiene una preferencia clara o marcada de una alternativa sobre otra
7	Importancia demostrada	El experto tiene una fuerte preferencia de una alternativa sobre la otra y esta dominancia está demostrada en la práctica
9	Importancia absoluta	La evidencia para favorecer una alternativa sobre otra es la máxima posible
2,4,6,8	Valores intermedios entre juicios sucesivos	Cuando es necesaria una mayor definición o precisión en la formulación de los juicios
Valores recíprocos de los anteriores		Si la comparación de la alternativa $i$ con la alternativa $j$ tiene uno de los valores anteriores, entonces la comparación de la alternativa $j$ con la alternativa $i$ tendrá el valor recíproco

Tabla 1. Descripción de la escala de Saaty.  
Fuente: (Ruiz-Tagle, 2011, pág. 20).

La descripción general del algoritmo del proceso AHP se compendia de Munier (Munier, 2011, pág. 78) y Anderson et al (Anderson, Sweeny, & Williams, 1998, págs. 749-752) así:

- Paso 1:** Identificar los criterios a evaluar usando diferentes alternativas.
- Paso 2:** Construir una matriz cuadrada usando los mismos criterios en filas y columnas. Se registran las prioridades en una matriz cuadrada  $A$  llamada matriz de comparación por pares o pareada. Las entradas  $a_{ii}$  son iguales a 1 pues compara un criterio con el mismo, las demás entradas satisfacen que  $a_{ij} \cdot a_{ji} = 1$  en donde  $a_{ij}$  es una de las intensidades de preferencia de la escala de Saaty.
- Paso 3:** Calcular los eigenvectores para la matriz de comparación pareada normalizada. Este proceso se repite tantas veces como criterios haya.
- Paso 4:** Multiplicar el valor de cada alternativa por el peso de cada criterio.
- Paso 5:** Sumar todos los valores para una alternativa.
- Paso 6:** Calcular la consistencia de los juicios.

El paso 2 se escribió como una interpretación propia de lo descrito en (Anderson, Sweeny, & Williams, 1998, págs. 749-750). En algunos textos, los eigenvalores del paso 3 son estimados con la media geométrica, para este capítulo se obtuvieron directamente dada la capacidad de cálculo del software empleado.

Para llevar a cabo el proceso AHP descrito se tuvo en cuenta una metodología en la que se observaron las recomendaciones del MEN en términos de los determinantes de la deserción y sus variables explicativas. Además, con ayuda de un diagrama de flujo se detallaron los pasos del proceso en los que se vinculó una verificación de la consistencia de los juicios subjetivos emitidos para el caso de estudio.

## 7.2. Metodología para la modelación matemática con el proceso AHP.

Para iniciar el AHP, se observaron las pautas dadas por el MEN abarcando las variables explicativas en los determinantes de la deserción (Ministerio de Educación Nacional, 2009, pág. 27) (ver Figura 5).

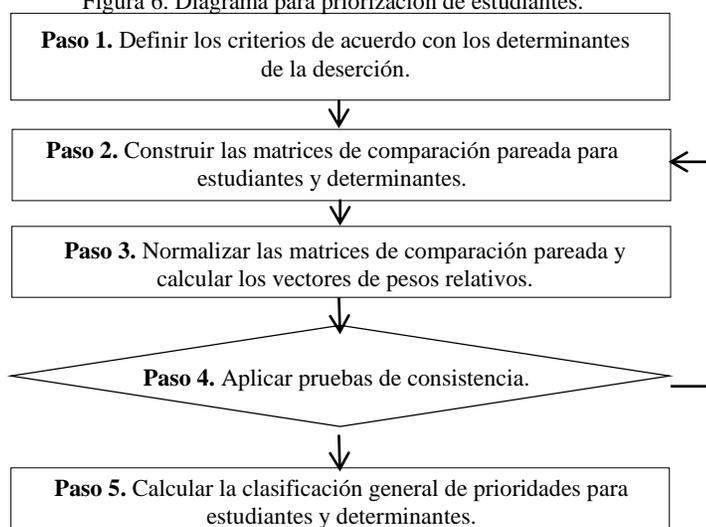
Figura 5. Determinantes de la deserción estudiantil.



Fuente: Elaboración propia con base en (Ministerio de Educación Nacional, 2009, pág. 17) con la plantilla gratuita de [www.easel.ly](http://www.easel.ly).

Como ruta general a seguir para la clasificación general se implementó el diagrama de flujo planteado en la Figura 6.

Figura 6. Diagrama para priorización de estudiantes.



Fuente: Elaboración propia con base en (Mendoza, 2013, pág. 31) y (Anderson, Sweeny, & Williams, 1998, págs. 746-757).

El AHP puede ejecutarse para un  $n$  cualquiera de estudiantes, no obstante, para evidenciar la validez del proceso y pasar de lo teórico a lo práctico con ayuda de software, se usó un caso de estudio basado en un conjunto de 5 estudiantes con variadas características inscritos en la asignatura de Álgebra Lineal de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (UTADEO).

Además, para llevar a cabo el paso 4 del diagrama de flujo se estimó la relación de consistencia mediante el algoritmo presentado en Anderson et al (Anderson, Sweeny, & Williams, 1998, págs. 752-753). Esta prueba de consistencia permite cerciorarse de la validez de los juicios subjetivos.

El algoritmo de consistencia queda resumido como sigue:

**Paso 1:** Calcular el vector de sumas ponderadas pre-multiplicando el vector de prioridad por la matriz de comparación pareada correspondiente.

**Paso 2:** Dividir las entradas del vector de sumas ponderadas entre el valor de prioridad correspondiente.

**Paso 3:** Calcular  $\lambda_{m\acute{a}x}$  entendido como el promedio de los valores encontrados en el Paso 2.

**Paso 4:** Calcular el índice de consistencia  $CI$ , considerando  $n$  como el número de elementos que se están comparando.

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (1)$$

**Paso 5:** Calcular la relación de consistencia  $CR$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

$RI$  es el índice de consistencia de una matriz de comparación por pares generada al azar.

Para el presente estudio se empleó el  $RI$  que aparece en la Tabla 2. Un  $CR$  inferior a 0,10 se considera aceptable. Si el valor de  $CR$  excede 0,10 Mendoza recomienda examinar de nuevo los juicios o tomar un nivel de inconsistencia mayor (Mendoza, 2013, pág. 37).

$n$	3	4	5	6	7	8	9
$RI$	0,6	1	1,1	1,2	1,3	1,41	1,45

Tabla 2. Índice de consistencia de una matriz generada al azar.  
Fuente: (Mendoza, 2013, pág. 37).

Para la clasificación general de las prioridades se combinaron las prioridades tanto de los criterios (determinantes de la deserción) como de las alternativas (estudiantes). El método inició conformando una matriz de prioridades en la que las columnas son los vectores de prioridad por cada determinante y las filas son las entradas propias a cada estudiante. Para continuar se multiplica a izquierda el vector de prioridad de los criterios con la matriz de prioridades.

Finalmente, las entradas del vector de prioridad obtenido se organizan de mayor a menor para obtener la priorización deseada. Este vector se interpreta como una lista de valores

asignados a los estudiantes en la que el primero es el que tiene la mejor oportunidad de permanecer en la IES y por tanto el menor de los riesgos, a medida que se desciende en la lista se aumenta el riesgo de abandonar la IES, lo que puede pensarse como una alerta temprana. Los estudiantes que se encuentren en la parte final de la lista pueden rastrearse identificando cuál es el determinante que más lo afecta.

El procesamiento de las matrices fue hecho con Matlab 2014b y la tabulación de la información se realizó con EXCEL de la *suite* de Microsoft Office.

Con la intención de corroborar la metodología y exhibir cálculos efectivos, se dispuso de información real de cinco estudiantes con la que se ilustraron los procedimientos y algoritmos del AHP con la anotación de que estos algoritmos se pueden reproducir para el número  $n$  de estudiantes que se necesite.

### 7.3. Muestra.

#### 7.3.1. Participantes.

Las características de los estudiantes identificados con  $E_i$  donde  $i = 1,2,3,4$  y  $5$  se extrajeron de la base de los 233 inscritos a los cursos de Álgebra Lineal de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la UTADDO para el tercer periodo de 2014 (ver Tabla 3).

Determinantes	Categoría	E1	E2	E3	E4	E5
Individual	Estado civil	Soltero	Soltero	Casado	Casado	Casado
	Edad	19	23	37	28	28
	Sexo	M	F	M	M	F
Académicos	Resultado del examen de estado	501	416	456	450	501
	Número de créditos en el periodo inmediatamente anterior	16	18	15	14	17
	Tipo de colegio	Oficial	Oficial	Oficial	No oficial	No oficial
Institucional	Becario	Si	No	Si	No	No
	Apoyo académico	Si	Si	No	No	Si
	Apoyo psicológico	No	No	No	No	Si
Socio económico	Nivel educativo de la madre	Bachiller	Primaria	Bachiller	Universidad	Primaria
	Estrato	3	2	3	5	2
	Personas a cargo	1	0	2	1	0

Tabla 3. Características de los estudiantes a priorizar.

Fuente: Elaboración propia.

#### 7.3.2. Instrumentos.

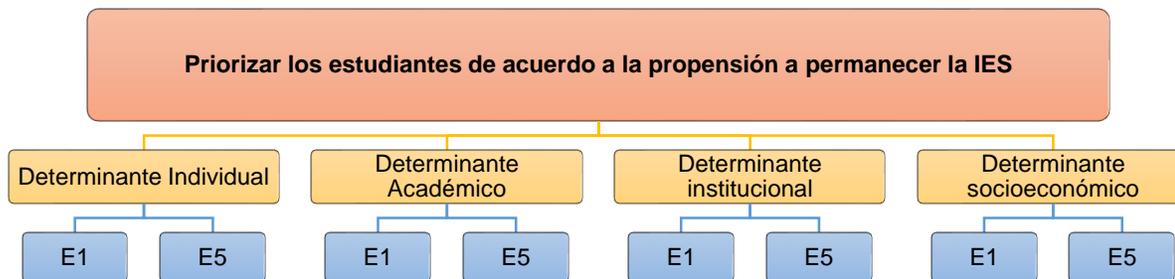
La información se obtuvo del Sistema de Información Académica de la UTADDO sin instrumentos especiales para acceder a ellos. Se usaron datos que reposan en casi todas las hojas de matrícula o de actualización de datos que una IES solicita a sus estudiantes, lo que permitiría en el futuro su reproducibilidad sin mayor dificultad.

#### 7.3.3. Procedimiento.

La jerarquía del problema de priorización de los estudiantes de acuerdo con la propensión de permanecer en la IES se esquematiza en la Figura 7. La meta general es priorizar los

estudiantes en la propensión a permanecer en la IES. Los criterios son los determinantes de la deserción estudiantil: individuales, académicos, socioeconómicos e institucionales (ver Figura 5) y las alternativas de decisión son los estudiantes  $E_i$  a priorizar.

Figura 7. Jerarquía de la propensión a permanecer en la IES.



Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó AHP para establecer las medidas de prioridad sobre los determinantes y sobre los estudiantes (Anderson, Sweeny, & Williams, 1998, pág. 748), para establecer en la selección de los estudiantes la prioridad de:

- 1) Los cuatro determinantes en función de la meta de priorizar los estudiantes de acuerdo con la propensión a permanecer en la IES.
- 2) Los estudiantes en función de los determinantes individuales, académicos, institucionales y socioeconómicos.

Las matrices de comparación pareada se estructuraron para los determinantes: individual (Tabla 4), académico (Tabla 5), institucional (Tabla 6) y socioeconómico (Tabla 7). La entrada encuadrada en la matriz de la Tabla 4 indicaba que, en los juicios subjetivos, el segundo estudiante era tres veces más propenso a permanecer en la IES que el primero. Estos juicios subjetivos se basaron en la información que se tenía de dichos estudiantes en el determinante individual.

	E1	E2	E3	E4	E5
E1	1	0,333	0,125	0,167	0,111
E2	3	1	0,143	0,143	0,111
E3	8	7	1	0,500	0,167
E4	6	7	2	1	0,500
E5	9	9	6	2	1

Tabla 4. Matriz de comparación pareada para el determinante individual.

Fuente: Elaboración propia.

	E1	E2	E3	E4	E5
E1	1	3	5	8	1
E2	0,333	1	0,500	2	0,200
E3	0,200	2	1	2	0,167
E4	0,125	0,500	0,500	1	0,200
E5	1	5	6	5	1

Tabla 5. Matriz de comparación pareada para el determinante académico.

Fuente: Elaboración propia.

	E1	E2	E3	E4	E5
--	----	----	----	----	----

<b>E1</b>	1	3	7	9	1
<b>E2</b>	0,333	1	1	8	0,125
<b>E3</b>	0,143	1	1	4	0,200
<b>E4</b>	0,111	0,125	0,250	1	0,111
<b>E5</b>	1	8	5	9	1

Tabla 6. Matriz de comparación pareada para el determinante institucional.  
Fuente: Elaboración propia.

	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>
<b>E1</b>	1	8	1	0,125	9
<b>E2</b>	0,125	1	0,250	0,111	1
<b>E3</b>	1	4	1	0,143	7
<b>E4</b>	8	9	7	1	9
<b>E5</b>	0,111	1	0,143	0,111	1

Tabla 7. Matriz de comparación pareada para el determinante Socioeconómico.  
Fuente: Elaboración propia.

	<b>Socioeconómico</b>	<b>Institucional</b>	<b>Académico</b>	<b>Individual</b>
<b>Socioeconómico</b>	1	0,125	0,111	0,2
<b>Institucional</b>	8	1	0,25	0,5
<b>Académico</b>	9	4	1	0,25
<b>Individual</b>	5	2	4	1

Tabla 8. Matriz de comparación pareada para los determinantes.  
Fuente: Elaboración propia.

Luego, del procesamiento de las matrices de comparación pareada mediante los algoritmos expuestos como resultados se encontraron los vectores de prioridad para los estudiantes en los determinantes cuyas entradas ordenadas de mayor a menor ofrecieron un ranking respecto a la propensión a permanecer. Las entradas del vector de prioridad para los determinantes mostraron una ordenación de estos conforme a la relevancia.

#### 7.4. Resultados y discusión.

Para las matrices de comparación por pares de las Tablas 3 a 7 se calcularon las matrices normalizadas y los eigenvectores correspondientes. Los vectores de prioridad para los estudiantes  $E_i$  con  $i = 1,2,3,4$  y 5 para los determinantes socioeconómico  $v_1$ , institucional  $v_2$ , académico  $v_3$  e individual  $v_4$  y el vector de prioridades  $v$  para los determinantes quedaron calculados como

$$v_1 = \begin{pmatrix} 0,117 \\ 0,057 \\ 0,111 \\ 0,656 \\ 0,056 \end{pmatrix}; v_2 = \begin{pmatrix} 0,385 \\ 0,092 \\ 0,072 \\ 0,038 \\ 0,410 \end{pmatrix}; v_3 = \begin{pmatrix} 0,375 \\ 0,095 \\ 0,082 \\ 0,058 \\ 0,388 \end{pmatrix}; v_4 = \begin{pmatrix} 0,046 \\ 0,049 \\ 0,121 \\ 0,257 \\ 0,525 \end{pmatrix}; v = \begin{pmatrix} 0,062 \\ 0,189 \\ 0,240 \\ 0,506 \end{pmatrix}$$

Las entradas del vector  $v_2$  indicaron que, en el determinante institucional, el quinto estudiante era el más fuerte y el cuarto era el más débil, lo que le agudiza el riesgo de abandonar por causas asociadas a este determinante.

Con el algoritmo de consistencia para cada una de las matrices de comparación por pares, tanto para los estudiantes en cada uno de los determinantes como para los determinantes mismos, se encontró lo que resume la Tabla 9 (ver ecuaciones (1) y (2)).

	$\lambda_{m\acute{a}x}$	CI	RI	CR
<b>Estudiantes en socioeconómico</b>	6,4929	0,373	1,1	0,333
<b>Estudiantes en institucional</b>	5,581	0,145		0,129
<b>Estudiantes en académico</b>	5,242	0,060		0,054
<b>Estudiantes en individual</b>	5,806	0,201		0,180
<b>Determinantes</b>	5,005	0,335	1	0,335

Tabla 9. Parámetros encontrados en la estimación de la consistencia.  
Fuente: Elaboración propia.

La clasificación general se obtuvo con la multiplicación de la matriz  $(v_1|v_2|v_3|v_4|v_5)$  y el vector de prioridad resultante como en (3).

$$\begin{pmatrix} 0,117 & 0,385 & 0,375 & 0,046 \\ 0,057 & 0,092 & 0,095 & 0,049 \\ 0,111 & 0,072 & 0,082 & 0,121 \\ 0,656 & 0,038 & 0,058 & 0,257 \\ 0,056 & 0,410 & 0,388 & 0,525 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,062 \\ 0,189 \\ 0,240 \\ 0,506 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,194 \\ 0,069 \\ 0,102 \\ 0,193 \\ 0,441 \end{pmatrix} \quad (3)$$

La lectura que se puede dar a la Ecuación 3 indica que la clasificación general para la priorización de los estudiantes en la permanencia en la UTADEO quedó estimada de manera que el estudiante  $E_5$  es el de mayor oportunidad de permanecer, seguido en orden por  $E_1$ ,  $E_4$ ,  $E_3$ ; finalizando con el estudiante  $E_2$  que sería el de mayor riesgo de abandonar. Los rasgos del estudiante  $E_5$  en el determinante individual le proporcionan la mejor de sus valoraciones. Por consiguiente, la fortaleza del estudiante  $E_5$  radicó principalmente en rasgos individuales. En contraste, la mayor debilidad del estudiante  $E_2$  se encuentra en ese mismo determinante.

Para el caso de estudio, las relaciones de consistencia para las matrices de comparación pareada para los estudiantes en los determinantes: institucional, académico e individual están en un rango aceptable. Las correspondientes a los estudiantes en los determinantes socioeconómico y para los determinantes en sí mismos son susceptibles de revisión o de ampliación del punto de corte.

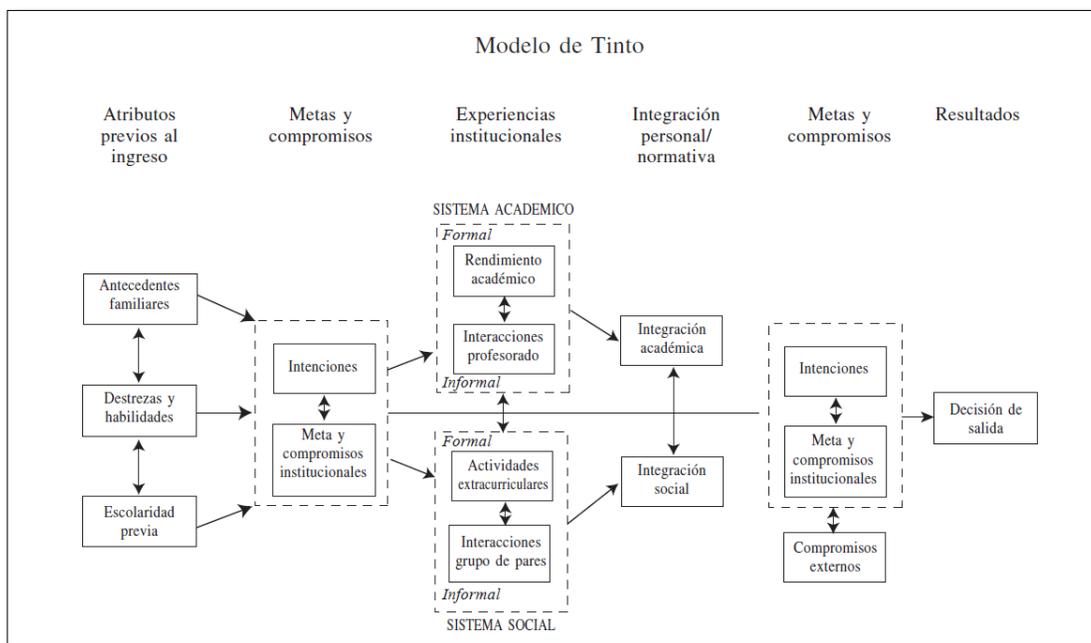
Esta implementación del proceso AHP llama la atención sobre los esfuerzos institucionales por comprender tanto la perspectiva individual que refiere a las características personales de un estudiante que hace que tome la decisión de desertar o no de la institución y la perspectiva académica en la que se considera integralmente el capital académico del estudiante (Proyecto ALFA GUIA DCI-ALA/2010/94, 2013, págs. 60-61). De donde los siguientes capítulos exploraran desde las técnicas de modelación: la integración social, la académica y su interacción.

Para esta exploración, en el próximo capítulo se examina el modelo de interacción de Tinto como punto de partida, proporcionando una puerta de entrada para el estudio de las relaciones de comunicación y el alcance que ellas tienen en las mencionadas perspectivas.

## 8. CAPÍTULO 3: ACERCAMIENTO A LA DESERCIÓN ESTUDIANTIL DESDE LA INTEGRACIÓN SOCIAL Y ACADÉMICA.

Para el marco teórico para el diagnóstico y tratamiento de la deserción en la educación superior, el MEN vinculó el modelo de interacción de Tinto (ver Figura 8) (Ministerio de Educación Nacional, 2009, págs. 23-32), en el que la integración social es definida como la capacidad que tiene el estudiante de alternar el estudio con la familia, el trabajo y la sociedad (Ministerio de Educación Nacional, 2009, pág. 31). El MEN también incluyó la integración social en los determinantes de la deserción estudiantil, dentro del factor individual (ver Figura 5) ya que para un estudiante los lazos sociales dentro de la institución brindan una buena parte del soporte requerido para las metas individuales en la carrera (Swail, Reed, & Perna, 2003, pág. 78). La integración académica por otro lado es el cumplimiento de los estándares, reglamentos y normatividad de la IES.

Figura 8. Modelo de interacción de Vincent Tinto.



Fuente: (Donoso & Schiefelbein, 2007, pág. 17)

Otras fuentes también han resaltado la importancia de la integración social. Particularmente, se subraya que «los pares de un estudiante son agentes de socialización de mayor importancia que los docentes con quienes establece comunicación informal» (Pineda, 2010, pág. 43). Por esto la comunicación directa entre estudiantes, como pares que son, permite establecer y consolidar alianzas académicas, relaciones interpersonales y en un futuro, posibles grupos profesionales de trabajo interdisciplinario. Viana y Rullán enfatizan que la integración social y la integración académica son facilitadoras para reevaluar las metas y compromisos individuales que finalmente influyen en la toma de la decisión de permanecer o no en la escuela (Viana & Rullán, 2010, pág. 7).

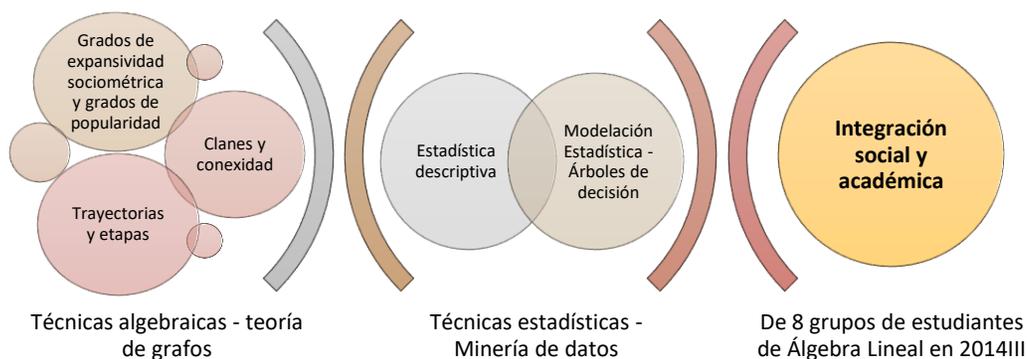
Para completar el panorama, en los determinantes asociados a la deserción en los órdenes académico e individual, Donoso & Schiefelbein enuncian que:

«Tinto incluye en la integración académica tanto el rendimiento académico como el desarrollo intelectual. Por otra parte, la integración social abarca el desarrollo y la frecuencia de las interacciones positivas con pares y docentes (oportunidad de interactuar) y, también, la participación en actividades extracurriculares. Además, considera que la reevaluación del compromiso con la meta de graduarse se encuentra más fuertemente determinada por la integración académica. Igualmente, el compromiso institucional se ve altamente influido por la integración social. En suma, mientras más se consolide el compromiso del estudiante con la obtención de su grado o título y con la institución, al mismo tiempo que mientras mejor sea su rendimiento académico e integración social, menos probable es que el estudiante deserte» (Donoso & Schiefelbein, 2007, p. 17).

Para robustecer los estudios de las IES en la dirección planteada por las políticas públicas respecto a la deserción estudiantil se propone usar la teoría de grafos en una ruta algebraica y/o topológica y luego los árboles de decisión en una ruta estadística para el entendimiento de una parte de la interacción social de los estudiantes. Diversos trabajos analizan el papel de las redes sociales en torno a la formación de los estudiantes universitarios como herramientas o recursos de aprendizaje o en el sentido de aumentar la conectividad entre los mismos (Vázquez & Cabrero, 2015), (Cabrero & Marín, 2014). No obstante, la combinación de las mencionadas técnicas parece no haber sido implementada en el estudio de la retención estudiantil. Tal combinación favorece la eficacia para representar situaciones intangibles y la jerarquización de las variables. Se pretende coadyuvar de forma novedosa a la estimación de la integración social de un estudiante con sus pares y su efecto sobre el desempeño académico lo que puede ofrecer información sobre la mecánica (espontánea o no) del uso de redes sociales y de trabajo extra-clase.

En la Figura 9 se resumen las rutas empleadas para la modelación combinando técnicas.

Figura 9. Rutas para el análisis de la integración social y académica.



Fuente: Elaboración propia.

En este capítulo se empleará el término red social en la acepción de Castañeda et al:

«...las redes sociales son sitios organizados en torno al perfil de las personas, y la mayoría de dichas redes sociales se caracterizan por permitir a los usuarios desarrollar en un mismo espacio las acciones principales que se realizan con frecuencia mediante diferentes herramientas de publicación, pero además permiten, compartir documentos, comunicarse de manera síncrona y asíncrona, compartir

enlaces, vídeos, fotos, archivos de audio, crear grupos para facilitar la comunicación entre un colectivo determinado, e incluso evaluar y comentar recursos existentes en la red o publicados por otros usuarios...» (Castañeda, González, & Serrano, 2011, p. 5).

La teoría de grafos ha representado una fuente importante para el estudio de los sociogramas, dado que una matriz  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  corresponde a un grupo de  $n$  individuos (Forsyth & Katz, 1946, págs. 341,345) y que los diferentes procesos algebraicos que se pueden generar a partir de ella se pueden identificar con procesos sociales (Kats, 1947, pág. 240). Un sociograma es un diagrama que ilustra la estructura de un grupo de individuos.

En la medida en que se puedan cuantificar y abstraer algunas de las relaciones complejas que soportan la integración social, la estructura del grupo social podrá representarse gráfica y matemáticamente considerando diferentes medios o soportes físicos de la comunicación entre los miembros (Flament, 1972, págs. 57-58).

La teoría de grafos es una técnica apropiada para el estudio de todo tipo de redes dado que una *gráfica dirigida* es un conjunto finito de puntos denominados vértices,  $E_1, E_2, \dots, E_n$ , junto con un conjunto de aristas dirigidas que unen un par ordenado de vértices distintos (Kolman & Hill, 2013, pág. 104). Esta correspondencia se logra en las redes sociales haciendo que los usuarios sean los vértices y las relaciones que se establecen entre usuarios, sean los arcos dirigidos (Rojas, 2011, pág. 56). Una gráfica dirigida como una representación de la interacción de un grupo será considerada un sociograma.

La modelación estadística a través de árboles de decisión también fortalece el estudio desarrollando un sistema predictivo de corte transversal que clasifica observaciones circunscritas a unas reglas de decisión. Esta modelación es flexible y facilita su retroalimentación de manera continua para generar un sistema de clasificación que cambie con el tiempo (Tan, Steinbach, & Kumar, 2006, págs. 145-205).

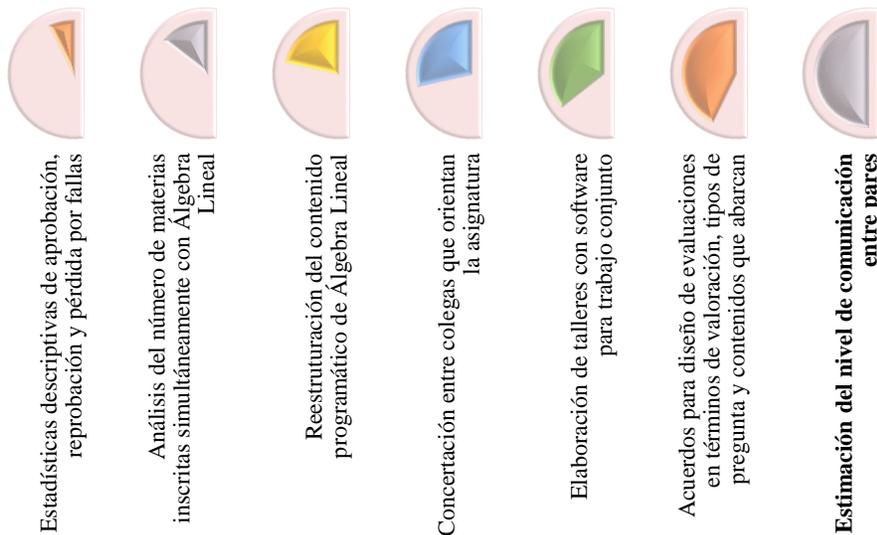
La validación de la propuesta se hizo mediante un caso de estudio cuyos objetivos fueron: conocer el estado inicial del manejo orgánico de las redes sociales que los estudiantes usan para tener contacto con sus compañeros de clase; identificar cuáles serían las redes sociales más apropiadas para establecer políticas institucionales sobre su aplicación que contribuyan a las políticas públicas; crear la base de una posible intervención usando las redes sociales como apoyo al tiempo académico no presencial y como fidelización de los estudiantes. En el presente artículo se abordan los dos primeros objetivos, el tercero corresponde a una etapa fuera del alcance de este capítulo.

### 8.1. Caso de estudio.

El trabajo se basó en la asignatura de Álgebra Lineal del Departamento de Ciencias Básicas de la UTADEO. Álgebra Lineal tiene como dominios conceptuales: sistemas de ecuaciones lineales, teoría básica de matrices, vectores en  $\mathbb{R}^n$ , espacios vectoriales reales, transformaciones lineales, eigenvalores y eigenvectores. La asignatura está vinculada al plan de estudios de los programas académicos de Administración de Empresas, Administración de Empresas Agropecuarias, Administración de Sistemas de Información, Economía, Ingeniería de Alimentos, Ingeniería Química, Ingeniería Industrial e Ingeniería de Sistemas, Tecnología en Gestión de Transporte y Tecnología en Robótica y Automatización Industrial.

El seguimiento permanente al desempeño en esta asignatura ha permitido, emprender políticas, planes y actividades de apoyo a los estudiantes (ver Figura 10), propiciando una oportunidad en la aproximación a la comprensión integral de la red de comunicación entre pares.

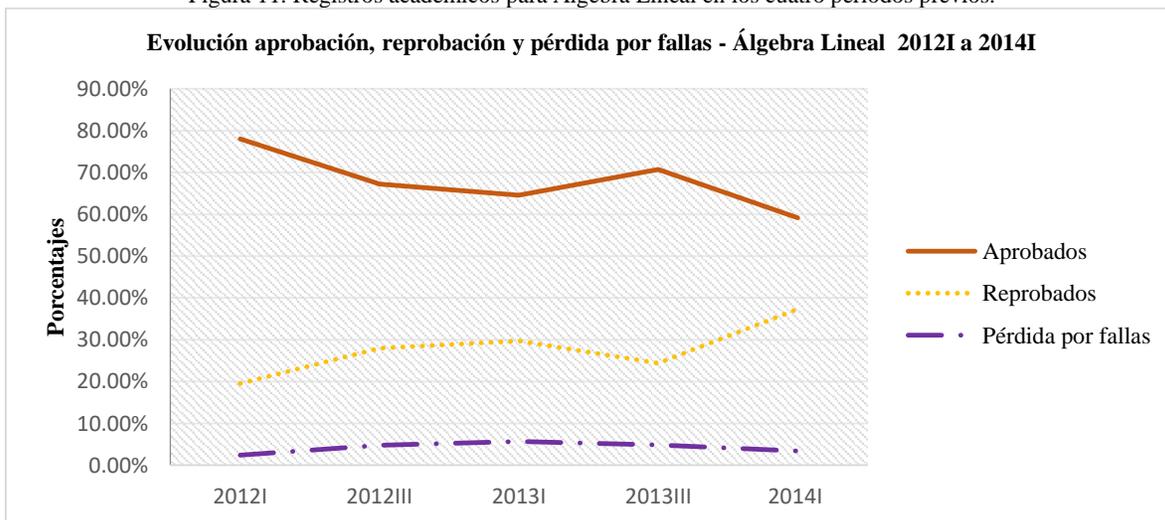
Figura 10. Estudios realizados alrededor del desempeño de Álgebra Lineal.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 11 muestra los porcentajes de aprobación, reprobación<sup>14</sup> y pérdida por fallas<sup>15</sup> de los cuatro periodos anteriores al presente caso de estudio, esto es, del primer periodo lectivo de 2012 (2012I) al primero de 2014 (2014I). La UTADDEO ofrece tres periodos lectivos por año: el primero, de enero a mayo y el tercero, de agosto a noviembre, compuestos por 16 semanas y el segundo, de junio a julio con 6 semanas.

Figura 11. Registros académicos para Álgebra Lineal en los cuatro periodos previos.



Fuente: Elaboración propia.

<sup>14</sup> En el Artículo 30 del Reglamento Estudiantil en la UTADDEO, establece que la escala de calificaciones es de 0,0 a 5,0. La nota mínima aprobatoria es de 3,0 (Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2008, p. 21).

<sup>15</sup> El estudiante reprueba por fallas si completa una inasistencia del 20% (Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2008, p. 24).

## 8.2. Método para la modelación en las rutas de la teoría de grafos y estadística.

El grupo de análisis constó de los 233 estudiantes de Álgebra Lineal en 2014III, divididos en 8 grupos. Se diseñaron dos instrumentos (consultas) para captura de información mediante pregunta directa: la consulta 1 fue en la segunda semana (6 de agosto de 2014) y la consulta 2 en la decimocuarta semana de clase (12 de noviembre de 2014) de 2014III. En cada consulta se solicitó a los estudiantes anotar su nombre y marcar con una X las casillas en las que aparecían los nombres de los compañeros con los que mantenía comunicación conforme a las relaciones  $r_k$  donde  $1 \leq k \leq 6$  definidas en la Tabla 10. Si algún estudiante no era usuario de las redes podía hacer la observación. La aplicación se realizó en papel en cada uno de los salones, en los horarios habituales de clase.

$r_1 := E_i$ ha compartido actividades académicas extraclase con $E_j$
$r_2 := E_i$ tiene comunicación por celular con $E_j$
$r_3 := E_i$ tiene comunicación por correo con $E_j$
$r_4 := E_i$ tiene comunicación por Facebook con $E_j$
$r_5 := E_i$ tiene comunicación por WhatsApp con $E_j$
$r_6 := E_i$ tiene comunicación por Twitter con $E_j$

Tabla 10. Listado de relaciones estudiadas.

Fuente: Elaboración propia.

Cada uno de los estudiantes se representó mediante  $E_i$  donde  $i$  es un identificador arbitrario (ID). Si el estudiante no contestó o se retiró del grupo, se conservó su ID sin volver a numerar. No obstante, para el trabajo algebraico fue necesario prescindir de las filas y las columnas que los representaban y trabajar con menores.

La elección de las redes sociales se apoyó en la apreciación de los mismos estudiantes sobre los medios más populares entre ellos. No se desconoció la existencia de otras redes sociales, solo se priorizó las que podrían cumplir una doble función en los ambientes de integración social y académica.

La información se registró en 96 sociomatrices a las que se les aplicaron las definiciones y algoritmos clásicos de la teoría de grafos. La estadística descriptiva y la minería de datos se usaron para caracterizar el grupo de análisis, ponderar y jerarquizar las variables de entrada en las variables de interés: aprobar la asignatura y estar matriculado en 2015I. La descripción de los algoritmos y su ejecución están en el procedimiento.

Este capítulo recoge los resultados de un estudio descriptivo en el que se buscó conocer el estado inicial de la comunicación espontánea en un grupo de estudiantes universitarios mediante algunas redes sociales, esto para contribuir a establecer políticas institucionales que apoyen el trabajo académico no presencial y en últimas morigerar la deserción estudiantil. Para llevar a cabo lo expuesto se usó una combinación de la teoría de grafos y la minería de datos lo que dio luces sobre la integración social y la integración académica. Es de resaltar que el modelo de Tinto enfatiza que la permanencia depende del grado de ajuste entre el estudiante, su entorno y la institución. En ese orden de ideas, la síntesis del método empleado ofrece seguridad de que se observan las pautas gubernamentales colombianas en cuanto a deserción estudiantil se refiere.

Para el procesamiento de la información con la teoría de grafos, se emplearon Matlab 2014b de MathWorks y Gephi como plataforma de visualización interactiva. El trabajo

estadístico se adelantó con SPSS 22 y Statgraphics Plus 5.1. La tabulación de la información se hizo con EXCEL de la *suite* de Microsoft Office.

### 8.3. Muestra.

#### 8.3.1. Participantes.

Con la información del Sistema de Información Académica de la UTADDEO al inicio de la segunda semana de clase (4 de agosto de 2014), los grupos 1, 2, 3, 5 y 6 tenían 30 estudiantes cada uno, el grupo 4 tenía 29, los grupos 7 y 8 cada uno 27.

De los 233 estudiantes, 15 pertenecían al programa de Economía, 10 a Ingeniería de Alimentos, 13 a Ingeniería de Sistemas, 52 a Ingeniería Industrial, 141 a Ingeniería Química, uno a Tecnología en Gestión de Transporte y otro a la Tecnología en Robótica y Automatización Industrial.

Como 196 atendieron la consulta 1 y 161 la consulta 2, se construyó una base de datos con los 145 casos que tenían información completa para las variables obtenidas en las dos consultas.

En la base de 145 estudiantes, la aprobación del curso fue del 73,1%. La mayoría de los estudiantes (casi el 87%) pertenecen a Ingeniería Química (su aprobación fue 77,5%) e Ingeniería Industrial (con una aprobación del 67,8%). El mayor porcentaje de aprobación esta entre quienes ingresaron en el año 2014 y el menor entre quienes ingresaron en el año 2010. Las calificaciones promedio de los estudiantes por año de ingreso de 2010 a 2014 son 2.6, 2.7, 3.0, 3.1 y 3.2 respectivamente, en donde se observa una clara tendencia creciente.

La muestra completa corresponde a 74 mujeres (60,16%) y 49 hombres (39,84%); con edad promedio de 19,3 años con una desviación estándar de 2,26 años.

Además, tres cuartas partes de los estudiantes de la muestra provienen de Bogotá mientras que tan solo una cuarta parte proviene de otro lugar del país (no hubo estudiantes extranjeros).

El promedio de créditos inscritos por los 145 estudiantes de la muestra es de 16,7 con una desviación estándar de 3,3 créditos. Para contextualizar, el curso de Álgebra Lineal equivale a 4 créditos, lo que corresponde a casi a la cuarta parte del promedio.

#### 8.3.2. Instrumentos.

En los instrumentos de recolección de información, denominados consultas, se incluyeron como datos básicos el nombre y el número del documento de identidad. Las variables de contexto fueron extraídas de las bases de la UTADDEO. En la primera pregunta los encuestados eligieron de una lista a aquellos compañeros con los que había compartido actividades académicas extra-clase. Las demás preguntas tenían el mismo mecanismo e indagaban si cada estudiante tenía comunicación con sus compañeros de clase a través del correo electrónico, del celular, de la mensajería WhatsApp, de Twitter y/o de Facebook. Podían registrar si no usaban alguna de estas redes. La UTADDEO habilita una cuenta de correo en el dominio @UTADDEO.edu.co y matricula en el aula virtual en Moodle a cada uno de sus estudiantes.

### 8.3.3. Procedimiento.

La captura de la información se realizó en dos consultas aplicadas en los horarios de clase entregando una hoja a cada estudiante. Entre las dos consultas transcurrieron doce semanas en las que se desarrollaron las actividades académicas propias del curso. La introducción para el diligenciamiento de cada consulta fue orientada a explicar el estudio, los propósitos del proyecto de investigación, así como el tratamiento de la información suministrada.

Como partida, para cada una de las relaciones  $r_k$  de la Tabla 10, con ayuda de Gephi, los estudiantes  $E_i$  fueron representados por puntos dispuestos arbitrariamente en el plano. Posteriormente, se trazaron flechas entre ellos para mostrar que el estudiante  $i$  manifestaba tener comunicación por cada mecanismo con el estudiante  $j$ ; en caso contrario, no se trazaba tal flecha. Cada uno de los 96 sociogramas se rotuló con  $G_{ktp}$  donde los subíndices identificaban:  $k = 1, 2, \dots, 6$  la relación que representaba,  $t = 1, 2$  la consulta y  $p = 1, 2, \dots, 8$  el grupo.

Una sociomatrix es una *matriz de adyacencia* que representa un sociograma y que satisface las dos condiciones siguientes: 1) Ningún vértice está conectado consigo mismo y 2) Hay a lo más una arista dirigida que conecta un vértice con otro (Grossman, 1988, pág. 126), (Ore, 1962, págs. 18-19). De modo que,

$$A_{ktp} = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{cases} 1, & \text{si } E_i \text{ se comunica con el estudiante } E_j \text{ por ese medio} \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (4)$$

donde los subíndices  $k, t, p$  son los estipulados para los sociogramas.  $a_{ii} = 0$  puesto que un estudiante no tiene acceso a sí mismo por ninguno de los medios de comunicación elegidos, es decir, los sociogramas no tienen loops o rulos. Si bien la sociomatrix y el sociograma correspondiente son indistinguibles, el trabajo algebraico se hizo con la sociomatrix.

La primera definición aplicada corresponde al *grado de emisión o semigrado externo* de cada estudiante  $E_i$ ,  $d^+(E_i) = \sum_{j=1}^n a_{ij}$ , cuya interpretación en el sociograma corresponde al número de aristas dirigidas que parten de  $E_i$  y que en el presente caso de estudio es el grado de expansividad sociométrica de  $E_i$  (Flament, 1972, págs. 30-31), que debe ser entendido como el número de estudiantes con los que  $E_i$  ha tenido contacto en la forma que prevé la relación  $r_k$ .

La segunda definición es la de *grado de recepción o semigrado interno* de cada estudiante  $E_j$ ,  $d^-(E_j) = \sum_{i=1}^n a_{ij}$ , que en el sociograma es el número de aristas dirigidas que inciden en  $E_j$ , aquí es el status sociométrico de  $E_j$  (Flament, 1972, págs. 30-31), y se interpreta como la popularidad de  $E_j$ , es decir, el número de estudiantes que pueden contactar a  $E_j$ .

Con estas dos definiciones se incluyeron 24 variables para cada estudiante, es decir, un grado de expansividad sociométrica y un grado de popularidad para cada una de las 6 relaciones (actividades académicas extra-clase, correo electrónico, celular, WhatsApp, Twitter y Facebook) en cada consulta (fueron dos consultas). Ya que se encontraron muchas respuestas iguales a 0, se crearon sendas variables que totalizaron los grados de expansividad y popularidad por consulta. Estas variables se añadieron a la información básica del estudiante: identificación, programa, facultad, fecha de nacimiento, estado civil,

sexo, año de ingreso y créditos inscritos en 2014III e información académica de diferentes asignaturas en el mismo periodo. Con esta base se abrió la ruta de análisis desde la estadística.

Para caracterizar la muestra y buscar las relaciones entre las variables de contexto, los resultados académicos y las variables de expansividad y popularidad se consideraron las reglas del árbol de decisión tomando como variable de interés la aprobación o reprobación del curso de Álgebra Lineal.

Continuando en la ruta de la teoría de grafos, el análisis se extendió al estudio de las *trayectorias o cadenas* entre un estudiante y otro, siendo estas las rutas entre un vértice y otro (Grossman, 1988, pág. 127). Esto es relevante porque si un estudiante deja de asistir a clase, deja de consultar las aulas virtuales y en ocasiones su correo y podría contactarse a través de sus compañeros de clase, es decir, usando intermediarios. Las relaciones  $r_k$  no son necesariamente simétricas ni transitivas.

Para identificar los intermediarios en las cadenas se aplicó el teorema de Festinger: si  $A$  es una sociomatrix y  $A^r$  es la  $r$ -ésima potencia de  $A$ , entonces la componente  $ij$  de  $A^r$  representa el número de formas en que  $E_i$  tiene comunicación con  $E_j$ , en  $r$ -cadenas (Festinger, 1949, pág. 155). Para cada sociomatrix  $A$  se calculó únicamente  $A^2$ . Una 2-cadena indicaría que un estudiante le envía un mensaje a otro a través de un compañero. No se consideró relevante calcular potencias de otros grados ya que el contacto puede diluirse.

Para conocer subconjuntos de estudiantes que pudieran comunicarse recíprocamente se usaron los clanes ya que todo estudiante que pertenezca a uno puede seleccionar a cualquiera de los demás (Flament, 1972, pág. 46). En un sociograma, un *clan*<sup>16</sup> es un subconjunto  $C$  de vértices que satisface las tres condiciones siguientes: 1)  $C$  reúne tres o más vértices; 2) Si  $E_i$  y  $E_j$  pertenecen a  $C$ , existe un arco dirigido tanto de  $E_i$  a  $E_j$  como de  $E_j$  a  $E_i$ ; 3)  $C$  es un subconjunto maximal respecto a la segunda condición (Kolman & Hill, 2013, pág. 108). En el teorema descrito por Kolman & Hill, a cada sociomatrix se le asoció una matriz  $S$  así:

$$S = (s_{ij})_{n \times n} = \begin{cases} s_{ij} = s_{ji} = 1, & \text{si } a_{ij} = a_{ji} = 1 \\ s_{ij} = s_{ji} = 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (5)$$

A cada matriz  $S$ , se calculó  $S^3$  pues si la entrada  $s_{ii}^{(3)} > 0$  el estudiante  $E_i$  pertenece a un clan (Kolman & Hill, 2013, pág. 109).

Adicionalmente, la noción de conexidad de un grafo rastrea la cohesión de cada grupo haciendo referencia a la densidad de la relación de los estudiantes que lo integran (Flament, 1972, pág. 42). Un sociograma con  $n$  vértices es *fuertemente conexo* si y sólo si su sociomatrix  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  satisface que  $\sum_{i=1}^{n-1} A^i$  no tiene entradas nulas (Kolman & Hill, 2013, pág. 132). También se calcularon las componentes conexas que son subgrafos que

<sup>16</sup> A veces se refieren a los clanes como cliques o camarillas.

como conjuntos maximales son fuertemente conexos. Se identificaron *hubs* y autoridades ya que suprimir algunos vértices puede aumentar o disminuir la conectividad de un grafo (Flament, 1972, pág. 49). La cohesión de un grupo en gran medida se da, debido al reconocimiento en los demás, por cada miembro del grupo de un objetivo común (Chandessais, 1957, pág. 8).

Las siguientes estadísticas sumarias y algoritmos fueron ejecutados para describir, comparar y configurar de forma pormenorizada cada sociograma.

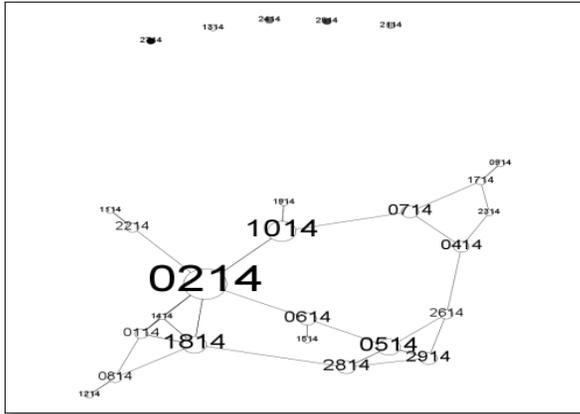
- Force Atlas: este algoritmo sin condición de parada se usa para representar el sociograma, analiza cada vértice ubicándolo dónde sea oportuno hasta que se detenga su ejecución (Jiménez, 2014, pág. 10).
- Longitud media de camino: es el promedio de la distancia entre dos vértices cualquiera (Acemoglu & Ozdaglar, 2009, pág. 14)). Provee información sobre la cercanía de los estudiantes.
- Centralidad de intermediación (*Betweenness centrality*): esta medida captura la importancia de la posición de un vértice en el grafo (Acemoglu & Ozdaglar, 2009, pág. 17) basándose en el número de caminos más cortos que pasan a través de dicho vértice. Los estudiantes con alta intermediación conectaron a los diferentes grupos.
- Modularidad: con el Método de Louvain se identificaron las comunidades (Blondel, Guillaume, & Lambiotte, 2008) así como el porcentaje de estudiantes que las integran.
- Clustering: Midió la transitividad del sociograma, también el grado en que los amigos de un estudiante eran amigos entre sí (Acemoglu & Ozdaglar, 2009, pág. 15), (Jiménez, 2014, pág. 11).
- Densidad: Midió qué tan cerca está el sociograma de ser completo. Un grafo completo tiene todas las aristas posibles y densidad igual a 1 (Flament, 1972, pág. 98).

## 8.4. Resultados del procesamiento.

### 8.4.1. En la ruta de la teoría de grafos.

Cada uno de los sociogramas se representó para comparar la apariencia de los mismos en las consultas; se ejecutaron los algoritmos mencionados mejorando la visualización. La Figura 12 muestra los sociogramas  $G_{214}$  y  $G_{224}$  de la comunicación por celular, en el grupo 4, en las dos consultas. Aquí se puede apreciar la evolución de la comunicación: en  $G_{214}$  se encontraron 26 vértices con 42 aristas; la densidad para este sociograma es 0,065; también se identificaron 9 comunidades. Para  $G_{224}$  se identificaron 19 vértices con 68 aristas con densidad 0,199; dicho sociograma tiene 4 comunidades (un número menor es mejor porque refleja mayor cohesión entre los estudiantes). Se observa la reducción del número de comunidades y del número de estudiantes, pero la interacción entre los restantes aumentó. En  $G_{214}$ , se muestran 5 estudiantes solos, tres de ellos no participaron en la consulta 2 y dos finalmente se integraron al grupo. En  $G_{224}$ , hay un estudiante solo, participó en las dos consultas, pero en la primera tenía un solo contacto y en la segunda ya no lo citó.

Figura 12. Sociogramas  $G_{214}$  (izquierda) y  $G_{224}$  (derecha).



Fuente: Elaboración propia.

Continuando con el análisis particular, se calcularon individualmente los grados de expansividad sociométrica y de popularidad. A manera de ilustración se tiene que  $d^+(E_{1611}) = 6$  y  $d^-(E_{1611}) = 8$ , calculados en la sociomatrix  $A_{521}$ . El estudiante 16 del grupo 1 manifestó comunicarse por WhatsApp con 6 compañeros de clase mientras que 8 lo contactaban por este medio. La diferencia puede deberse a que el estudiante no recuerda sus contactos. Aunque en general, las relaciones de comunicación no necesariamente son simétricas, en casos como estos las herramientas tecnológicas lo permiten.

En la consulta 1, 14 estudiantes estaban aislados en todas las relaciones porque todos sus grados de expansividad y popularidad fueron 0, no podían contactar a ningún compañero ni ser contactados. En la consulta 2, este número disminuyó a 3. Lo cual indica que la interacción entre los estudiantes se favoreció porque sólo 3 no establecieron contacto con nadie en las doce semanas que separaron las dos consultas. Un estudiante estuvo aislado en las dos consultas, esto puede presentarse en ocasiones porque inscriben materias en horarios en los que habitualmente no lo hacen.

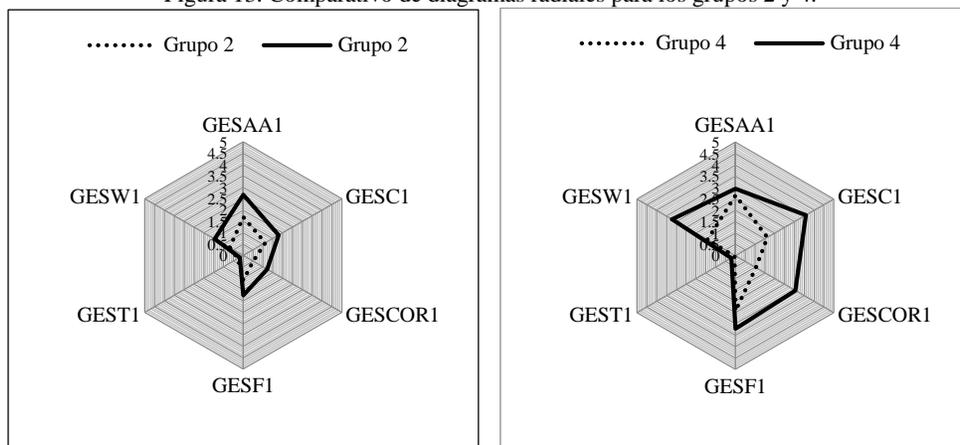
De forma general en el análisis por grupos, se resumen los hallazgos con las estadísticas sumarias de los sociogramas:

- En las dos consultas, las actividades académicas extraclase son las que en promedio permiten mayor contacto interno y externo entre los estudiantes. Estas actividades giran en torno a trabajos para entregar en grupos y reuniones para estudiar para los exámenes parciales o finales. Presentan la mayor densidad promedio por ello hubo mayor interacción presencial entre los estudiantes que los demás medios. Además, el número de comunidades fue el menor en las dos consultas, implicando que había porcentajes grandes de estudiantes que las conformaban. Es de anotar que los estudiantes pueden concurrir al mismo salón de clase o a la misma conferencia y no interactuar con nadie.
- Las seis relaciones en la consulta 1 se pudieron ordenar de mayor a menor interacción así:  $r_1$  (Actividades académicas),  $r_4$  (Facebook),  $r_2$  (Celular),  $r_5$  (WhatsApp),  $r_3$  (Correo) y  $r_6$  (Twitter).
- En la consulta 2, las seis relaciones quedaron ordenadas de mayor a menor interacción así:  $r_1$  (Actividades académicas),  $r_5$  (WhatsApp),  $r_2$  (Celular),  $r_3$  (Correo),  $r_4$  (Facebook) y  $r_6$  (Twitter).

➤ En las dos consultas se observó que la relación que representa a Twitter muy baja. En la consulta 1, los grupos 5 y 8 manifestaron interacción nula, y en la consulta 2, fueron los grupos 3 y 8, bien sea porque algunos estudiantes no lo usaban o quienes tienen perfil, no lo consideran para comunicarse con sus compañeros. Entre consultas se disminuyó la baja densidad que ya existía para los grupos 2, 3 y 6.

➤ El grupo 2 tuvo el mayor porcentaje de aprobación y el grupo 4 la menor aprobación; sin embargo, los diagramas radiales para los promedios de los grados de expansividad sociométrica y popularidad para las dos consultas del grupo 2 resultaron más contraídas que para el grupo 4. En la Figura 13 se aprecian los diagramas radiales para los promedios de los grados de expansividad en las dos consultas, para los dos grupos. Para el caso de estudio, el hecho de tener mayores promedios en las variables definidas para estimar la integración social con pares no implica mejor desempeño académico.

Figura 13. Comparativo de diagramas radiales para los grupos 2 y 4.



Fuente: Elaboración propia.

Al calcular las 2-cadenas se detectó cómo contactar a un estudiante usando intermediarios. La Tabla 11 presenta  $A_{224}^2$  que tiene una entrada encuadrada lo que dice que  $E_{0214}$  podía contactar a  $E_{0614}$  mediante dos compañeros diferentes.

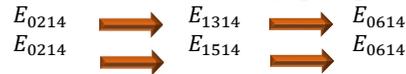
	0114	0214	0314	0514	0614	0714	0814	0914	1014	1114	1214	1314	1414	1514	1814	2414	2614	2714	2814
0114	4	2	0	1	0	0	1	0	1	0	3	1	2	1	3	0	1	1	1
0214	3	4	2	4	<b>2</b>	1	3	1	0	0	1	0	2	0	3	2	0	2	2
0314	0	1	2	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1
0514	2	3	2	7	1	1	2	1	0	0	2	0	1	1	2	3	2	2	2
0614	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1
0714	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0814	1	3	0	1	0	0	3	0	0	0	2	0	2	0	2	1	1	1	1
0914	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1
1014	1	0	0	1	1	0	0	1	3	0	2	2	1	1	3	0	4	2	1
1114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1214	2	2	0	1	0	0	1	0	0	0	3	0	1	0	1	1	1	1	1
1314	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	2	0	1	1	1
1414	2	2	0	1	0	0	2	0	1	0	2	1	3	1	2	0	1	0	1
1514	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1814	3	2	0	1	1	0	2	1	2	0	3	2	2	1	7	0	3	3	1
2414	1	2	1	2	0	0	1	0	0	0	2	0	1	0	0	2	1	1	2
2614	0	1	0	1	1	0	0	1	2	0	2	1	0	0	3	1	5	2	1
2714	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	3	1	2	3	1
2814	1	1	1	2	1	0	1	1	1	0	2	1	1	0	1	1	1	2	3

Tabla 11. Segunda potencia de la matriz de adyacencia  $A_{224}$ .

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 14 precisa los intermediarios que pueden transmitir información desde  $E_{0214}$  hacia  $E_{0614}$ .

Figura 14. Dos 2- cadenas entre dos estudiantes del grupo 4, para la consulta 2 para celular.

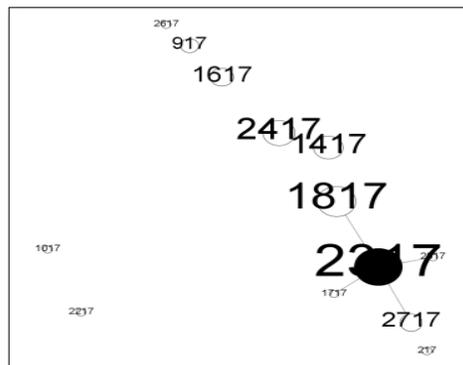


Fuente: Elaboración propia.

En los grupos se ve un aumento en el número de 2-cadenas entre la consulta 1 y 2, solo el grupo 3 en correo y en Twitter presenta disminuciones.

Se encontraron más clanes en la comunicación por Facebook que en las otras relaciones. En Twitter no se presenta ninguno, en las dos consultas. Aún en la segunda consulta hubo grupos con comunicación escasa. La Figura 15 muestra el sociograma  $G_{327}$  de la comunicación por correo, en la consulta 2 para el grupo 7.

Figura 15. Sociograma  $G_{327}$ .



Fuente: Elaboración propia.

Ninguna de las relaciones, en ninguna de las consultas resultó fuertemente conexas, lo que implica que un estudiante no puede comunicarse con cualquier otro de su curso.

#### 8.4.2. En la ruta estadística.

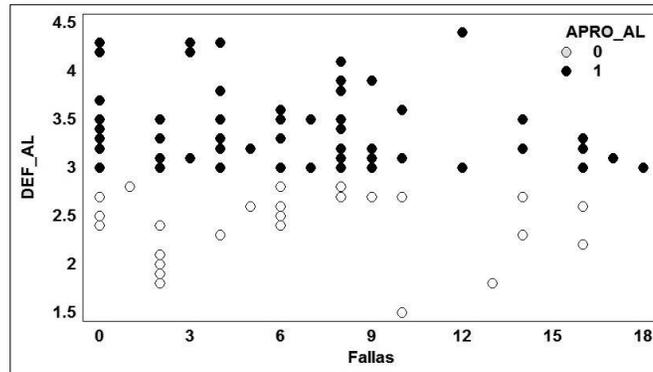
Considerando las variables de contexto usuales, se realizó un análisis de varianza concluyendo que no existe diferencia significativa entre: las calificaciones promedio obtenidas por los estudiantes con respecto a los 8 grupos en los que se encontraban matriculados; en las calificaciones promedio entre los dos sexos; en las calificaciones promedio entre quienes provienen de Bogotá o no; en las edades promedio entre quienes aprobaron y reprobaron el curso de Álgebra Lineal.

Una prueba t para muestras independientes comparó los promedios de los créditos inscritos entre quienes aprobaron y reprobaron. Dio como resultado un valor  $p$  de 0,548, implicando que no existe diferencia significativa en el número promedio de créditos inscritos entre quienes aprueban o no el curso.

A través de una prueba de comparación múltiple se observaron diferencias significativas en los promedios de las calificaciones entre quienes ingresaron en 2014 y quienes lo hicieron en los años 2010 y 2011.

El coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las fallas y la nota definitiva en el curso tuvo un valor de  $r = -0,092$  de donde la asociación lineal entre estas dos variables es muy débil (ver Figura 16).

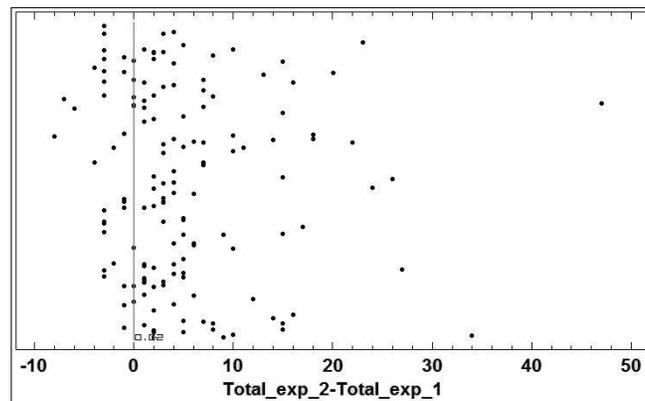
Figura 16. Dispersión entre fallas y calificación definitiva. 0=No aprobado, 1=Aprobado.



Fuente: Elaboración propia.

Para comparar el total en las variables de expansividad entre las consultas 1 y 2 se hizo una prueba t sobre las diferencias de los totales en las consultas 2 y 1, dando como resultado un valor  $p$  de 0,000, es decir, existe un aumento significativo entre los totales de las variables de expansividad reportados por los estudiantes que atendieron las consultas 1 y 2. La Figura 17 muestra las diferencias entre los totales de expansividad para la consulta 2 y la consulta 1. La línea vertical corresponde a cero, los estudiantes que están a la izquierda tuvieron una reducción en los totales, mientras que quienes están a la derecha presentan un aumento en tales variables.

Figura 17. Diferencias entre los totales de expansividad para la consulta 2 y la consulta 1.



Fuente: Elaboración propia.

Una prueba t sobre las diferencias de los totales en las consultas 2 y 1, para comparar el total en las variables de popularidad dio un valor  $p$  de 0,000 implicando que existe un aumento significativo entre los totales de las variables de popularidad reportados por los estudiantes las dos consultas.

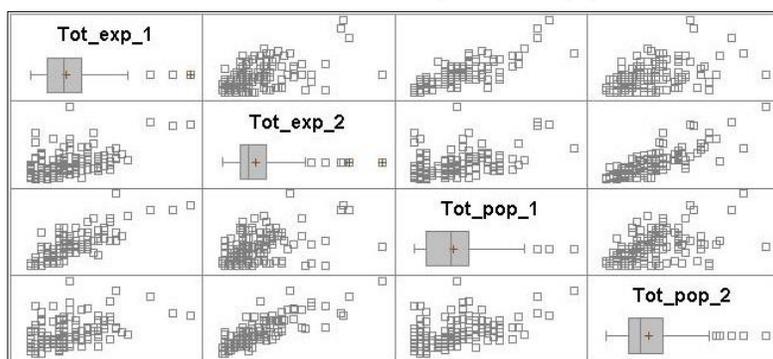
La Tabla 12 y la Figura 18 muestran que la expansividad y la popularidad se encuentran altamente correlacionadas (0,825 y 0,809) en las consultas 1 y 2; pero estas correlaciones se hacen débiles entre las dos consultas, pudiendo interpretarse como la disminución de la población o a las diferencias entre las respuestas iniciales y finales. Por ejemplo, estudiantes con una alta expansividad en la consulta 1 tienden a tener una alta popularidad en la consulta 1 pero no necesariamente una alta popularidad en la consulta 2.

		Total expansividad		Total popularidad	
		Consulta 1	Consulta 2	Consulta 1	Consulta 2
Total expansividad	Consulta 1	1	0,503	0,825	0,440
	Consulta 2	0,503	1	0,443	0,809
Total popularidad	Consulta 1	0,825	0,443	1	0,470
	Consulta 2	0,440	0,809	0,470	1

Tabla 12. Correlaciones entre las variables de expansividad y popularidad.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Correlaciones entre expansividad y popularidad.



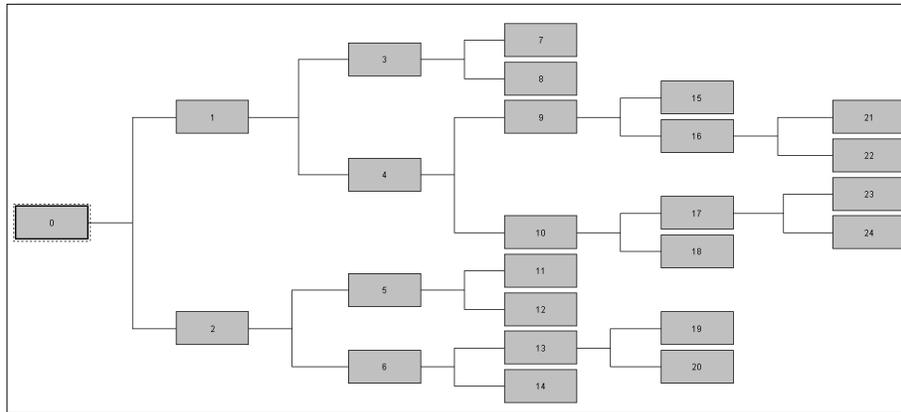
Fuente: Elaboración propia.

Al comparar a quienes aumentaron la popularidad de la consulta 1 a la consulta 2 con quienes no, se observa que no hay diferencias significativas en las calificaciones promedio; los promedios y desviaciones son casi idénticos y el análisis de varianza ofrece un valor  $p$  de 0,418.

El anterior fenómeno relatado como «los estudiantes que avanzaron en popularidad no necesariamente tienen mejores calificaciones promedio», puede explicarse posiblemente porque un estudiante destacado puede serlo por atributos que no son académicos sino de orden social que en últimas no impactan en su desempeño en el curso. Exactamente lo mismo aplica para las variables de expansividad sociométrica.

Para un análisis más detallado de la relación entre más variables, se creó un árbol de decisión con 24 nodos utilizando el algoritmo C&R, el cual particiona la muestra de entrenamiento recursivamente, minimizando la impureza en cada paso (índice de Gini) (Tan, Steinbach, & Kumar, 2006, pp. 158-160). La variable de interés es la aprobación de Álgebra Lineal. La Figura 19 es el esquema general del árbol de decisión con 24 nodos.

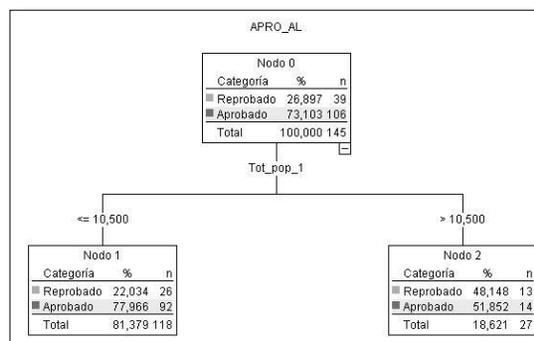
Figura 19. Árbol de decisión para la variable de interés: aprobación en Álgebra Lineal.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 20 describe los nodos 0, 1 y 2, en este se destaca que el nodo 0 o raíz revela que, en la muestra de 145 estudiantes, 106 aprobaron (73,103%) y 39 reprobaron (26,897%). De este nodo se desprende la variable Total popularidad en la consulta 1, es decir, esta es la variable que menor índice de Gini produce con respecto a la variable de interés. El resultado divide el grupo de estudiantes entre quienes tienen Total de popularidad en la consulta 1 igual o menor a 10,5 (nodo 1) y quienes tienen un total en popularidad en el momento 1 mayor a 10,5 (nodo 2). Se resalta que el porcentaje de aprobación de los que tienen un total de popularidad menor o igual a 10,5 es de 77,966 mientras que quienes tienen este total mayor a 10,5 se reparten casi por igual entre quienes aprobaron y reprobaron el curso.

Figura 20. Nodos 0, 1 y 2 del árbol de decisión.

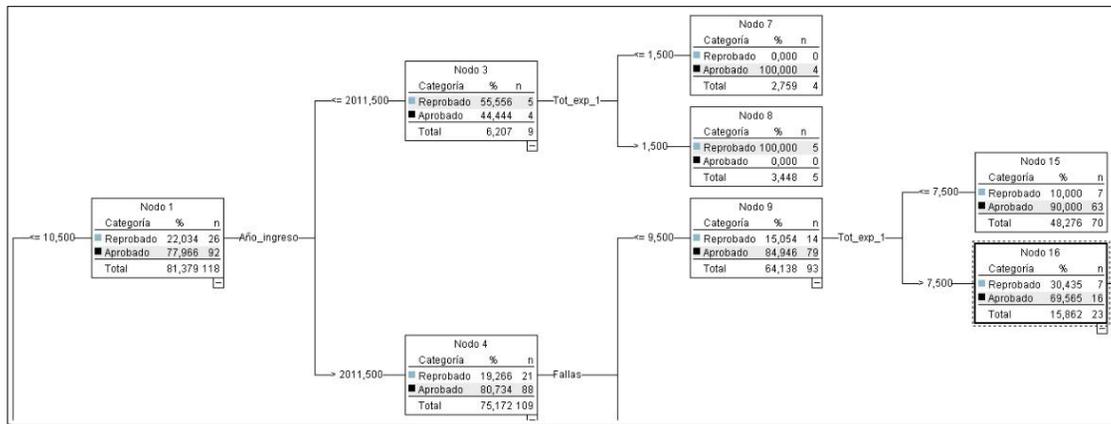


Fuente: Elaboración propia.

La Figura 21 contiene los nodos 1, 3, 4, 7, 8, 9, 15, 16. El nodo 1 se abre en el nodo 3, que corresponde a quienes ingresaron en 2011, y el nodo 4, quienes ingresan en 2012 o después. Es evidente el alto porcentaje de aprobación en el nodo 4 (80,734) mientras que quienes ingresaron en 2011 o antes tan solo logran una aprobación del 44,444%. En el nodo 3 hay 9 estudiantes que se dividen en quienes tuvieron un total de expansividad en el primer

momento de 0 o 1, todos aprobados y los que tuvieron un total de expansividad en el primer momento de 2 o más que fueron reprobados. Esto sugiere que un aumento en la expansividad sociométrica va en contravía de la aprobación del curso.

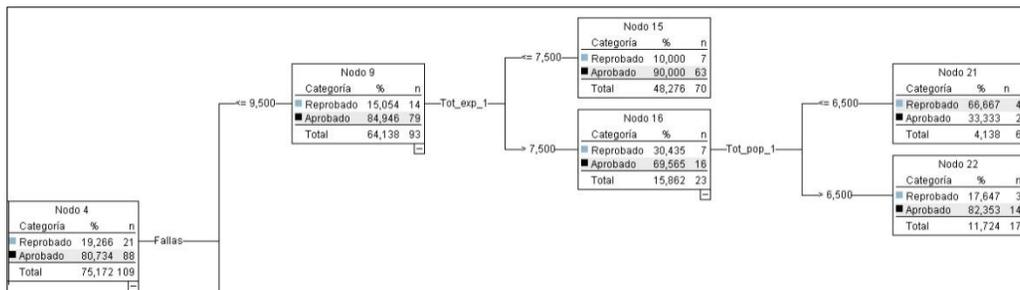
Figura 21. Nodos 1, 3, 4, 7, 8, 9, 15, 16.



Fuente: Elaboración propia.

La separación hacia los nodos 4, 9, 15, 16, 21, 22 está en la Figura 22. Se deduce que el nodo 4 contiene a quienes ingresaron desde 2012 y elige la variable número de fallas como la que minimiza el índice de Gini. Si las fallas son menores o iguales a 9, la aprobación es del 84,946%, lo cual reside en el nodo 9; si es superior o igual a 10 es de tan solo 56,25% y se ubican en el nodo 10. Los estudiantes que tienen unas fallas menores o iguales a 9 y una expansividad total en la consulta 1 menores o iguales a 7 tienen una aprobación del 90% y constituyen el nodo 15, su contraparte tiene una aprobación del 69,565% y están en el nodo 16, pero aquí se cuenta con una muestra de apenas 23 estudiantes.

Figura 22. Nodos 4, 9, 15, 16, 21, 22.

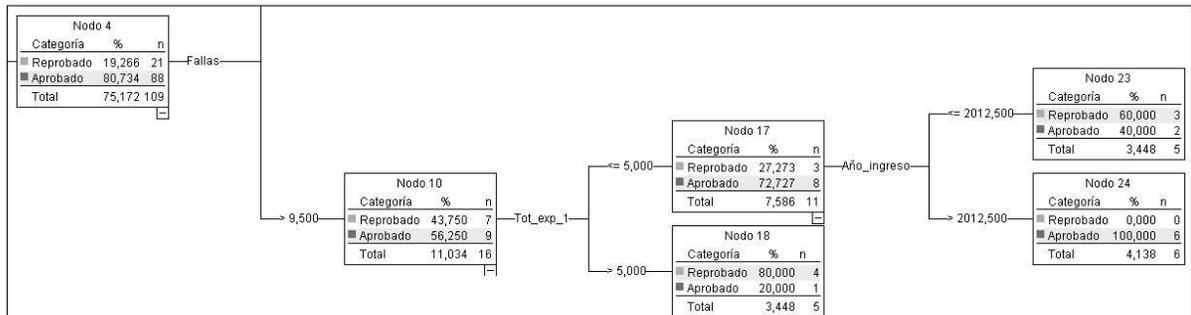


Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, los nodos 4, 10, 17, 18, 23, 24 aparecen en la Figura 23. El nodo 4 proviene de estudiantes que tienen un total de popularidad en la consulta 1 menor o igual a 10 y un año de ingreso de 2012 o posterior; entre ellos quienes tienen 10 o más fallas logran una aprobación de apenas el 56,25% y están en el nodo 10, es así como el aumento en la expansividad en la consulta 1 actúa en su contra. Si la expansividad en la consulta 1 es inferior o igual a 5, la aprobación es de 72,727% (nodo 17). Ahora si dicha expansividad es

superior a 5, la aprobación es solo del 20%. De igual manera que en el caso anterior, las muestras son muy pequeñas.

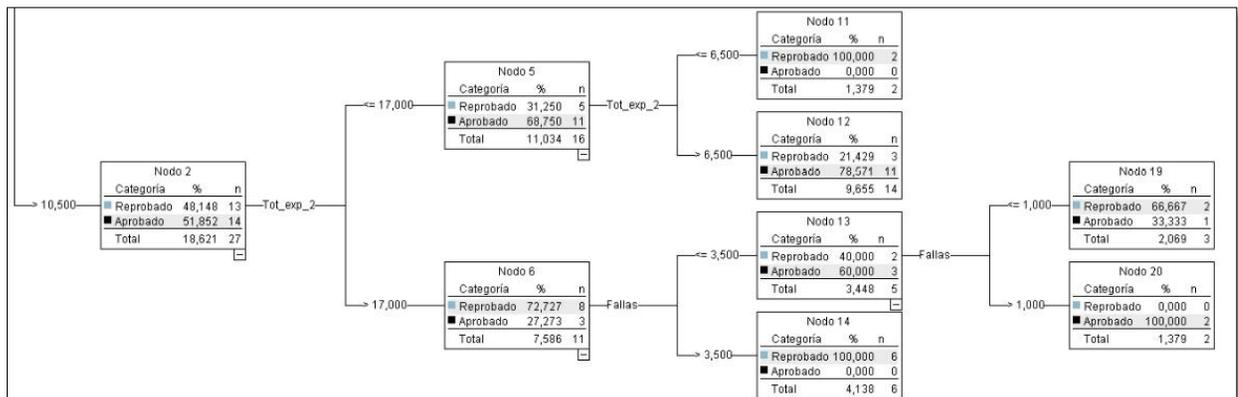
Figura 23. Nodos 4, 10, 17, 18, 23, 24.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, los nodos 2, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 19, 20 están representados en la Figura 24. El nodo 2 proviene de los estudiantes cuyo total de popularidad en la consulta 1 era 11 o más. La variable que reduce el índice de Gini para este grupo de estudiantes es el total de expansividad en la consulta 2, el cual vuelve a estar en su contra: si el total es de hasta 17 la aprobación es del 68,75% y residen en el nodo 5 y si es superior a 27,273% van al nodo 6. Las fallas de nuevo tienen un efecto desfavorable, aunque las muestras son muy pocas como para generalizar las conclusiones.

Figura 24. Nodos 2, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 19, 20.



Fuente: Elaboración propia.

Si se utiliza la base completa de 145 estudiantes para pronosticar la variable aprobación, el árbol produce una correcta clasificación de los estudiantes del 87%. La jerarquía de las variables más influyentes en la aprobación del curso de Álgebra Lineal se muestra en la Tabla 13. La importancia de cada variable es un rango que representa tanto la elección temprana en el modelo, así como la frecuencia de aparición de la variable dentro del árbol de decisión. Una variable es más importante en tanto que mejor discrimine la aprobación del estudiante y más veces sea requerida en la totalidad de los nodos del árbol de decisión.

	<b>Variable</b>	<b>Etiqueta</b>
<b>1</b>	Grado de expansividad sociométrica Facebook 1	GESF1
<b>2</b>	Grado de popularidad celular 1	GPC1
<b>3</b>	Fallas	Fallas
<b>4</b>	Grado de expansividad sociométrica celular 1	GESC1
<b>5</b>	Créditos inscritos	Créditos inscritos
<b>6</b>	Grado de expansividad sociométrica Twitter 2	GEST2
<b>7</b>	Grado de expansividad sociométrica Actividades académicas 1	GESAA1
<b>8</b>	Grado de popularidad Facebook 1	GPF1
<b>9</b>	Grado de popularidad Whatsapp 2	GPW2

Tabla 13. Importancia de las variables en el árbol de decisión.

Fuente: Elaboración propia.

Para que el uso de redes de comunicación tenga impacto positivo sobre la integración social y académica debe potenciarse orientando institucionalmente dicha comunicación hacia lo académico pues de forma orgánica (espontánea) no tiene el resultado esperado. La modelación reveló que el uso es bajo y que repercute de forma negativa en el desempeño académico.

En las dos consultas, las actividades académicas extra-clase permitieron mayor contacto interno y externo entre los estudiantes. En la primera consulta se encontraba Facebook como la segunda relación de comunicación que permitía mayor contacto, pero en la segunda consulta fue WhatsApp la que ocupó el segundo puesto. Es posible que este cambio se deba a que en la segunda semana la comunicación era más distante que en la decimocuarta semana con lo que al estrecharse los vínculos entre los estudiantes, la mensajería instantánea resultó un medio sincrónico potente frente a lo que podría representar la red social.

Para seleccionar la o las redes a combinar con la plataforma Moodle que se usa en la UTADCO, debe considerarse que Twitter está prácticamente ausente en el panorama posible de los estudiantes participantes. Las demás redes incluidas en el estudio requieren una reflexión sobre la capacitación de los estudiantes en términos del uso y potencialidades con fines académicos de forma que facilite su implementación, el direccionamiento y acompañamiento que apalanque los desarrollos curriculares y que también refleje de forma positiva en el ámbito de cohesión de grupo.

Los estudiantes consultados no consideran el correo institucional como una posibilidad de comunicación, dado que no lo mencionan en el conteo y por tanto no se observa en las sociomatrices asociadas. En las instrucciones para diligenciar los instrumentos de las consultas se hizo alusión al correo electrónico en general como medio de comunicación. No obstante, se esperaba que al menos se mencionara el correo institucional porque mediante las aulas virtuales AVATA están disponibles los de todos los participantes en los cursos (profesores, estudiantes y monitores). Por esto mismo sorprendió que la relación de comunicación por correo electrónico no fuera fuertemente conexas.

No hay asociación lineal entre el número de fallas y la calificación definitiva en el curso. Tampoco hay efectos del número de créditos inscritos entre quienes aprueban o no. Cuanto más tiempo llevan los estudiantes en la UTADCO su calificación final de Álgebra Lineal

tiende a disminuir. Se presentaron diferencias significativas en los promedios de quienes ingresaron a la UTADEO en 2010 y 2011 con los que ingresaron en 2014.

Aunque los clanes se presentan como oportunidades para transmitir información institucional y/o académica, la comunicación recíproca entre tres o más personas es escasa, por cualquiera de los medios estudiados. Si el estudiante está aislado de sus pares o vinculado únicamente con un colega, en caso de no asistir a clase, por ejemplo, difícilmente puede enterarse de las labores asignadas o del trabajo realizado así este se encuentre planeado en documentos virtuales o impresos. Al finalizar la asignatura sí ocurrió un aumento en los totales de expansividad en las 6 relaciones.

Con base en lo encontrado se sugerirá la formulación de un plan para fomentar las actividades académicas extra-clase grupales tales como la preparación de exámenes parciales y finales, la entrega de trabajos seleccionados en que los estudiantes deban aportar sus capacidades individuales y la participación en semilleros de investigación. Por otra parte, el plan puede contener propuestas pedagógicas que impliquen el uso de WhatsApp y Facebook como herramientas de comunicación que se integren a las Aulas Virtuales AVATA. Este plan debe llevar explícito el seguimiento a las variables definidas en el presente estudio y su relación con la retención estudiantil.

El conjunto de reglas de decisión encontradas puede ser usado siempre en las mismas condiciones de las dos consultas: una línea de base y una línea final; sin embargo, para facilitar su uso práctico y su reproducibilidad, se proyecta elaborar un árbol usando una sola consulta.

En este tercer capítulo se trabajó en la estimación del nivel de integración social y por esto debía dedicarse un capítulo aparte a refinar las inferencias sobre el nivel de logro académico de los estudiantes. Estas inferencias generalmente tienen carácter decisorio: si el estudiante aprueba o no una evaluación, si el estudiante es promovido a la siguiente asignatura o si pasa de ser aspirante a ser estudiante. Todo esto confirmó la necesidad de trabajar en la modelación conducente al fortalecimiento de los sistemas de evaluación que atañen directamente a la integración académica.

Ante este desafío se consideró que la mejor forma de proceder era mediante la combinación de técnicas, por esto en el siguiente capítulo se compaginaron teorías provenientes del Álgebra y la Psicometría. Con la experiencia anterior<sup>17</sup> en el trabajo con TRI se pensó en su combinación con la Teoría de Grafos para la modelar hacia la evaluación integral de los estudiantes en el propio interés institucional y como lo requieren las políticas públicas.

---

<sup>17</sup> Este escrito tiene como antecedentes: 1) Mi trabajo como investigadora en modelación matemática para la calidad de la evaluación y en el abandono escolar; 2) Como integrante del grupo de investigación *Fundamentos y Didáctica de las Ciencias* donde he liderado equipos de trabajo en estas mismas líneas de investigación.

## 9. CAPÍTULO 4: MODELACIÓN CON TEORÍA DE GRAFOS PARA LA UNIDIMENSIONALIDAD DE UN INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN.

Como se mencionó en el capítulo, en Colombia, el CNA conforme a las políticas de ley y las definidas por CESU ha formulado los *Lineamientos para la Acreditación de programas de pregrado*, allí se presenta una característica de alta calidad destinada al sistema de evaluación de los estudiantes inmersa en un factor sobre Procesos Académicos. El CNA resalta que dicho sistema de evaluación «debe permitir la identificación de las competencias, especialmente las actitudes, los conocimientos, las capacidades y las habilidades adquiridas de acuerdo con el plan curricular y debe ser aplicado teniendo en cuenta la naturaleza de las características de cada actividad académica» (Ramírez, y otros, 2013, pág. 33). Con lo cual, las políticas públicas enfrentan a los programas académicos y a las IES a la evaluación integral del desempeño de un estudiante. Esta evaluación integral está estrechamente relacionada con la integración académica de un estudiante, la cual es entendida como el cumplimiento de los estándares, reglamentos y normatividad de la IES y que según el Modelo de Tinto influye en la toma de la decisión de desertar de la educación superior (ver Figura 8).

Por otro lado, si se reconocen al menos dos de los desafíos para Colombia planteados por Bogoya (Bogoya D. , 2006) referidos al sistema de evaluación educativa tales como: 1) tener información robusta, confiable y oportuna en cada evaluación aplicada y 2) crear y pulir nuevas estrategias y modelos de evaluación (Bogoya D. , 2006, pág. N27), se presenta una oportunidad de combinación de diferentes teorías y técnicas para la estimación del nivel de logro académico en la educación superior. Estos análisis sistemáticos refinan las inferencias, garantizan la precisión de la evaluación y aseguran la certidumbre del diagnóstico, lo que permite planificar intervenciones eficaces (Muñiz, 2010, pág. 65).

La TRI, como teoría psicométrica ha sido aplicada en proyectos internacionales como PISA (OECD, 2009, págs. 22, 147), TIMSS (Olson, Martin, & Mullis, 2008, págs. 249,256) y SERCE (SERCE, 2010, págs. 225-230) y en proyectos colombianos como Saber Pro (ICFES, 2014).

Consecuentemente, en este capítulo se usó la Teoría de Grafos para el estudio del supuesto de unidimensionalidad de la TRI como en Tatsuoka (Tatsuoka M. , 1986) con el apoyo de herramientas informáticas especializadas que hacen expeditos los cálculos y la visualización permitiendo profundidad en el análisis y el tratamiento de datos como lo requiere un sistema de evaluación.

### 9.1. Teoría de Respuesta al Ítem.

El modelo de Rasch de la TRI estima la probabilidad  $p$  con la que un evaluado contesta correctamente un ítem. Para ítems de selección múltiple con una respuesta correcta,  $p$  es la función exponencial de la distancia entre el valor de la habilidad del estudiante y la

dificultad del ítem (Ecuación 6);  $\beta_v$  es la habilidad del evaluado  $v$  ( $v = 1, 2, \dots, n$ ) y  $\delta_i$  es la dificultad del ítem  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) (Wright & Stone, 1998, pág. 15).

$$p\{X_{vi} = 1|\beta_v, \delta_i\} = \frac{e^{\beta_v - \delta_i}}{1 + e^{\beta_v - \delta_i}}. \quad (6)$$

En la TRI, la dificultad de los ítems es una función de la probabilidad de marcar la respuesta correcta y de la habilidad de aprendizaje; definición que no incluye la apreciación sobre la cantidad de esfuerzo particular requerido para contestarlos (DeMars, 2010, pág. 4), (Wright & Stone, 1998, pág. 15).

El modelo de Rasch se caracteriza por: 1) las estimaciones de los parámetros de los ítems son independientes del grupo de evaluados que responden una prueba; 2) las estimaciones de las habilidades de los evaluados son independientes de los ítems particulares usados en una prueba, 3) se conocen con precisión las estimaciones de la habilidad y la dificultad (Hambleton, 1990, pág. 3), (Pardo, 2001, pág. 13). Lo anterior provee un conocimiento profundo y disgregado de los ítems, el instrumento y los evaluados.

Para aplicar el modelo de Rasch se requiere que los instrumentos de evaluación satisfagan los supuestos de: consistencia interna, independencia local y unidimensionalidad.

La consistencia interna mide la coherencia de los ítems de la prueba lo que significa que saber cómo se desempeña una persona en un ítem permite predecir cómo lo harán las demás (Ruiz, 2005, pág. 6); para estimar indicadores de la consistencia interna existen diferentes técnicas, una de ellas es calcular el coeficiente Alfa de Cronbach con el que se estima el límite inferior del coeficiente de confiabilidad (Linacre, 2008, págs. 235, 441).

La independencia local indica que la respuesta de un evaluado a un ítem no requiere que éste recurra a información de otros ítems para contestarlo correctamente (SERCE, 2010, pág. 226). Este supuesto se examina mediante coeficientes de correlación inter-ítem. El parámetro de correlación se emplea en dos perspectivas: entre las respuestas a dos ítems (correlación inter-ítem) y entre las de un ítem y el conjunto (correlación ítem-prueba) (SERCE, 2010, pág. 264).

El cumplimiento del supuesto de unidimensionalidad en el sentido de la homogeneidad de criterio implica que los ítems que conforman un instrumento deben contribuir conjuntamente a medir algo en común, es decir que solo un rasgo latente o constructo se encuentra en la base del conjunto de ítems. (Linacre, 2008, págs. 376-377). Este supuesto garantiza que para cada evaluado el modelo asigna un único valor de habilidad y cualquier otro factor que afecte la respuesta del ítem debe tratarse como un error aleatorio (DeMars, 2010, pág. 38). Se espera que los ítems estén encauzados a medir el nivel de conocimiento de un evaluado sobre los dominios conceptuales específicos y no otros factores como la motivación que tengan para tomar el examen, la ansiedad, la habilidad para trabajar rápidamente o la tendencia a conjeturar cuando duda de las repuestas (Hambleton, Swaminathan, & Rogers, 1991, pág. 9).

La unidimensionalidad en el sentido de la homogeneidad escalar se refiere a un método basado en patrones de respuesta que se aproximan al escalograma de Guttman en el que el puntaje total corresponde a las respuestas correctas a las  $n$  preguntas más fáciles y a nada más (Hattie, 1985, pág. 140). Es decir, el puntaje refleja que el evaluado contestó correctamente los ítems con una dificultad menor o igual a su habilidad. En otro caso, podría reflejar azar o alguna equivocación al marcar. Linacre enfatiza que la unidimensionalidad jamás es perfecta y que la verdadera pregunta está en si la multidimensionalidad es tan grande que requiere separar los ítems en diferentes tests, uno por cada dimensión (Linacre, 2008, pág. 382).

Otra definición estipula que un conjunto de ítems es unidimensional cuando es posible encontrar un vector de valores  $\Phi = \langle \phi_i \rangle$  tales que la probabilidad de contestar correctamente un ítem  $g$  es  $\pi_{ig} = f_g(\phi_i)$ ; la independencia local se tiene para cada valor de  $\Phi$  (Hattie, 1985, pág. 140). Para estimar la unidimensionalidad existen muchos métodos, en un estudio hecho por Hattie se comparan 87 de ellos (Hattie, 1984). La Figura 25 resume algunos con sus hipótesis y sus principales autores.

Figura 25. Descripción de los métodos empleados para estudiar la unidimensionalidad.



Fuente: Elaboración propia con base en (Hattie, 1985, págs. 140-142).

El método a través del análisis factorial busca que solo un factor predomine, es decir, que el instrumento mida una sola variable y no una mixtura. Tiene en cuenta la proporción de la varianza total explicada por las medidas y la explicada por el contraste con el primer factor extraído (Linacre, 2008, págs. 376-377). Un método basado en patrones de respuesta es el índice de consistencia de Cliff (ver Ecuación (9) que se encuentra en el apartado correspondiente al Cálculo del índice de consistencia de Cliff). La aplicación de los dos métodos mejoró el entendimiento del supuesto de unidimensionalidad y del efecto del orden que se imponga a los ítems y a los evaluados sobre su estimación.

Para profundizar en la unidimensionalidad de un instrumento de evaluación se consideró la Teoría de Grafos como modelación matemática apropiada para estudio de intangibles como

la interacción en redes sociales y económicas. En educación ha sido aplicada para jerarquizar conceptos y encontrar los prerrequisitos para elaborar planes de estudio y contenidos programáticos.

El análisis psicométrico del tipo tratado en este capítulo se usa en diversos campos. A manera de ilustración se mencionan Abraham & Brenca quienes lo aplican a la observación comunicativa en niños con patologías del habla (Abraham & Brenca, 2014) y Merino & Vilcherrez quienes estudian la deseabilidad social para niños para analizar la validez del reporte de las experiencias psicológicas de los niños puesto que algunas veces tratan de mostrar una imagen mejorada de ellos mismos para agradar a los demás (Merino & Vilcherrez, 2014).

## 9.2. Teoría de Grafos.

A continuación, se presentan algunas de las definiciones básicas adaptadas que permiten la aproximación desde la modelación matemática con los grafos. Un grafo  $G = (V, E)$  es una estructura matemática que consiste en dos conjuntos finitos  $V$  y  $E$ . Los elementos de  $V$  son llamados vértices (o nodos) y los elementos de  $E$  son llamados aristas. Un grafo dirigido es un grafo cuyas aristas son dirigidas (Gross & Yellen, 2006, págs. 2-4). Una matriz  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  asociada a un grafo es una matriz de adyacencia, si  $a_{ij}$  es el número de aristas que unen  $i$  con  $j$  (Bondy & Murty, 1976, pág. 7).

Para cada vértice se definen dos guarismos que posibilitan la clasificación de los vértices. El grado de salida o semigrado externo de un vértice  $v_i$ ,  $d^+(v_i) = \sum_{j=1}^n a_{ij}$  y es el número de aristas dirigidas que parten de  $v_i$ . El grado de entrada o semigrado interno de un vértice  $v_j$ ,  $d^-(v_j) = \sum_{i=1}^n a_{ij}$  es el número de aristas dirigidas que inciden en  $v_j$  (Flament, 1972, pág. 30)<sup>18</sup>.

Una cadena entre dos vértices es la ruta entre ellos. Una  $r$ -cadena está conformada por  $r$  aristas dirigidas que deben recorrerse para acceder de un vértice a otro (Grossman, 1988, pág. 127). Si  $A$  es una matriz de adyacencia y  $A^r$  es la  $r$ -ésima potencia de  $A$ , entonces la posición  $ij$  de  $A^r$  representa el número de formas en que  $v_i$  accede a  $v_j$ , en  $r$ -cadenas (Festinger, 1949, pág. 155).

Con las anteriores definiciones se inició el procesamiento de las cadenas de respuestas de la aplicación de junio de 2011 del Examen de Clasificación de Matemáticas Básicas. Particularmente, se estudiaron los grafos provenientes de las matrices de adyacencia correspondientes a las matrices de dominación tanto para ítems como para evaluados ordenados por números de respuestas correctas, por dificultad y por habilidad obtenidos con el Modelo de Rasch de la TRI, con lo que se revisó el desempeño de los ítems en conjunto y de los evaluados en conjunto.

## 9.3. Caso de estudio.

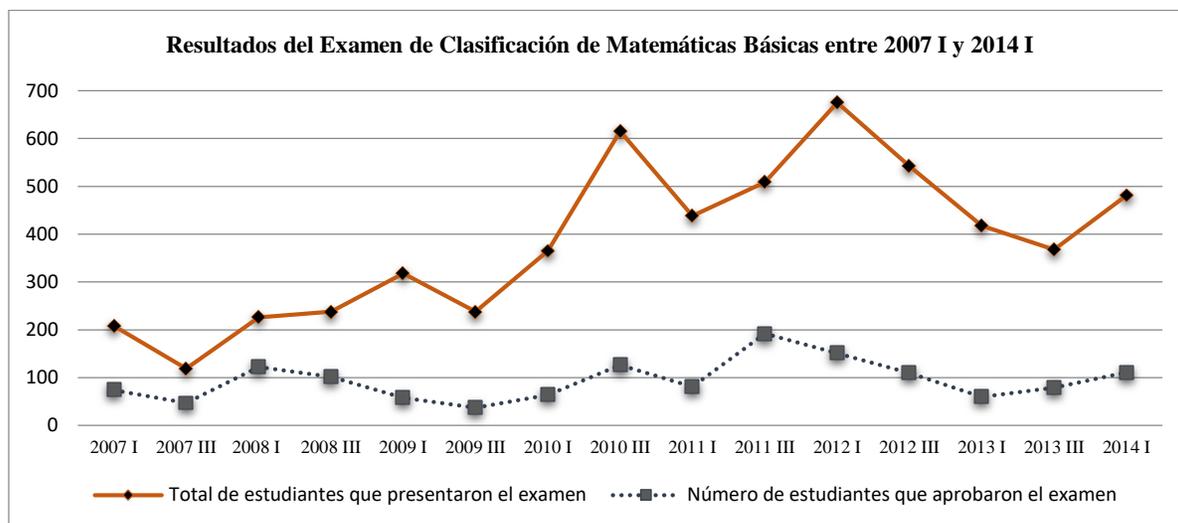
La UTADAO aplicó el Examen de Clasificación de Matemáticas Básicas entre el primer periodo académico de 2007 (2007 I) y el primero de 2014 (2014 I) a los aspirantes de los diferentes programas académicos que incluían este curso en su plan de estudios. Dicho examen era una evaluación diagnóstica que implicaba para el estudiante que no lo

---

<sup>18</sup> Estas definiciones ya se habían presentado en el capítulo anterior, pero se habían adaptado a las sociomatrices requeridas.

aprobaba, tomar un curso de 64 horas presenciales. El instrumento de evaluación se calibró mediante la TRI<sup>19</sup>. En la Figura 26 se muestran los resultados en los periodos de aplicación.

Figura 26. Resultados del Examen de Clasificación de Matemáticas Básicas.



Fuente: Elaboración propia.

## 9.4. Método.

### 9.4.1. Participantes.

En la aplicación de junio de 2011 del Examen de Clasificación hubo 509 evaluados cuyas cadenas de respuestas se incluyeron en la base del estudio. De los evaluados el 52,8% eran mujeres y el 46,8% eran hombres, el 0,4% faltante corresponde a dos evaluados que no ingresaron a la UTADEO. El 26,5% se matriculó en la Facultad de Ciencias económicas administrativas, el 45,6% en la Facultad de Ciencias Humanas, Artes y Diseño, el 26,1% en la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, el 0,6% a la Facultad de Relaciones Internacionales y Ciencias Jurídicas y Políticas; el 0,8% pertenecía al Convenio proyecto enlace colegio-universidad. Por otra parte, el 75% de los evaluados tenía entre 16 y 20 años, el 18,1% entre 21 y 25; la edad del 6,5% fluctuaba entre los 26 y los 40 años.

### 9.4.2. Instrumento de evaluación.

Para el Examen de Clasificación se elaboró un banco de ítems en torno a los dominios conceptuales correspondientes al curso de Matemáticas Básicas: números reales, expresiones algebraicas, factorización de expresiones polinómicas y ecuaciones de primero y segundo grado en una incógnita; el diseño de tales ítems se procuró en los dominios cognitivos: reconocimiento, aplicación y razonamiento como en la prueba internacional *Trends in International Mathematics and Science Study- TIMSS* (Mullis, Martin, Ruddock, Sullivan, & Preuschoff, 2009, págs. 40-46). Cada uno de los ítems contaba con un enunciado y cuatro opciones de respuesta con única clave, siguiendo las técnicas de diseño compiladas en (Barragán, Bogoya, Contento, & Ocaña, 2014).

<sup>19</sup> La calibración del instrumento se encuentra en (Bogoya, Barragán, Contento, & Ocaña, 2014), el estudio del Funcionamiento Diferencial de los ítems del instrumento está en (Bogoya, Ocaña, Barragán, & Contento, 2014) y el análisis de las repuestas omitidas en (Barragán, 2013).

Para la aplicación de junio de 2011, el instrumento de la prueba usó 45 ítems del banco, distribuidos en tres bloques abarcando todos los dominios conceptuales del curso. A partir de ellos se conformaron tres cuadernillos virtuales: el C1 con los bloques 1 y 2, el C2, con los bloques 1 y 3 y el C3 con los bloques 2 y 3; cada evaluado respondió un cuadernillo de 30 ítems en total. El C1 fue respondido por 175 evaluados, el C2 por 170 y el C3 por 164.

#### 9.4.3. Procedimiento.

Las cadenas de respuestas se separaron en tres bases, una por cada cuadernillo de aplicación C1, C2 y C3. Dichas bases se sometieron a un procesamiento inicial mediante la TRI con ayuda del software WINSTEPS 3.73 desarrollado en la Universidad de Chicago por el profesor Jhon Linacre; con este paquete se obtuvieron las habilidades de los estudiantes, las dificultades de los ítems y los parámetros de los cuadernillos.

Dada la sensibilidad de los cálculos a los órdenes impuestos, se analizaron dos tipos de relaciones de orden para los ítems y dos para los evaluados que se traducen en asignaciones numéricas susceptibles de ser ordenadas de menor a mayor con la relación de orden de los números reales ( $a \leq b$ ). Las relaciones de orden quedaron definidas por cada cuadernillo como sigue:

- 1) Para ítems: número de evaluados que contestan correctamente cada ítem (1I) y Dificultad de los ítems (2I) de menor a mayor dificultad.
- 2) Para evaluados: número de respuestas correctas por cada evaluado (1E) y Habilidades de los evaluados (2E) de mayor a menor habilidad.

Para el análisis del supuesto de unidimensionalidad se siguió el procedimiento planteado por Tatsuoka (Tatsuoka M. , 1986, págs. 306-319) el cual consistió en:

- a) Considerar las cadenas de respuestas como un grafo bipartito (ya que al conjunto de los vértices se le puede hacer una partición en dos conjuntos disyuntos) que tiene una representación matricial especial que engloba las matrices de dominación de ítems y evaluados. Tales matrices tienen dispuestas sus filas y columnas según el número de respuestas correctas;
- b) Calcular el índice de consistencia de Cliff para estas matrices de dominación;
- c) Construir una relación de dominación asimétrica;
- d) Extraer conjuntos unidimensionales.

En el presente capítulo se reproduce el mencionado procedimiento agregando los órdenes 2I y 2E, lo que se vio potenciado por la información real obtenida con el caso de estudio, así como por capacidad de cálculo y visualización de las herramientas informáticas. A manera de referencia se incluye el análisis factorial a través de la proporción de la varianza total explicada por las medidas y la explicada por el contraste con el primer factor. Un ejemplo de la implementación del análisis factorial para distinguir las dimensiones latentes se encuentra en Merino & Vilcherrez (Merino & Vilcherrez, 2014, pág. 112).

Las matrices fueron estudiadas desde la perspectiva de la Teoría de Grafos con Matlab 2014b de la compañía MathWorks y para el trabajo de representación y de ejecución de

algoritmos específicos de los grafos, se usó Gephi como plataforma de visualización interactiva.

## 9.5. Resultados del procesamiento.

### 9.5.1. Resultados del Modelo de Rasch.

La calibración de las 509 cadenas de respuestas y los 45 ítems proporcionó las dificultades de los ítems en el intervalo  $[-1,8727; 1,8025]$  y que las habilidades de los evaluados en el intervalo  $[-4,8265; 3,8338]$ .

La Tabla 14 muestra los parámetros obtenidos para cada uno de los cuadernillos, en ella observa que la confiabilidad es mayor a 0,60 en cada cuadernillo, igual que la consistencia interna, estimada con el coeficiente Alfa de Cronbach. Para los tres cuadernillos todas las correlaciones inter-ítem fueron menores que 0,50. Así los parámetros presentan valores aceptables considerando los tamaños de las bases procesadas. Intencionalmente se suprimen los parámetros que dan cuenta de la unidimensionalidad, pues estos se analizarán más adelante.

Cuadernillo	Confiabilidad	Separación	Coefficiente Alfa de Cronbach	Intervalo de variación de la correlación entre dos ítems
C1	0,72	1,52	0,74	$[-0,241, 0,206]$
C2	0,79	1,96	0,78	$[-0,286, 0,283]$
C3	0,82	2,16	0,83	$[-0,276, 0,405]$

Tabla 14. Parámetros para cada uno de los cuadernillos.  
Fuente: Elaboración propia.

### 9.5.1. Órdenes para los ítems y para los evaluados.

En la Tabla 15 se describen los órdenes en los cuadernillos de acuerdo con su definición.

Cuadernillo	Intervalos de oscilación			
	Orden 1I	Orden 2I	Orden 1E	Orden 2E
	Número de evaluados que contestan correctamente cada ítem	Dificultad de los ítems	Número de respuestas correctas por cada evaluado	Habilidades de los evaluados
C1	$[27, 141]$	$[-1,8727, 1,8025]$	$[1, 27]$	$[-4,8265, 2,6248]$
C2	$[0, 147]$	$[-1,8727, 1,5858]$	$[3, 28]$	$[-2,2076, 3,8338]$
C3	$[30, 122]$	$[-1,2480, 1,8025]$	$[1, 28]$	$[-3,4537, 3,0621]$

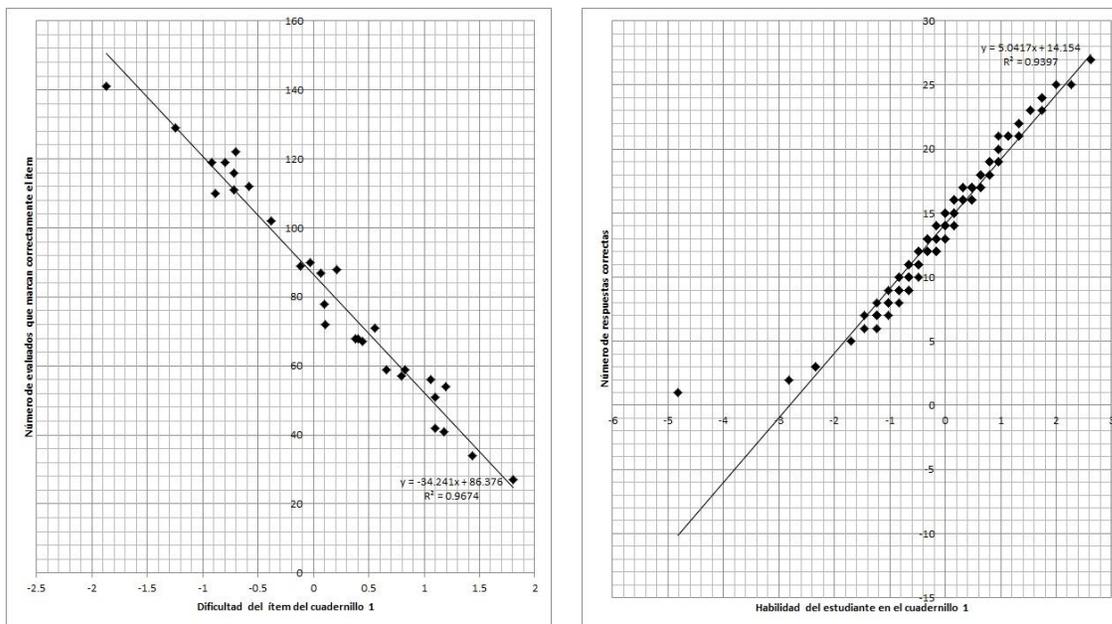
Tabla 15. Órdenes e intervalos para cada uno de los cuadernillos.  
Fuente: Elaboración propia.

Para evidenciar la relación entre los órdenes se realizaron los diagramas de dispersión para ítems y evaluados en cada cuadernillo, se encontraron los modelos lineales que los representan. La

Figura 27 muestra los diagramas para C1 y la Tabla 16 recoge las asociaciones lineales entre los órdenes. La importancia de establecer la relación entre cada par de órdenes radica,

por ejemplo en que en C1 se encontraron cinco estudiantes con habilidades iguales a -1,0245; sin embargo, de ellos uno tuvo 7 respuestas correctas, tres tuvieron 8 y uno tuvo 9, fundamentado en que los ítems tienen dificultades diferentes.

Figura 27. Diagramas de dispersión para las relaciones en los órdenes para ítems y evaluados para C1.



Fuente: Elaboración propia.

Modelos lineales para los comparativos						
Orden 2I vs Orden 1I			Orden 2E vs Orden 1E			
	$y =$	$r =$	$y =$	$r =$		
C1	$-34,241x + 86,376$	0,983	Negativas y fuertes	$5,0417x + 14,154$	0,969	Positivas y fuertes
C2	$-35,543x + 83,218$	0,936		$5,1868x + 13,214$	0,983	
C3	$-31,352x + 81,903$	0,971		$5,5695x + 14,009$	0,991	

Tabla 16. Comparativo entre los órdenes para ítems y para evaluados.

Fuente: Elaboración propia.

Conforme a las cadenas de respuestas, las dificultades y las habilidades para cada uno de los cuadernillos se estableció un escalograma de Guttman. En cada cuadernillo se ordenaron los estudiantes con el Orden 2E y los ítems con el Orden 2I, para disponerlos en un arreglo rectangular en el que las filas contienen las cadenas de respuestas de los evaluados y las columnas, las respuestas a cada ítem; las respectivas entradas se marcaron con 1 si la respuesta era correcta y con 0, en otro caso.

Se esperaba que un evaluado respondiera en forma correcta, con una probabilidad mayor que 0,50, aquellos ítems cuya dificultad fuera menor que su habilidad; el mismo evaluado debía responder en forma no correcta, también con una probabilidad mayor que 0,50, los

ítems cuya dificultad fuera mayor que la habilidad referida (Bogoya, Barragán, Contenido, & Ocaña, 2014, pág. 508).

La

Tabla 17 contiene el escalograma del C3 debido al orden  $164 \times 30$  con el que cuenta.



### 9.5.2. Matrices de dominación para ítems y para evaluados.

Para cada uno de los escalogramas se configuró una matriz  $S_k$ , donde  $k = 1, 2$  y  $3$  definida como

$$S_k = (s_{ij})_{n \times m} = \begin{cases} 1, & \text{si el estudiante } i \text{ contestó correctamente el ítem } j \text{ del cuadernillo } k \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (7)$$

$S_1, S_2$  y  $S_3$  quedaron de tamaño  $175 \times 30, 170 \times 30$  y  $164 \times 30$  respectivamente. A partir de dichas matrices se encontraron las matrices complemento  $\bar{S}_k = (\bar{s}_{ij})_{n \times m}$  tal que  $\bar{s}_{ij} = 1 - s_{ij}$ . Ahora con las matrices  $S_k$  y  $\bar{S}_k^t$  en la que  $\bar{S}_k^t$  representa la matriz transpuesta de  $\bar{S}_k$  se definieron tres matrices por bloques  $A_k$  donde  $k = 1, 2$  y  $3$ ; los símbolos  $\mathbf{0}$  son matrices nulas del tamaño adecuado para que las  $A_k$  sean cuadradas.

$$A_1 = \begin{pmatrix} \mathbf{0} & \bar{S}_1^t \\ S_1 & \mathbf{0} \end{pmatrix}_{205 \times 205}; \quad A_2 = \begin{pmatrix} \mathbf{0} & \bar{S}_2^t \\ S_2 & \mathbf{0} \end{pmatrix}_{200 \times 200} \quad \text{y} \quad A_3 = \begin{pmatrix} \mathbf{0} & \bar{S}_3^t \\ S_3 & \mathbf{0} \end{pmatrix}_{194 \times 194}$$

Las matrices  $A_k$  son matrices de adyacencia, que en el caso de estudio son entendidas como matrices de dominación pues cada una de las entradas  $a_{ij}$  se interpretan como

$$A_k = (a_{ij})_{r \times r} = \begin{cases} 1, & \text{si el ítem (evaluado) } i \text{ domina al evaluado (ítem) } j \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (8).$$

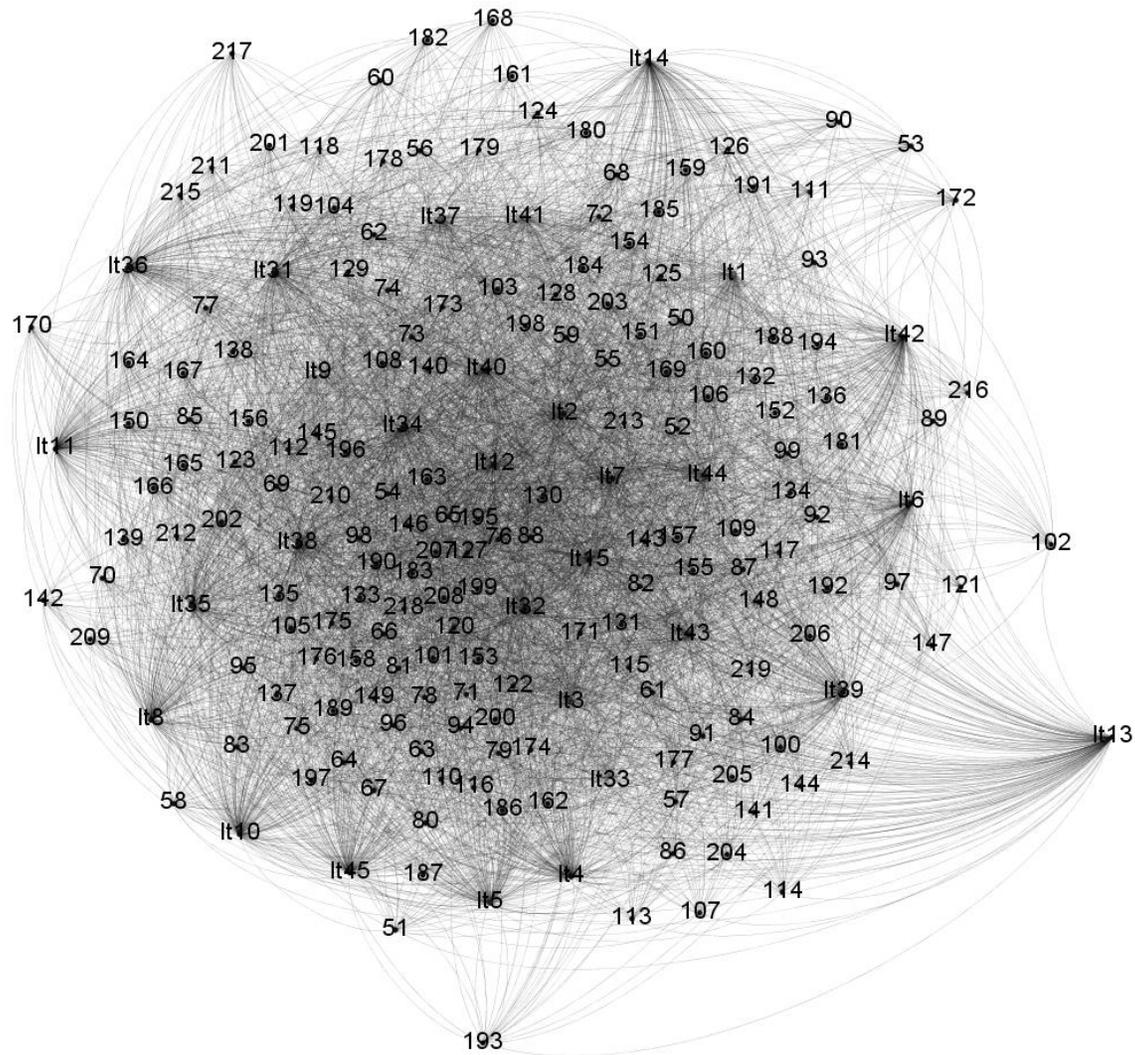
Un ítem domina a un evaluado si éste no contesta correctamente el ítem; un evaluado domina un ítem si lo contesta correctamente. Así un ítem no puede ser dominado por otro ítem y un evaluado no puede ser dominado por otro evaluado. Esta interpretación proviene de los bloques que conforman  $A_k$  (los bloques están constituidos por las matrices  $S_k$  y  $\bar{S}_k^t$  y las dos matrices nulas).

Con ayuda de Gephi se representaron los grafos correspondientes. Como ejemplo la Figura 28 muestra el grafo asociado a la matriz  $A_2$  del C2 que cuenta con 200 vértices y 5.100 aristas. Para una visualización mejor se ejecutaron diferentes algoritmos de los grafos. En particular, se empleó el algoritmo Force Atlas que no tiene condición de parada y que analiza cada nodo ubicándolo donde sea oportuno (Jiménez, 2014, pág. 10). Con una clasificación de los vértices por el grado de entrada, se aplicó una distribución de atracción la que envía los vértices *Hub* hacia la periferia y los vértices *Authority* hacia el centro<sup>20</sup>. En atención a lo cual los ítems y los evaluados con menos respuestas correctas se observan en la periferia. Así, el ítem 13 es un *Hub* ya que domina a todos los evaluados en el C2. Aunque el dominio conceptual por el que indagaba era la radicación, el ítem 13 resultó ser el ítem más difícil del C2 con dificultad 1,0624. En estudios previos se había mostrado que dicho ítem presentaba funcionamiento diferencial moderado respecto a las variables de contexto: sexo, rango de edad, naturaleza jurídica del colegio de procedencia y facultad de

<sup>20</sup> La descripción detallada de estos algoritmos se hizo en la sección 8.3 de esta tesis.

inscripción (Bogoya, Ocaña, Barragán, & Contenido, 2014, pág. 134). Por otra parte, el ítem 12 es un nodo *Authority* porque tiene la mayor cantidad de respuestas correctas y la menor de las dificultades, una explicación posible es que el ítem indaga por una aplicación básica de la regla de tres simple. Además, el evaluado 193 es un *Hub* en vista de que obtuvo 4/30 respuestas correctas y tiene una habilidad de -1,856, con lo que fue de los más dominados por los ítems. En contraste con el evaluado 65 que contestó correctamente 27/30 y que fue levemente dominado por los ítems.

Figura 28. Grafo asociado a la matriz de dominación  $A_2$ .



Fuente: Elaboración propia.

Para emplear el Teorema de Festinger se calculó  $A_k^2$ , el cuadrado de la matriz  $A_k$  cuyas entradas se interpretan como el número de formas en que  $i$  accede a  $j$ , en 2-cadenas. Se obtuvo

$$A_1^2 = \begin{pmatrix} \bar{S}_1^t S_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & S_1 \bar{S}_1^t \end{pmatrix}_{205 \times 205}; A_2^2 = \begin{pmatrix} \bar{S}_2^t S_2 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & S_2 \bar{S}_2^t \end{pmatrix}_{200 \times 200} \text{ y}$$

$$A_3^2 = \begin{pmatrix} \bar{S}_3^t S_3 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & S_3 \bar{S}_3^t \end{pmatrix}_{194 \times 194}$$

En consecuencia, se pueden apreciar los dos aspectos siguientes:

1)  $\bar{S}_k^t S_k$  es la matriz de dominación de los ítems: la entrada  $ij$  indica el número de evaluados que son dominados por el ítem  $i$  y que a su vez dominan el ítem  $j$ . Para el presente caso,  $\bar{S}_k^t S_k$  para  $k = 1, 2$  y  $3$  son de orden  $30 \times 30$ . La Tabla 18 muestra la parte superior de la matriz  $\bar{S}_1^t S_1$ , donde se ha encuadrado la entrada 1,9 cuyo valor es 22. El valor de la entrada precisa que 22 evaluados no contestaron correctamente el ítem 12 que está ubicado en la posición 1 con dificultad -1,8727, en el Orden 2I; estos mismos 22 evaluados contestaron correctamente el ítem 2, que se encuentra en la posición 9 pues tiene una dificultad de -0,5785. Esta es una situación importante para examinar en términos de la consistencia pues no resulta natural pensar que estos 22 estudiantes no contestan correctamente el ítem más fácil de este cuadernillo, pero si contestan bien, uno más difícil.

0	18	22	12	16	16	17	16	<b>22</b>	14	9	14	16	15	7	10	12
30	0	24	22	20	20	16	21	28	19	17	14	16	15	15	21	17
44	34	0	36	31	33	33	37	24	25	16	22	24	14	17	21	25
43	41	45	0	47	41	33	36	35	29	24	29	29	29	20	31	28
38	30	31	38	0	31	26	33	33	24	21	16	24	18	20	18	20
41	33	36	35	34	0	29	35	38	26	20	22	20	20	16	18	22
47	34	41	32	34	34	0	31	37	28	26	18	19	18	18	22	27

Tabla 18. Esquina superior izquierda de la matriz  $\bar{S}_1^t S_1$  de dominación de los ítems del C1.  
Fuente: Elaboración propia.

2)  $S_k \bar{S}_k^t$  es la matriz de dominación de los evaluados: aquí la entrada  $ij$  muestra el número de ítems que son dominados por el evaluado  $i$ , mismos ítems que dominan al evaluado  $j$ .  $S_1 \bar{S}_1^t$ ,  $S_2 \bar{S}_2^t$ ,  $S_3 \bar{S}_3^t$  son matrices cuadradas de órdenes 175, 170 y 164, respectivamente. La Tabla 19 tiene resaltada la entrada 1,11, con un valor de 6. Esta entrada revela que el evaluado de mayor habilidad (2,6248) de los 175 que presentaron el C1 contesta correctamente 6 ítems que no fueron bien respondidos por el evaluado en la posición 11 cuya habilidad es 1,3285. Los evaluados fueron organizados con el Orden 2E.

0	4	3	5	4	5	5	6	4	7	<b>6</b>	5	7	7	7	7	7	9	8	8	9	9
2	0	3	4	3	5	4	5	5	6	6	4	6	7	5	7	6	6	7	8	9	9
1	3	0	6	3	6	4	7	4	6	5	5	6	8	6	8	7	8	6	8	10	9
2	3	5	0	3	3	4	3	4	6	5	4	5	5	5	4	5	6	7	6	6	9
1	2	2	3	0	4	3	5	3	6	4	4	5	6	5	6	5	7	6	7	9	10
1	3	4	2	3	0	3	2	4	6	2	4	4	3	5	4	3	6	7	6	7	8
2	3	3	4	3	4	0	5	5	7	4	5	6	5	5	6	6	7	5	9	9	9

Tabla 19. Esquina superior izquierda de la matriz  $S_1 \bar{S}_1^t$  de dominación de los evaluados con C1.  
Fuente: Elaboración propia.

Para continuar el proceso en el análisis se reorganizaron las filas y las columnas de las matrices  $\overline{S}_k^t S_k$  y  $S_k \overline{S}_k^t$  mediante los órdenes 1I, 2I y 1E, 2E respectivamente. En la Tabla 20 se renombran las matrices después de las ordenaciones.

Matriz	Nombre de la matriz luego de la reordenación de los ítems		Matriz	Nombre de la matriz luego de la reordenación de los evaluados	
	Orden 1I	Orden 2I		Orden 1E	Orden 2E
$\overline{S}_1^t S_1$	$N_{C1,1I}$	$N_{C1,2I}$	$S_1 \overline{S}_1^t$	$N_{C1,1E}$	$N_{C1,2E}$
$\overline{S}_2^t S_2$	$N_{C2,1I}$	$N_{C2,2I}$	$S_2 \overline{S}_2^t$	$N_{C2,1E}$	$N_{C2,2E}$
$\overline{S}_3^t S_3$	$N_{C3,1I}$	$N_{C3,2I}$	$S_3 \overline{S}_3^t$	$N_{C3,1E}$	$N_{C3,2E}$

Tabla 20. Nuevos nombres de las matrices de dominación de los ítems y de los evaluados después de la reordenación.  
Fuente: Elaboración propia.

### 9.5.3. Cálculo del índice de consistencia de Cliff.

El índice de consistencia de Cliff (Cliff, 1977, pág. 380) permite estimar la unidimensionalidad como la homogeneidad escalar. Dicho índice se caracteriza porque ser una función del orden de los ítems (Tatsuoka K. , 2009, pág. 18) y por pertenecer al intervalo  $[-1,1]$  donde -1 representa la inconsistencia perfecta y 1 la consistencia perfecta (Tatsuoka M. , 1986, pág. 310).

$$c_{t1} = \frac{\sum_{i<j}(\overline{S}_k^t S_k)_{ij} - \sum_{i>j}(\overline{S}_k^t S_k)_{ij}}{\sum_{i \neq j}(\overline{S}_k^t S_k)_{ij}} \quad (9)$$

En la Tabla 21, se resumen los cálculos  $c_{t1}$  de los índices de consistencia de Cliff en las diferentes combinaciones de cuadernillos  $k = 1,2$  y  $3$  y de órdenes  $pI = 1I$  y  $2I$ .

	$\sum_{i<j} (N_{Ck,pI})_{ij}$		$\sum_{i>j} (N_{Ck,pI})_{ij}$		$\sum_{i \neq j} (N_{Ck,pI})_{ij}$	$c_{t1}$	
	Orden 1I	Orden 2I	Orden 1I	Orden 2I		Orden 1I	Orden 2I
<b>C1</b>	9.751	9.873	25.430	25.308	35.181	-0,445	-0,438
<b>C2</b>	9.465	9.790	23.945	23.620	33.410	-0,433	-0,413
<b>C3</b>	8.809	9.112	21.260	20.957	30.069	-0,414	-0,393

Tabla 21. Índice de consistencia de Cliff para las matrices de dominación de los ítems.  
Fuente: Elaboración Propia.

De la misma forma, se calculó el índice de consistencia de Cliff para las matrices de dominación de los evaluados en las combinaciones de cuadernillos  $k = 1,2$  y  $3$  y de los órdenes  $pE = 1E$  y  $2E$  (ver Tabla 22).

	$\sum_{i<j} (N_{Ck,pE})_{ij}$		$\sum_{i>j} (N_{Ck,pE})_{ij}$		$\sum_{i \neq j} (N_{Ck,pE})_{ij}$	$c_{t1}$	
	Orden 1E	Orden 2E	Orden 1E	Orden 2E		Orden 1E	Orden 2E
<b>C1</b>	141.389	140.998	59.309	59.700	200.698	0,409	0,405
<b>C2</b>	134.905	134.765	53.557	53.697	188.462	0,431	0,430
<b>C3</b>	131.209	131.209	44.524	44.524	175.733	0,493	0,493

Tabla 22. Índice de consistencia de Cliff para las matrices de dominación de los evaluados.  
Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 21 se observa que los ítems de los tres cuadernillos con cualquiera de los dos órdenes son moderadamente inconsistentes y en la Tabla 22 se lee que los evaluados con los tres cuadernillos con cualquiera de los dos órdenes, son moderadamente consistentes.

Por otro lado, en la Tabla 23 se muestran las relaciones entre las varianzas explicadas por el contraste con el primer componente y por las medidas para los tres cuadernillos. Es importante tener en cuenta que, a mayor número de cadenas de respuestas, el valor del error de la estimación disminuye. El indicador estadístico para la relación entre varianzas tiene un valor de aprobación de 4,00 (Linacre, 2008, pág. 376), por eso se observa que para C1 y C3 se confirma moderadamente la unidimensionalidad en el sentido unifactorial, para el C2 no se puede afirmar lo mismo.

	Porcentaje de varianza explicada		Relación entre varianzas
	Por las Medidas	Contraste con el primer componente	
C1	23,3	5,5	4,236
C2	22,4	6,5	3,446
C3	25,1	5,4	4,641

Tabla 23. Relación entre las varianzas para los cuadernillos.  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 9.5.4. Subconjuntos unidimensionales de ítems y de evaluados.

Para extraer subconjuntos de ítems que sean más fuertes desde el punto de vista de la unidimensionalidad considerada como un orden fundamentado en la dominación, se realizó el estudio de estructuras jerárquicas con base en matrices de dominación significativa como en Tatsuoka (Tatsuoka M. , 1986, págs. 313-316).

Las matrices de dominación  $N_{Ck,pl}$  y  $N_{Ck,pE}$  (descritas en la Tabla 20) no corresponden a la definición de unidimensionalidad porque representan una relación de dominación en ambas direcciones ya que los términos  $ij$  y  $ji$  en general son distintos de cero.

Para iniciar la jerarquización de la relación de dominación para ítems y para evaluados es necesario que las relaciones de dominación sean asimétricas; es así que se define que el ítem  $i$  domina al ítem  $j$  solo si la entrada  $(N_{Ck,pl})_{ij}$  es significativamente más grande que la entrada  $(N_{Ck,pl})_{ji}$  con la prueba de McNemar para la diferencia entre proporciones correlacionadas (Tatsuoka M. , 1986, pág. 310). De forma análoga se define para los evaluados.

La prueba de McNemar es un test de significancia enunciando que si  $z_{ij} = \frac{(n_{ij}-n_{ji})}{\sqrt{n_{ij}+n_{ji}}}$  y si el cuadrado de  $z_{ij}$  excede el valor del estadístico  $\chi^2$  con un grado de libertad, existe diferencia significativa entre las entradas  $ij$  y  $ji$  (Agresti, 1990, págs. 349-350). Esto significa aplicar la Ecuación (10) para los ítems y la (11) para evaluados, para cada par  $ij$  en donde  $i < j$ .

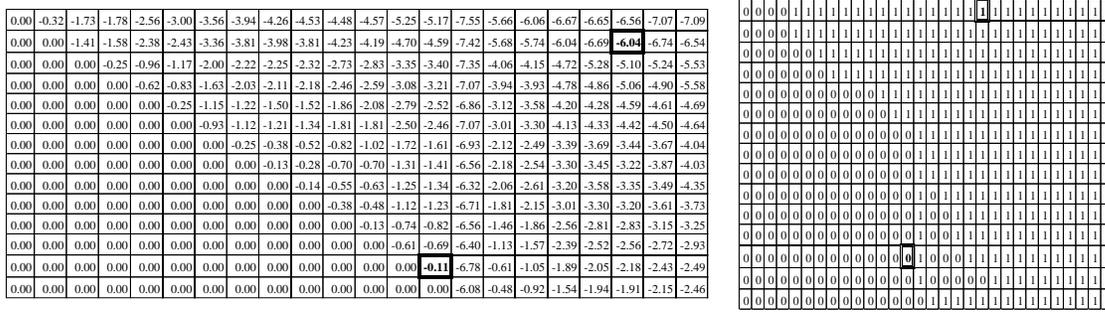
$$\frac{(N_{Ck,pl})_{ij} - (N_{Ck,pl})_{ji}}{\sqrt{(N_{Ck,pl})_{ij} + (N_{Ck,pl})_{ji}}} \quad (10);$$

$$\frac{(N_{Ck,pE})_{ij} - (N_{Ck,pE})_{ji}}{\sqrt{(N_{Ck,pE})_{ij} + (N_{Ck,pE})_{ji}}} \quad (11).$$

De esta forma se calcularon las matrices  $Z$  correspondientes a las matrices de dominación  $N_{Ck,pl}$  para ítems y  $N_{Ck,pE}$  para evaluados; a partir de ellas se reconoció y marcó la dominación entre ítems y entre evaluados con un nivel de significancia de 0,05 para lo cual se definieron las matrices  $N_{Ck,pl}^*$  y  $N_{Ck,pE}^*$  en las que  $(N_{Ck,pl}^*)_{ij} = 1$  si el respectivo  $z_{ij}$  era mayor a 3,8414 y 0 en otro caso. Análogamente se hizo para las entradas de  $N_{Ck,pE}^*$ .

A manera de ilustración, la Figura 29 muestra partes de dos matrices triangulares superiores: en la izquierda, la matriz  $Z$  asociada a  $N_{C3,1I}$  que es la matriz de dominación de los ítems luego de la reordenación de los mismos de acuerdo al orden 1E; en la derecha aparece la matriz  $N_{C3,1I}^*$  que es la matriz de dominación significativa de los ítems. Dos entradas aparecen encuadradas y en negrilla para mostrar la asignación.

Figura 29. Matriz  $N_{C3,1I}^*$  de la matriz  $Z$  asociada a  $N_{C3,1I}$



Matriz  $Z$  asociada a  $N_{C3,1I}$

Matriz  $N_{C3,1I}^*$

Fuente: Elaboración Propia.

Como la unidimensionalidad es entendida como un orden basado en la relación de dominación significativa se hace necesario determinar la estructura jerárquica de los ítems con lo que aunado al índice de Cliff quedan establecidos los subconjuntos unidimensionales. Para la jerarquización de esta relación, a  $N_{Ck,pl}^*$  y  $N_{Ck,pE}^*$  se les adicionó la matriz identidad  $I_n$  del tamaño compatible, de modo que se calcularon las matrices  $R_{Ck,pl}$  y  $R_{Ck,pE}$  como en las Ecuaciones (12) y (13)

$$R_{Ck,pl} = N_{Ck,pl}^* + I_{30} \quad (12)$$

$$R_{C1,pE} = N_{C1,pE}^* + I_{175} ; R_{C2,pE} = N_{C2,pE}^* + I_{170} \quad \text{y} \quad R_{C3,pE} = N_{C3,pE}^* + I_{164} \quad (13)$$

Haciendo uso de Matlab, a cada una de estas matrices se les calcularon las sucesivas potencias Booleanas, formando una sucesión de matrices. La matriz para la cual esta sucesión converge es llamada matriz de accesibilidad. La sucesión genérica se muestra en la ecuación (14)

$$R_{Ck,pl}^1, R_{Ck,pl}^2, R_{Ck,pl}^3, R_{Ck,pl}^4, \dots \rightarrow P_{Ck,pl} \quad (14).$$

Los elementos no nulos de esta matriz límite  $P$  indican que los ítems correspondientes son accesibles uno por el otro. Esto fue interpretado como una dominación entre ítems que

puede ser directa si es en una sola etapa (si la sucesión se estabiliza en la primera potencia booleana), o indirecta si involucra otros ítems (tantos como diga la potencia booleana en la que la sucesión se estabiliza).

A saber, la esquina superior izquierda de la matriz de dominación significativa de los ítems del C1 ordenados por dificultad  $N_{C1,2I}^*$  está en la Figura 30 y la esquina superior izquierda del límite de la sucesión de las potencias Booleanas de  $R_{C1,2I} = N_{C1,2I}^* + I_{30}$  aparece en la Figura 31. Esta última es entendida como la matriz de accesibilidad de los ítems del C1. La sucesión se estabilizó en la primera potencia booleana, lo que permitió afirmar que la entrada encuadrada en la Figura 31, muestra que el ítem 24 domina significativamente al ítem 8 de forma directa. Esto se ratifica con la entrada encuadrada en la Figura 30.

Figura 30. Matriz  $N_{C1,2I}^*$ .

	It29	It24	It14	It23	It6	It11	It13	It8	It10	It4	It25	It1	It28
It29	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
It24	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
It14	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
It23	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
It6	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
It11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
It13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
It8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 31. Matriz de accesibilidad  $P_{C1,2I}$  para  $N_{C1,2I}^*$ .

	It29	It24	It14	It23	It6	It11	It13	It8	It10	It4	It25	It1	It28
It29	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
It24	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
It14	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
It23	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
It6	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
It11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
It13	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
It8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0

Fuente: Elaboración Propia.

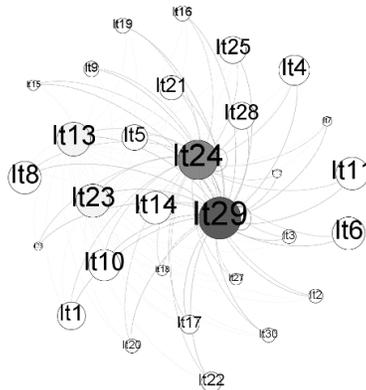
Para jerarquizar la relación de dominación significativa se ejecutaron dos procedimientos: en el primero se revisaron las entradas de las matrices de accesibilidad para identificar los ítems que dominan y son dominados; en el segundo se calcularon, mediante Gephi, los grados de entrada y salida para cada uno de los vértices de correspondientes a las matrices de accesibilidad. Para el primer procedimiento se revisaron las entradas de las matrices de accesibilidad  $P_{Ck,pI}$  teniendo en cuenta que son matrices triangulares superiores y que si la entrada  $ij$  es igual a 1 indica que el ítem  $i$  domina significativamente al ítem  $j$ . Es por esto por lo que para la matriz de accesibilidad  $P_{C1,2I}$  para  $N_{C1,2I}^*$  se encontró que la estructura jerárquica de la dominación significativa de los ítems que figuraban en el C1 es la que aparece en la Tabla 24. Aquí se puede identificar que los ítems 29 y 24 encabezan la jerarquía porque dominan significativamente a los demás y porque entre ellos no se dominan (la entrada 1,2 de  $P_{C1,2I}$  es 0). Asimismo, los ítems que son dominados significativamente por todos los otros ítems son el 26 y el 12.

Niveles	Ítems
1	I29, I24
2	I6
3	I11
4	I13, I8, I10, I4
5	I1, I28, I22, I25, I28, I22
6	I9
7	I19, I17
8	I16
9	I3
10	I2
11	I20, I30, I15, I7, I27, I18
12	I26, I12

Tabla 24. Jerarquía por dominación significativa para la matriz de accesibilidad  $P_{C1,2I}$  para  $N_{C1,2I}^*$ .  
Fuente: Elaboración Propia.

En el segundo procedimiento a la matriz de accesibilidad para  $N_{C1,2I}^*$  de la Figura 31, se le realizó la jerarquización mediante el grado de los vértices como aparece en la Figura 32, el tamaño del nodo y la intensidad del color negro la representan. Para efectos de visualización y de mejor distribución se aplicó el algoritmo Force Atlas con una fuerza de repulsión de 10.000 y ajustado por tamaños de acuerdo con el grado.

Figura 32. Jerarquía por grado para la matriz de accesibilidad para  $N_{C1,2I}^*$ .



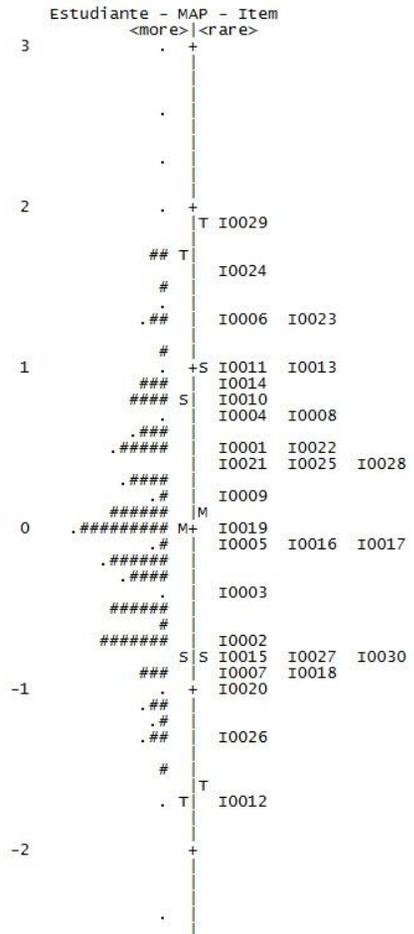
Fuente: Elaboración Propia.

Al hacer un comparativo con el mapa de ítems obtenido con WINSTEPS 3.73, se observó una estructura similar como lo muestran la Tabla 25 y la Figura 33. La posición en el mapa de ítems se interpretó como en el siguiente ejemplo: en el C1, dado que un evaluado contesta correctamente el ítem 17, la probabilidad de contestar correctamente el ítem 22 es menor. En la base completa para el C1, se encontró que 32 de 175 evaluados respondieron bien el ítem 22 pero no el ítem 17 en contraste con los 53 de 175 evaluados que contestaron correctamente el ítem 17 y no el ítem 22.

<b>Niveles</b>	<b>Ítems</b>
<b>1</b>	It29
<b>2</b>	It24
<b>3</b>	It13, It23
<b>4</b>	It8, It6, It11, It14
<b>5</b>	It10
<b>6</b>	It4
<b>7</b>	It1
<b>8</b>	It28, It25
<b>9</b>	It5
<b>10</b>	It21
<b>11</b>	It22
<b>12</b>	It17
<b>13</b>	It16, It19, It9
<b>14</b>	It30, It20, It2, It3
<b>15</b>	It27
<b>16</b>	It18, It15
<b>17</b>	It7
<b>18</b>	It12, It26

Tabla 25. Jerarquía encontrada.  
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 33. Mapa de ítems de WINSTEPS 3.73.



Fuente: Elaboración Propia.

Al finalizar la modelación para contribuir al sistema de alertas tempranas y al entendimiento tanto de la integración social, la integración académica como su interacción se advirtió la oportunidad de formular un conjunto de indicadores específicos dirigidos a estimar el desempeño de las IES en torno a la permanencia, la deserción y la graduación de estudiantes.

Se estimó en alto grado de importancia que tales indicadores incluyeran los aspectos más relevantes identificados en los estudios previos y en grado medio la contextualización de las IES colombianas por ejemplo en los parámetros del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS). Por todo esto, de nuevo, se eligió la combinación de técnicas, notando que resultaba ideal abordar el diseño de los indicadores desde la DPM en conjunción con la SD con lo que se propuso el capítulo final.

## 10. CAPÍTULO 5: MODELANDO LA PERMANENCIA ESTUDIANTIL EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR A TRAVÉS DE UNA PERSPECTIVA DE LA GESTIÓN DINÁMICA DEL DESEMPEÑO.

Este capítulo se inicia con una caracterización detallada de la deserción como un sistema de complejidad dinámica, lo cual abre paso a las dimensiones instrumental, objetiva y subjetiva, propuestas por la DPM como herramienta para la llevar a cabo el objetivo principal de diseñar indicadores en el corto y largo plazo que permitan monitorear el desempeño de las IES en la gestión para la permanencia y el tratamiento de la deserción estudiantil. Además, con ayuda de la SD, se analiza cómo algunos indicadores actuales pierden consistencia cuando se observan de forma estática y por separado, requiriendo la articulación de los indicadores recomendados por el MEN, con otros enlazados al valor académico agregado y a la definición de la permanencia estudiantil como producto administrativo en la cadena de creación de valor de la prestación de servicios académicos en la educación superior colombiana.

Posteriormente, con esta articulación se ofrece una visión sistemática de la prestación de los servicios académicos para que los tomadores de decisiones en las IES encuentren el momento y el sitio oportuno de intervención con planes de mitigación de la deserción estudiantil por medio de acciones preventivas y correctivas. Finalmente, se muestra un diagrama de bucle causal resaltando los principales bucles reforzadores y compensatorios que proporcionan información sobre el comportamiento del sistema para intentar comprender las consecuencias de las modificaciones o afectaciones sobre la deserción estudiantil.

### 10.1. Caracterización de la deserción estudiantil como sistema de complejidad dinámica.

La complejidad dinámica de un sistema es asociada con la imprevisibilidad de las interconexiones entre las variables debido a las demoras, la no linealidad y los múltiples bucles de retroalimentación<sup>21</sup> cuya dominancia afecta el comportamiento del sistema (Bianchi, 2016, págs. 3-4). A continuación, se detallarán 10 aspectos que aportan a la caracterización de la deserción como sistema de complejidad dinámica:

- 1) Existen intangibles que afectan la deserción tales como las variables explicativas que proceden de la integración social del modelo de interacción de Tinto. Donoso & Schiefelbein explican que la integración social abarca el desarrollo y la frecuencia de las interacciones positivas con pares<sup>22</sup> y docentes (oportunidad de interactuar) y, también, la participación en actividades extracurriculares (Donoso & Schiefelbein, 2007, pág. 17).

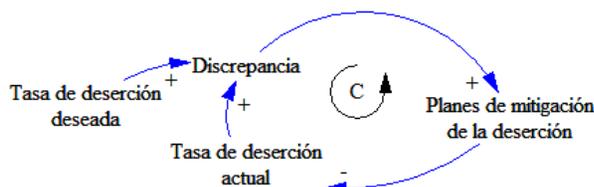
---

<sup>21</sup> Los bucles de realimentación deben entenderse como vínculos circulares de causalidad entre variables. La polaridad (+ o -) es un atributo de la flecha del vínculo causal y muestran la conservación o inversión del signo de cambio (Schaffernicht, 2009, págs. 55, 65, 150).

<sup>22</sup> Estas interacciones entre pares han sido modeladas en Barragán & González (Barragán & González, 2017).

- 2) Hay múltiples partes interesadas en la continuidad exitosa de los estudios, entre las que están los estudiantes, su familia, el sector productivo, IES, compañeros de clase, profesores, administrativos y el MEN.
- 3) La deserción es resistente a las políticas y esfuerzos para mitigarla, tanto gubernamentales como de las IES.
- 4) Diferentes tipos de demoras afectan la deserción. Por ejemplo, demoras en la recolección de información para caracterizar los estudiantes nuevos y antiguos, en la implementación de estrategias y en que se evidencie el impacto de las políticas (ver Figura 4).
- 5) Relaciones causales no lineales entre las variables explicativas y el riesgo de desertar. Es de anotar que el modelo gubernamental aplicado desde el SPADIES (Ministerio de Educación Nacional, 2009, pág. 17) del MEN está basado en el análisis de supervivencia (Ministerio de Educación Nacional, 2009, pág. 48).
- 6) Las relaciones de causa y efecto son distantes en el tiempo. Para ejemplificar esto, hay que considerar los resultados de las pruebas estandarizadas gubernamentales SABER<sup>23</sup> y su relación con la deserción. El 57% de los estudiantes que obtuvieron un puntaje bajo en Saber 11° han desertado a décimo semestre y el 35% de quienes obtuvieron puntajes altos (Ministerio de Educación Nacional, 2009, pág. 87). Los resultados en Saber 11° muestran su efecto semestres o años después.
- 7) El capital académico de inicio en la universidad es el principal determinante de la deserción (Ministerio de Educación Nacional, 2009, pág. 104). De donde, la deserción está influenciada por la historia académica individual.
- 8) Hay un gran número de variables explicativas de la deserción estudiantil agrupadas en los cuatro determinantes del MEN: académico, individual, socioeconómico e institucional. (Ministerio de Educación Nacional, 2009, pág. 17). En la Figura 5 se hizo un recuento de estos determinantes.
- 9) Se pueden identificar múltiples bucles causales. La Figura 34 muestra un ejemplo en donde a mayor discrepancia entre la tasa de deserción actual y la deseada se emprenden más planes para mitigarla lo que disminuye la tasa actual y por ende la discrepancia.

Figura 34. Discrepancia entre la tasa de deserción actual y la deseada.

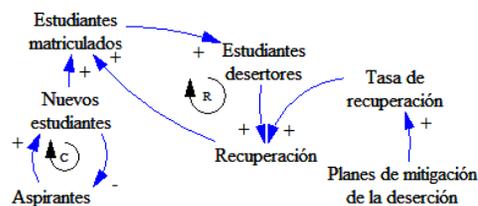


Fuente: Elaboración propia con base en (Schaffernicht, 2009, pág. 160).

En la Figura 35 se observa que al incrementar los estudiantes matriculados también se incrementan los desertores y los recuperados a través de los planes de mitigación fomentando la matrícula.

Figura 35. Incidencia de los planes de reducción de la deserción en la población de estudiantes.

<sup>23</sup> Como se anotó en el segundo capítulo, la prueba Saber 11° se aplica en la finalización de la educación secundaria y la prueba Saber Pro en la finalización de la educación superior.



Fuente: Elaboración propia.

10) Comportamiento contraintuitivo: el Centro Nacional para la gestión de la matrícula de Estados Unidos Noel-Levitz cita el reporte del Centro Nacional de Estadísticas de este país diciendo que hay instituciones menos selectivas porque tienen poblaciones muy grandes, diversas y económicamente en desventaja con un alto promedio de tasas de retención y graduación comparadas con instituciones que tienen poblaciones estudiantiles con mayores ingresos (Levitz & Noel, 2008, pág. 1). Refuta así la asunción común que entre más selectiva o de élite sea una institución más alta es la calidad de la institución y mayores son las tasas de graduación y retención.

En esta condición de complejidad dinámica, las IES deben formular políticas institucionales lo cual es una brecha y una oportunidad en el proceso de modelado y aprendizaje organizacional donde la IES puede examinar y controlar esta complejidad sin reducirla abordándola desde la DPM y la SD. Esta modelación enriquece la gestión del desempeño a través del entendimiento de la estructura y el comportamiento del sistema permitiendo adelantarse a comportamientos disfuncionales, inconsistencias y a mejorar los modelos mentales pues facilita la comprensión de la estructura de los bucles de realimentación subyacentes y la identificación de estrategias que mejoren el desempeño del sistema (Bianchi, 2016, págs. 11-12, 18-20, 38, 68).

## 10.2. Antecedentes en las perspectivas de la Gestión Dinámica del Desempeño: instrumental, objetiva y subjetiva.

La principal referencia y primer antecedente tomado en este capítulo es el estudio de Cosenz, ya que el autor diseñó e implementó medidas para el desempeño y sistema de gestión en las universidades italianas mediante la combinación de DPM y SD (Cosenz, 2014). La adaptación del mencionado estudio al entorno colombiano orientado hacia la permanencia estudiantil resulta en extremo conveniente pues como alternativa científica fortalece a las IES públicas o privadas en el entendimiento, seguimiento y evaluación de los planes de mitigación de la deserción estudiantil a través de una mirada organizacional sistemática, anticipando posibles resultados de las políticas en diferentes escenarios (Bianchi, 2016, pág. 16).

Para materializar el análisis de la permanencia y la deserción estudiantil se emplearán las tres perspectivas interconectadas del desempeño organizacional definidas por Bianchi: 1) instrumental; 2) objetiva y 3) subjetiva (Bianchi, 2016, pág. 71).

La perspectiva instrumental permite tener una imagen sintética de los aspectos relevantes de la IES mediante la identificación de los resultados finales, así como de los impulsores de desempeño que los afectan y que, siendo monitoreados constantemente en el corto plazo, evitan crisis en el largo plazo. Los resultados finales son los productos y resultados que

acumulan o agotan los recursos estratégicos. El crecimiento organizacional será sostenible si la tasa a la que los resultados finales cambian la dotación de recursos estratégicos permanece balanceada. Aquí los impulsores del desempeño son entendidos como elementos de éxito pues proveen a los tomadores de decisiones de medidas que emiten señales sensibles al cambio en los resultados finales (Bianchi, 2016, págs. 67-76) con lo que pueden anticiparse a comportamientos no deseados para tratar de contrarrestarlos. Esta perspectiva advierte cómo la distribución de los recursos estratégicos afecta el desempeño (Bianchi, 2016, págs. 43, 72).

La perspectiva objetiva consiste en la identificación plena de la cadena de los productos finales e intermedios que se entregan a usuarios internos y externos de las IES. Es decir, aclara con quienes interactúa la IES, los productos y los beneficios sociales que entrega, así como las dependencias académicas y administrativas que contribuyen a la entrega de dichos productos (Bianchi, 2016, págs. 117-121).

La perspectiva subjetiva compendia las dos anteriores explicitando las actividades, los objetivos y las metas en función de los resultados finales enfocándose en los responsables de las actividades que coordinan los recursos estratégicos para afectar los impulsores de desempeño y los resultados finales (Bianchi, 2016, págs. 135-138).

### 10.3. Otros antecedentes de la Dinámica de Sistemas en la modelación de la deserción estudiantil.

En un amplio espectro de uso de la SD, se encontraron tres estudios que analizan la deserción estudiantil.

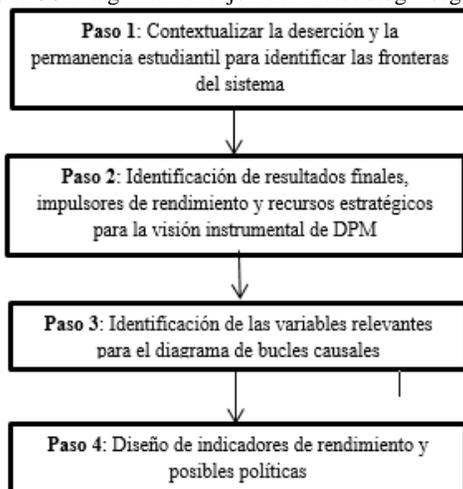
El primero es de Kalin & Shafto acerca de la dinámica de la matrícula de adultos en los programas académicos de negocios y la obtención de títulos en dos universidades privadas de California. Los autores recomendaron fortalecer la facultad y la calidad de la infraestructura, así como el desarrollo de programas para egresados, además del apoyo a los estudiantes adultos a través de becas (Kalin & Shafto, 2003, págs. 1-3).

El segundo estudio es de Shinde & Kaynak cuyo objetivo fue determinar políticas para mejorar la calidad del sistema educativo turco y su relación con el sector productivo. Los autores extienden su análisis a la deserción de la escuela secundaria y de la escuela vocacional. El estudio concluyó que las habilidades y conocimientos obtenidos en la Universidad y las escuelas vocacionales no satisfacen las necesidades de la industria por lo que los estudiantes no encuentran atractiva la graduación (Shinde & Kaynak, 2016).

El tercero es de Duran & Encalada quienes adaptan las definiciones relacionadas a la no-continuación (deserción) en la Universidad de las Américas de Puebla (México), y en la Manchester Metropolitan University (Reino Unido). Los autores se enfocan en la satisfacción del estudiante a través de cinco subsistemas: inducción, retención, motivación, finanzas e higiene (este subsistema es asociado al rol del personal que informa y asesora a los estudiantes, la experiencia dentro de la institución y la satisfacción de los estudiantes). Los autores no implementaron el modelo porque no tenían datos recolectados (Durán & Paucar, 2014).

La Figura 36 muestra la metodología seguida para el presente capítulo.

Figura 36. Diagrama de flujo de la metodología seguida.



Fuente: Elaboración propia.

Hay que mencionar que para el desarrollo de esta parte del trabajo se usaron Vensim y Powersim Studio 10 en sus versiones académicas.

#### 10.4. Analizando el grado de consistencia de algunos parámetros usuales para el control de la deserción estudiantil.

Considerando que la evaluación del desempeño debe incluir la aptitud organizacional para lograr una tasa de crecimiento que permita un balance entre el corto y el largo plazo consistentemente con las metas de la IES (Bianchi, 2016, pág. 66) es necesario que los indicadores del MEN y los que las IES establezcan por decisión propia tenga un carácter dinámico en oposición a la observación estática de un único momento (como una fotografía). A continuación se explicitan algunos ejemplos propios en los que el grado de consistencia de ciertos parámetros empieza a desvanecerse debido a la observación estática del comportamiento.

En la guía del Viceministerio de la Educación Superior se proponen múltiples estrategias, actividades y herramientas para guiar a las IES en la implementación de un plan de mejoramiento llamado Plan de Permanencia y Graduación (Ministerio de Educación Nacional, 2015, pág. 24); gran parte de estas estrategias y actividades recaen sobre los profesores. Se requiere la participación de profesores con altos niveles de cualificación permanente y liderazgo en los procesos académicos que le corresponden (Ministerio de Educación Nacional, 2015, pág. 69), para prestar tutoría como un servicio de asistencia y apoyo personal académico al estudiante (Ministerio de Educación Nacional, 2015, pág. 98) y también consejería (Ministerio de Educación Nacional, 2015, pág. 102), además de las labores habituales de la profesión docente como las clases presenciales y la investigación científica y pedagógica. Todas estas labores juntas entran a competir por tiempo<sup>24</sup> en la carga laboral, lo que puede conllevar a atender muchas tareas al mismo tiempo con poca eficiencia y efectividad.

Por otra parte, hay bucles de retroalimentación generados en la misma Guía del Viceministerio de Educación Superior y que se relacionan con el flujo de caja que es un

<sup>24</sup> En los términos de Bianchi podría constituirse en *trade-off over time* (Bianchi, 2016, pág. 4).

resultado final relevante para la sostenibilidad institucional. Para el Mejoramiento de la Calidad Académica, el plan de formación integral periódica docente debe incluir las competencias de tipo disciplinar, personal y pedagógica. En ese sentido, una mayor liquidez implica una mayor inversión en formación docente, lo que se traduce en mayores habilidades docentes y de investigación que propician avances en la escala salarial afectando el flujo de caja de la IES.

Por otra parte, el MEN ha incluido el nivel de interacción entre estudiantes y docentes entre las variables explicativas institucionales de la deserción. Este nivel puede verse parcialmente reflejado en la razón entre profesor y estudiantes por curso. Aquí de nuevo se observó un efecto inesperado en el largo plazo: a mayor tamaño promedio de los cursos, menor es la razón entre profesor y estudiantes (el denominador es muy grande respecto al numerador) lo que incrementa la deserción estudiantil, es decir, se disminuye el número de estudiantes activos, lo que repercute positivamente en la razón entre profesor y estudiantes por curso de la IES.

El razonamiento anterior se replicó considerando el tamaño de los cursos como una característica de la calidad de la educación (Cosenz, 2014, págs. 958-959). Si el tamaño de los cursos se incrementa, la calidad de la educación disminuye, haciendo que se aumente el número de estudiantes desertores, con lo que el tamaño de los cursos se contrae liberando espacios académicos y oportunidades dentro de la IES afectando positivamente la calidad de la educación de los estudiantes activos (Shinde & Kaynak, 2016). En cualquier caso, hay que considerar tanto el desgaste económico y anímico sobre los estudiantes que desertan y sus familias como el aumento de la liquidez en el corto plazo (por el tamaño grande de los cursos) que afecta, en el largo plazo, las tasas de graduación y el mismo flujo de caja.

Con esta apreciación sobre los posibles resultados inesperados se inició la identificación de los resultados finales, impulsores del desempeño y recursos para la perspectiva instrumental de la DPM.

## 10.5. Elementos para la perspectiva instrumental de la DPM aplicada a la permanencia estudiantil.

### 10.5.1. La permanencia estudiantil como producto administrativo de la cadena de valor en la prestación de servicios académicos.

Esta perspectiva se estructuró alrededor del proceso de creación de valor descrito por Cosenz como

«En instituciones académicas, el proceso de creación de valor abarca diferentes unidades organizacionales interactuando para entregar productos/servicios a los clientes externos (por ejemplo: estudiantes, empresas, comunidad científica). Tales unidades no son solamente las oficinas que atienden al público y las de niveles periféricos; también están relacionadas con las oficinas auxiliares y con las de nivel central. Una falta de coordinación entre las diferentes unidades involucradas en la entrega de los productos/servicios puede limitar sustancialmente la capacidad de la organización para generar valor» (Cosenz, 2014, pág. 959).

Se resalta que un producto administrativo es un resultado generado por la realización de un proceso o combinación de ellos en favor de clientes externos. Así, al estudiante y a la comunidad científica se les entregan la matrícula, la graduación y las publicaciones como productos administrativos (Cosenz, 2014, pág. 962). La permanencia estudiantil como

esfuerzo institucional también es un producto administrativo. Para mitigar la deserción estudiantil se requiere que las diferentes unidades académicas y administrativas entreguen sus productos “instrumentales”<sup>25</sup> con los que contribuyen a la permanencia. Tres ejemplos de estos productos instrumentales son la promoción de programas nuevos, caracterización de estudiantes nuevos y antiguos y el SAT.

Gran parte de los productos administrativos y académicos dependen de los diferentes roles de los profesores por lo que se constituyen en un recurso estratégico en la IES de donde una de las metas importantes es robustecer la capacidad docente y de investigación-creación de las que dependen la productividad académica y la atracción de los estudiantes a las actividades académicas en sus diferentes facetas lo que repercute en la matrícula, la permanencia y la graduación estudiantil.

#### 10.5.2. Los profesores: un recurso estratégico de las IES en la perspectiva de la Gestión Dinámica del Desempeño para la permanencia estudiantil.

La participación de los profesores en los diferentes procesos está vinculada a otros recursos estratégicos asociados a los productos administrativos de la IES: 1) Producción académica de investigación-creación, ya que en este recurso se encuentran los artículos sometidos y publicados así como las obras de creación; 2) Habilidades de investigación y su actualización mediante participación en congresos, obtención de títulos para avance en el nivel académico, perfeccionamiento del manejo en idiomas extranjeros; 3) Habilidades docentes y su actualización indispensables para la permanencia dado que la mayoría de los profesores universitarios son profesionales en sus disciplinas y requieren tiempo para formación en docencia y para apropiación del Proyecto Educativo Institucional (PEI) que contiene las metas y valores institucionales; 4) Horas dedicadas a la docencia en el salón de clase con los estudiantes; 5) Horas dedicadas a la tutoría y consejería como apoyo extraclase a los estudiantes en asuntos académicos y administrativos.

La coordinación de estos recursos estratégicos por parte de las directivas permitiría anticiparse a la disputa en tiempo y en espacio<sup>26</sup> para atraer estudiantes nuevos y antiguos que se matriculen y permanezcan en la IES hasta su graduación.

Ahora que se ha definido la permanencia como un producto y los profesores como un recurso estratégico hay que definir los impulsores de desempeño amalgamando los indicadores que recomienda el MEN, el indicador de avance relativo denominado valor académico agregado y los que provienen la cadena de valor de la prestación del servicio académico para lograr un efecto comprehensivo en el seguimiento de la deserción estudiantil.

#### 10.5.3. Impulsores de desempeño para los resultados finales de la cadena de generación de valor.

La amalgama de los indicadores se sintetizó siguiendo la estructura de DPM diseñada para la Universidad de Palermo<sup>27</sup>, Italia (Cosenz, 2014, págs. 962-964). Para el presente caso se

---

<sup>25</sup> Estos productos “instrumentales” pueden pensarse como productos intermedios que unidades académicas o administrativas deben proporcionar a otras dentro de la cadena de generación de valor para generar un producto final.

<sup>26</sup> Lo que correspondería a *Trades-off: over time, across space* (Bianchi, 2016, pág. 4).

enfaticó en los profesores, en la visibilidad de la IES en SCOPUS<sup>28</sup> y en los recursos financieros que son los que le dan la sostenibilidad a las IES. La permanencia estudiantil se incorpora a la estructura que contiene:

Primero, los indicadores provenientes de los lineamientos, directrices y recomendaciones del MEN y del Viceministerio de Educación Superior que tradicionalmente han formulado dos indicadores con los que se referencia internacionalmente: 1) la tasa de deserción anual con la que mide el efecto interanual de la política pública y de las actividades de mitigación de las IES en el corto plazo y 2) la tasa de deserción por cohorte<sup>29</sup> que mide la deserción de quienes ingresaron en un mismo periodo (Ministerio de Educación Nacional, 2015, pág. 9). Estos indicadores se pueden obtener con base en SPADIES y dan información puntual alertando en el corto plazo lo que puede representar una limitación.

Segundo, el valor académico agregado en el sentido de indicador de avance relativo como lo define Bogoya:

«el valor académico agregado considera la variación global del resultado alcanzado en pruebas externas aplicadas a los estudiantes de un programa académico o un conjunto de programas, al iniciar sus estudios superiores (como línea de base) y al terminarlos (como condición o estado de salida), convirtiéndose en un indicador de avance relativo, que se aprecia frente al respectivo avance de los demás estudiantes o programas que se están analizando» (Bogoya D. , 2011, pág. 54).

Con el valor académico agregado, Bogoya estimó la trascendencia de los profesores basada en la condición de ingreso de los estudiantes y la capacidad académica al finalizar el programa académico empleando como valoraciones externas Saber 11° y Saber Pro<sup>30</sup>, que actúan como línea de base y línea final respectivamente (Bogoya D. , 2012, pág. 5). El autor mostró que los profesores de una IES lograron mayor valor académico agregado que otra en el mismo segmento, cuando estudiantes con similares condiciones de ingreso alcanzaron mayor capacidad académica.

Tercero, los indicadores relacionados con la producción académica, la matrícula, la graduación (Cosenz, 2014, pág. 962) y la permanencia estudiantil como productos administrativos.

La Figura 37 muestra la combinación de los indicadores en las perspectivas: instrumental, objetiva y subjetiva de la metodología DPM para la permanencia estudiantil acentuando el rol de los profesores como motor de los procesos académicos, la visibilidad de la IES en SCOPUS y el flujo de caja.

---

<sup>27</sup> En la estructura que se menciona, el autor enfatiza en la imagen de la Universidad de Palermo y en los recursos financieros.

<sup>28</sup> Acceso a la base de datos SCOPUS <https://www.scopus.com/freelookup/form/author.uri>

<sup>29</sup> Para los programas profesionales, el índice de deserción por cohorte es el promedio aritmético del décimo período de las cohortes y este se relaciona; para los Programas tecnológicos el índice de deserción por cohorte es el promedio aritmético del sexto período de las cohortes (Barragán & Rodríguez, 2015, pág. 47).

<sup>30</sup> En Colombia las pruebas estandarizadas gubernamentales se denominan SABER. La prueba Saber 11° se aplica en la finalización de la educación secundaria y la prueba Saber Pro en la finalización de la educación superior.

Los resultados finales para la producción académica se definieron como los cambios en artículos sometidos y publicados, en presencia de la IES en Google Scholar, en la visibilidad de la IES en SCOPUS y en profesores. Los impulsores de desempeño quedaron en términos de los comparativos entre la presencia en Google Scholar y la visibilidad en SCOPUS de la IES con sus competidoras. Con los registros de estas dos fuentes se puede estimar la actividad y el impacto de la producción de los profesores teniendo en cuenta las diferentes disciplinas y artes que estén en el campo de acción de la IES<sup>31</sup>. El porcentaje de horas que un profesor dedica a la investigación por año y el porcentaje de horas dedicadas a la actualización de las habilidades en investigación por año respecto a la carga laboral anual son impulsores del cambio en la visibilidad de la IES en SCOPUS y de la presencia de la IES en Google Scholar. Además, el porcentaje de horas dedicadas a la investigación y los porcentajes de proyectos tanto de financiación interna como externa son impulsores de los artículos sometidos.

Para la matrícula, los resultados finales son los cambios en estudiantes matriculados, aspirantes, profesores, la visibilidad de la IES en SCOPUS y el flujo de caja. Los impulsores para los cambios en estudiantes matriculados son el porcentaje de programas nuevos e innovadores respecto al total de programas, por el porcentaje del presupuesto total que se destine a publicidad y mercadeo, así como el porcentaje de estudiantes matriculados referidos producto en el voz a voz (WOM). De acuerdo con el porcentaje de estudiantes matriculados respecto a los aspirantes y al tamaño del personal académico respecto a los estudiantes matriculados se modifican los cambios a profesores. El flujo de caja se ve modificado por la porción del ingreso total de la IES que proviene de las matrículas<sup>32</sup>.

El cambio en estudiantes desertores, en profesores y en la visibilidad de la IES junto con el flujo de caja son los resultados finales para la permanencia estudiantil. El porcentaje de horas de la carga total dedicadas a la formación en docencia y a la tutoría y consejería por profesor por año impactan los cambios en estudiantes desertores y a los cambios en la visibilidad en SCOPUS y la presencia en Google Scholar. Además, las razones entre la deserción por cohorte y por periodo de la IES con la media nacional afectan los cambios a estudiantes desertores. El comparativo entre el tamaño promedio de los cursos respecto al de las IES competidoras tiene efecto sobre el cambio en profesores y en estudiantes desertores. La razón entre el ingreso no percibido por concepto de matrícula de los estudiantes desertores respecto al ingreso total es un impulsor del desempeño que impacta los cambios al flujo de caja.

Para la graduación, los cambios en estudiantes graduados, en profesores y en la visibilidad de la IES fueron considerados como sus resultados finales. La razón entre el tiempo promedio para completar el programa académico y el tiempo esperado, así como la razón entre el promedio de salario de los egresados de la IES y el salario mínimo legal vigente afectan los cambios a los estudiantes graduados a través de un multiplicador<sup>33</sup>. También el nivel de integración social del estudiante respecto al esperado se ven reflejados en los

---

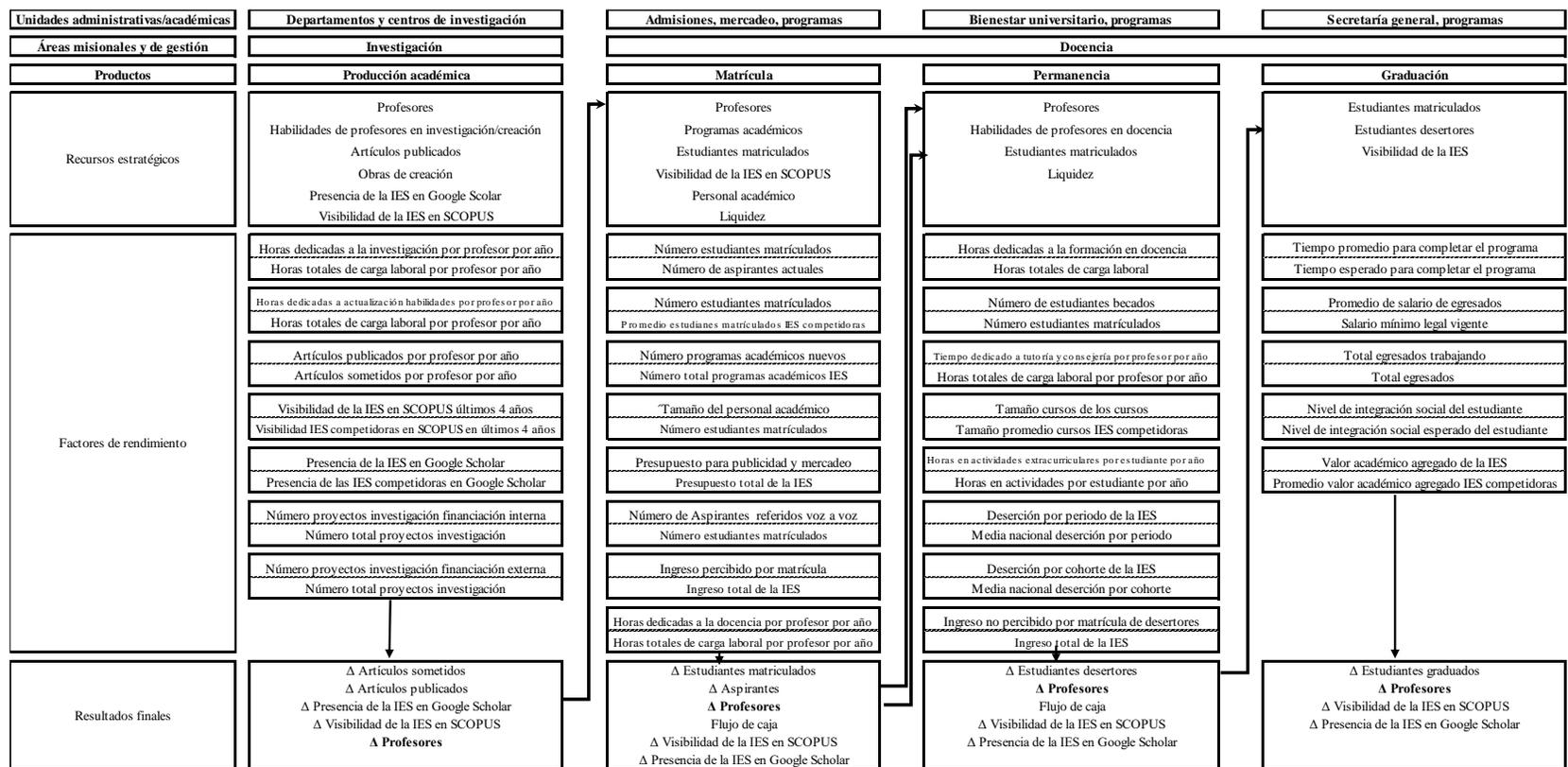
<sup>31</sup> Para un adecuado comparativo pueden emplearse los diferentes filtros que aparecen y conservarlos predefinidos para cotejar dentro de los mismos parámetros, por ejemplo, incluir patentes y citas, un intervalo específico de 4 años y en cualquier idioma.

<sup>32</sup> Este aspecto es particularmente relevante para las IES cuya naturaleza jurídica es privada.

<sup>33</sup> Tal multiplicador puede verse como una función seccionalmente definida.

cambios en los estudiantes graduados. El comparativo entre el valor agregado de la IES y sus competidoras tienen efecto mediante un multiplicador sobre los profesores y sobre los cambios en la visibilidad de la IES en SCOPUS, así como su presencia en Google Scholar.

Figura 37. Perspectivas: instrumental, objetiva y subjetiva para la permanencia estudiantil.



Fuente: Elaboración propia con base en (Cosenz, 2014, pág. 963).

En la Figura 37 se destacan tres impulsores de desempeño que dan cuenta de la ventaja competitiva de la IES que están definidos en términos relativos como una razón entre el desempeño de la IES y un referente (Bianchi, 2016, pág. 76).

Para estimar la ventaja competitiva en investigación y desarrollo con dos aproximaciones diferentes: una desde Google Scholar y otra desde SCOPUS se definieron:

$$\frac{\text{Visibilidad de la IES en SCOPUS últimos 4 años}}{\text{Visibilidad IES competidoras en SCOPUS en últimos 4 años}}$$

$$\frac{\text{Presencia de la IES en Google Scholar}}{\text{Presencia de las IES competidoras en Google Scholar}}$$

Por otra parte, el impulsor definido como

$$\frac{\text{Valor académico agregado de la IES}}{\text{Promedio valor académico agregado IES competidoras}}$$

estima la ventaja competitiva en la calidad y trascendencia de la docencia enmarcada en el PEI que orienta las actividades y procesos en matrícula, permanencia y graduación, aunque sea más notorio en este último producto. Este impulsor da indicios del aporte que pueden esperar los estudiantes matriculados dadas sus condiciones de heterogeneidad al momento del ingreso pues las habilidades docentes intensifican la capacidad académica. Seguramente hay tiempo de demora<sup>34</sup> para que las actividades académicas orientadas por los profesores tengan efecto.

Para materializar la perspectiva de la gestión dinámica del desempeño para la permanencia estudiantil de forma visual, se diseñó un modelo cualitativo que muestra la interacción directa e indirecta de los diferentes elementos encontrados.

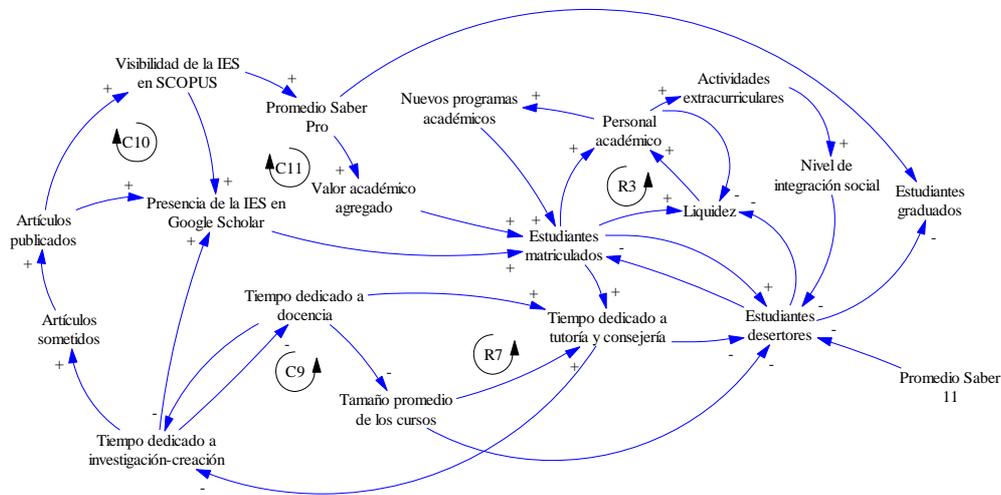
## 10.6. Modelo cualitativo para la permanencia estudiantil en la educación basado en la actividad de los profesores como recurso estratégico.

La Figura 38 presenta un diagrama de bucle causal que desde la perspectiva de la DPM muestra 9 bucles que involucran los estudiantes desertores.

---

<sup>34</sup> La demora que podría ser del tipo “mixer” de segundo orden porque algunos de los estudiantes entran antes, pero emplean más tiempo en completar satisfactoriamente los requisitos de su programa académico y se gradúan (Schaffernicht, 2009, pág. 209).

Figura 38. Diagrama de bucle causal para la permanencia estudiantil basada en la actividad de los profesores como recurso estratégico.



Fuente: Elaboración propia.

Entre ellos se destacan:

R3 como un bucle reforzador indica que cuando la IES cuenta con más personal académico que formule las condiciones iniciales para nuevos programas académicos que interesan a más estudiantes que se matriculan y desertan menos, incrementando la liquidez que posibilita mayores contrataciones de personal académico.

R7 también es un bucle reforzador en el que se detecta que a menos estudiantes desertores hay más matriculados requiriendo más atención por parte de los profesores en tutorías y consejerías, lo que hace que el tiempo dedicado a la investigación-creación se disminuya, liberando tiempo para la docencia. Con más tiempo dedicado a la docencia se disminuye el tamaño promedio de los cursos con lo que hay menos desertores.

C9 es un bucle compensador muestra que al tener menos estudiantes desertores la IES fortalece su liquidez con lo que puede contratar más personal académico que apoye los procesos de creación de nuevos programas académicos los cuales hacen que haya más estudiantes matriculados. Para atender dichos estudiantes se requieren más horas de tutoría y consejería, actividad que demanda tiempo de la carga de los profesores disminuyendo el tiempo de investigación-creación pero que libera tiempo para la docencia. De modo que, el tamaño promedio de los cursos se reduce, atenuando los estudiantes desertores y favoreciendo la liquidez.

El diagrama de la Figura 38 también permite ver dos bucles que involucran la visibilidad de la IES en SCOPUS:

El bucle compensador C10 revela que a mayor visibilidad de la IES en SCOPUS se logra mayor presencia de la IES en Google Scholar, lo que capta más estudiantes matriculados. En ese orden de ideas, se necesita más tiempo de atención en tutoría y consejería, disminuyendo tanto el tiempo dedicado a investigación – creación, como los artículos sometidos a evaluación por pares y por tanto los artículos publicados. Lo que finalmente trae consigo menos visibilidad de la IES en SCOPUS.

Este bucle C11 muestra que al lograr más visibilidad en SCOPUS se eleva el promedio de los estudiantes en el examen de estado Saber Pro, mejorando el valor académico agregado que la IES, lo que favorece la matrícula de estudiantes pues hay más aporte en capacidad académica. Igual que en los bucles anteriores, al tener más estudiantes matriculados es necesario destinar más tiempo de

los profesores a tutoría y consejería disminuyendo así el tiempo de investigación – creación con lo que se afecta la producción bibliométrica pues hay menos artículos sometidos y menos artículos publicados. En consecuencia, se afecta negativamente la visibilidad de la IES en SCOPUS.

## 11. CONCLUSIONES.

En Colombia, las políticas públicas se aproximan a la deserción estudiantil escolar desde diferentes puntos: se encuentran las recomendaciones a las IES para el diagnóstico, el seguimiento y el tratamiento, el control al seguimiento y a la existencia de planes para mitigarla. También existen planes, proyectos y objetivos gubernamentales en torno a la retención estudiantil.

La persistencia y el logro académico de un estudiante dependen en una proporción importante de la preparación para tomar y asumir decisiones, así como de la capacidad de superar obstáculos, es decir, de la resiliencia.

Es muy importante sensibilizar a las IES para que, más allá de completar los requisitos gubernamentales para diferentes propósitos, desarrollen y formulen su modelo institucional orientado a la permanencia y la graduación de los estudiantes. Seguramente y debido a lo intrincado que puede resultar el fenómeno de la deserción, este planteamiento del modelo supone esfuerzos técnicos, teóricos, materiales y de recursos humanos. No obstante, los frutos se podrán apreciar en términos de la tasa de graduación, en el mercadeo voz a voz y en la sostenibilidad financiera de la institución y por supuesto, en la realización de todos los aspectos que sean susceptibles de evaluación gubernamental.

Es importante que las IES controlen las estadísticas de deserción y que caractericen la población que abandona los estudios, pero es vital que dediquen esfuerzos significativos a la prevención. En ese orden los sistemas de alertas tempranas están altamente recomendados para los planes de mejoramiento.

El proceso AHP presenta una alternativa cuantitativa para la priorización de los estudiantes en la permanencia en la IES proporcionando una jerarquización de los estudiantes de mayor a menor, lo cual indica que el primero de la lista es quien tiene mayor arraigo en la institución y el último es el que tiene menos, de acuerdo con los determinantes de la deserción estudiantil del MEN. La priorización también puede leerse de menor a mayor lo que se puede constituir en una alerta temprana. Los estudiantes al final de la ordenación pueden ser rastreados en los determinantes de la deserción estudiantil para identificar cuál es el que más afecta a cada uno tal como se mostró en el segundo capítulo. Esto se sintoniza con el carácter preventivo que tienen las políticas públicas recientes frente a los enfoques ex-post.

El AHP puede ser ejecutado con las variables que se encuentren disponibles en la hoja de matrícula o en la información que repose en las bases de datos institucionales. Los juicios para la comparación tanto de los estudiantes como de los criterios están sometidos a la subjetividad institucional atada a la misión y visión, al Proyecto Educativo Institucional y a las características que el personal de la IES dedicado al seguimiento de la retención lo considere adecuado. Esta versatilidad es una ventaja del AHP que podría beneficiar a la IES de acuerdo con sus políticas privadas en lo que refiere a sus particularidades (Barragán, 2016).

El AHP contribuye al análisis requerido en las políticas públicas de aseguramiento de la calidad de la educación en lo que concierne al seguimiento a la retención y a la deserción estudiantil. La implementación sistemática del AHP requeriría un esfuerzo moderado en cálculos y en capacidad de cómputo.

La interacción social formal e informal crea lazos fuertes entre estudiante-estudiante y estudiante-IES por lo que debe fomentarse desde la institución más que se dé en forma espontánea. En los casos particulares de cada IES, a esta interacción puede hacerse seguimiento de forma técnica.

En el tercer capítulo se mostró que la combinación de la Teoría de Grafos y la estadística permite un entendimiento técnico de las redes de comunicación que establecen los estudiantes y la asociación de la interacción en estas redes con la integración académica. La aplicación de la modelación matemática y la modelación estadística al estudio del uso de las redes sociales y de los mecanismos de comunicación fortalecen el conocimiento de la población estudiantil y de las dinámicas sociales de los grupos. Este conocimiento actúa en línea con las políticas públicas para el diagnóstico, tratamiento y seguimiento de la deserción estudiantil en cuanto se puede articular en un SAT.

Los estudiantes que se identifiquen como aislados pueden ser instados a formar parte de grupos estudiantiles que refuercen su sentido de pertenencia a la Institución, lo cual en el sentido del Modelo de Tinto puede reforzar la persistencia de un estudiante; persistencia que es fundamentada en la combinación de la integración social y la integración académica.

La robustez técnica de la modelación con Teoría de Grafos y árboles de decisión repercute en la solidez de los planes y proyectos para la permanencia estudiantil dado el acentuado análisis de las variables. Para el entendimiento profundo de los determinantes de la deserción, las IES pueden aplicar estas técnicas con un esfuerzo informático moderado pero eficaz revelando una orientación preventiva. Todo esto actúa acorde con los requerimientos de unos sistemas de evaluación y seguimiento a la deserción y a la retención propios de las políticas públicas destinadas a la calidad de la educación (Barragán & González, 2017).

Así como la integración social es importante no lo es menos la integración académica. La evaluación es una parte fundamental de esta integración académica porque es en este proceso que tanto el estudiante evaluado como sus profesores, y por tanto la IES, reconocen los estados de desarrollo y profundidad de la capacidad académica en la disciplina que sea objeto de evaluación. Este reconocimiento del nivel de logro académico posibilita a la IES el ajuste del currículo y de las estrategias pedagógicas a que haya lugar. Al estudiante le emite una señal para que tome las medidas necesarias para lograr los objetivos de formación propuestos de forma que se sintonice con los resultados esperados en los cursos, lo que lo conduce a integrarse académicamente.

El uso combinado de la Teoría de Grafos y la Teoría de Respuesta al Ítem representa una alternativa metodológica y técnica para evaluar de forma integral a los estudiantes de Educación Superior lo que posibilita que el mismo evaluado y la IES identifiquen el nivel de desempeño académico individual apuntando directamente a la integración académica del estudiante. Como se mencionó, con este conocimiento el evaluado puede reconocer el grado de cumplimiento de los objetivos de formación y proponerse un plan para lo que le haga falta y la IES puede optimizar sus recursos y ofrecer opciones académicas diferenciadas con base en la escala de habilidad y en la posición individual. Todo esto se evidenció en el cuarto capítulo.

Si bien la implementación de la Teoría de Grafos y la Teoría de Respuesta al Ítem requiere conocimientos específicos y manejo de software especializado, su aplicación en análisis de instrumentos de evaluación ofrece aspectos detallados de la prueba, de los ítems y de los evaluados apoyándose en la psicometría. El uso de herramientas informáticas especializadas permite el procesamiento de los datos garantizando eficiencia y eficacia en la obtención de conclusiones e inferencias. Todo esto fortalece los sistemas de evaluación de los estudiantes, sistemas que están previstos como una característica para los programas de pregrado en los lineamientos para acreditación de alta calidad que son una de las formas vigentes en que el Estado Colombiano materializa las políticas públicas sobre calidad de la educación.

Con lo presentado en el quinto capítulo se mostró que la deserción estudiantil se caracteriza por su complejidad dinámica lo que posibilita la implementación de la Gestión Dinámica del Desempeño y la Dinámica de Sistemas. Los resultados de esta implementación proporcionan elementos de juicio para las necesidades propias de la institución y su comunidad. Todo ello en últimas le da solidez a las IES en su actividad alrededor de la permanencia estudiantil.

Con lo estudiado en el quinto capítulo se concluyó que la permanencia estudiantil es un producto administrativo de la cadena de generación de valor y que los profesores como un recurso estratégico de las IES en quienes se fundamentan muchas de las estrategias del plan de permanencia y graduación. Esta identificación se hizo posible mediante las perspectivas instrumental, objetiva y subjetiva de la Gestión Dinámica del Desempeño.

Fortalecer las habilidades docentes y de investigación - creación de los profesores debe ser una prioridad para las IES pues con ellas se pueden robustecer la visibilidad en SCOPUS, la presencia en Google Scholar y el valor académico agregado que son recursos estratégicos de la producción académica, la matrícula, la permanencia y la graduación.

Para evitar o contrarrestar resultados inesperados, es importante que las altas directivas de las IES consideren la coordinación y la distribución de las actividades de los profesores en investigación - creación y docencia que están relacionadas con la participación en proyectos de financiación interna y externa, con la publicación de artículos, docencia presencial y atención a estudiantes en tutoría y consejería, dado que pueden disputarse el tiempo de la carga laboral resultando en poca eficiencia y efectividad.

Es aconsejable que el conjunto de indicadores que defina la IES armonice los requerimientos y recomendaciones del MEN, con las ventajas competitivas del valor académico agregado y con los que estiman las ventajas competitivas en investigación y desarrollo y la calidad y trascendencia de la docencia.

Todo lo anterior, se resume en que la deserción estudiantil en la educación superior, al ser un fenómeno complejo, requiere de la combinación e integración de técnicas de modelado que faciliten su comprensión con lo que se fortalecen los elementos de juicio para la toma de decisiones y la formulación de políticas educativas permitiendo la implementación de sistemas de alertas tempranas. Estos sistemas de prevención y la evaluación de su impacto deben orientar las políticas educativas de las IES y los programas de fomento de la permanencia y graduación de los estudiantes.

## 12. REFERENCIAS.

- Abraham, M., & Brenca, R. (2014). Análisis psicométrico de la evaluación del aspecto pragmático del lenguaje infantil: Batería ICRA-A. *Interdisciplinaria*, 31(1), 139-161.
- Acemoglu, D., & Ozdaglar. (14 de Septiembre de 2009). *Graph Theory and social networks*. Recuperado el 26 de Febrero de 2015, de <http://economics.mit.edu/files/4620>
- Agresti, A. (1990). *Categorical data analysis*. New York: John Wiley & sons.
- Anderson, D., Sweeny, D., & Williams, T. (1998). *Métodos cuantitativos para los negocios* (Séptima ed.). México: International Thomson Editores.
- Barragán, S. (2013). Respuestas omitidas: examen de Matemáticas Básicas, Universidad Jorge Tadeo Lozano. *Revista Mutis*, 3(1), 69-85.
- Barragán, S. (2016). Modelo multicriterio para la propensión a la permanencia en la educación superior. *Revista de educación en ingeniería*, 12(22), 52-56.
- Barragán, S., & González, L. (2017). Acercamiento a la deserción estudiantil desde la integración social y académica. *Revista de la educación superior*, 46(183), 63-86.
- Barragán, S., & González, L. (2017). Hallazgos sobre la educación en Bogotá con base en la encuesta Multipropósito 2014. *Sophia*, 13-29.
- Barragán, S., Bogoya, D., Contento, M., & Ocaña, A. (2014). *Una aproximación a la construcción de ítems para pruebas en matemáticas*. Obtenido de [http://avalon.utadeo.edu.co/servicios/ebooks/una\\_aproximacion\\_a\\_la\\_construccion\\_de\\_items/](http://avalon.utadeo.edu.co/servicios/ebooks/una_aproximacion_a_la_construccion_de_items/)
- Bianchi, C. (2016). *Dynamic Performance Management*. Switzerland: Springer.
- Blondel, V., Guillaume, J.-L., & Lambiotte, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*, 10, 1-12. doi:10.1088/1742-5468/2008/10/P10008
- Bogoya, D. (2006). Evaluación Educativa en Colombia. *Seminario Internacional de Evaluación* (págs. N1-N27). Cartagena: ICFES.
- Bogoya, D. (26 de Septiembre de 2011). Evaluación de la calidad de la educación y su valor académico agregado. *Anfibios académicos: pedagogías, docencia y evaluación en la educación superior*, 41-64. Recuperado el 27 de Junio de 2017
- Bogoya, D. (4 de Junio de 2012). *¿Qué es un buen docente en educación superior y cómo evaluarlo?* Recuperado el 31 de Mayo de 2016, de document sites-Daniel Bogoya: [file:///C:/Users/SANDRA/Downloads/Qu%C3%A9%20es%20un%20buen%20docente%20en%20Educaci%C3%B3n%20Superior%20\(2012\).pdf](file:///C:/Users/SANDRA/Downloads/Qu%C3%A9%20es%20un%20buen%20docente%20en%20Educaci%C3%B3n%20Superior%20(2012).pdf)

- Bogoya, D., Barragán, S., Contenido, M., & Ocaña, A. (2014). Calibración de instrumentos de evaluación - clasificación de matemáticas en la Universidad Jorge Tadeo Lozano. *Revista Complutense de Educación*, 25(2), 501-519.
- Bogoya, D., Ocaña, A., Barragán, S., & Contenido, M. (2014). Funcionamiento Diferencial de Ítemes: Examen de matemática - Universidad Jorge Tadeo Lozano. *Interdisciplinaria*, 31(1), 121-138.
- Bondy, J., & Murty, U. (1976). *Graph theory with applicattions*. USA: Elsevier Science Publishing Co.
- Bronfenbrenner, U. (1996). *A abordagem sistêmica de Bronfenbrenner: modelo bioecológico*. Recuperado el 1 de Abril de 2014, de Ecologia do Desenvolvimento Humano: file:///C:/Users/sandra.barragan/Dropbox/Grupo%20de%20profesores%20para%20retenci%C3%B3n%20estudiantil/Libros%20y%20art%C3%ADculos/EcologiadoDesenvolvimentoHumano.pdf
- Cabrero, J., & Marín, V. (2014). Posibilidades educativas de las redes sociales y el trabajo en grupo. Percepciones de los alumnos universitarios. *Comunicar, Revista Científica de Educomunicación*, XXI(42), 165-172.
- Chandessais, C. (1957). Application d'un modèle topologique a l'étude du moral. *Presses universitaires de France*, 20(1), 8-29.
- Chen-Feng, W., Chun-Ta, L., & Pei-Min, W. (2012). Recuperado el 24 de Noviembre de 2015, de Evaluation assessment tools for high-care student groups in vocational high schools: [http://onlinepresent.org/proceedings/vol5\\_2012/15.pdf](http://onlinepresent.org/proceedings/vol5_2012/15.pdf)
- Chen-Feng, W., Chun-Ta, L., & Pei-Min, W. (2013). Applying multicriteria method to the decision of assesment tools for high-care studentes groups. *International Journal of Hybrid Information Techonology*, 6(3), 1-13.
- Cliff, N. (1977). A theory of consistency of ordering generalizable to tailored testing. *Psychometrika*, 42(3), 375-399.
- Consejo Nacional de Acreditación. (Enero de 2013). *Lineamientos para la acreditación de programas de pregrado*. Recuperado el 14 de Octubre de 2013, de [http://www.cna.gov.co/1741/articles-186359\\_pregrado\\_2013.pdf](http://www.cna.gov.co/1741/articles-186359_pregrado_2013.pdf)
- Consejo Nacional de Educación Superior. (19 de Agosto de 2014). *Ministerio de Educación Nacional*. Recuperado el 27 de Mayo de 2015, de Acuerdo por lo superior 2034. Propuesta de política pública para la excelencia de la educación superior en Colombia en el escenario de la paz: [http://www.dialogoeducacionsuperior.edu.co/1750/articles-319917\\_recurso\\_1.pdf](http://www.dialogoeducacionsuperior.edu.co/1750/articles-319917_recurso_1.pdf)
- Cosenz, F. (2014). A dynamic viewpoint to desing performance management systems in academic institutions: theory and practice. *International journal of public administration*, 37, 955-969. doi:10.1080/01900692.2014.952824

- DeMars, C. (2010). *Item Response Theory (Understanding Statistics: Measurement)*. New York: Oxford University Press, USA.
- Departamento Nacional de Planeación. (2015). *Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 Todos por un nuevo país* (Vol. Tomo 1). Bogotá: Departamento Nacional de Desarrollo.
- Donoso, S., & Schiefelbein, E. (2007). Análisis de los modelos explicativos de retención de estudiantes en la universidad: una visión desde la desigualdad social. *Estudios pedagógicos*, XXXIII(1), 7-27. Recuperado el 10 de Enero de 2014, de Análisis de los modelos explicativos de retención de estudiantes en la universidad: una visión desde la desigualdad social: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173514133001>
- Durán, J., & Paucar, A. (21 de March de 2014). *A system dynamic model to examine students' no-continuation trends: A Mexican and British cases*. Recuperado el 16 de May de 2017, de Researche Gate: [file:///C:/Users/SANDRA/Downloads/A\\_System\\_Dynamic\\_Model\\_to\\_examine\\_students'\\_no-con.pdf](file:///C:/Users/SANDRA/Downloads/A_System_Dynamic_Model_to_examine_students'_no-con.pdf)
- Festinger, L. (1949). The analysis of sociograms using matrix algebra. *Human Relations*, 153-158.
- Flament, C. (1972). *Teoría de grafos y estructuras de grupo*. Madrid: Tecnos.
- Forsyth, E., & Katz, L. (1946). A matriz approach to the analysis of sociometric Data: Preliminary report. *American Sociological Association*, 9(4), 340-347.
- Gross, J., & Yellen, J. (2006). *Graph Theory and its applications*. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC Taylor & Francis Group.
- Grossman, S. (1988). *Aplicaciones de álgebra lineal*. México: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Hambleton, R. (1990). Item response theory: intoduction and bibliography. *Psicotema*, 2(1), 97-107.
- Hambleton, R., Swaminathan, H., & Rogers, J. (1991). *Fundamentals of item response theory*. Newbury Park: SAGE Publications, Inc.
- Hattie, J. (1984). An empirical study of various indices fir determinig unidimensionality. *Multivariate Behavioral Research*, 19, 49-78.
- Hattie, J. (1985). Methodology Review: Assessing unidimensionality of test and items. *Applied Psycological Meauserment*, 9(2), 139-164.
- ICFES. (10 de Diciembre de 2014). *Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación*. Recuperado el 11 de Marzo de 2016, de <http://www.icfes.gov.co/index.php/instituciones-educativas/acerca-de-las-evaluaciones/como-se-califican-las-pruebas>
- Jiménez, M. (julio de 2014). Análisis de comunidades científicas basadas en fuentes de datos online. *Trabajo fin de grado*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.

- Kalin, C., & Shafto, S. (2003). Enrollment management dynamics of adult undergraduate degree-completion business programs at private universities. *21st International conference of System Dynamics Society* (págs. 1-15). New York: [http://www.systemdynamics.org/conferences/2004/SDS\\_2004/PAPERS/315KALIN.pdf](http://www.systemdynamics.org/conferences/2004/SDS_2004/PAPERS/315KALIN.pdf).
- Kats, L. (1947). On the matrix analysis of sociometric data. *Sociometry*, *10*(3), 233-241.
- Kolman, B., & Hill, D. (2013). *Álgebra Lineal. Fundamentos y aplicaciones*. Bogotá: Pearson.
- Levitz, R., & Noel, L. (Noviembre de 2008). *Student Success, retention and graduation. Definitios, theories, practices, patterns and trends*. Recuperado el 12 de Mayo de 2017, de <http://www.stetson.edu/law/conferences/highered/archive/media/Student%20Success,%20Retention,%20and%20Graduation-%20Definitions,%20Theories,%20Practices,%20Patterns,%20and%20Trends.pdf>
- Li, J., Xie, J., Liu, J., & Wang, H. (2010). Recuperado el 24 de Noviembre de 2015, de The application of analytic hierarchy process in higher education tuition model: <http://58.205.208.126/meeting/UploadPapers/1281516397828.pdf>
- Linacre, J. M. (2008). *A User's Guide to Winsteps*. Chicago: John M. Linacre.
- McCubbin, I. (Febrero de 2003). *An examination of criticisms made of Tinto's 1975 Student Integration Model of Attrition*. Recuperado el 7 de Agosto de 2017, de <http://www.psy.gla.ac.uk/~steve/localed/icubb.pdf>
- Mendoza, D. (2013). Aplicación de la teoría de decisión multicriterio discreta para ponderar factores en procesos de acreditación de alta calidad. *INGE CUC*, *9*(1), 25-41.
- Merino, C., & Vilcherrez, L. (2014). Evaluación psicométrica de un instrumento de discapacidad social para niños. *Interdisciplinaria*, *31*(1), 107-120.
- Ministerio de Educación Nacional . (12 de 2016). *Boletín Educación Superior en Cifras*. Recuperado el 12 de Julio de 2017, de <http://www.mineduacion.gov.co/1759/w3-article-350451.html>
- Ministerio de Educación Nacional. (2009). *Deserción estudiantil en la educación superior colombiana. Metodología de seguimiento, diagnóstico y elementos para su prevención*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Ministerio de Educación Nacional. (10 de Junio de 2009). *Manual de administrador del SPADIES V.2.5*. Recuperado el 6 de Marzo de 2014, de [http://www.mineduacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articles-254702\\_manual\\_administrador.pdf](http://www.mineduacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articles-254702_manual_administrador.pdf)
- Ministerio de Educación Nacional. (2015). *Guía para la implementación del modelo de gestión de permanencia y graduación estudiantil en instituciones de educación superior*. Recuperado el 22 de Junio de 2017, de [http://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-356272\\_recurso.pdf](http://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-356272_recurso.pdf)

- Ministerio de Educación Nacional. (2015). *MIDE. Modelo de indicadores del desempeño de la educación*. Recuperado el 1 de Septiembre de 2017, de Colombia aprende. La red de conocimiento: <http://www.colombiaprende.edu.co/html/micrositios/1752/w3-propertyname-3214.html>
- Ministerio de Educación Nacional. (2016). *Compendio estadístico de la educación superior*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Mullis, I., Martin, M., Ruddock, G., Sullivan, C., & Preuschoff, C. (2009). *Timss 2011. Assessment Frameworks*. Boston: Lynch School of Education, Boston College.
- Munier, N. (2011). *A strategy for using multicriteria analysis in decision-making. A guide for simple and complex environmental projects*. New York: Springer.
- Muñiz, J. (2010). Las teorías de los test: Teoría Clásica y Teoría de Respuesta a los Items. *Papeles del Psicólogo*, 57-66.
- Observatorio de Educación Superior de Medellín. (Julio de 2017). *Deserción en la educación superior*. Recuperado el 13 de Agosto de 2017, de Alcaldía de Medellín. Cuenta con vos. Sapiencia: [http://www.sapiencia.gov.co/wp-content/uploads/2017/07/BOLETIN\\_ODES\\_DESERCION\\_EN\\_LA\\_EDUCACION\\_SUPERIOR.pdf](http://www.sapiencia.gov.co/wp-content/uploads/2017/07/BOLETIN_ODES_DESERCION_EN_LA_EDUCACION_SUPERIOR.pdf)
- OECD. (2009). *PISA 2006 Technical Report*. París: OECD.
- Olson, J., Martin, M., & Mullis, I. (2008). *TIMSS 2007 Technical Report*. Boston: TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College.
- Ore, O. (1962). *Theory of Graphs* (Vol. 38). Providence, Rhode Island: American Mathematical Society.
- Pardo, C. (2001). El modelo de Rasch: una alternativa para la evaluación educativa en Colombia. *Acta colombiana de Psicología*, 1(5), 9 - 21.
- Pineda, C. (2010). *La voz del estudiante: el éxito de programas de retención universitaria*. Chía, Colombia: Universidad de la Sabana.
- Proyecto ALFA GUIA DCI-ALA/2010/94. (Noviembre de 2013). *Marco conceptual sobre el abandono*. Recuperado el 14 de Mayo de 2014, de Síntesis del marco conceptual: <http://www.alfaguia.org/www-alfa/images/resultados/S%C3%ADntesis-del-Marco-Conceptual.pdf>
- Proyecto ALFA GUIA DCI-ALA/2010/94. (Noviembre de 2013). *Marco conceptual sobre el abandono*. Recuperado el 3 de Abril de 2014, de Hacia la construcción colectiva de un Marco Conceptual sobre abandono estudiantil para analizar, predecir, evaluar y atender el abandono estudiantil en la educación superior: [http://www.alfaguia.org/www-alfa/images/resultados/Marco\\_Conceptual\\_sobre\\_el-Abandono.pdf](http://www.alfaguia.org/www-alfa/images/resultados/Marco_Conceptual_sobre_el-Abandono.pdf)

- Ramírez, D. M., Gartner, M. L., Bernal, J. E., Zapata, Á., Vallejo, F. A., Prieto, P. A., & Langebaek, C. H. (Enero de 2013). *Consejo Nacional de Acreditación - CNA*. Recuperado el 14 de Octubre de 2013, de Lineamientos para la acreditación de programas de pregrado: [http://www.cna.gov.co/1741/articles-186359\\_pregrado\\_2013.pdf](http://www.cna.gov.co/1741/articles-186359_pregrado_2013.pdf)
- Robano, V., Bert, B., Heriard-Dubreil, P., Lehuede, H., & Jankowska, A. (Enero de 2015). *Colombia. Policy priorities for inclusive development*. Recuperado el 21 de Abril de 2016, de [OECD: file:///C:/Users/sandra.barragan/Dropbox/Din%C3%A1mica%20de%20sistemas/Pol%C3%ADticas%20p%C3%ABlicas%20sobre%20deserci%C3%B3n/colombia-policy-priorities-for-inclusive-development.pdf](http://www.oecd.org/dataoecd/11/50/47702222.pdf)
- Rojas, P. (2011). *Community Management. En una semana*. Bogotá: Planeta Colombia S.A.
- Ruiz, C. (2005). *Confiabilidad*. Recuperado el 3 de Junio de 2015, de Programa institucional de doctorado en educación: <http://es.calameo.com/read/000261962d0b25b8cdc7b>
- Ruiz-Tagle, J. (2011). Algoritmos de cálculo de vectores a prioridad a partir de matrices de comparación por pares imprecisos. *Tesis doctoral*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Schaffernicht, M. (2009). *Indagación de situaciones complejas mediante la dinámica de sistemas*. Talca: Universidad de Talca.
- Schmitt, R., & Santos, B. (14 de Noviembre de 2013). *Tercera conferencia latinoamericana para el abandono de la educación superior. III CLABES*. Recuperado el 19 de Febrero de 2014, de Modelo ecológico del abandono estudiantil en la educación superior: una propuesta metodológica orientada a la construcción de una tesis: [http://www.alfaguia.org/www-alfa/images/ponencias/clabesIII/LT\\_1/ponencia\\_completa\\_145.pdf](http://www.alfaguia.org/www-alfa/images/ponencias/clabesIII/LT_1/ponencia_completa_145.pdf)
- SERCE. (2010). Manual de procesamiento de datos y análisis de ítems. En C. Pardo, *Compendio de los manuales del SERCE*. Santiago de Chile: Interson S.A.
- Shinde, R., & Kaynak, D. (16 de June de 2016). *Analysis of the Turkish Education System: A System Dynamics Approach on Dropouts and De*. Recuperado el 16 de May de 2017, de [System dynamics conferences: http://www.systemdynamics.org/conferences/2016/proceed/papers/P1255.pdf](http://www.systemdynamics.org/conferences/2016/proceed/papers/P1255.pdf)
- Sistema de Prevención y Análisis de la Deserción en las Instituciones de Educación Superior. (14 de Febrero de 2014). *Informe determinantes de la deserción*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2016, de [http://www.mineducacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articles-254702\\_Informe\\_determinantes\\_desercion.pdf](http://www.mineducacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articles-254702_Informe_determinantes_desercion.pdf)
- Swail, W., Reed, K., & Perna, L. (2003). *Retaining minority students in higher education* (Vol. 30). (A. J. Editor, Ed.) Los Angeles: Ashe Eric.

- Tan, P.-N., Steinbach, M., & Kumar, V. (2006). *Introduction to data mining*. Boston: Pearson Education, Inc.
- Tatsuoka, K. (2009). *Cognitive Assessment: An Introduction to the Rule Space Method*. New York: Taylor & Francis Group.
- Tatsuoka, M. (1986). Graph Theory and its applications in Educational research: A review and integration. *Review of educational research*, 56(3), 291-329.
- Tinto, V. (1993). *Leaving college. Rethinking the causes and cures of student attrition* (Second edition ed.). Chicago: University Chicago Press.
- Vázquez, A., & Cabrero, J. (2015). Las redes sociales aplicadas a la formación. *Revista Complutense de educación*, 26(Especial), 253-272.
- Viana, N., & Rullán, A. (2010). Reflexiones sobre la deserción escolar en Finlandia y Puerto Rico. *Archivos analíticos de políticas educativas*, 18(4), 1-33. Recuperado el 25 de Mayo de 2015, de <http://epaa.asu.edu/ojs/article/view/698>
- Wright, B., & Stone, M. (1998). *Diseño de mejores pruebas utilizando la técnica de Rasch*. México: Ceneval.