

Artículo

# Acercamiento a la deserción estudiantil desde la integración social y académica

## *Approach to student dropouts from the perspective of social and academic integration*

Sandra Patricia Barragán Moreno\* y Leandro González Támara

*Departamento de Ciencias Básicas y Modelado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia*

Recibido el 12 de mayo de 2016; aceptado el 30 de mayo de 2017

Disponible en Internet el 30 de agosto de 2017

---

### Resumen

En las políticas públicas colombianas relativas a la deserción estudiantil en la educación superior se solicita a las instituciones la formulación y el seguimiento de planes para mitigarla. Para observar estas pautas gubernamentales, en este documento proponemos la combinación novedosa de la teoría de grafos y los árboles de decisión bajo la idea de modelar la interacción espontánea de estudiantes en algunas redes sociales con miras a estimar la contribución de éstas en la integración social y académica. Validamos la propuesta con un caso de estudio, mostrando los algoritmos ejecutados mediante herramientas informáticas. © 2016 Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior A.C. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

*Palabras clave:* Árboles de decisión; Integración social; Integración académica; Retención estudiantil; Teoría de grafos

### Abstract

Colombian public policies related to dropouts in higher education urge universities to formulate and monitor their institutional retention plans. In order to analyze these government guidelines, we propose a novel combination of Graph Theory and Decision Trees to model the spontaneous interaction of students in some social networks. Our goal is to estimate the contribution of this interaction to social and academic integration. The proposal was validated with a case study showing the algorithms implemented with computational tools. © 2016 Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior A.C. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

*Keywords:* Decision trees; Social integration; Academic integration; Student retention; Graph theory

---

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [sandra.barragan@utadeo.edu.co](mailto:sandra.barragan@utadeo.edu.co) (S.P. Barragán Moreno).

## Introducción

En el año 2009, el Ministerio de Educación Nacional de Colombia (MEN) publicó el libro *Deserción estudiantil en la educación superior colombiana. Metodología de seguimiento, diagnóstico y elementos para su prevención*<sup>1</sup> para presentar la política pública relativa al análisis de la deserción estudiantil en el país (Ministerio de Educación Nacional, 2009). Por otra parte, en 2013, el Consejo Nacional de Acreditación (CNA) actualizó los lineamientos para la acreditación de programas de pregrado en los cuales el Estado los reconoce como de alta calidad con base en la política para la evaluación de la calidad de la educación; tal política valora las características relacionadas con la deserción estudiantil (Ramírez et al., 2013: 32,44).

Además, en 2014, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) publicó que en Colombia hubo una disminución de 2.5 puntos porcentuales en la tasa de deserción de la educación superior, quedando en 10.4% hacia 2013 (Departamento Nacional de Planeación, 2014: 110). El DNP instó a continuar las acciones que prevengan el abandono de la formación superior al ser un tema prioritario, sobre la base de las deserciones acontecidas en primer semestre para la educación técnica profesional del 33.8%, tecnológico del 25.8% y universitario del 18.47% (Departamento Nacional de Planeación, 2014: 38). En ese orden de ideas, la meta planteada por el DNP para la tasa de deserción en educación técnica y tecnológica consiste en reducir del 21.3% —porcentaje tomado como la línea de base en 2013— al 15% en 2018. Con estas disposiciones políticas vigentes y con el convencimiento de la utilidad de que un estudiante obtenga un título universitario, las instituciones de educación superior (IES) abordan la retención estudiantil desde sus proyectos educativos institucionales bajo sus propios criterios y desde las directrices del MEN visibles en el Sistema de Prevención y Análisis de la Deserción en las Instituciones de Educación Superior (SPADIES) (Ministerio de Educación Nacional, 2009: 13).

Con la premisa de efectuar tal análisis, dentro del marco teórico para el diagnóstico y el tratamiento de la deserción en la educación superior, el MEN vinculó el modelo de interacción de Tinto (fig. 1) (Ministerio de Educación Nacional, 2009: 23-32), en el que la integración social es definida como la capacidad que tiene el alumno de alternar el estudio con la familia, el trabajo y la sociedad (Ministerio de Educación Nacional, 2009: 31); también incluyó la integración social en los determinantes de la deserción estudiantil, dentro del factor individual, ya que para un alumno los lazos sociales dentro de la institución brindan una buena parte del soporte requerido para las metas individuales en la carrera (Swail, Reed y Perna, 2003: 78); la integración académica, por otro lado, queda en el cumplimiento de los estándares, reglamentos y normatividad de la IES.

Otras fuentes también han resaltado la importancia de la integración social, y en particular subrayan que «los pares de un estudiante son agentes de socialización de mayor importancia que los docentes con quienes establece comunicación informal» (Pineda, 2010: 43). Por esta circunstancia, 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 académica son facilitadoras para reevaluar las metas y los compromisos individuales que finalmente influyen en la toma de decisión respecto a permanecer o no en la escuela (Viana y Rullán, 2010: 7).

<sup>1</sup> A lo largo del presente artículo se hará uso del término deserción para referirse al abandono de los estudios universitarios porque en las políticas públicas colombianas éste es el término posicionado. Aunque la palabra tenga posibles connotaciones negativas y aparentemente deje de lado la reorientación profesional, el descubrimiento de talentos y de vocaciones, al final es la que acepta el MEN.

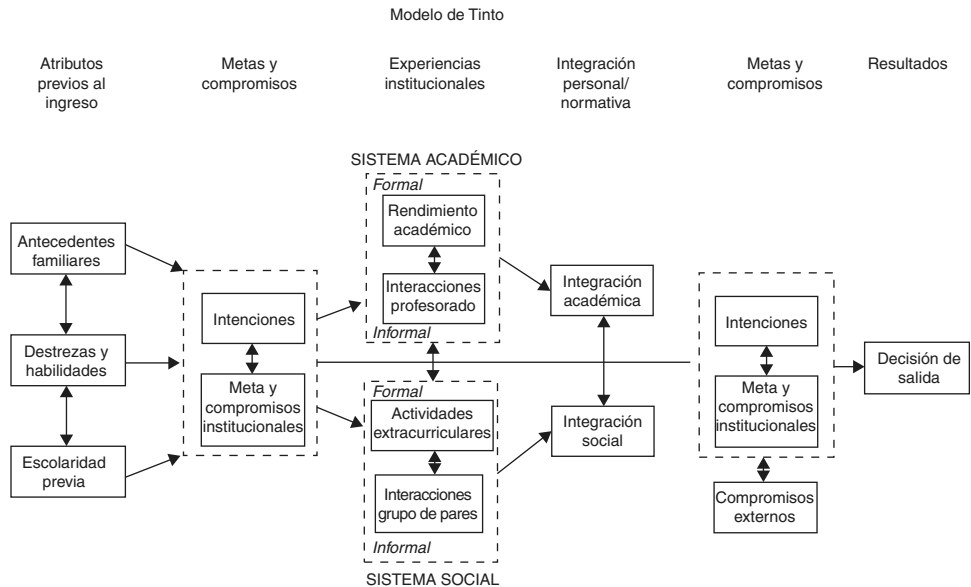


Figura 1. Modelo de interacción de Vincent Tinto.

Fuente: Donoso y Schiefelbein, 2007: 17.

Con la idea de completar el panorama, en los determinantes asociados a la deserción en los órdenes académico e individual, Donoso y 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 y Schiefelbein, 2007: 17).

Para robustecer los trabajos de las IES en la dirección planteada por las políticas públicas respecto a la deserción estudiantil, proponemos emplear 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. Diversas obras analizan el papel de las redes sociales en torno a la formación de los alumnos universitarios como herramientas o recursos de aprendizaje, o en el sentido de aumentar la conectividad entre los mismos (Vázquez y Cabero, 2015; Cabero y Marín, 2014). Tal combinación favorece la eficacia para representar situaciones intangibles y la jerarquización de las variables; sin embargo, la combinación de las mencionadas técnicas parece no haber sido implementada en el análisis de la retención estudiantil. Pretendemos coadyuvar entonces, de forma novedosa, a la estimación de la integración social de un alumno con sus pares y su efecto sobre el desempeño académico, lo cual puede ofrecer información sobre

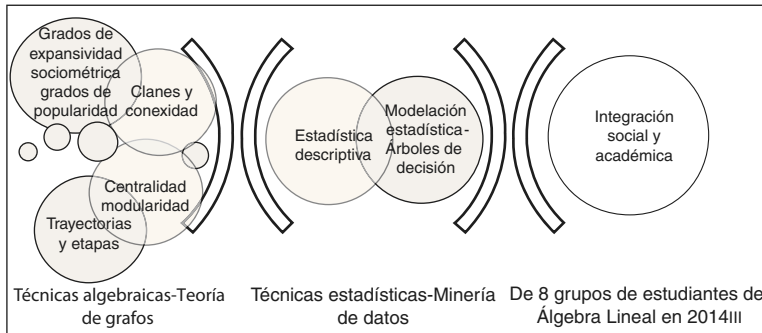


Figura 2. Rutas para el análisis de la integración social y académica.

Fuente: elaboración propia.

la dinámica (espontánea o no) del uso de redes sociales y del trabajo extraclase. En la figura 2 se resumen las rutas empleadas para la modelación combinando técnicas.

En el presente documento se empleará el término red social en la siguiente acepción:

[...] 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 y Serrano, 2011: 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 y Katz, 1946: 341, 345) más los diferentes procesos algebraicos generados a partir de ella; en conjunto, tales elementos se pueden identificar con procesos sociales (Katz, 1947: 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 podrá representarse gráfica y matemáticamente considerando diferentes medios o soportes físicos de la comunicación entre los miembros (Flament, 1972: 57-58).

La teoría de grafos resulta una técnica apropiada para el estudio de todo tipo de redes, pues una *gráfica dirigida* representa un conjunto finito de puntos denominados vértices,  $E_1, E_2, \dots, E_n$ , al lado de un conjunto de aristas dirigidas que unen un par ordenado de vértices distintos (Kolman y Hill, 2013: 104). En las redes sociales esta correspondencia se logra haciendo que los usuarios simbolicen los vértices y las relaciones que se establecen entre ellos constituyan los arcos dirigidos (Rojas, 2011: 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 al desarrollar un sistema predictivo de corte transversal que clasifica las observaciones circunscritas a unas reglas de decisión; el proceso es flexible y facilita su retroalimentación de manera continua para generar un sistema de clasificación que cambie con el tiempo (Tan, Steinbach y Kumar, 2006: 145-205).

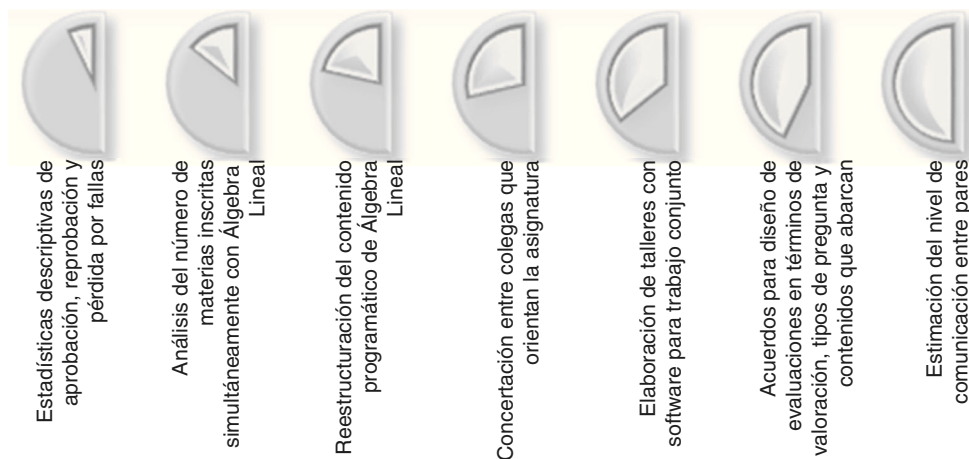


Figura 3. Estudios realizados alrededor del desempeño de Álgebra Lineal.  
Fuente: elaboración propia.

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 son 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 utilizando 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 documento.

### Caso de estudio

El trabajo se basó en la asignatura de Álgebra Lineal del Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (Utadeo), que tiene los siguientes 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 (fig. 3), de modo que propicia una oportunidad en la aproximación a la comprensión integral de la red de comunicación entre pares.

La figura 4 muestra los porcentajes de aprobación, de reprobación<sup>2</sup> y de pérdida por fallas<sup>3</sup> de los cuatro periodos anteriores al presente caso de estudio, esto es, del primer periodo lectivo

<sup>2</sup> El artículo 30 del Reglamento Estudiantil de la Utadeo 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: 21).

<sup>3</sup> El estudiante reprueba por fallas si completa una inasistencia del 20% (Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2008: 24).

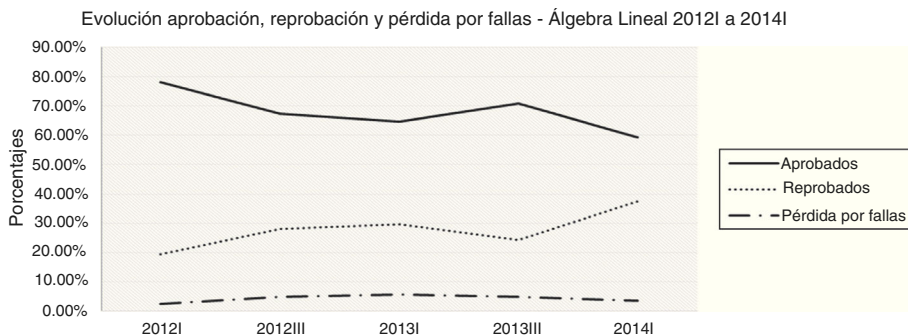


Figura 4. Registros académicos para Álgebra Lineal en los cuatro periodos previos. Fuente: elaboración propia.

de 2012 (2012I) al primero de 2014 (2014I). La Utadeo ofrece tres períodos 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.

### Método

El grupo de análisis constó de los 233 estudiantes de Álgebra Lineal en 2014III, divididos en 8 grupos. Diseñamos dos instrumentos (consultas) para la captura de información mediante pregunta directa: la consulta 1 fue desarrollada en la segunda semana de clase (6 de agosto de 2014) y la consulta 2, en la decimocuarta (12 de noviembre de 2014) de 2014III. En cada consulta solicitamos 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 mantenían comunicación conforme a las relaciones  $r_k$ , donde  $1 \leq k \leq 6$  definidas en la tabla 1. 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 y en los horarios habituales de clase.

Cada uno de los estudiantes fue representado mediante  $E_i$ , donde  $i$  es un identificador arbitrario (ID). Si el estudiante no contestó o se retiró del grupo, conservamos su ID sin volver a numerar. No obstante, para el trabajo algebraico fue necesario prescindir de las filas y de 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 desconocemos la existencia de otras redes sociales, sólo priorizamos las que podrían cumplir una doble función en los ambientes de integración social y académica.

Tabla 1  
Listado de relaciones estudiadas

---

$r_1 = E_i$ 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 $E_j$

---

Fuente: elaboración propia.

Registramos la información en 96 sociomatrices a las que aplicamos los algoritmos clásicos y las definiciones de la teoría de grafos. Usamos la estadística descriptiva y la minería de datos 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.

Para sintetizar el método, mencionaremos que el presente artículo recoge los resultados de un estudio descriptivo en el que buscamos 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 última instancia, morigerar la deserción estudiantil. Para llevar a cabo lo expuesto, empleamos una combinación de la teoría de grafos y la minería de datos, lo que dio luces sobre la integración social y la integración académica como factores que repercuten en la permanencia de un estudiante en la educación superior. 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 en nuestra propuesta ofrece la seguridad de que se observan las pautas gubernamentales colombianas en cuanto a lo que se refiere a deserción estudiantil.

Para el procesamiento de la información con la teoría de grafos, utilizamos 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.

## Muestra

### *Participantes*

Con la información del Sistema de Información Académica de la Uteado 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.

La consulta 1 fue atendida por 196 alumnos, mientras que 161 respondieron la consulta 2; además construimos 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 alumnos (casi el 87%) pertenecen a Ingeniería Química (su aprobación fue del 77.5%) e Ingeniería Industrial (con una aprobación del 67.8%); el mayor porcentaje de aprobación queda 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%); la edad promedio es de 19.3 años, con una desviación estándar de 2.26 años. Además, tres cuartas partes de los alumnos de la muestra provienen de Bogotá, mientras que sólo una cuarta 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 la cuarta parte del promedio.

### Instrumentos

En los instrumentos de recolección de información, denominados consultas, incluimos como datos básicos el nombre y el número del documento de identidad; a su vez, extrajimos las variables de contexto de las bases de la Utadeo. En la primera pregunta, los encuestados eligieron de una lista a aquellos compañeros con quienes habían compartido actividades académicas extraclase; las demás interrogantes tenían el mismo mecanismo e indagaban si cada estudiante tenía comunicación con sus compañeros de clase a través del correo electrónico, del teléfono móvil, de la mensajería WhatsApp, de Twitter y/o de Facebook, e incluso podían registrar si no usaban alguna de estas redes. La Utadeo habilita una cuenta de correo en el dominio @utadeo.edu.co y matricula en el aula virtual en Moodle a cada uno de sus estudiantes.

### Procedimiento

Realizamos la captura de la información en dos consultas aplicadas durante los horarios de clase entregando una hoja a cada alumno; entre las dos consultas transcurrieron doce semanas, durante 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 punto de partida, para cada una de las relaciones  $r_k$  de la [tabla 1](#), con ayuda de Gephi, representamos a los estudiantes  $E_i$  por puntos dispuestos arbitrariamente en el plano. Posteriormente trazamos 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 identificaron:  $k = 1, 2, \dots, 6$  como la relación que representaba;  $t = 1, 2$  como la consulta, y  $p = 1, 2, \dots, 8$  como el grupo.

Una sociomatrix es una *matriz de adyacencia* que representa un sociograma y que satisface las dos condiciones siguientes: a) ningún vértice está conectado consigo mismo; b) hay a lo más una arista dirigida que conecta un vértice con otro ([Grossman, 1988: 126](#); [Ore, 1962: 18-19](#)). De modo que:

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

Donde los subíndices  $k, t, p$  son los estipulados para los sociogramas  $a_{ij} = 0$ , 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 correspondientes 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: 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  $E_j$ , pero aquí se trata del estatus sociométrico de  $E_j$  (Flament, 1972: 30-31) y se interpreta como su popularidad, es decir, el número de estudiantes que pueden contactar a  $E_j$ .

Con estas dos definiciones incluimos 24 variables para cada alumno, es decir, un grado de expansividad sociométrica y un grado de popularidad para cada una de las 6 relaciones (Actividades académicas extraclase, Correo electrónico, Teléfono móvil, WhatsApp, Twitter y Facebook) en cada consulta (puesto que fueron dos). Dado que encontramos muchas respuestas iguales a cero, creamos sendas variables que totalizaron los grados de expansividad y de 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 abrimos la ruta de análisis desde la estadística.

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

Bajo la ruta de la teoría de grafos, el análisis se extendió al estudio de las *trayectorias* o *cadena*s entre un estudiante y otro: las rutas entre ambos vértices (Grossman, 1988: 127). Esto es relevante, porque si un estudiante deja de asistir a clase, de consultar las aulas virtuales y en ocasiones su correo, podría contactarse a través de sus propios compañeros, es decir, usando intermediarios. Desde esta perspectiva, las relaciones  $r_k$  no son necesariamente simétricas ni transitivas.

Para identificar los intermediarios en las cadenas aplicamos 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: 155); en cada sociomatrix  $A$  calculamos únicamente  $A^2$ ; una 2-cadena indicaría que un estudiante le envía un mensaje a otro a través de un compañero; no consideramos relevante calcular potencias de otros grados, ya que el contacto puede diluirse.

Con la idea de conocer subconjuntos de estudiantes que pudieran comunicarse recíprocamente aprovechamos los clanes, ya que todo estudiante que pertenezca a uno puede seleccionar a cualquiera de los demás (Flament, 1972: 46). En un sociograma, un *clan*<sup>4</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  $E_i$ , y 3)  $C$  es un subconjunto maximal respecto a la segunda condición (Kolman y Hill, 2013: 108). En el teorema descrito por Kolman y Hill, a cada sociomatrix se le asoció una matriz  $S$ . Así:

$$S = (s_{ij})_{n \times n} = \begin{cases} s_{ij} = s_{ji} = 1, & \text{si } a_{ij} = a_{ji} = 1 \\ s_{ij} = s_{ji} = 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (2)$$

De cada matriz  $S$  calculamos  $S^3$ , pues si la entrada  $s_{ii}^{(3)} > 0$ , entonces el estudiante  $E_i$  pertenece a un clan (Kolman y Hill, 2013: 109).

Adicionalmente, la noción de conexidad de un grafo rastrea la cohesión de cada grupo y hace referencia a la densidad de la relación de los estudiantes que lo integran (Flament, 1972: 42). Un sociograma con  $n$  vértices es *fuertemente conexo* si y sólo si su sociomatrix  $A = (a_{ij})_{n \times n}$

<sup>4</sup> A veces se refieren a los clanes como cliques o camarillas.

satisface que  $\sum_{i=1}^{n-1} A^i$  no tiene entradas nulas (Kolman y Hill, 2013: 132). También calculamos las componentes conexas, que son subgrafos que como conjuntos maximales son fuertemente conexos, y del mismo modo identificamos *hubs* y autoridades, ya que suprimir algunos vértices puede aumentar o disminuir la conectividad de un grafo (Flament, 1972: 49). La cohesión de un grupo en gran medida prevalece debido al reconocimiento en los demás, por cada miembro del grupo, de un objetivo común (Chandessais, 1957: 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 donde sea oportuno hasta que se detenga su ejecución (Jiménez, 2014: 10).
- Longitud media de camino: es el promedio de la distancia entre dos vértices cualquiera (Acemoglu y Ozdaglar, 2009: 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 y Ozdaglar, 2009: 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 y 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 y Ozdaglar, 2009: 15; Jiménez, 2014: 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: 98).

## Resultados y discusión

### 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 5 muestra los sociogramas  $G_{214}$  y  $G_{224}$  de la comunicación por Teléfono móvil dentro del grupo

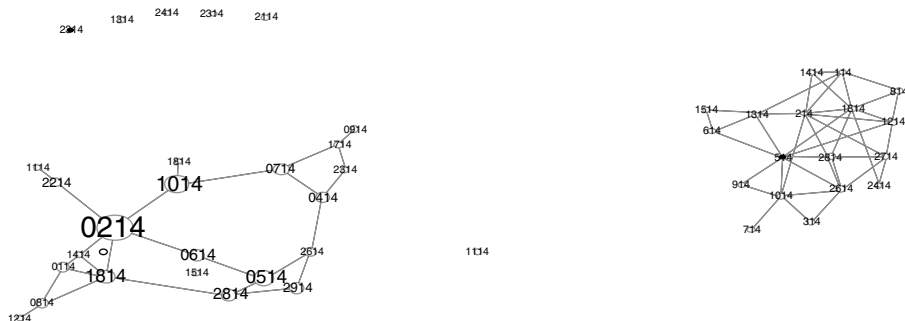


Figura 5. Sociogramas  $G_{214}$  (izquierda) y  $G_{224}$  (derecha).  
Fuente: elaboración propia.

4 y 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 de 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 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 contacto y en la segunda ya no lo citó.

Continuando con el análisis particular, calculamos individualmente los grados de expansividad sociométrica y de popularidad. A manera de ilustración tenemos que  $d^+(E_{1611}) = 6$  y  $d(E_{1611}) = 8$ , y 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. En general, las relaciones de comunicación no necesariamente son simétricas, aunque en estos casos las herramientas tecnológicas lo permiten.

En la consulta uno, 14 estudiantes estaban aislados en todas las relaciones porque todos sus grados de expansividad y de popularidad fueron cero, no podían contactar a ningún compañero ni ser contactados; en la consulta dos, 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, resumimos 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 alumnos, pues giran en torno a trabajos para entregar en grupos y reuniones para estudiar para los exámenes parciales o finales; también 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, lo que implica que había porcentajes grandes de estudiantes que las conformaban. Debemos 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 las ordenamos de mayor a menor interacción así:  $r_1$  (Actividades académicas),  $r_4$  (Facebook),  $r_2$  (Teléfono móvil),  $r_5$  (WhatsApp),  $r_3$  (Correo electrónico) 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),  $r_2$  (Teléfono móvil),  $r_3$  (Correo electrónico),  $r_4$  (Facebook) y  $r_6$  (Twitter).
- En las dos consultas observamos que la relación que representa a Twitter es muy baja. En la consulta 1, los grupos 5 y 8 manifestaron interacción nula, y en la consulta 2 lo mismo ocurrió con 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 las 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

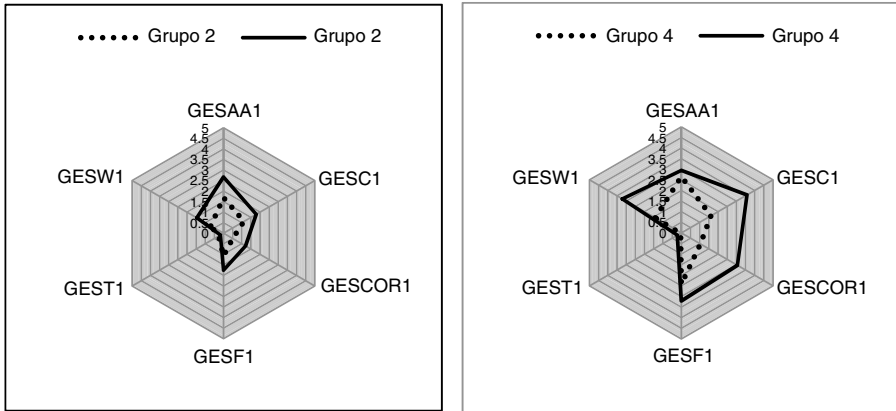


Figura 6. Comparativo de diagramas radiales para los grupos 2 y 4.  
Fuente: elaboración propia.

y de popularidad para las dos consultas del grupo 2 resultaron más contraídas que para el grupo 4. En la [figura 6](#) se aprecian los diagramas radiales para los promedios de los grados de expansividad en las dos consultas y en ambos grupos. En nuestro 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.

Al calcular las 2-cadenas se detectó cómo contactar a un estudiante usando intermediarios. La [tabla 2](#) presenta  $a_{224}^2$ , que tiene una entrada encuadrada, lo que dice que  $E_{0214}$  podía contactar a  $E_{0614}$  mediante dos compañeros diferentes.

La [figura 7](#) precisa los intermediarios que pueden transmitir información desde  $E_{0214}$  hacia  $E_{0614}$ .

En los grupos se ve un aumento en el número de 2-cadenas entre la consulta 1 y la 2; sólo el grupo 3 en Correo electrónico y en Twitter presenta disminuciones.

Se encontraron más clanes en la comunicación por Facebook que en las otras relaciones. Por ejemplo, en Twitter no se presenta ninguno en las dos consultas. Todavía en la segunda consulta hubo grupos con comunicación escasa. La [figura 8](#) muestra el sociograma  $G_{327}$  de la comunicación por Correo electrónico en la consulta 2 para el grupo 7.

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.

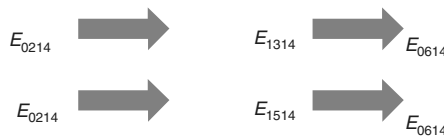


Figura 7. Dos 2-cadenas entre dos estudiantes del grupo 4, para la consulta 2 para teléfono móvil.  
Fuente: elaboración propia.

Tabla 2  
Segunda potencia de la matriz de adyacencia  $A_{224}$

	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	2	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

Fuente: elaboración propia.

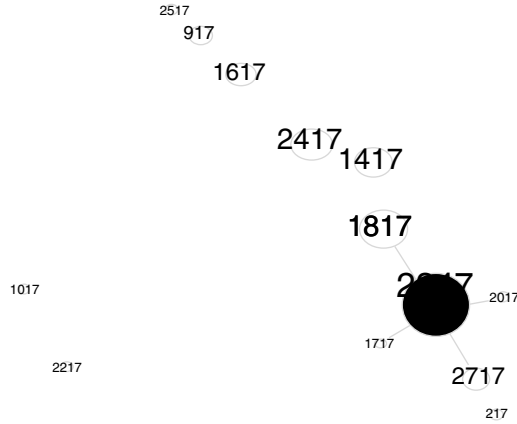


Figura 8. Sociograma  $G_{327}$ .  
Fuente: elaboración propia.

*En la ruta estadística*

Bajo las variables de contexto usuales, realizamos un análisis de varianza y concluimos 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, tampoco en las calificaciones promedio entre los dos sexos, en las calificaciones promedio entre quienes provienen de Bogotá o no, ni 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, lo cual implicó 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, observamos 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 (fig. 9).

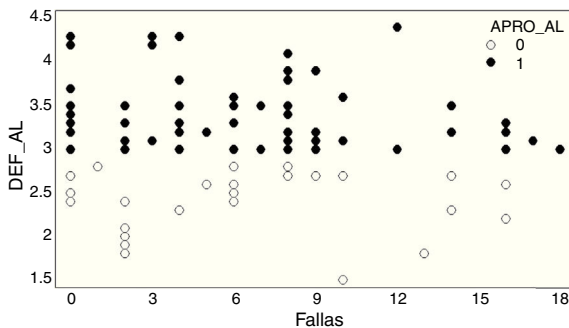


Figura 9. Dispersión entre fallas y calificación definitiva. 0: no aprobado; 1: aprobado.  
Fuente: elaboración propia.

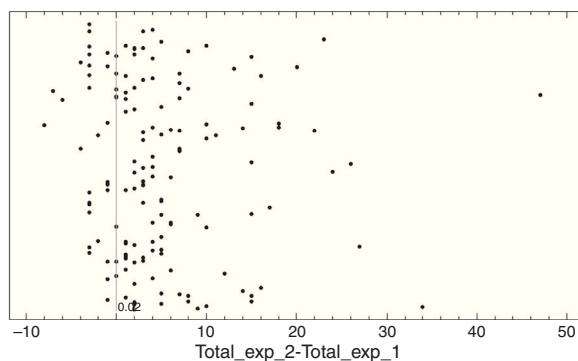


Figura 10. Diferencias entre los totales de expansividad para la consulta 2 y la consulta 1.

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 10 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.

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, lo que indica que existe un aumento significativo entre los totales de las variables de popularidad reportados por los estudiantes en las dos consultas.

La tabla 3 y la figura 11 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, lo cual puede interpretarse como la disminución de la población o 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.

Al comparar a quienes aumentaron la popularidad de la consulta 1 a la consulta 2 con quienes no, observamos 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.

Tabla 3  
Correlaciones entre las variables de expansividad y popularidad

		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

Fuente: elaboración propia.

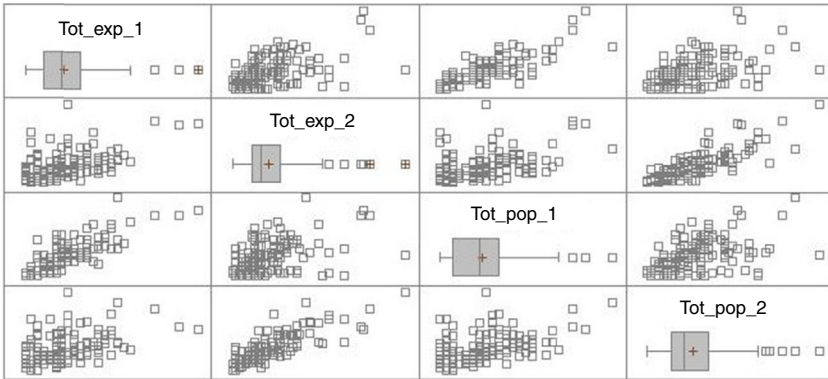


Figura 11. Correlaciones entre expansividad y popularidad.  
Fuente: elaboración propia.

El anterior fenómeno, relatado como «los estudiantes que avanzaron en popularidad no necesariamente tienen mejores calificaciones promedio», quizá puede explicarse porque un estudiante llega a destacar por atributos que no son académicos sino de orden social que no impactan en su desempeño dentro del curso. Lo mismo aplica para las variables de expansividad sociométrica.

Con la idea de un análisis más detallado de la relación entre más variables, creamos 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 et al., 2006: 158-160). La variable de interés es la aprobación de Álgebra Lineal. La figura 12 es el esquema general del árbol de decisión con 24 nodos.

La figura 13 describe los nodos 0, 1 y 2, y destaca que el nodo 0 o raíz revela que, en la muestra de 145 estudiantes, 106 aprobaron (26.897%) y 39 reprobaron (73.103%). De este nodo se desprende la variable total de popularidad en la consulta 1, es decir, 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 de popularidad en el momento 1 mayor a 10.5 (nodo 2). Resalta que el porcentaje de

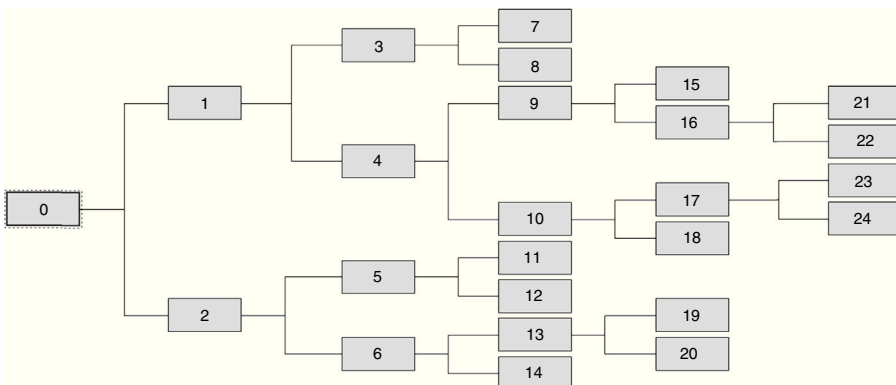


Figura 12. Árbol de decisión para la variable de interés: aprobación en Álgebra Lineal.  
Fuente: elaboración propia.



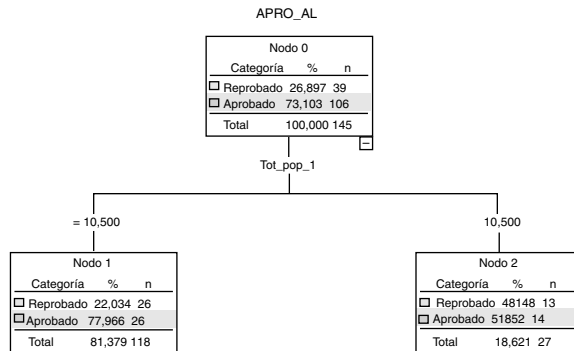


Figura 13. Nodos 0, 1 y 2 del árbol de decisión.

Fuente: elaboración propia.

aprobación de los que tienen un total de popularidad menor o igual a 10.5 es de 77.966, mientras que quienes tienen el total mayor a 10.5 se reparten casi por igual entre quienes aprobaron y quienes reprobaron el curso.

La figura 14 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, a quienes ingresaron 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 sólo 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.

La separación hacia los nodos 4, 9, 15, 16, 21, 22 está en la figura 15. 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, sólo es del 56.25% y se ubican en el nodo 10. Los estudiantes que tienen 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 tienen una aprobación del 69.565% y están en el nodo 16, pero aquí se cuenta con una muestra de apenas 23 estudiantes.

Por otra parte, los nodos 4, 10, 17, 18, 23, 24 aparecen en la figura 16. 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 que 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 consigue el 72.727% (nodo 17); ahora, si dicha expansividad es superior a 5, la aprobación alcanza sólo el 20%. De igual manera que en el caso anterior, las muestras son muy pequeñas.

Finalmente, los nodos 2, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 19, 20 están representados en la figura 17. 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, mientras que si es superior a 17, la aprobación es del 27.273% van al nodo 6. Las fallas de

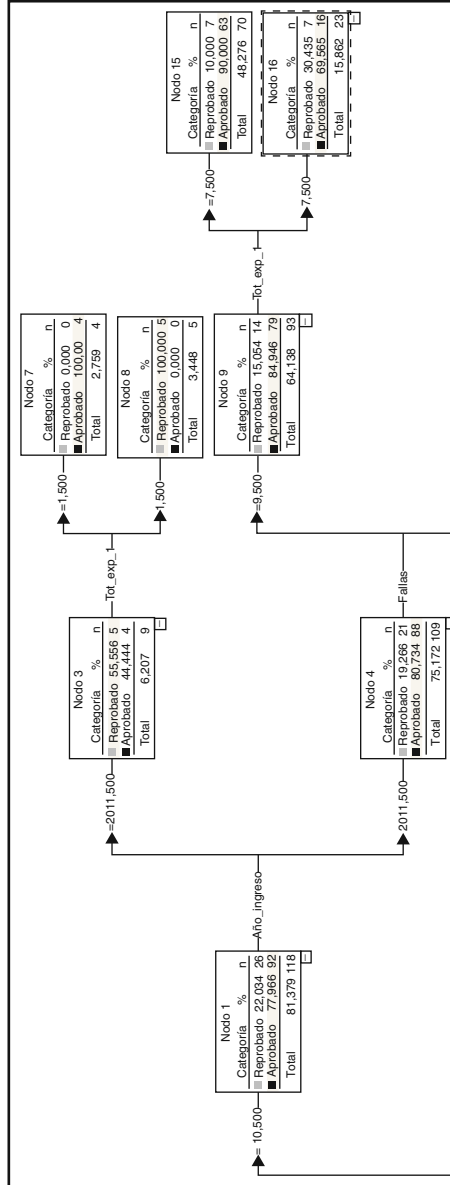


Figura 14. Nodos 1, 3, 4, 7, 8, 9, 15, 16.  
Fuente: elaboración propia.

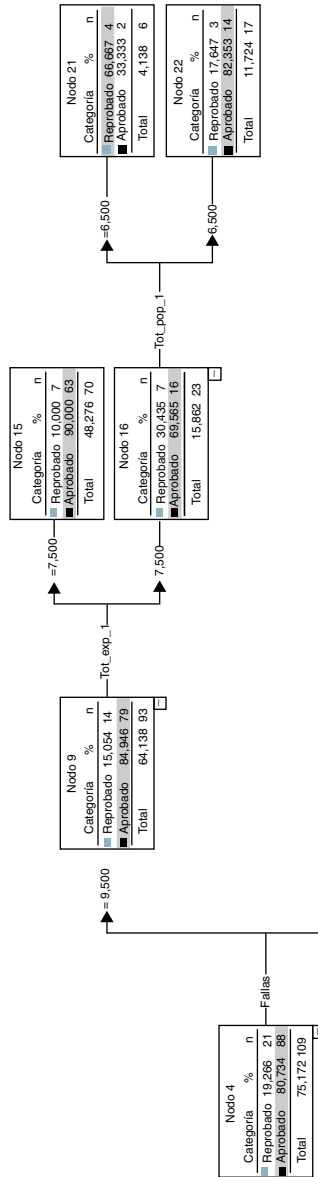


Figura 15. Nodos 4, 9, 15, 16, 21, 22. Fuente: elaboración propia.

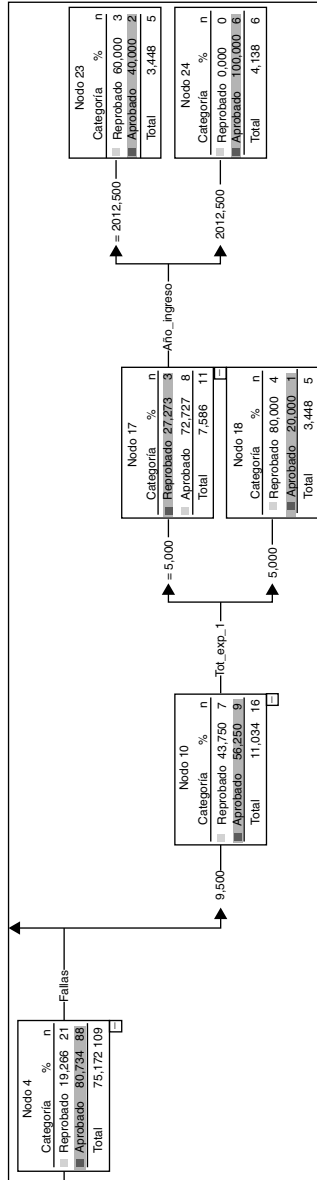


Figura 16. Nodos 4, 10, 17, 18, 23, 24.  
Fuente: elaboración propia.

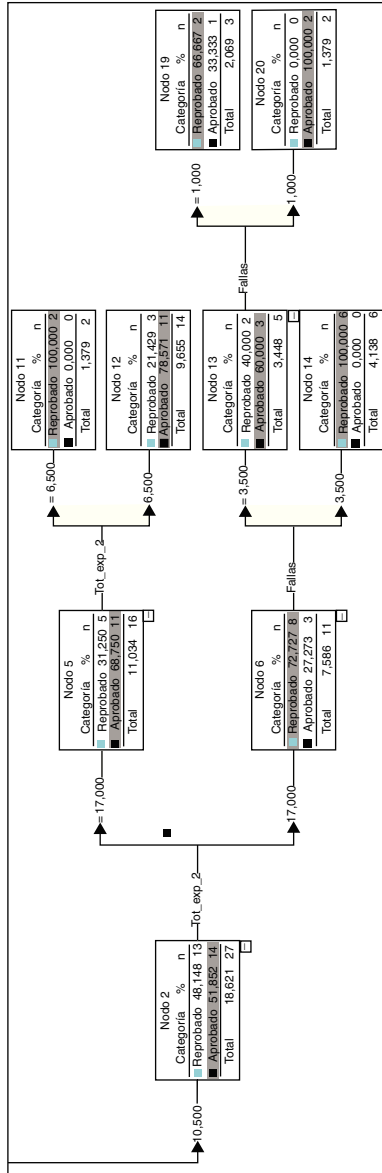


Figura 17. Nodos 2, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 19, 20.  
Fuente: elaboración propia.

Tabla 4  
Importancia de las variables en el árbol de decisión

	Variable	Etiqueta
1	Grado de expansividad sociométrica Facebook 1	GESF1
2	Grado de popularidad Teléfono móvil 1	GPC1
3	Fallas	Fallas
4	Grado de expansividad sociométrica Teléfono móvil 1	GESF1
5	Créditos inscritos	Créditos inscritos
6	Grado de expansividad sociométrica Twitter 2	GEST2
7	Grado de expansividad sociométrica Actividades académicas 1	GESAA1
8	Grado de popularidad Facebook 1	GPF1
9	Grado de popularidad WhatsApp 2	GPW2

Fuente: elaboración propia.

nuevo tienen un efecto desfavorable, aunque las muestras son muy pocas como para generalizar las conclusiones.

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 4](#). 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 se vuelve más importante en tanto mejor discrimine la aprobación del estudiante y más veces sea requerida en la totalidad de los nodos del árbol de decisión.

## Conclusiones

Para que el uso de redes de comunicación tenga un impacto positivo sobre la integración social y académica, debe potenciarse; hay que orientar institucionalmente dicha comunicación hacia lo académico, pues de forma orgánica (espontánea) no tiene el resultado esperado. El presente estudio reveló que el uso de redes de comunicación es bajo y repercute de forma negativa en el desempeño académico.

En las dos consultas, las actividades académicas extraclase 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 durante la segunda semana la comunicación era más distante que en la decimocuarta, 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 Utaedeo 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 alumnos en términos del uso y de las potencialidades con fines académicos, de forma que sea posible facilitar su implementación, el direccionamiento y el acompañamiento que apalanque los desarrollos curriculares y que también se refleje de forma positiva en la cohesión del grupo.

Los estudiantes consultados no consideran al correo institucional como una posibilidad de comunicación, dado que no lo mencionan en el conteo y por tanto no se observa en las sociomátricas asociadas; no obstante, en las instrucciones para diligenciar los instrumentos de las consultas sí se hizo alusión al correo electrónico en general como medio de comunicación, y se esperaba que al menos fuera mencionado 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 conexa.

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 Utadeo, su calificación final de Álgebra Lineal tiende a disminuir, de modo que 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 sólo con un colega, en caso de no asistir a clase, por ejemplo, difícilmente puede enterarse de las labores asignadas o del trabajo realizado así éste se encuentre planeado en documentos virtuales o impresos. Al finalizar la asignatura sí hubo un aumento en los totales de expansividad de las 6 relaciones.

Con base en lo encontrado, sugerimos la formulación de un plan para fomentar las actividades académicas extraclase 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 de 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 reproducción, se proyecta elaborar un árbol empleando una sola consulta.

La combinación de la teoría de grafos y la estadística permite un entendimiento técnico entre las redes de comunicación —que establecen los alumnos de un curso universitario— y la interacción de 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, el tratamiento y el seguimiento de la deserción estudiantil porque se puede articular en un sistema de alertas tempranas. Los alumnos 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, quizá fortalezca la persistencia de un estudiante, persistencia que es fundamentada en la combinación de la integración social y la académica.

La robustez técnica de la modelación presentada 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 los sistemas de evaluación y de seguimiento a la deserción y a la retención, propios de las políticas públicas destinadas a la calidad de la educación.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, institución donde se desempeñan como profesores de tiempo completo.

## Referencias

- Acemoglu, Daron, y Ozdaglar, Asu (2009). Graph Theory and social networks [consultado 26 Feb 2015]. Disponible en: <http://economics.mit.edu/files/4620>.
- Blondel, Vincent, Guillaume, Jean-Loup y Lambiotte, Renaud (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 10, 1–12.
- Cabero, Julio y Marín, Verónica (2014). Posibilidades educativas de las redes sociales y el trabajo en grupo. Percepciones de los alumnos universitarios. *Comunicar, Revista Científica de Educomunicación*, 21(42), 165–172.
- Chandessais, C. (1957). Application d'un modèle topologique a l'étude du moral. *Presses Universitaires de France*, 20(1), 8–29.
- Castañeda, Linda, González, Víctor y Serrano, José Luis (2011). Donde habitan los jóvenes: precisiones sobre un mundo de redes sociales. En F. Martínez y I. Solano (Eds.), *Comunicación y relaciones sociales de los jóvenes en la red*. Alicante: Marfil. [https://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/25353/1/castaneda\\_gonzalez\\_serrano.pdf](https://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/25353/1/castaneda_gonzalez_serrano.pdf)
- Departamento Nacional de Planeación (2014, 21 de noviembre). Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018. Versión preliminar para discusión [consultado 18 Jun 2015]. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Bases%20Plan%20Nacional%20de%20Desarrollo%202014-2018.pdf>.
- Donoso, Sebastián y Schiefelbein, Ernesto. (2007). Análisis de los modelos explicativos de retención de estudiantes en la universidad: una visión desde la desigualdad social. *Estudios Pedagógicos*, 33(1), 7–27.
- Festinger, Leon. (1949). The analysis of sociograms using matrix algebra. *Human Relations*, 153–158.
- Flament, Claude. (1972). *Teoría de grafos y estructuras de grupo*. Madrid: Tecnos.
- Forsyth, Elaine y Katz, Leo. (1946). A matrix approach to the analysis of sociometric data: Preliminary report. *American Sociological Association*, 9(4), 340–347.
- Grossman, Stanley. (1988). *Aplicaciones de álgebra lineal*. México: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Jiménez, Miguel. (2014). *Análisis de comunidades científicas basadas en fuentes de datos online [trabajo fin de grado]*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Katz, Leo. (1947). On the matrix analysis of sociometric data. *Sociometry*, 10(3), 233–241.
- Kolman, Bernard y Hill, David. (2013). *Álgebra Lineal. Fundamentos y aplicaciones*. Bogotá: Pearson.
- 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.
- Ore, Oystein. (1962). *Theory of Graphs*. Providence, Rhode Island:: American Mathematical Society.
- Pineda, Clelia. (2010). *La voz del estudiante: el éxito de programas de retención universitaria*. Chía, Colombia: Universidad de la Sabana.
- Ramírez, Diana María; Gartner, María Lorena; Bernal, Jaime Eduardo; Zapata, Álvaro; Vallejo, Franco Alirio; Prieto, Pedro Antonio, y Langebaek, Carl Henrik (2013). Lineamientos para la acreditación de programas de pregrado, Consejo Nacional de Acreditación (CNA) [consultado 14 Oct 2013]. Disponible en: [http://www.cna.gov.co/1741/articles-186359\\_pregrado\\_2013.pdf](http://www.cna.gov.co/1741/articles-186359_pregrado_2013.pdf).
- Rojas, Pedro. (2011). *Community Management. En una semana*. Bogotá: Planeta.
- Swail, Watson, Reed, Kenneth y Perna, Laura. (2003). Retaining minority students in higher education. *ASHE-ERIC Higher Education Report*, 30(2). Jossey-Bass Higher and Adult Education Series
- Tan, Pang Ning, Steinbach, Michael y Kumar, Vipin. (2006). *Introduction to data mining*. Boston: Pearson Education.
- Vázquez, Ana y Cabero, Julio. (2015). Las redes sociales aplicadas a la formación. *Revista Complutense de Educación*, 26(número especial), 253–272.
- Viana, Nancy y Rullán, Agustín. (2010). Reflexiones sobre la deserción escolar en Finlandia y Puerto Rico. *Archivos Analíticos de Políticas Educativas*, 18(4), 1–33.