

**Análisis del Impacto de la Renovación Curricular del  
Programa de Pregrado en Ingeniería Industrial de La  
Universidad De Los Andes**

**Gustavo Simón Beltrán Peñuela  
200127016**

**Asesor:**

**Mario Castillo H.**

**Profesor Titular**

**Departamento de Ingeniería Industrial**

**Universidad de Los Andes**

**Bogotá, Diciembre de 2006**

# ÍNDICE

|          |   |    |
|----------|---|----|
| <b>0</b> | <b>Introducción</b>   | 4  |
| <b>1</b> | <b>Descripción general del proyecto</b>                             | 7  |
| <b>2</b> | <b>Estructuración del problema</b>                                  | 9  |
| 2.1      | Situación problemática expresada                                    | 9  |
| 2.2      | Formulación de objetivos  | 11 |
| 2.3      | Metodología General   | 11 |
| <b>3</b> | <b>Planteamiento del estudio de la situación</b>                    | 13 |
| 3.1      | Identificación de los elementos del sistema                         | 13 |
| 3.1.1    | La Renovación Curricular  | 13 |
| 3.1.2    | Estructuración del programa   | 17 |
| 3.1.3    | Población de Estudiantes  | 18 |
| 3.1.4    | Población de Profesores   | 19 |
| 3.1.5    | Modelo de Distribución de Ingresos (MDI)                            | 20 |
| 3.1.6    | Costos Asociados al Programa  | 24 |
| 3.2      | Formulación del modelo  | 26 |
| 3.2.1    | Ingreso Asignado  | 26 |
| 3.2.2    | Costos del periodo  | 31 |
| 3.2.3    | Resultado   | 32 |
| <b>4</b> | <b>Modelaje y Análisis</b>  | 34 |
| 4.1      | Información Requerida y Metodología para el Modelaje                | 34 |
| 4.2      | Modelaje de las poblaciones   | 36 |
| 4.2.1    | Población de estudiantes propios                                    | 37 |
| 4.2.2    | Población de Estudiantes graduados por periodo                      | 40 |
| 4.2.3    | Población de Estudiantes de Otras carreras                          | 41 |
| 4.2.4    | Población de estudiantes por curso                                  | 42 |
| 4.2.5    | Parámetros económicos   | 43 |
| 4.2.6    | Resumen de información requerida                                    | 44 |
| 4.3      | Obtención y Modelaje de la Información                              | 44 |
| 4.3.1    | Información Obtenida  | 45 |
| 4.3.2    | Modelaje de la Población Estudiantes Otras Carreras                 | 47 |
| 4.3.3    | Demanda: estudiantes nuevos   | 49 |
| 4.3.4    | Costos administrativos  | 53 |
| 4.3.5    | Ingresos por estudiante   | 55 |
| 4.3.6    | Ingreso por cursos  | 58 |
| 4.3.7    | Distribuciones y Procesos Probabilísticos                           | 63 |
| 4.3.8    | Ingreso neto por estudiante   | 67 |
| 4.3.9    | Tiempo  | 68 |
| 4.4      | Simulación  | 69 |
| 4.4.1    | Valores iniciales   | 71 |
| 4.4.2    | Prueba del modelo   | 71 |
| 4.4.3    | Cambios en el modelo para replicar cambio de pénom                  | 75 |
| <b>5</b> | <b>Análisis del impacto de la implementación del nuevo programa</b> | 79 |
| 5.1      | Adecuación del modelo para el cambio de pénom                       | 79 |

|               |   |            |
|---------------|---|------------|
| 5.2           | Cálculo de la Semilla.....                              | 80         |
| 5.3           | Análisis de distribuciones .....                        | 81         |
| 5.3.1         | Sensibilidad del modelo al proceso $G_1$ .....          | 81         |
| 5.3.2         | Sensibilidad del modelo a la distribución $G_2$ . ..... | 82         |
| 5.4           | Diseño de escenarios para $G_2^8$ .....                 | 87         |
| 5.4.1         | Escenarios para el Ritmo de $G_2^8$ .....               | 88         |
| 5.4.2         | Escenarios para la Concentración de $G_2^8$ .....       | 89         |
| <b>6</b>      | <b>Resultados y Conclusiones</b> .....                  | <b>91</b>  |
| 6.1           | Análisis Inicial: Estado actual vs. Nuevo Estado .....  | 91         |
| 6.2           | Análisis de escenarios.....                             | 97         |
| 6.2.1         | Escenarios para la Concentración de $G_2^8$ .....       | 97         |
| 6.2.2         | Escenarios para el Ritmo de $G_2^8$ .....               | 102        |
| 6.3           | Impacto de la Renovación Curricular.....                | 105        |
| 6.4           | Conclusiones .....                                      | 106        |
| <b>7</b>      | <b>Bibliografía</b> .....                               | <b>115</b> |
| <b>ANEXOS</b> | .....   | <b>117</b> |

## **0 Introducción**

Desde su creación en el año de 1963, el programa de Ingeniería Industrial de la Universidad de Los Andes se ha caracterizado por mantener un proceso continuo de mejoramiento en su oferta académica, lo que lo ha llevado a destacarse como uno de los más importantes programas de Ingeniería a nivel nacional. En Noviembre del 2001 el programa recibió la acreditación del Consejo Nacional de Acreditación (CNA), organismo dependiente del Ministerio de Educación, por un periodo de siete años. Este plazo de acreditación es el más extenso otorgado a cualquier programa de Ingeniería, lo que constituye este reconocimiento como el máximo otorgado en el país.

Como consecuencia de la continua preocupación por mantener el programa de Ingeniería Industrial acorde con los requerimientos de la industria nacional y el mercado laboral, en la actualidad, el Departamento de Ingeniería Industrial prepara una renovación curricular. Esta actualización del programa ofrecido se lleva a cabo de acuerdo a las políticas establecidas por la Universidad para este procedimiento y tiene como propósito reformar el pènsum de la carrera en orden de obtener profesionales en los que se desarrollen las competencias que

el departamento ha identificado como relevantes y necesarias para un Ingeniero Industrial.

El nuevo p nsum propone una renovación curricular que afectará el programa actual tanto en su estructura como en su duración. El nuevo currículo está diseñado para ser completado en 8 semestres lo que implica una reducción de 2 semestres con respecto a la duración actual. El propósito de esta medida es, entre otros, permitir una mayor sinergia entre el programa de pregrado y los programas de postgrado ofrecidos por el Departamento. De la misma forma, el nuevo currículo se propone articular de forma más armónica la formación en Ingeniería con la formación en áreas como la física, química y biología con el fin de dar a sus profesionales un perfil más multidisciplinario que permita integrar de una forma más natural el uso de las herramientas de la Ingeniería Industrial a los diferentes segmentos de la industria y actividades de la economía nacional.

La correcta implementación del nuevo currículo requiere de la coordinación de esfuerzos en diferentes áreas. Durante este proceso es necesario tener un conocimiento sobre el impacto que tendrá la Renovación Curricular sobre los aspectos relevantes de la operación del Departamento de Ingeniería Industrial. Uno de los aspectos de mayor interés es el impacto que tendrá la nueva estructura sobre el ingreso percibido semestralmente por el programa de pregrado en Ingeniería Industrial. Este ingreso es asignado por la Universidad como una participación sobre el recaudo de matrículas de cada período y su monto tiene relación directa con el número de estudiantes registrados en cada uno de los cursos dictados y la población total del departamento.

El ingreso que el departamento percibe es causado y recibido de forma independiente cada período. Cada periodo corresponde a un semestre académico. Este ingreso corresponde a una participación sobre el dinero

recaudado por matriculas durante el semestre y debe ser suficiente para cubrir los requerimientos de nómina generados durante el mismo.

El propósito de este trabajo es estructurar las relaciones existentes entre los elementos de la renovación curricular, la población de estudiantes y profesores con el ingreso asignado y la generación de costos del Programa de Pregrado en Ingeniería Industrial para desarrollar una herramienta que permita analizar los diferentes escenarios que puede enfrentar el Departamento y proponer estrategias que permitan asegurar una adecuada estructura financiera para el programa.

## **1 Descripción general del proyecto**

Este proyecto parte del planteamiento de interrogantes acerca del impacto que la Renovación Curricular tendrá sobre el Departamento de Ingeniería Industrial, en particular, sobre el aspecto económico y de la necesidad de establecer un mecanismo para su análisis. Para hacer este análisis se debe considerar, concretamente, el efecto del nuevo programa sobre el ingreso asignado por la Universidad al Departamento por concepto de matrículas de pregrado y si hay algún efecto sobre la estructura de costos del mismo.

El ingreso se calcula como lo indica el Modelo de Distribución de Ingresos de Pregrado (MDI). Este modelo contempla parámetros como la cantidad de cursos, ocupación de los cursos (eficiencia) y población de estudiantes del Departamento, entre otros. Al reducir el tiempo que la población estudiantil de Ingeniería Industrial permanece en la universidad es necesario considerar qué efecto tendrá esta medida sobre los parámetros de entrada del MDI y por lo tanto sobre el ingreso del Departamento. De igual forma hay que determinar si la estructura de costos de funcionamiento del programa se va a ver afectada de algún modo por la Renovación.

El primer aspecto a considerar es determinar en dónde yace la conexión entre el cambio de programa y la generación de ingresos y costos. Esta relación se encuentra en la población de estudiantes. Los cálculos del MDI dependen directamente de la población de estudiantes y de la cantidad de estudiantes registrados en cada curso. De forma similar, los costos de funcionamiento del programa, costos administrativos y de nómina, guardan una relación indirecta con la población de estudiantes y la demanda de cursos por estar relacionadas con la cantidad de profesores y la generación de actividades administrativas. Es necesario evaluar si debido a la reducción en la duración de la carrera, la población estudiantil sería inferior a la actual. Esto implicaría una disminución en el monto de los ingresos que le corresponden al Departamento y por lo tanto, la necesidad de determinar si se afectaría la capacidad de cubrir los costos en que incurre el mismo.

En este trabajo se van a estudiar cuáles son los factores que inciden en el MDI y en los costos del programa y cómo se ven afectados por la Renovación Curricular. Con esta información se construirá un modelo que permita evaluar los diferentes escenarios que pueden presentarse sobre estos factores y cómo afectan el Resultado Económico del Programa de Pregrado en Ingeniería Industrial (PPII). Departamento. En adelante, se entiende por Resultado Económico la diferencia entre el ingreso asignado y los costos que hay que cubrir. Se identificarán acciones alternativas que pueda emprender el Departamento, entendidas como opciones concretas sobre cada factor.

El resultado de este trabajo será una herramienta que pueda ser usada en la práctica real para analizar estrategias y medidas preventivas y correctivas para lograr un mayor aprovechamiento de las oportunidades que ofrezca la Renovación, así como una disminución efectiva de sus efectos negativos.



## **2 Estructuración del problema**

### **2.1 Situación problemática expresada**

Con respecto a la renovación curricular y en lo referente al aspecto económico, el departamento de Ingeniería Industrial enfrenta una situación de incertidumbre con respecto a la asignación de ingresos.

La cantidad de recursos asignados depende de forma directa de factores tales como la población estudiantil y la cantidad de cursos dictados, entre otros. Los efectos del nuevo programa sobre la cantidad de estudiantes atendidos por el Departamento tendrán impacto sobre dichos factores de tal forma que los ingresos van a variar. El problema radica en determinar si esta variación será a favor o si por el contrario será en detrimento de las finanzas del departamento. En ambos

casos deben también formularse estrategias para maximizar el beneficio económico del departamento.

De igual forma, todos estos cambios influirán sobre la planta profesoral y por consiguiente en el requerimiento de recursos de nómina de pregrado que es el principal destino del ingreso asignado.

De esta forma, la situación problemática para este caso se puede enunciar como:

*La existencia de cierto nivel de incertidumbre acerca de la capacidad generadora de ingresos del Programa de Pregrado en Ingeniería Industrial para cubrir sus gastos administrativos y de nómina con la entrada en funcionamiento del nuevo currículo*

La metodología empleada en este trabajo para encontrar una solución a esta situación problemática consiste en la caracterización de los procesos de generación de ingresos y costos de funcionamiento del PPII. Con base en esta caracterización se lleva a cabo un análisis del Resultado Económico del programa en cada periodo o semestre durante un horizonte de tiempo determinado.

Para llevar a cabo esta caracterización se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- Población de estudiantes propios: cantidad de estudiantes registrados en el PPII
- Puestos estudiante atendidos: cantidad de estudiantes registrados en cada curso ofrecido por el departamento
- Planta de profesores: población docente discriminada por categoría.
- Sistema de asignación de ingresos: el MDI constituye el cálculo oficial para la asignación de recursos al Departamento.
- Oferta de cursos: listado de cursos ofrecidos por el Departamento

## 2.2 Formulación de objetivos

### **Objetivo general**

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar una herramienta, que permita introducir el efecto de la renovación curricular en el proceso de generación de costos e ingresos del Programa de Pregrado en Ingeniería Industrial y analizar el comportamiento del Resultado Económico en un horizonte de tiempo determinado.

### **Objetivos específicos**

- Modelar el MDI como función de la población estudiantil para simular escenarios y determinar Resultados Económicos de los mismos
- Formular un conjunto de los posibles escenarios que puede enfrentar el departamento
- Presentar conclusiones y recomendaciones sobre el problema estudiado con base en el análisis de los escenarios generados

## 2.3 Metodología General

La metodología de este trabajo consiste en entrar en conocimiento del contexto en que se desarrolla la problemática del ingreso asignado al Departamento de Ingeniería Industrial y formular un modelo que la describa junto con la generación de costos; identificar cuales son los parámetros sobre los que este modelo presenta sensibilidad y analizar cuál será el efecto de la Renovación sobre ellos para formular estrategias que permitan mantener un Resultado Económico favorable para el departamento. La metodología general consiste en los pasos descritos a continuación:

1. **Documentación de la problemática.** Esta etapa consiste en la recopilación de la documentación que permita estudiar el problema y sus elementos. Los temas a investigar son:
  - La Renovación Curricular, en qué consiste, motivación, cambios a realizar, periodo de implementación, alcance
  - El proceso de demanda por el programa de Ingeniería Industrial.
  - El desempeño del estudiante, representado por su duración en el programa, es decir, la cantidad de semestres transcurridos desde el momento de ingreso hasta su salida, y por la razón de salida que puede ser egreso o deserción
  - Clasificación de profesores. Identificar los tipos de profesores que existen y requerimientos de nómina de cada uno de ellos.
  - Modelo de distribución de ingresos (MDI): metodología con la que se calcula el ingreso asignado al Departamento por concepto del PPII
  
2. **Formulación del modelo.** Proponer un modelo que consigne todas las interacciones entre los elementos identificados para el problema y el MDI y que calcule el ingreso asignado que debe esperar el Departamento en cada periodo de estudio.
  
3. **Modelaje y análisis previo.** Llevar a cabo un análisis descriptivo de la información requerida para alimentar el modelo. Construir y probar el modelo.
  
4. **Análisis de la situación.** Diseñar y ejecutar escenarios para los parámetros.
  
5. **Resultados y conclusiones.** Analizar los resultados obtenidos y las proponer estrategias para determinar un camino de acción que lleve al Departamento a obtener el mayor beneficio posible.

### **3 Planteamiento del estudio de la situación**

Este capítulo describe el desarrollo de los puntos 1 y 2 de la metodología descrita en la sección 2.3

#### **3.1 Identificación de los elementos del sistema**

Después de revisar documentación relevante, se obtuvo la siguiente información con respecto a los aspectos enunciados en el punto 1 de la sección 2.3. Esta información es la entrada para formular el modelo que representa el sistema de generación de ingresos del Departamento.

##### **3.1.1 La Renovación Curricular**

Como se comentó anteriormente, la Renovación Curricular del PPII tiene como propósito mantener su nivel académico a la vanguardia de la oferta internacional. Para ser consistente con la certificación obtenida y con los estándares

internacionales, el Departamento propone una modificación al p $\acute{e}$ nsum de la carrera que se fundamenta en la b $\acute{u}$ squeda de las competencias que se requieren actualmente de un Ingeniero Industrial, seg $\acute{u}$ n est $\acute{a}$ ndares internacionales y locales y por las pol $\acute{i}$ ticas de la Universidad acerca de las calidades de sus egresados.

El proceso de identificaci $\acute{o}$ n de competencias ha tenido en cuenta tanto los requerimientos del CNA como iniciativas y modelos internacionales, con el fin de mantener la calidad educativa alcanzada hasta ahora y fortalecerla de acuerdo con los est $\acute{a}$ ndares globales. De esta forma, busca consolidarse como la oferta acad $\acute{e}$ mica m $\acute{a}$ s actual y competente del pa $\acute{i}$ s.

Las iniciativas y modelos que han servido como base para el desarrollo e identificaci $\acute{o}$ n de competencias del Ingeniero Industrial Uniandino son:

- CDIO. Por sus siglas en ingl $\acute{e}$ s: Conceive, Design, Implement, Operate. Es una iniciativa propuesta por universidades de Norteam $\acute{e}$ rica, Europa, y Asia en la que se propone la estandarizaci $\acute{o}$ n de la ense $\acute{n}$ anza en Ingenier $\acute{i}$ a y la recuperaci $\acute{o}$ n de su componente pr $\acute{a}$ ctico.
- ABET. Accreditation Board for Engineering and Technology. Es el organismo acreditador de los Estados Unidos para programas de ciencias aplicadas, tecnolog $\acute{i}$ a y computaci $\acute{o}$ n
- Tuning. Proyecto creado por universidades Europeas en respuesta al requerimiento formulado por los Ministerios de Educaci $\acute{o}$ n de la Uni $\acute{o}$ n Europea en la Declaraci $\acute{o}$ n de Bologna (1999). El requerimiento busca aumentar la competitividad de los programas de educaci $\acute{o}$ n superior de la Uni $\acute{o}$ n Europea y hacerlos m $\acute{a}$ s atractivos para estudiantes dentro y fuera de la regi $\acute{o}$ n. Como parte fundamental del proyecto, se encuentra la necesidad de determinar un punto de referencia com $\acute{u}$ n para los programas de todos los pa $\acute{i}$ ses, estandarizando los programas de cada disciplina.

Durante la revisión de estos estándares y la definición de las competencias necesarias se identificaron dos enfoques diferentes que debe ofrecer el programa para sus alumnos:

- Interés hacia la industria: estudiantes que se inclinan por iniciar una carrera laboral después de la culminación de sus estudios de pregrado. Dados los requerimientos del mercado laboral estos estudiantes se inclinarán por continuar con estudios de maestría o especialización
- Interés hacia la academia: estudiantes que se inclinan por iniciar una carrera académica, orientados principalmente hacia la docencia y la investigación. Estos estudiantes tendrán interés por continuar estudios de doctorado.

Como resultado del proceso de investigación del Departamento de Ingeniería Industrial, que tuvo en consideración las competencias definidas por las instituciones e iniciativas ya mencionadas (ABET, CDIO, Tuning) y las consideraciones que sobre ellas han hecho los estamentos nacionales (ICFES, ACOFI<sup>1</sup> y empleadores nacionales), el departamento determinó las siguientes competencias<sup>2</sup> como las requeridas de un egresado del programa de Pregrado en Ingeniería Industrial de la Universidad de Los Andes:

- a. Ciencias naturales.** Comprensión y aplicación de ciencias naturales mezcladas con herramientas de ingeniería para resolver problemas. Utilización del método científico junto con el conocimiento tecnológico como herramienta básica de trabajo.
- b. Diseño de experimentos.** Capacidad para diseñar y conducir experimentos. Mediante la observación y extracción de resultados poder analizar e interpretar datos y de ahí generar soluciones y caminos

---

<sup>1</sup> Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería

<sup>2</sup> Tomado del documento "Hacia la renovación de la producción de conocimiento en Ingeniería Industrial de la Universidad de Los Andes". Zarama, Aldana. Versión Julio 2005

de acción para problemáticas específicas. Ser capaz de leer e interpretar textos técnicos y científicos.

- c. Formulación de problemas.** Ser capaz de tomar problemáticas reales y formular problemas que puedan ser tratados con las herramientas, modelos y principios de las disciplinas analíticas de la Ingeniería Industrial. Habilidad para proponer soluciones integrales que incluyan el componente financiero y social.
- d. Herramientas Técnicas.** Tener dominio sobre las metodologías de las áreas de estudio (Investigación de operaciones, Producción, Sistemas organizacionales, Finanzas) y ser capaz de aplicarlas a los problemas reales para utilizarlas como sistemas de apoyo en la toma de decisiones y acciones de la vida real.
- e. Enfoque Sistémico.** Ser capaz de demostrar la integración de los sistemas y áreas de una organización o proyecto. Comprensión de estas relaciones que le permita plantear alternativas de solución que integren la teoría organizacional.
- f. Responsabilidad Ética.** Lograr una responsabilidad ética y social que motive el esfuerzo por obtener beneficios comunes y comprometerse con la calidad, teniendo en cuenta en todo el momento el impacto que sobre el contexto social y externo puedan tener las soluciones de Ingeniería.
- g. Trabajo en equipo.** Ser capaz de participar efectivamente en grupos de trabajo multidisciplinarios. Participar en la formulación de objetivos, distribución de actividades y en la ejecución de los proyectos formulados.
- h. Comunicación.** Tener la capacidad de comunicarse efectivamente ante diferentes audiencias. Tener una buena capacidad de argumentación y síntesis. Lograr un buen manejo hablado y escrito del inglés. Ser capaz de aprovechar las tecnologías de comunicación disponibles y usarlas para potenciar procesos de aprendizaje y desarrollo de proyectos.



- i. **Ciclos de aprendizaje.** Generar ciclos de aprendizaje que le permitan, diseñar soluciones, ejecutarlas, medirlas e intervenirlas en los casos en que la medición arroje un resultado desfavorable o que indique la necesidad de una mejora. Ser capaz de determinar cuando el enfoque dado a un proceso es erróneo incluso cuando ha sido propuesto por él mismo y ser capaz de reiniciarlo y rediseñarlo.
- j. **Racionamiento Lógico.** Desarrollar un raciocinio crítico, lógico, espacial y matemático que le permita identificar, plantear y enfrentar diferentes problemas. Lograr una buena capacidad de observación, análisis e interpretación de información y elaboración de conclusiones.
- k. **Emprendimiento.** Ser capaz de emprender proyectos por su propia cuenta y de ser proactivo en sus actividades con terceros, ya sea formación de empresa o trabajo independiente. Debe conocer el contexto empresarial y de negocios.
- l. **Aptitudes.** Desarrollar aptitudes como: creatividad, liderazgo, disciplina, recursividad, relaciones interpersonales y autoconfianza.

La estructura del nuevo programa se encamina hacia la obtención de estas competencias y el fortalecimiento de su integración al ejercicio de la Ingeniería Industrial.

### 3.1.2 Estructuración del programa

El programa de Ingeniería Industrial es un ordenamiento de cursos que se ubican de acuerdo a una secuencia estructurada a través de los 8 semestres (10 antes de la Renovación) que debe cursar el estudiante. Cada curso tiene asignada una carga académica en créditos. Al finalizar la carrera el estudiante debe haber cursado un total de 136 créditos y cumplir con los requerimientos de materias en cuanto a áreas mayor y menor y cursos electivos.

Para avanzar a través del programa, el estudiante debe ir cursando cada asignatura y aprobarla según el orden establecido. Al aprobar la materia, los

créditos aprobados se suman al Total de Créditos Aprobados para determinar en qué semestre se encuentra cada estudiante. Esta información se calcula de acuerdo al requerimiento de créditos para cada semestre.

Los 136 créditos que incluye el nuevo programa de Ingeniería Industrial incluyen materias obligatorias y electivas y cursos dictados tanto por el Departamento de Ingeniería Industrial como por departamentos de otras ingenierías y facultades.

El departamento de Ingeniería Industrial tiene a su cargo la oferta tanto de los cursos de su programa como de asignaturas dirigidas a estudiantes de otras carreras.

Cada curso o materia se ofrece en una cantidad de secciones. Las secciones son grupos de estudiantes a los que se les asigna un horario en el que se llevará a cabo la sesión de clase. Cada materia puede ofrecer una o más de una secciones dependiendo de la cantidad de estudiantes que deba atender (demanda). La multiplicidad de secciones hace posible a los estudiantes la elección entre profesores y horarios.

Las materias y secciones que se van a abrir son determinadas por el Departamento de acuerdo a la población de estudiantes y a la demanda estimada para cada uno de ellos.

### 3.1.3 Población de Estudiantes

Los estudiantes que componen la población estudiantil del Departamento se pueden agrupar en tres categorías:

- Estudiantes propios. Estudiantes registrados en el programa de Ingeniería Industrial. Son propios solo aquellos para los que Ingeniería Industrial aparece registrado como su programa número 1. Los estudiantes que

originalmente entraron a otra carrera y se encuentran haciendo doble programa con Ingeniería Industrial no hacen parte de este grupo. Son también estudiantes propios aquellos que hacen transferencia desde otro programa.

- Estudiantes nuevos. Son estudiantes propios de primer semestre. Al departamento llegan aplicaciones de bachilleres que quieren ingresar al programa, estas constituyen la demanda por el programa de Pregrado en Ingeniería Industrial. Las aplicaciones pasan por el proceso de admisión y una parte de ellas es aceptada. Una vez aceptados, los aspirantes deciden matricularse o no para iniciar el desarrollo del programa. De esta forma, la cantidad de estudiantes nuevos corresponde a la cantidad de aspirantes aceptados y matriculados
- Estudiantes de otras carreras. Estudiantes que están registrados en otros programas de la universidad y que cursan cursos ofrecidos por el PPII

La cantidad de estudiantes en cada categoría varía semestralmente y depende de la demanda por el programa y por los cursos.

### 3.1.4 Población de Profesores

El Departamento cuenta con un equipo de profesores de planta y profesores de cátedra. Los profesores de planta, a su vez, están clasificados de acuerdo a su formación y experiencia como profesores:

- Instructores
- Asistentes
- Asociados
- Titulares

Esta nómina se modifica de acuerdo a los requerimientos resultantes de la programación de cursos.

### 3.1.5 Modelo de Distribución de Ingresos (MDI)<sup>3</sup>

El MDI asigna una parte del ingreso por matrículas de pregrado a cada uno de los departamentos académicos de la universidad. El recurso asignado tiene como objetivo cubrir los costos de la operación docente de cada programa de pregrado.

El MDI reconoce ingresos por los siguientes conceptos:

- **Docencia:** es la suma del ingreso percibido por cada uno de los cursos que dicta el departamento
- **Tesis:** recursos asignados a cubrir los costos de asesoría por trabajos de grado.
- **Estudiantes propios:** ingreso asignado por cada estudiante que cursa el programa del departamento
- **Gastos administrativos:** ingreso asignado para cubrir gastos administrativos. Definido por la Universidad como el 10% del ingreso por cursos

#### **Cálculo del Ingreso por Cursos**

La asignación por este concepto es la suma de los ingresos generados por cada uno de los cursos que dicta el departamento. Su cálculo se lleva a cabo de forma independiente para cada sección de cada curso de pregrado dictado por el Departamento. En él se cuantifica la relación entre la capacidad de estudiantes a atender y la cantidad de estudiantes efectivamente atendidos en cada sección, conocida como el Factor de Eficiencia.

El propósito de la asignación de ingresos por cursos, es reconocer el costo de esta operación. Por esta razón, el ingreso de cada curso se calcula como una función

---

<sup>3</sup> “Guía del modelo de distribución de ingresos de pregrado”, Universidad de Los Andes, Dirección de Planeación y Evaluación, Diciembre 2005

de su costo. Este cálculo se lleva cabo cada período. Durante cada semestre se tienen en cuenta los siguientes parámetros para el cálculo del ingreso asignado de cada sección:

- **K** = Salario mensual del profesor asignado a la sección. Depende de la clasificación del profesor. Para los cursos que son dictados por más de un profesor por sección, es la suma ponderada de sus salarios por la cantidad de horas dictada por cada uno
- **f** = Factor Presupuestal: incluye el efecto de las prestaciones de ley y las bonificaciones en el cálculo del salario semestral
- **k** = Costo semestral de la sección

$$k = K * f * 6 \quad (3.1)$$

- **e** = Puestos estudiante: cantidad de estudiantes efectivamente inscritos en cada sección al inicio del semestre
- **T** = Tamaño de la sección: cantidad de estudiantes esperados en cada sección del curso. Definido por la Universidad para cada curso dependiendo de su nivel
- **F** = Factor de eficiencia. Es un factor calculado que representa la razón de desempeño efectivo de la sección contra su desempeño esperado en términos de atención a estudiantes

$$F = \frac{e}{T} \quad (3.2)$$

De esta forma, El ingreso de la sección,  $a$ , corresponde a una proporción de su costo esperado:

$$a = Fk \quad (3.3)$$

El ingreso de cada curso  $i$ ,  $A_i$ , es la suma de los ingresos de todas sus  $J_i$  secciones:

$$A_i = \sum_{j=1}^{J_i} a_j \quad (3.4)$$

El Ingreso por cursos,  $I_c$ , es la suma de los ingresos percibidos por los  $m$  cursos que dicta el departamento

$$I_c = \sum_{i=1}^m A_i \quad (3.5)$$

### **Cálculo del Ingreso por Tesis**

Los cursos de Tesis tienen varias características que no permiten aplicar el modelo de asignación por cursos. Algunas de ellas son: intensidad horaria variable, más de un profesor puede estar involucrado, el curso puede ir dirigido a un solo estudiante o a varios con temas de Tesis relacionados, entre otros.

Para calcular el ingreso asignado por este concepto se tiene en cuenta, primero, que el objetivo del curso es entregar un producto terminado (en este caso: un

estudiante graduado) y segundo, que un profesor de planta promedio, podría atender 20 proyectos de Tesis semestralmente si se dedicara sólo a ello.

Por estas razones el ingreso por cada estudiante graduado, sólo se percibe un semestre después del periodo en el que egresa. De esta forma el ingreso por Tesis,  $I_T$ , se calcula así:

$$I_T = \alpha\Psi \quad (3.6)$$

Donde:

- $\alpha$  = ingreso por estudiante graduado. Es igual al costo de Tesis y se calcula como 1/20 del costo promedio semestral de todos los profesores de la universidad
- $\Psi$  = población de estudiantes graduados. Estudiantes que completaron todos sus requisitos y se graduaron el semestre anterior

### **Cálculo de Ingreso por Estudiantes Propios y otros gastos Administrativos**

El ingreso por estudiantes propios,  $I_P$ , es la cantidad asignada por la Universidad a cada departamento por concepto del tamaño de su población de estudiantes propios donde:

$$I_P = \phi\Pi \quad (3.7)$$

Donde:

- $\Phi$  = ingreso por estudiante propio. Es una cantidad establecida por la Universidad y revisada semestralmente
- $\Pi$  = población de estudiantes propios

El ingreso por gastos administrativos,  $I_A$ , está determinado como el 10% del ingreso asignado por cursos:

$$I_A = 0.1I_c \quad (3.8)$$

### **Cálculo de Ingreso Total Asignado**

El ingreso total asignado,  $I$ , está dado por:

$$I = I_C + I_T + I_P + I_A \quad (3.9)$$

### **3.1.6 Costos Asociados al Programa**

La universidad, reconoce a cada unidad los costos de docencia y los gastos administrativos generados por cada programa. Los costos de docencia son la nómina del cuerpo de profesores. Los gastos administrativos son aquellos generados por la actividad docente, la oferta de cursos, que no están relacionados directamente con la planta profesoral.



### Costo de Docencia (Nómina)

El costo de docencia,  $K_D$ , Es la suma de los salarios de la planta de profesores de los 5 tipos de profesores durante el semestre:

$$K_D = \sum_{q=1}^5 \omega_q \tau_q \quad (3.10)$$

Donde:

- $\omega_q$  = costo semestral del profesor tipo q
- $\tau_q$  = nómina de profesores tipo q

### Gastos Administrativos

Los gastos administrativos,  $K_A$ , corresponden a los gastos de la operación que no son pago de nómina docente como pueden ser salarios de personal administrativo, papelería, etc. Estos gastos no dependen directamente de la cantidad de estudiantes del departamento, pero son generados debido a su presencia.

### Cálculo de los Costos Totales del Programa

El Costo Total,  $K$ , del programa en un semestre estaría dado por:

$$K = K_D + K_A \quad (3.11)$$

## 3.2 Formulación del modelo

El modelo que se va a formular debe representar la situación problemática de tal forma que permita analizarla y observar los efectos que tiene la alteración de algunos de sus parámetros. Siendo la situación problemática “... *incertidumbre acerca de la capacidad generadora de ingresos del programa de pregrado en Ingeniería Industrial para cubrir sus gastos administrativos y de nómina...*” es necesario utilizar un indicador que represente tanto la generación de ingreso como el cubrimiento de las necesidades de capital. Es por esta razón que el modelo propuesto trabaja con el Resultado Económico del período o semestre, **U**, que se define como la diferencia entre los ingresos y los costos.

Para un período del tiempo el resultado estaría dado entonces por:

$$U_t = I_t - K_t \quad (3.12)$$

En donde  $t$  representa el período al que se está haciendo referencia.

### 3.2.1 Ingreso Asignado

De la ecuación 3.9 se sabe que:

$$I = I_C + I_T + I_P + I_A$$

Al realizar un análisis exhaustivo sobre la variación del ingreso, se pueden encontrar diversos factores que inciden sobre él. En este trabajo se analizará cada uno de sus componentes desde la óptica de su relación con la duración del programa.

## Ingreso por Cursos

De las ecuaciones 3.2 a 3.4 se sabe que el ingreso de cada curso es corresponde a la suma de los ingresos de todas sus secciones. De esta forma:

$$A_{it} = \sum_{j=1}^{J_{it}} \frac{e_{ijt}}{T_{ijt}} k_{ijt} \quad (3.13)$$

Para cualquier periodo  $t$ . La cantidad de estudiantes registrada en cada curso  $i$ , proviene de dos poblaciones cuyos volúmenes varían de forma independiente, la población de estudiantes propios de Ingeniería Industrial y la población de estudiantes de otras carreras que están registrados en cursos de Ingeniería Industrial. Los puestos estudiante de la sección  $j$  del curso  $i$  pueden describirse discriminando la población de donde provienen, de la siguiente forma:

$$e_{ijt} = o_{ijt} + p_{ijt} \quad (3.14)$$

Donde:

- $o_{ijt}$  = estudiantes de otras carreras registrados en la sección  $j$  del curso  $i$  en el periodo  $t$
- $p_{ijt}$  = estudiantes propios registrados en la sección  $j$  del curso  $i$  en el periodo  $t$

Para cada curso pueden existir una o más secciones. La cantidad de secciones abiertas para cada curso depende de la cantidad de estudiantes que debe atender. No hay razones para suponer que exista una diferencia estructural entre las secciones de un mismo curso. Asumiendo que todas las secciones de un

mismo curso son iguales en estructura, se concluye que el tamaño de sección y el costo semestral de cada sección es el mismo, entonces, las ecuaciones 3.13 y 3.14 se pueden reescribir así:

$$A_{it} = \frac{k_{it}}{T_{it}} (o_{it} + p_{it})$$

$$k_{ijt} = k_{it} \quad T_{ijt} = T_{it} \quad \forall j$$

$$o_{it} = \sum_{j=i}^{J_{it}} o_{ijt} \quad p_{it} = \sum_{j=i}^{J_{it}} p_{ijt} \quad (3.15)$$

La población de cada curso es igual a la suma de la población de todas sus secciones. En adelante el análisis se concentrará en los cursos y no en las secciones.

El ingreso asignado a cada curso depende entonces de la población de estudiantes registrados en el y de una constante que es interpretada como el ingreso marginal por estudiante del curso:

$$\gamma_{it} = \frac{k_{it}}{T_{it}} \quad (3.16)$$

El ingreso por cada curso para el periodo  $t$  está dado por:

$$A_{it} = \gamma_{it} (o_{it} + p_{it}) \quad (3.17)$$

Donde:

- $\gamma_{ijt}$  = ingreso marginal por estudiante del curso  $i$  en el periodo  $t$

El ingreso por cursos para cualquier periodo  $t$  es la suma de los  $M_t$  cursos ofrecidos:

$$I_{Ct} = \sum_{i=1}^{M_t} \gamma_{it} (o_{it} + p_{it}) \quad (3.18)$$

### **Ingreso por Estudiantes propios**

El ingreso por estudiantes propios depende la cantidad asignada por la universidad por cada estudiante propio. Esta cantidad es determinada semestralmente y es la misma para todos los programas de pregrado de la universidad.

El ingreso por estudiantes propios para cualquier periodo  $t$  estaría dado por:

$$I_{P_t} = \phi_t \Pi_t \quad (3.19)$$

Donde:

- $\Phi_t$  = ingreso asignado por cada por estudiante propio durante el periodo t.
- $\Pi_t$  = población de estudiantes propios en el periodo t

### **Ingreso por Gastos Administrativos**

El ingreso por gastos administrativos se encuentra definido como el 10% de los ingresos por cursos. Esta asignación reconoce la variabilidad con respecto a la población que tiene el gasto administrativo.

$$I_{At} = 0.1I_{Ct} \quad (3.20)$$

### **Ingreso por Tesis**

El ingreso por Tesis depende del ingreso por estudiante graduado establecido por la Universidad. Este ingreso se calcula como 1/20 del costo semestral promedio de todos los profesores.

$$I_{Tt} = \alpha_t \Psi_t \quad (3.21)$$

Donde:

- $\alpha_t$  = ingreso por estudiante graduado determinado para el periodo t
- $\Psi_t$  = población de estudiantes graduados del periodo t

## Ingreso Total Asignado

El ingreso total de cada periodo esta dado por la siguiente expresión:

$$I_t = 1.1 \sum_{i=1}^{M_t} \gamma_{it} (o_{it} + p_{it}) + \phi_t \Pi_t + \alpha_t \Psi_t \quad (3.22)$$

### 3.2.2 Costos del periodo

Los costos que se van a tener en cuenta para este modelo son los que se relacionan con la actividad docente, es decir, con el ofrecimiento de cursos del programa de pregrado en Ingeniería Industrial

#### Costo de Docencia (Nómina)

El costo de nómina depende de la cantidad de profesores y el salario de cada uno. Cómo se explicó anteriormente, la nómina de profesores se encuentra dividida en categorías. El costo de nómina para cada periodo es:

$$K_{Dt} = \sum_{q=1}^4 \omega_q \tau_{qt} \quad (3.23)$$

Donde:

- $\omega_q$  = costo semestral del profesor tipo q en el periodo t
- $\tau_q$  = nómina de profesores tipo q en el periodo t

## Costos Administrativos

Los costos administrativos,  $K_{At}$ , son aquellos que están relacionados con la prestación del servicio docente pero no se causan directamente por él. Algunos ejemplos son la nómina del personal administrativo, papelería, organización de eventos, etc. Aunque la relación no es directa es claro que se incurre en estos gastos por la presencia de estudiantes en el Departamento, de otra forma no habría lugar a ellos. Actualmente no existe una medición sobre cuál es el efecto de la población sobre estos costos.

## Costos Totales

Los costos totales del periodo están dados por la siguiente expresión:

$$K_t = \sum_{q=1}^4 \omega_{qt} \tau_{qt} + K_{At} \quad (3.24)$$

### 3.2.3 Resultado

De acuerdo a lo anterior, el resultado para un periodo t está dado por:

$$U_t = 1.1 \sum_{i=1}^{M_t} \gamma_{it} (o_{it} + p_{it}) + \mu_t \Pi_t + \alpha_t \Psi_t - \delta_t \quad (3.25)$$

Donde:

- $\mu_t$  = ingreso neto por estudiante propio en el periodo t

$$\mu_t = \phi_t - K_t \quad (3.26)$$



- $\delta_t$  = costo de docencia del periodo t.

$$\delta_t = K_{D_t} = \sum_{q=1}^4 \omega_{qt} \tau_{qt} \quad (3.27)$$

## 4 Modelaje y Análisis

Este capítulo describe el desarrollo del punto 3 de la metodología descrita en la sección 2.3

### 4.1 Información Requerida y Metodología para el Modelaje

El análisis en que se enfoca este trabajo, tiene como objeto de estudio el desempeño del Resultado Económico durante un horizonte de tiempo. Para analizar el efecto completo de la entrada en funcionamiento del nuevo programa se estudiará un periodo de 10 años o 20 semestres.

$$t \in [1,20] \tag{4.1}$$

El objetivo es entonces, encontrar los valores de  $U_t$  para todos los valores de  $t$  y analizar la evolución de esta serie y sus variaciones ante alteraciones de los parámetros de entrada.

De la ecuación 3.26 se tiene:

$$U_t = 1.1 \sum_{i=1}^{M_t} \gamma_{it} (o_{it} + p_{it}) + \mu_t \Pi_t + \alpha_t \Psi_t - \delta_t$$

Para encontrar los valores de  $U_t$  se requieren los valores de cada uno de sus componentes para cada periodo  $t$ . Estos componentes se pueden clasificar entre parámetros económicos (ingresos y costos) y parámetros de población. El tratamiento dado a los parámetros para obtener sus valores en el periodo de estudio cambia de acuerdo a su clasificación.

La metodología para modelar cada cantidad depende del objetivo del modelo que en este caso es examinar el efecto de la renovación curricular. Como se explicó anteriormente (ver introducción y numeral 2.1) el efecto del cambio de programa se va a ver reflejado en la asignación de ingresos a través de los cambios que presente la población de estudiantes. De esta forma la generación de valores de los parámetros económicos:  $\gamma_t$ ,  $\mu_t$ ,  $\alpha_t$  y  $\delta_t$ , no está ligada a los efectos del cambio de programa y por lo tanto estas cantidades pueden ser modeladas de forma independiente a la variación en la población.

Por el contrario, los parámetros de población:  $o_{it}$ ,  $p_{it}$ ,  $\Pi_t$  y  $\Psi_t$ , se encuentran relacionados directamente con los efectos de la renovación. Esta relación se explica detalladamente en la siguiente sección.

Es importante anotar que en concreto, la incertidumbre que introduce la Renovación en el Resultado del PPII es producto solamente de la variación en las

poblaciones de interés, como se explicó anteriormente. Por esta razón, el modelo trata detalladamente la formulación de la simulación para dichas poblaciones.

## 4.2 Modelaje de las poblaciones

Las poblaciones de interés son:

- Población de estudiantes por curso. Estudiantes registrados en cada curso
- Población de estudiantes propios. Estudiantes registrados en el programa de Pregrado de Ingeniería Industrial
- Cantidad de egresados de cada periodo.

No es posible establecer una relación directa entre la población de cada curso y la población total por dos razones. La primera es que durante un periodo, los alumnos ven más de un curso, de esta forma, la población agregada de estudiantes registrados en los cursos supera el total de la población de estudiantes propio. No es posible expresar la población de estudiantes propios de cada curso como una porción de la población total, esto constituiría un error ya que reflejaría directamente sobre la población de cada curso las variaciones de la población total. Esta es la segunda razón, el efecto del cambio de programa sobre la población general no es el mismo que el efecto sobre la población de cada curso ya que no implica cambios estructurales sobre ningún curso ni sobre la demanda por el programa.

En otras palabras, suponiendo que la población de estudiantes propios disminuye, no hay ninguna razón para suponer que menos estudiantes cursarían. Tomando como ejemplo el curso de Modelos Probabilísticos, podría suponerse un escenario en el que son eliminadas un grupo de materias que filtran la población antes de Modelos Probabilísticos y como resultado habría más estudiantes cursando esta materia.

La población de cada curso esta ligada a la población parcial de estudiantes que tienen necesidad de cursarla, es decir, aquellos que llegan al punto de la carrera en que deben decidir si la inscriben el curso o no. Visto de otra forma, la demanda o propensión a ver cada curso, varía con respecto al tiempo de que cada estudiante lleva en el programa, lo que en adelante se conocerá como el Tiempo de Permanencia.

Por esta razón, el modelo considera poblaciones auxiliares conformadas por aquellos estudiantes que tienen el mismo tiempo de permanencia. Estas serán las Poblaciones por Semestre. Para modelar la población de estudiantes propios de cada curso, la demanda se asocia a la población de cada semestre, como se explicara más adelante.

De forma similar la cantidad de egresados por periodo se va a ver afectada al disminuir la cantidad de requisitos para una porción de la población.

#### 4.2.1 Población de estudiantes propios

La población de estudiantes propios de cada semestre es la cantidad de estudiantes registrados en el programa de pregrado en Ingeniería Industrial (PPII) en cada periodo. Esta población tiene dependencia de la duración del programa, sin embargo, esta dependencia no es directa.

Para entender de qué forma varía la población con la duración del programa, este trabajo propone el siguiente acercamiento:

Se define el PPII, como un sistema al que ingresan entidades y son servidas con algún tiempo de servicios. Al salir del sistema, las entidades pueden salir clasificadas como egresados o como desertores. La cantidad de estudiantes propios es el número de entidades que están siendo servidas.

En otras palabras, se puede entender el PPII como una cola:

$$G_i / G_2 / \infty \quad (4.2)$$

La cola tendrá infinitos servidores o un servidor con capacidad infinita (conceptualmente, el efecto es el mismo, lo que se quiere decir es que el tope de entidades dentro del sistema lo pone el proceso de demanda, en otras palabras que el sistema tiene capacidad para todas las entidades que arroje el proceso de ingreso) y la población de estudiantes propios,  $\Pi_t^d$ , se redefiniría como la cantidad de entidades en el sistema, en cada periodo  $t$ . Esta nueva definición no varía la naturaleza de la cantidad expresada.

### Estimación de $G_1$

$G_1$ , es el proceso de generación de demanda, es decir, de la cantidad de entidades que arriban al sistema en cada periodo  $t$ . Para estimarlo hay que detallar como ocurre el proceso en el sistema real (numeral 3.1.3):

- Paso 1: generación de  $\beta_1$ . Cantidad de aspirantes. Para estimar la distribución de  $\beta_1$ , se observa la serie histórica real de aspirantes. Adicionalmente, se determina si esta distribución es igual para todos los periodos o si varía con el tiempo
- Paso 2: generación de  $\beta_2$ . Cantidad de aspirantes aceptados. De los aspirantes que se presentan, solo una proporción,  $\lambda_1$ , es aceptada. Para calcular  $\lambda_1$ , se observa la serie histórica real de aceptados y se determina si varía con el tiempo. Siendo  $\lambda_1$  la tasa de aceptación, calculada como la proporción muestral de aceptados:

$$\beta_2 = \lambda_1 \beta_1 \quad (4.3)$$

- Paso 3: generación de  $\beta_3$ . Estudiantes Nuevos. De los aspirantes aceptados solo una proporción,  $\lambda_2$ , se matricula para iniciar el PPII. Para calcular  $\lambda_2$ , la tasa de matrícula, se observa la serie histórica real de matriculados y se determina si varía con el tiempo. Calculando  $\lambda_2$  como la proporción muestral de matriculados, se calcula:

$$\beta_3 = \lambda_2 \beta_2 \quad (4.4)$$

- Paso 4. Reservas y transferencias, RT. Las entidades que entran por reserva o transferencia, provienen de los estudiantes aceptados y no matriculados en periodos anteriores o de estudiantes aceptados y matriculados en programas diferentes al PPII, en periodos anteriores. Para incluirlos en el modelo se entienden como independientes para cada periodo y se calcula su distribución, de igual forma se determina si su distribución varía en el tiempo
- Paso 5: generación de estudiantes nuevos. Los estudiantes nuevos, N, son la suma de los estudiantes matriculados y las Reservas y Transferencias:

$$N = \beta_3 + RT \quad (4.5)$$

### **Estimación de $G_2$**

$G_2$  es la función de distribución de probabilidad del tiempo de servicio de cada entidad o, en otras palabras, su tiempo de permanencia en el programa. Para estimarla, se observa una muestra de estudiantes. La distribución  $G_2$  es una distribución discreta, ya que en cualquier caso, el tiempo de permanencia es una cantidad de periodos. De ahí que los valores generados por  $G_2$ , solo pueden ser números enteros. El espacio muestral para esta distribución esta comprendido desde 1, 2, 3,... hasta el valor más alto encintrado en la muestra. La probabilidad

de ocurrencia de cada uno de estos valores, se estima como su frecuencia muestral.

### **Estimación de $\Pi^d$**

La población de estudiantes propios estaría dada por la cantidad de entidades en el sistema en cada periodo. Este planteamiento para el cálculo de la población de estudiantes propios, ofrece la herramienta clave para evaluar el efecto que tiene sobre esta población el cambio en la duración del PPII. Al entrar en vigencia el nuevo programa, el cambio en el modelo se vera reflejado por un cambio en la distribución  $G_2$ .

#### **4.2.2 Población de Estudiantes graduados por periodo**

La población de estudiantes graduados,  $\Psi^d$ , se calcula teniendo en cuenta el proceso descrito en el numeral anterior. Al generarse el tiempo de servicio a través de la distribución  $G_2$ , a cada entidad se le asigna un tiempo de salida. Cada entidad abandona el sistema en el periodo que le corresponde. Este proceso, además de actualizar el número de entidades en el sistema y por lo tanto  $\Pi_t^d$ , permite medir en cada periodo  $t$ , cuál es el número de entidades que abandona el sistema.

### **Estimación de $\Psi^d$**

El proceso anteriormente descrito, permite conocer el número de entidades que abandonan el sistema en cada periodo. Sin embargo, no todos los estudiantes que abandonan el PPII se gradúan, lo que en términos del modelo significa que no todas las entidades del que abandonan el sistema hacen parte de  $\Psi^d$ . Para determinar que parte de esta población es egresada, se definen dos estados para la salida del sistema: egreso y deserción. Siendo los egresados, los estudiantes que terminan el programa y los desertores son aquellos que se retiran antes de completarlo. De esta forma se puede definir  $G_3$  como el proceso de asignación de



la razón de salida, y se estima como las distribuciones de frecuencias de las salidas para cada una de las razones y duraciones sobre una muestra de estudiantes que ya han salido del sistema.

El comportamiento de  $G_3$ , tiene una dependencia con respecto al tiempo de permanencia de la entidad ya que las frecuencias de las razones de salida no son las mismas en todo momento de la vida académica. Por ejemplo, con la duración actual del programa, 10 periodos (semestres), se concluye que si el tiempo de servicio de una entidad es inferior a 5 periodos es más probable que dicha entidad haya salido por deserción que por egreso. De igual forma una entidad que sea servida en más de 10 periodos tiene mayor probabilidad de salir egresada que de hacerlo por deserción. De esta forma la función  $G_3$  esta condicionada al tiempo de permanencia del estudiante. La función  $G_3$ , es una distribución discreta de las siguientes características:

$$G_3 = \begin{cases} \text{si } permanencia = 1 & \begin{cases} \text{Egreso} & x_1 \\ \text{Deserción} & 1 - x_1 \end{cases} \\ \text{si } permanencia = 2 & \begin{cases} \text{Egreso} & x_2 \\ \text{Deserción} & 1 - x_2 \end{cases} \\ \vdots & \vdots \\ \text{si } permanencia = n & \begin{cases} \text{Egreso} & x_n \\ \text{Deserción} & 1 - x_n \end{cases} \end{cases} \quad (4.5)$$

$\Psi^d$  se redefine como la cantidad de estudiantes que abandonan el sistema por egreso. Este definición es equivalente a la anterior, es decir a  $\Psi^d$  como la cantidad de graduados del periodo.

#### 4.2.3 Población de Estudiantes de Otras carreras

La población de estudiantes de otras carreras, POC, de cada periodo se compone de estudiantes de otras carreras que están registrados en al menos un curso ofrecido por el PPII. Esta población es independiente de la población de estudiantes propios y su modelaje se realiza aparte.

## **Estimación de POC**

Esta población se modela observando la serie histórica de estudiantes de otras carreras y se analiza en búsqueda de sus componentes aleatorias y su relación con el tiempo. Adicionalmente, el modelo propone una alternativa para modelarla como una proporción de la cantidad de estudiantes propios. Aunque estas dos cantidades, como ya se dijo, no son dependientes, relacionarlas de esta forma permite capturar algo del efecto de renovación curricular para otros departamentos y facultades. El modelo de esta alternativa abierta para análisis.

### **4.2.4 Población de estudiantes por curso**

Como se explicó anteriormente, la población de estudiantes por curso se calcula con base en las poblaciones por semestre. La población de cada curso se compone de las entidades de cada semestre que lo demandan. Esta demanda, se calcula como la proporción de estudiantes de cada semestre que inscriben la materia y varía con el tiempo de permanencia en el sistema, es decir, la distribución de demanda es diferente para cada población por semestre.

## **Estimación de las Poblaciones por Semestre**

La población de cada semestre está dada por la cantidad de estudiantes que llevan el mismo tiempo en el programa. Existe una población por cada semestre en el que haya al menos un estudiante. Para estimarlas se observa el Tiempo de Permanencia Actual (TPA) de cada entidad y se hace el conteo agrupando aquellas para las que este atributo es igual. Este atributo es dinámico, ya que el TPA se incrementa en una unidad con cada periodo, por lo tanto las entidades pasan de una población a la siguiente sin pasar más de un periodo en ninguna, hasta que alcanzan aquella que corresponde a su tiempo de salida.

### **Estimación de las Demandas por Curso de las Poblaciones por Semestre**

Sobre varios periodos consecutivos de una muestra de estudiantes, se calcula el TPA muestral. Este atributo permite determinar las Poblaciones por Semestre muestrales y la composición por semestre de permanencia de cada curso. La demanda muestral de cada curso está dada por la proporción de estudiantes de cada semestre que lo está cursando. Al obtener las demandas muestrales, se analiza la serie para determinar su comportamiento y si es probabilística o una serie de tiempo.

### **Estimación de las Demandas por Curso de las Poblaciones por Semestre**

El sistema del PPII y la distribución de cada pareja curso-semestre, permiten generar el número de estudiantes de cada semestre que van a registrarse en determinado curso, el agregado de estas poblaciones conforma la población de cada curso.

### **Estimación de Estudiantes de otras carreras por curso**

Conociendo la población de estudiantes de otras carreras, la demanda de ellos por cada uno de los cursos se estimara de la misma forma, es decir, a la población de estudiantes de otras carreras se le dará el mismo tratamiento que a las poblaciones por semestre

#### **4.2.5 Parámetros económicos**

Los parámetros económicos:  $\gamma_t$ ,  $\mu_t$ ,  $\alpha_t$  y  $\delta_t$ , serán modelados a través de las series muestrales que para ellos se obtengan. Estos valores presentan una variabilidad con el tiempo. Adicionalmente, en casos como el del ingreso por estudiante de cada curso, las series pueden incluir fuentes de variación adicionales. Las razones que hacen variar estas cantidades y que no son el tiempo o la duración del programa, están por fuera del alcance de este trabajo. Su efecto se considera

incluido en la variabilidad muestral y por lo tanto queda es tomado en consideración de forma implícita en el modelaje de la serie.

#### 4.2.6 Resumen de información requerida

A continuación se relacionan las variables y parámetros que deben ser modelados para la formulación del modelo. El modelaje consiste en la obtención de la información y su análisis. El objetivo es determinar cuáles de ellos son de carácter probabilístico y cuáles tienen dependencia con el tiempo para obtener estimaciones que permitan simular su comportamiento en un horizonte de tiempo futuro:

- Población de estudiantes de otras carreras
- Población de estudiantes nuevos
- Costos Administrativos
- Costos de docencia
- Ingreso por Estudiante en Tesis
- Ingreso por Estudiante Propio
- Ingreso por Estudiante de cada curso
- Poblaciones por semestre
- Distribución de estudiantes de cada curso por tiempo de permanencia
- Distribución  $G_2$  para el programa de 10 semestres
- Distribución  $G_2$  para el programa de 8 semestres
- Distribución de abandono por razón de salida

#### 4.3 Obtención y Modelaje de la Información

A continuación se describe el proceso para la estimación de la información de entrada del modelo, resumida en la sección 4.2.6.

Las diferentes fuentes de información recopiladas ofrecen información desde el periodo 2004 – 1 en el caso de registro de estudiantes por materia, ingresos y costos, desde el 2001 – 1 para los aspirantes y nuevos estudiantes y desde 1946 – 2 para los grados. De esta forma el 2004 – 1 a 2005 -2, es el lapso de tiempo en donde hay información histórica completa, esto implica que solo hay 4 periodos para probar la exactitud del modelo.

El reducido tamaño de la muestra, impide pronosticar valores con exactitud. Por esta razón, a lo largo del modelaje se busca establecer cuáles son los modelos que mejor se ajustan a las tendencias observadas en las series de los parámetros simulados.

#### 4.3.1 Información Obtenida

##### **Información sobre cursos**

Para estimar las distintas poblaciones y procesos del modelo, se obtuvo la información acerca del registro de estudiantes. El Departamento de Planeación de la Universidad proporciona la información sobre las materias en las que está registrado cada estudiante de la universidad. La información se encuentra en dos niveles, al inicio y al final del semestre.

La información al inicio de cada semestre incluye la identificación del curso (nombre, código, materia, sección), la identificación del estudiante (código, tipo de programa: pregrado, posgrado, maestría, extensión, etc.), el origen del estudiante (departamento demandante) y el origen de la materia (departamento oferente).

Adicionalmente a toda esta información, el registro de final de semestre incluye la calificación obtenida por el estudiante.

La historia disponible de esta información comprende desde el periodo 2001-1 hasta el período 2005-2, estos son 10 periodos de historia.

## **Información sobre Egresados**

Tanto el Departamento de Planeación como la Oficina de Registro, proveen información sobre los egresados de la Universidad. Este listado incluye el código y el periodo de egreso. Esta información está disponible para todos los egresados de la Universidad, es decir, un horizonte histórico de más de 40 periodos.

## **Información sobre planta docente**

El Departamento de Ingeniería Industrial provee información sobre el tamaño de la nómina por tipo de profesor y el ponderado de salario para cada categoría.

La serie de nómina proporciona información histórica desde el 2001-1 hasta el 2005-2 (10 periodos) y pronósticos desde el 2006-1 hasta el 2010 -2.

La serie de salarios presenta información histórica desde el 2001-1 hasta el 2005-2 (10 periodos).

Las dos series varían anualmente, por esto el valor para dos periodos del mismo año, es el mismo.

## **Información sobre el nuevo programa**

El Departamento provee la información acerca de la estructura del nuevo pénsum.

## **Información Económica**

La información económica es la relacionada con los parámetros de ingreso asignado. Incluye el ingreso asignado por cada uno de los conceptos incluidos en el MDI y los ingresos asignados por cada curso. Esta información proviene del Departamento de Planeación. La información es histórica desde el periodo 2004-1

hasta el 2006-1. El MDI entró en funcionamiento en el 2004-1, por esta razón no existe información anterior a esta fecha.

#### 4.3.2 Modelaje de la Población Estudiantes Otras Carreras

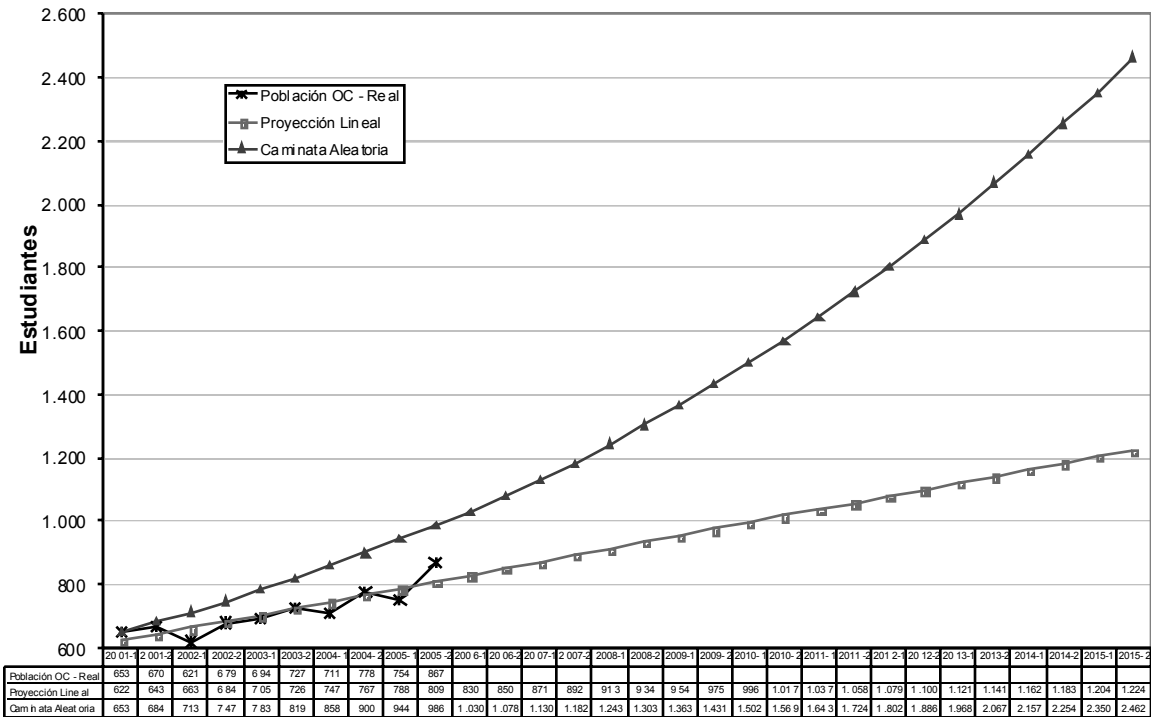
Para modelar la cantidad de estudiantes de otras carreras que se van registrar durante cada semestre en cursos del PPII se parte de la información sobre registro de cursos. En el modelo, la población de estudiantes de otras carreras (POC) hace referencia a aquellos estudiantes que están registrados en cursos del PPII y que no son estudiantes propios del mismo. El resto de la población, es decir los estudiantes de otras carreras que no toman cursos del PPII, no son tenidos en cuenta en el modelo.

La variación de la POC se origina en muchos factores. Algunos de ellos son completamente aleatorios ya que los cursos del PPI como todos los de cualquier programa están abiertos para todos los estudiantes que cumplan lo prerrequisitos, así que su inscripción depende de la voluntad de cada estudiante. Hay otros factores como la inclusión de cursos de PPII en otros programas de forma obligatoria o efectiva.

Estos factores, que son ajenos al cambio de pénsum, no se induyen en el modelaje de la POC. Esta población es modelada de acuerdo a la variación de la muestra. Se asume que esta variación incluye el efecto de todos esos factores.

La serie para la POC se modelo como una caminata aleatoria y como un proceso lineal con dependencia del tiempo. Los resultados se muestran en la figura 4.1

### Población de Estudiantes de Otras Carreras



Gráfica 4.1 Modelaje de la población de estudiantes de Otras Carreras registrados en cursos PPII

El modelo que mejor se aproxima es el lineal ya que durante el periodo de prueba muestra menor dispersión y crece de forma más pausada que la caminata aleatoria.

Para el periodo  $t$  la POC, está dada por:

$$\Theta_t = 601,1 + 20,8t + \varepsilon_t^{\Theta} \quad (4.6)$$

Donde:

$$\varepsilon_t^{\Theta} \rightarrow N(0, 32,6) \quad (4.7)$$



## Escenarios para la POC

El modelo presenta la opción de utilizar esta proyección para estimar la tendencia de la POC y adicionalmente la opción para hacerla independientemente del tiempo con un valor inicial igual al último real y un crecimiento constante. El crecimiento constante se puede evaluar en tres escenarios, es decir, tres tasas diferentes.

### 4.3.3 Demanda: estudiantes nuevos

De las ecuaciones 4.3 a 4.5 sabemos que, para cualquier periodo  $t$ :

$$N_t = \beta_{3t} + RT_t$$
$$\beta_{3t} = \beta_{1t} \alpha_{1t} \alpha_{2t} \quad (4.8)$$

Para determinar la cantidad de estudiantes que entrar al PPII,  $N_t$ , en cada periodo, se deben generar los valores de  $RT_t$ ,  $\beta_{1t}$ ,  $\beta_{3t}$ ,  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$

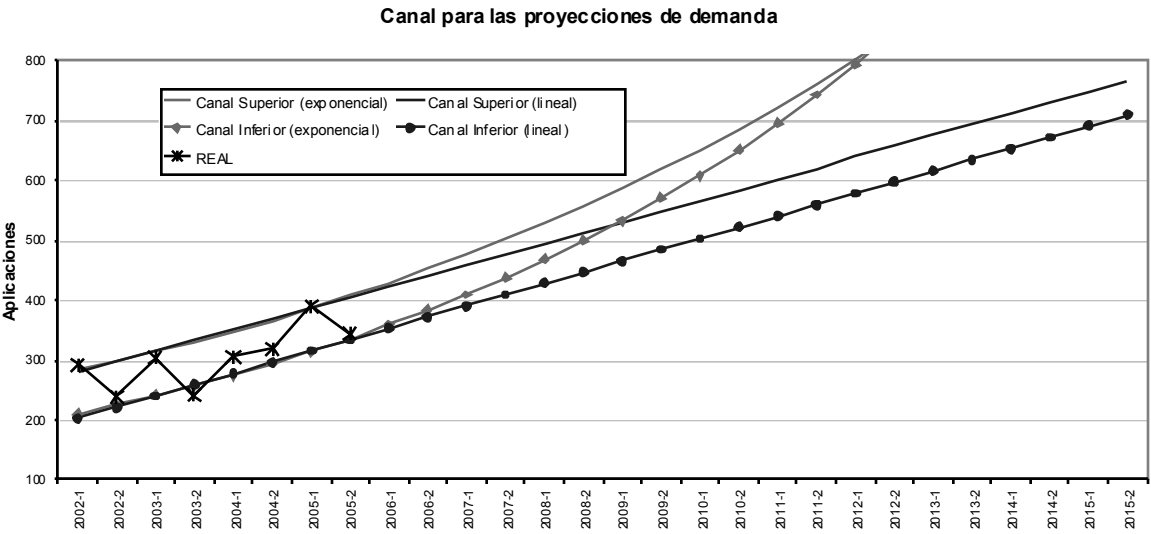
#### Modelaje de Aspirantes $\beta_{1t}$

El proceso de arribo de aplicaciones es el componente fundamental para la generación de nuevos estudiantes. La serie de datos no muestra un comportamiento claro. Por la naturaleza de esta serie, un proceso de demanda, se espera encontrar una tendencia positiva, sin embargo esta no aparece manifiesta en toda la muestra.

Debido a la dispersión que presenta, la escasa cantidad de información y la falta de una tendencia clara, el primer acercamiento que se realiza es modelar este parámetro como una variable aleatoria. Sin embargo, como se supone que la tendencia existe aunque no este clara, se modela el proceso también como una variable aleatoria uniforme, con parámetros que cambian con el tiempo.

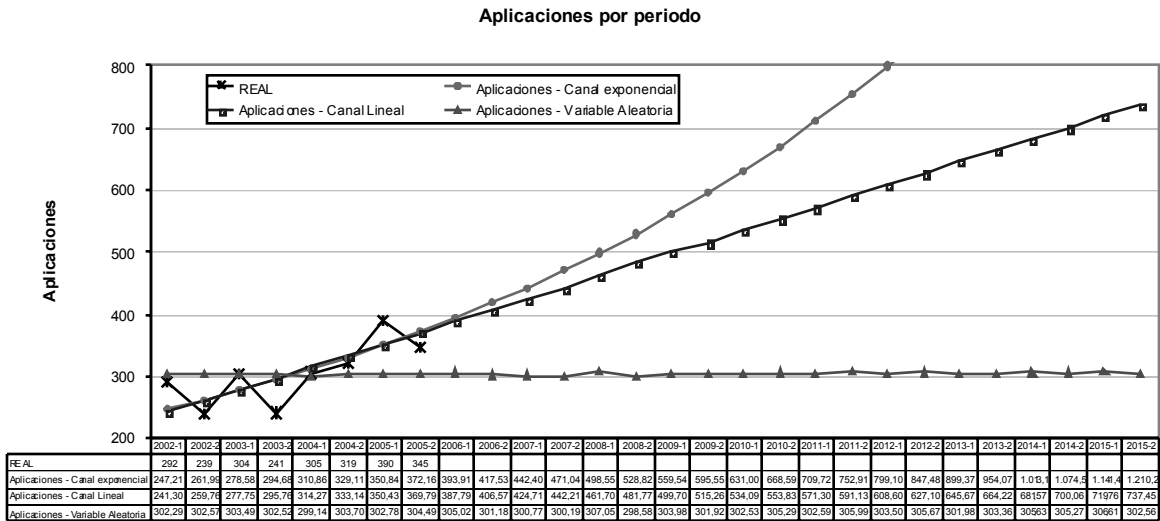
Para determinar los parámetros de estas variables uniformes se utiliza el enfoque de canales utilizado en el análisis técnico de la práctica de trading en mercados de capitales. Los canales son dos bandas que envuelven la serie sobre sus valores máximos y mínimos. Al proyectar el canal en el tiempo una estimación del comportamiento futuro de estos límites (máximos y mínimos) que en cada período puede tomar la variable. Estos límites actúan como los parámetros de las distribuciones uniformes.

Convencionalmente, los canales tienen funciones lineales, sin embargo, el comportamiento de la serie permite considerar un comportamiento exponencial. La figura 4.2 muestra canales sobre los que se llevan a cabo las proyecciones



Gráfica 4.2 Canales para la cantidad de aplicaciones por período

Los resultados de las tres metodologías se muestran en la gráfica 4.3



Gráfica 4.3 Modelaje del proceso de entrada de aplicaciones para el PPII

El modelo que proporciona la mejor aproximación es el de canales lineales ya que no es tan acelerado como el exponencial y no presenta una desviación tan grande como la de la variable aleatoria.

Para cualquier periodo  $t$ , la cantidad de aplicaciones está dada por:

$$\beta_{1t} \rightarrow U(a_t^{\beta_1}, b_t^{\beta_1}) \quad (4.9)$$

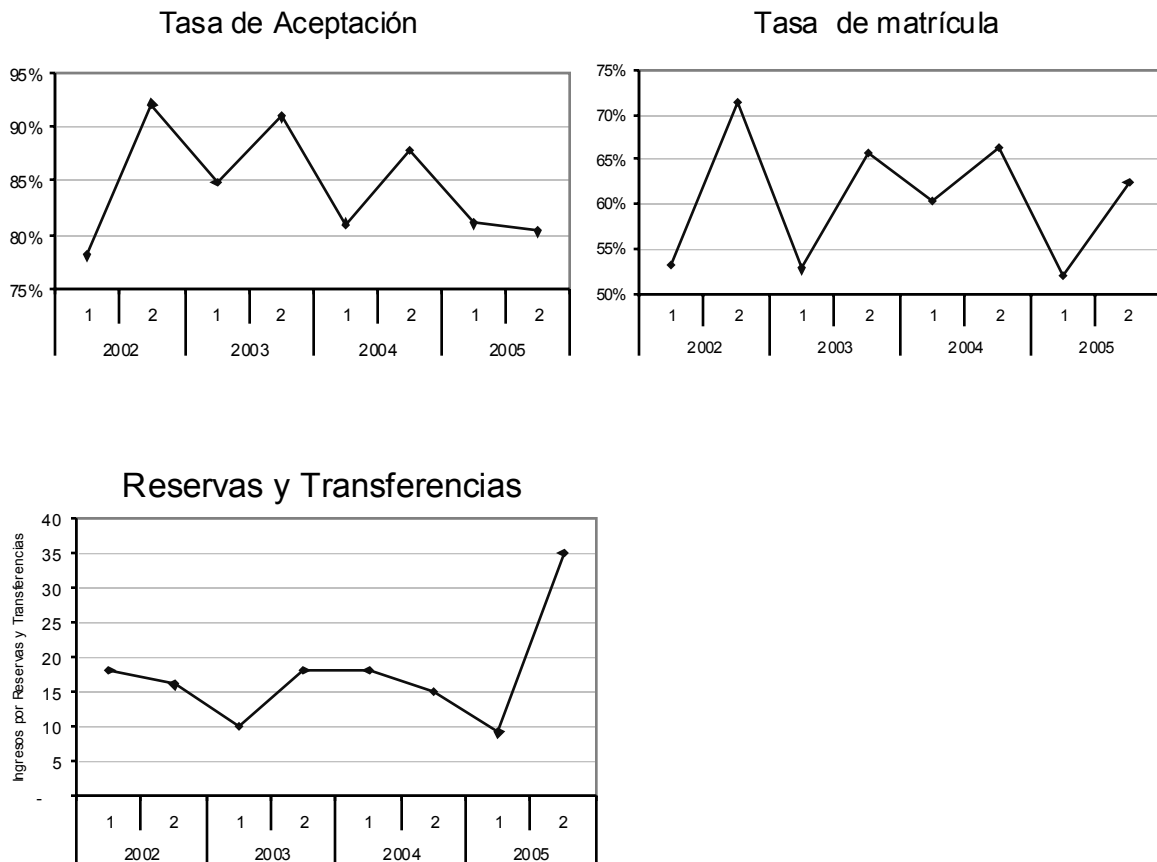
Donde:

$$\begin{aligned} a_t^{\beta_1} &= 146,4 + 18,8t \\ b_t^{\beta_1} &= 225,1 + 18t \end{aligned} \quad (4.10)$$

### Modelaje de las Tasas de Admisión y Matrícula y de los ingresos por Reservas y Transferencias

Las series de datos para las tasas de admisión y matrícula y los ingresos por reservas y transferencias, no presentan una tendencia lineal significativa ni que

muestre relación con el tiempo. Para generar sus valores se modelan como variable aleatorias. La gráfica 4.4 muestra las series.



Gráfica 4.4 Parámetros para el cálculo de nuevos estudiantes por periodo

Para cualquier periodo t:

- La tasa de admisión,  $\lambda_1$ , está dada por:

$$\lambda_{1t} \rightarrow Weibull(0,74, 0,11, 1,94) \quad (4.11)$$

- La tasa de matrícula,  $\lambda_2$ , está dada por:

$$\lambda_{2t} \rightarrow U(0,49, 0,74) \quad (4.12)$$

- La cantidad de ingresos por reservas,  $RT$ , y transferencias está dada por:

$$RT_t \rightarrow ExtremoMàximo(14, 5) \quad (4.13)$$

### Escenarios para las tasas

El modelo ofrece, para las dos tasas, la alternativa de utilizar el modelaje descrito anteriormente o de utilizar una tasa constante en diferentes niveles

#### 4.3.4 Costos administrativos

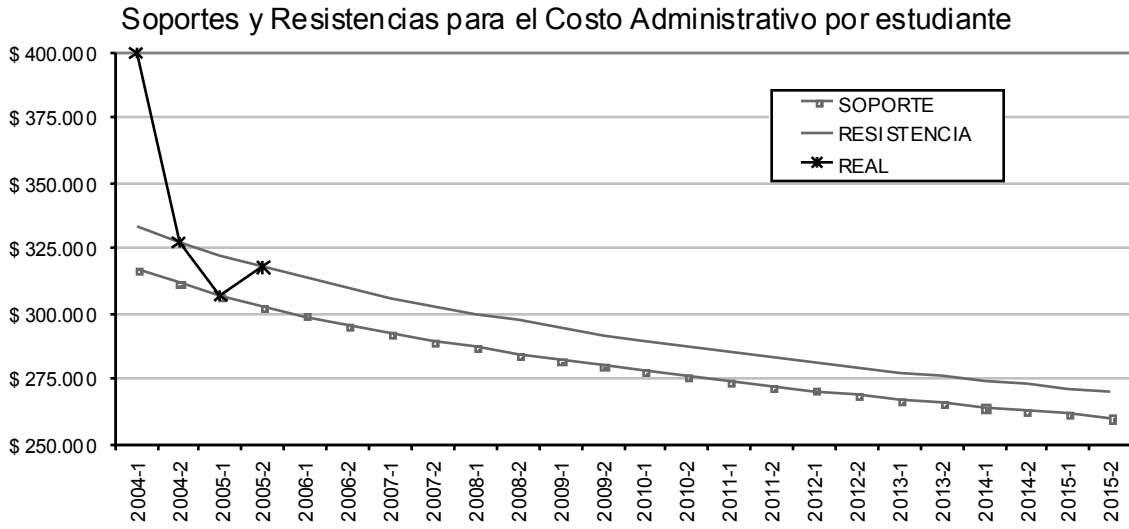
Como se explicó en la sección 3.2.2, los costos administrativos dependen de forma indirecta de la población de estudiantes propios. Con el fin de proyectar su comportamiento en el horizonte de tiempo, el modelo los calcula como una función lineal de dicha población. De esta forma, para cualquier periodo  $t$ , el costo administrativo es

$$K_{At} = \kappa_t \Pi_t \quad (4.14)$$

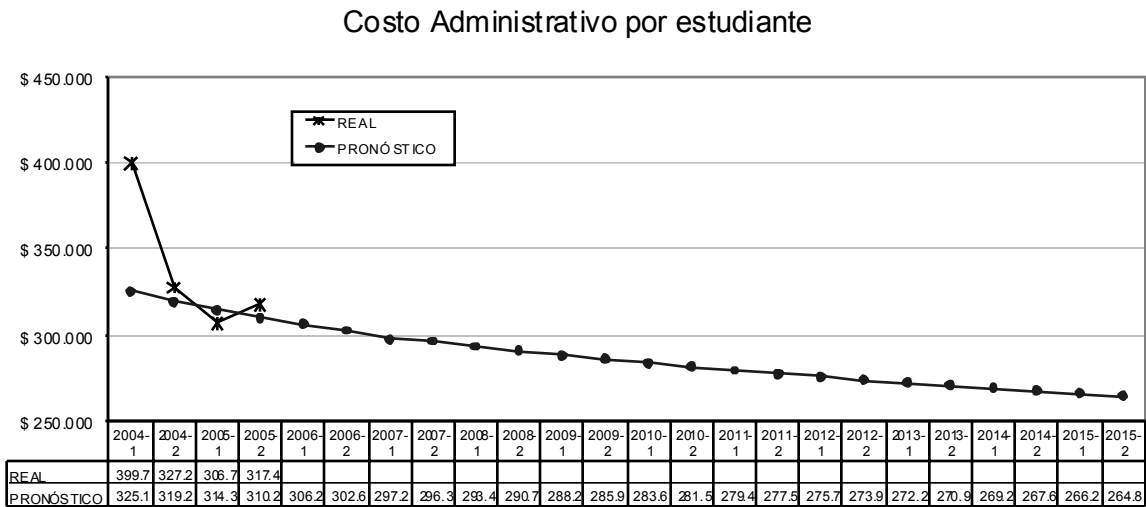
Donde:

- $\kappa$  = costo administrativo por estudiante propio

La muestra para,  $\kappa$ , se calcula a partir de las series obtenidas para la población de estudiantes propios y la serie de costos administrativos totales. Se utiliza el método de canales para hacer la proyección de este parámetro ya que no hay una tendencia clara en la muestra. Los resultados se muestran en las figuras 4.5 y 4.6



Gráfica 4.5 Canal para el costo administrativo por estudiante



Gráfica 4.6 Modelaje del costo administrativo por estudiante

Para cualquier periodo  $t$ , el costo administrativo por estudiante propio está dado por:

$$K_t \rightarrow U(a_t^K, b_t^K) \tag{4.15}$$

Donde:

$$\begin{aligned} a_t^\kappa &= 392.017 - 38.774 \ln(t) \\ b_t^\kappa &= 418.172 - 43.681 \ln(t) \end{aligned} \tag{4.16}$$

#### 4.3.5 Ingresos por estudiante

A continuación se muestra como se hace el modelaje de los parámetros económicos para los ingresos marginales por estudiante.

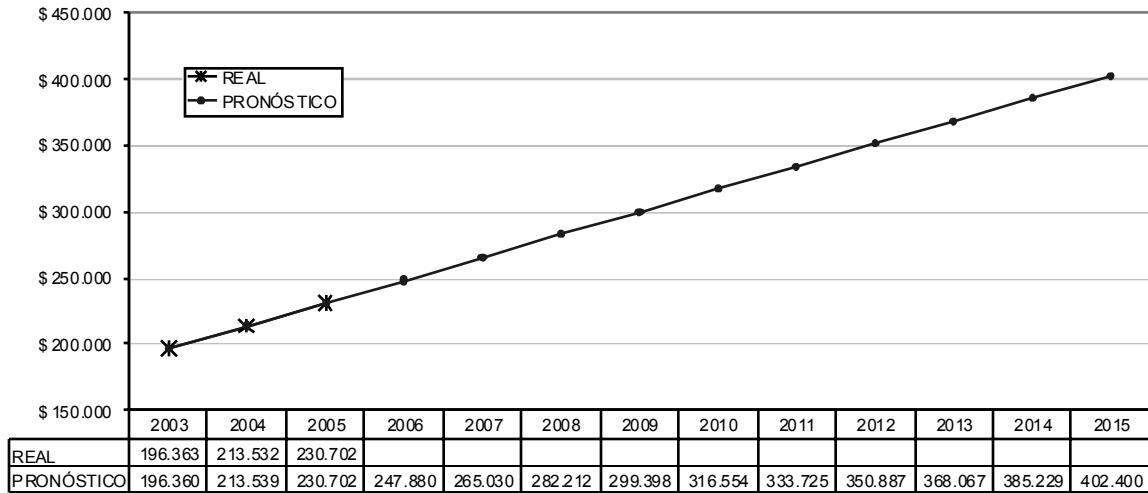
##### **Ingreso por estudiante propio**

De la ecuación 3.19, se sabe que el ingreso por estudiantes propios depende del ingreso marginal por estudiantes propios,  $\Phi$ , así:

$$I_{P_t} = \phi_t \Pi_t$$

Como se explicó anteriormente,  $\Phi$  es definido anualmente por la Universidad. El modelaje de esta cantidad se hace sobre la serie obtenida, asumiendo que la variación implícita en ella recoge todos los elementos incluidos en su cálculo. Al observar la serie de concluye que el único y más acertado acercamiento es el de una tendencia lineal con respecto al tiempo, los resultados se muestran en la gráfica 4.7

### Ingreso por estudiante propio



Gráfica 4.7 Modelaje del ingreso marginal por estudiante propio

El ingreso por estudiante propio se calcula anualmente y es el mismo para los dos periodos del mismo año. De esta forma para cualquier periodo  $t$ , el ingreso por estudiante propio,  $\Phi$ , está dado por:

$$\phi_t = \begin{cases} 114.854 + 8.585t + \varepsilon_t^\phi & \text{si } t \text{ es par} \\ \phi_{t+1} & \text{si } t \text{ es impar} \end{cases} \quad (4.17)$$

Donde:

$$\varepsilon_t^\Theta \rightarrow Weibull(-3.448, 9, 3.571, 5, 15) \quad (4.18)$$

### Ingreso por estudiante en Tesis

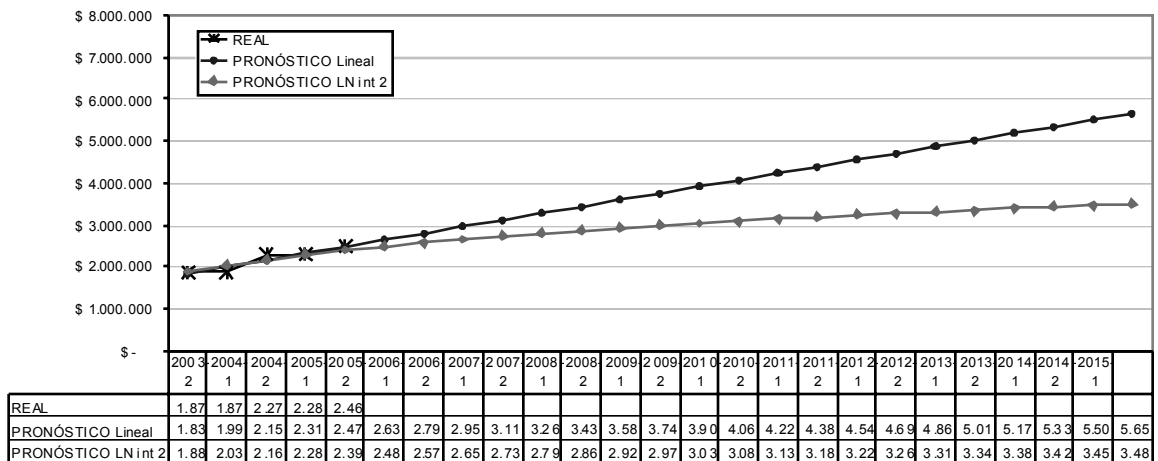
De la ecuación 3.21, se sabe que el ingreso por estudiante en tesis, o ingreso por estudiante graduado, está dado por:



$$I_{T_t} = \alpha_t \Psi_t$$

Como se explicó anteriormente,  $\alpha$  se calcula anualmente como 1/20 del costo semestral promedio de todos los profesores de la universidad. Para hacer la proyección de esta cantidad, el modelo no toma en cuenta todos los aspectos estructurales que inciden sobre ella, por no tener relación directa con el cambio de programa. Para modelar la serie del ingreso por estudiante en Tesis se consideran las alternativas de que su comportamiento sea lineal o logarítmico. Los resultados se muestran en la gráfica 4.8

Ingreso marginal por estudiante en Tesis



Gráfica 4.7 Modelaje del ingreso marginal por estudiante en Tesis

Por la naturaleza de la serie, un ingreso que depende de los salarios de los profesores, se sabe que si bien su tendencia debe ser positiva, su crecimiento debe ser moderado y marginalmente decreciente. Se selecciona el enfoque logarítmico para sus proyecciones.

Para cualquier periodo  $t$ , el ingreso por estudiante en Tesis,  $\alpha$ , está dado por:

$$\alpha_t = 92.337 + 1'000.000t + \varepsilon_t^\alpha \quad (4.19)$$

Donde:

$$\varepsilon_t^\alpha \rightarrow \text{ExtremoMàximo}(-43.025, 69.261) \quad (4.20)$$

#### 4.3.6 Ingreso por cursos

Para hacer proyecciones sobre el ingreso por cursos, el primer paso es determinar cuáles son los cursos que se van a modelar. Según la información obtenida, los cursos considerados en el modelo son:

- Cursos obligatorios generales:
  - ANADEC
  - Control De Producción
  - Dinámica De Sistemas
  - DISPROD
  - Fundamentos de Organizaciones
  - Fundamentos de Estadística
  - Introducción a la Ingeniería Industrial
  - Modelos Probabilísticos
  - Principios Optimización
  - Probabilidad
  - Simulación
  - SISCONGER
- Cursos obligatorios por áreas
  - Aseguramiento de la Calidad
  - Estrategia Empresarial
  - Finanzas
  - Flujo En Redes
  - Gerencia de la Tecnología
  - Gerencia de la Producción

- Modelos Estadísticos Lineales
- Pensamiento Sistémico
- Sistemas Públicos
- Cursos de servicio
  - Probabilidad y Estadística
- Cursos electivos: los cursos de esta categoría se caracterizan por ser cursos que pueden no ser dictados todos los semestres y de los que se abren una o dos secciones a lo sumo. Para modelarlos, en este trabajo se agrupan en electivas por área y cada materia se interpreta como una sección, de esta forma, los cursos incluidos en el modelo son:
  - Electivas en Economía y Finanzas (EF)
  - Electivas en Investigación de Operaciones (IO)
  - Electivas en Producción y Tecnología (PT)
  - Electivas en Gestión Organizacional (GO)

El modelo maneja estos 26 cursos. Las asignaturas como proyectos de grado, requisitos de idioma, etc. no se incluyen en el modelo porque no generan ingresos.

A continuación se describe el modelaje de los ingresos marginales generados por cada uno de estos cursos, de acuerdo a la metodología utilizada para hacerlos. Las series muestrales empleadas, se obtuvieron a partir de la información de estudiantes registrados e ingresos por curso.

Por la naturaleza de estas series, ingresos, en todo caso se preferirán las proyecciones logarítmicas sobre las lineales si los dos enfoques aplica. Para las series en que los ingresos decrecen se fija un mínimo ingreso por estudiante en \$100.000

## Modelos Logarítmicos

Para estos cursos, el ingreso marginal por estudiante en cualquier periodo  $t$ , está dado por:

$$ing_t^{Ln} = \text{parámetro1} + \text{parámetro2} \ln(t) + \varepsilon_t^{Ln} \quad (4.21)$$

Donde  $\varepsilon_t^{Ln}$  es una variable aleatoria.

Para cada uno de los cursos, los resultados son:

| Nombre del curso              | Parámetro 1 | Parámetro 2 | $\varepsilon_t^{ing}$            |
|-------------------------------|-------------|-------------|----------------------------------|
| ANADEC                        | -827.715    | 509.804     | Gamma(-38.514, 37.498, 0,36)     |
| Aseguramiento de la calidad   | -98.493     | 225.828     | Gamma(-17.865, 243.041, 0,28)    |
| Estrategia Empresarial        | 1'100.000   | -368.849    | Logística(-54.298, 46.300)       |
| Finanzas                      | -325.209    | 362.168     | Gamma(-1.824, 314.330, 0,26)     |
| Flujo en redes                | -432.017    | 475.180     | Weibull(-680.616, 704.816, 15)   |
| Fundamentos de Estadística    | -966.888    | 607423      | U(-98.589, 99.161)               |
| Fundamentos de Organizaciones | -572.979    | 426.620     | Gamma(-11.791, 203.023, 0,33)    |
| Gerencia de Tecnología        | -526.093    | 621.182     | Gamma(-49.568, 616.454, 0,32)    |
| Modelos Estadísticos Lineales | -94.444     | 323.376     | ExtremoMínimo(-4.346, 32.048)    |
| Pensamiento Sistémico         | -1'300.000  | 842.912     | Weibull(-201.450, 222.756, 1,22) |
| Principios de optimización    | 2'000.000   | -700.374    | Logística(-23.467, 91.341)       |
| Probabilidad                  | 714.700     | -156.840    | ExtremoMínimo(-30.207, 111.583)  |
| Probabilidad y Estadística    | -849.332    | 521.898     | N(416, 17.029)                   |
| Simulación                    | 1'750.000   | -628.518    | Gamma(-36.453, 144.111, 0,4)     |
| Sistemas públicos             | -762.654    | 577.887     | Weibull(-200.979, 280.431, 1,64) |
| Electivas EF                  | 685.434     | -163.339    | Weibull(-963.256, 962.697, 15)   |

Tabla 4.1 Cursos con ingresos modelados logarítmicamente

## Modelos Lineales

Para estos cursos, el ingreso marginal por estudiante en cualquier periodo  $t$ , está dado por:

$$ing_t^{lineal} = parámetro3 + parámetro4t + \varepsilon_t^{lineal} \quad (4.22)$$

Donde  $\varepsilon_t^{lineal}$  es una variable aleatoria.

Para cada uno de los cursos, los resultados son:

| Nombre del curso | Parámetro 3 | Parámetro 4 | $\varepsilon_t^{ing}$              |
|------------------|-------------|-------------|------------------------------------|
| DISPROD          | -151.715    | 44.352      | Weibull(-1'874.814, 1'835.606, 15) |
| SISCONGER        | 524.493     | -38.732     | Gamma(-45.023, 108.526, 0,41)      |

Tabla 4.2 Cursos con ingresos modelados linealmente

## Modelos Mixtos

En este caso, ninguno de los modelos, lineal o logarítmico, dio un resultado aproximado. Sin embargo, la proyección para cualquier periodo  $t$ , puede realizarse mediante una combinación lineal convexa de los valores generados para ese periodo por los dos modelos.

Para estos cursos, el ingreso marginal por estudiante en cualquier periodo  $t$ , está dado por:

$$ing_t^{mix} = mix * ing_t^{Ln} + (1 - mix)ing_t^{lineal} \quad (4.23)$$

Donde **mix** es un valor en el intervalo [0,1]

Para el curso Control de Producción, los resultados obtenidos son:

| Nombre del curso      | Parámetros               | Valor/Distribución   |
|-----------------------|--------------------------|----------------------|
| Control de Producción | Parámetro 1              | -1'750.000           |
|                       | Parámetro 2              | 934.385              |
|                       | $\varepsilon_t^{Ln}$     | N(-110.321, 78.459)  |
|                       | Parámetro 3              | -567.487             |
|                       | Parámetro 4              | 107.675              |
|                       | $\varepsilon_t^{lineal}$ | U(-107.701, 121.558) |
|                       | Mix                      | 0,35                 |

Tabla 4.3 Cursos con ingresos modelados con modelos mixtos

### Modelos de Canales Lineales

Para estos cursos, el ingreso marginal por estudiante, se calcula mediante el método de canales. En este caso las bandas del canal se calculan mediante un proceso lineal. Para cualquier periodo  $t$ , están dados por:

$$ing_t^{CanLineal} = parámetro1 + parámetro2t \quad (4.24)$$

Para cada uno de los cursos, los resultados son:

| Nombre del curso                     | Límite Canal | Parámetro 1 | Parámetro 2 |
|--------------------------------------|--------------|-------------|-------------|
| Dinámica de Sistemas                 | Inferior     | 157.773     | 23.244      |
|                                      | Superior     | 256.974     | 23.934      |
| Gerencia de producción               | Inferior     | -230.491    | 37.813      |
|                                      | Superior     | 48.132      | 39.278      |
| Introducción a Ingeniería Industrial | Inferior     | 89.167      | 24.680      |
|                                      | Superior     | 273.241     | 13.642      |
| Electivas IO                         | Inferior     | 593.333     | -19.864     |
|                                      | Superior     | 959.806     | -29.659     |
| Electivas PT                         | Inferior     | 356.878     | 3.107       |
|                                      | Superior     | 570.197     | 12.192      |

Tabla 4.4 Cursos con ingresos modelados con Canales Lineales

En cada periodo  $t$ , las bandas del canal determinan los límites superior e inferior de la variable aleatoria con distribución uniforme que genera el ingreso por estudiante del curso y el periodo en cuestión

## Modelos de Canales Logarítmicos

Para estos cursos, el ingreso marginal por estudiante, se calcula mediante el método de canales. En este caso las bandas del canal se calculan mediante un proceso logarítmico. Para cualquier periodo  $t$ , están dados por:

$$ing_t^{CanLineal} = parámetro3 + parámetro4 \ln(t) \quad (4.25)$$

Para cada uno de los cursos, los resultados son:

| Nombre del curso        | Línea    | Parámetro 1 | Parámetro 2 |
|-------------------------|----------|-------------|-------------|
| Modelos Probabilísticos | Inferior | 1'520.000   | -538.336    |
|                         | Superior | 1'620.000   | -502.793    |
| Electivas GO            | Inferior | -41.720     | 32.329      |
|                         | Superior | 236.956     | 14.448      |

Tabla 4.5 Cursos con ingresos modelados con Canales Logarítmicos

En cada periodo  $t$  las bandas del canal determinan los límites superior e inferior de la variable aleatoria con distribución uniforme que genera el ingreso por estudiante del curso y el periodo en cuestión.

### 4.3.7 Distribuciones y Procesos Probabilísticos

A continuación se describe el procedimiento para estimar el proceso  $G_1$  y la distribución  $G_2$  presentados en la sección 4.2.1, el proceso  $G_3$  de la sección 4.2.2 y las distribuciones de demanda de los cursos, presentadas en la sección 4.2.4

Las distribuciones  $G_2$  y  $G_3$  se obtuvieron a partir de las estadísticas de deserción y egreso por duración en la carrera del Departamento de Planeación

## **Proceso $G_1$**

La distribución  $G_1$ , o distribución de demanda esta dada por el proceso descrito en la sección 4.3.3

## **Distribución $G_2$**

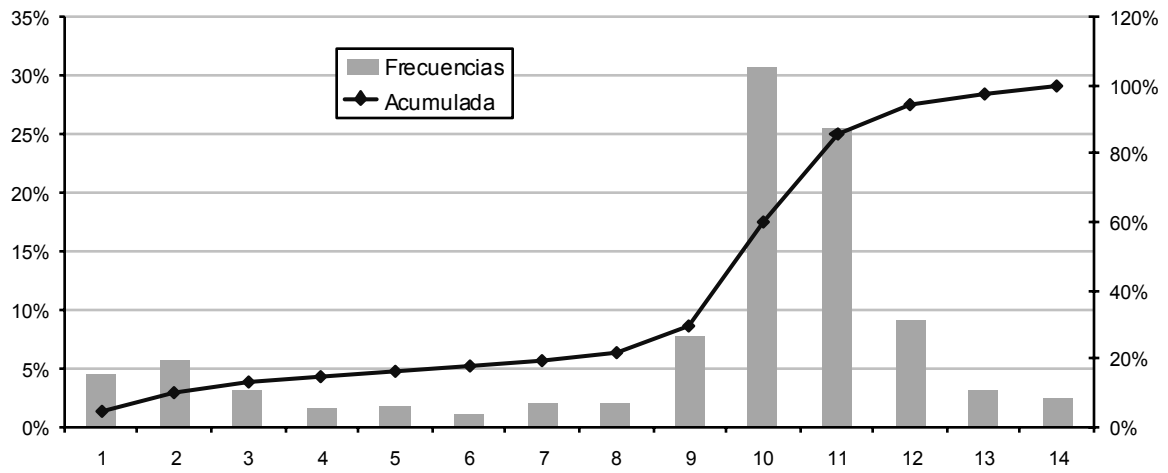
La distribución  $G_2$ , es la distribución para el tiempo de permanencia en el PPII o tiempo o visto desde el enfoque de colas (ver sección 4.2.1) el tiempo de servicio.

$G_2$  es una distribución discreta en un espacio muestral [1, 14] en donde la probabilidad de cada evento está dada por las frecuencias de reales de ocurrencia. El espacio muestral indica los posibles valores para la duración de un estudiante en el PPII. La duración en el PPII de cada estudiante, es la cantidad de periodos durante los que aparece registrado en el programa antes de egresar o desertar. Se entiende que un estudiante deserta cuando ha estado por fuera del programa por 3 periodos (semestres).

De acuerdo a los datos reales, la duración del 62% es igual o inferior a la programada, en este caso 10 semestres. Para estandarizar este resultado y hacerlo compatible con los escenarios fomulados más adelante, el modelo trabaja con un 60% acumulado de egreso para la duración programada (10° semestre). Las gráfica 4.8 muestra la distribución obtenida para el programa de 10 semestres.



Distribución de frecuencias para el tiempo en el programa



Gráfica 4.8 Distribución  $G_2$ : frecuencias para la duración en el PPII.

De esta forma la función de densidad de probabilidad  $G_2$  está dada por:

$$G_2 \left\{ \begin{array}{l} 1 \quad 4\% \\ 2 \quad 6\% \\ 3 \quad 3\% \\ 4 \quad 1\% \\ 5 \quad 2\% \\ 6 \quad 1\% \\ 7 \quad 2\% \\ 8 \quad 2\% \\ 9 \quad 8\% \\ 10 \quad 31\% \\ 11 \quad 25\% \\ 12 \quad 9\% \\ 13 \quad 3\% \\ 14 \quad 2\% \end{array} \right. \quad (4.25)$$

### Distribución $G_3$

La distribución  $G_3$  indica la distribución con la que se asignará la razón de salida [egreso, deserción], de acuerdo al tiempo de duración. De acuerdo a la información obtenida,  $G_3$  está dada por:

$$G_3 = \left\{ \begin{array}{l} \text{si } \textit{duración} = 1 \\ \text{si } \textit{duración} = 2 \\ \text{si } \textit{duración} = 3 \\ \text{si } \textit{duración} = 4 \\ \text{si } \textit{duración} = 5 \\ \text{si } \textit{duración} = 6 \\ \text{si } \textit{duración} = 7 \\ \text{si } \textit{duración} = 8 \\ \text{si } \textit{duración} = 9 \\ \text{si } \textit{duración} = 10 \\ \text{si } \textit{duración} = 11 \\ \text{si } \textit{duración} = 12 \\ \text{si } \textit{duración} = 13 \\ \text{si } \textit{duración} = 14 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \textit{egreso} \quad 0\% \\ \textit{deserción} \quad 100\% \\ \textit{egreso} \quad 0\% \\ \textit{deserción} \quad 100\% \\ \textit{egreso} \quad 0\% \\ \textit{deserción} \quad 100\% \\ \textit{egreso} \quad 0\% \\ \textit{deserción} \quad 100\% \\ \textit{egreso} \quad 0\% \\ \textit{deserción} \quad 100\% \\ \textit{egreso} \quad 0\% \\ \textit{deserción} \quad 100\% \\ \textit{egreso} \quad 65\% \\ \textit{deserción} \quad 35\% \\ \textit{egreso} \quad 60\% \\ \textit{deserción} \quad 40\% \\ \textit{egreso} \quad 96\% \\ \textit{deserción} \quad 4\% \\ \textit{egreso} \quad 99\% \\ \textit{deserción} \quad 1\% \\ \textit{egreso} \quad 98\% \\ \textit{deserción} \quad 2\% \\ \textit{egreso} \quad 98\% \\ \textit{deserción} \quad 2\% \\ \textit{egreso} \quad 87\% \\ \textit{deserción} \quad 13\% \\ \textit{egreso} \quad 100\% \\ \textit{deserción} \quad 0\% \end{array} \right. \quad (4.25)$$

## **Tiempos Esperados**

De acuerdo a la información disponible, el tiempo esperado de duración de un estudiante en el PPII es de 9,1 semestres, el tiempo esperado para egresar son 10,6 semestres y el tiempo esperado para desertar con 3,7 semestres.

## **Distribuciones de demanda por curso**

Para obtener estas distribuciones se parte de la información de registro de estudiantes y cursos. De acuerdo al periodo inicial de cada estudiante, se le asigna la duración actual a cada registro. Esto permite saber para cada periodo de la muestra:

- Tamaño de las poblaciones por semestre
- Composición de la base de estudiantes de cada curso discriminada por duración en el programa

De esta forma se construye la muestra para las demandas por curso de cada una de las poblaciones por semestre.

Una vez obtenidas las muestras, se modelan como variables aleatorias con distribución normal de media igual a la media muestral y desviación estándar de igual al 10% de la media. No se realiza una bondad de ajuste debido a la dispersión causada por la calidad de la muestra.

### **4.3.8 Ingreso neto por estudiante**

El ingreso neto por estudiante,  $\mu$ , es la diferencia entre el ingreso marginal por estudiante propio y los costos administrativos por estudiante propio. De la ecuación 3.26, se sabe que:

$$\mu_t = \phi_t - \kappa_t$$

Para determinar su valor en cada periodo t, el modelo genera los valores correspondientes a las ecuaciones 4.17 y 4.15 y calcula la diferencia.

#### 4.3.9 Tiempo

Los valores dados a la variable t, utilizados en todos los procesos que tienen dependencia del tiempo, con base en el horizonte de simulación y la antigüedad de la información disponible, se determinan así:

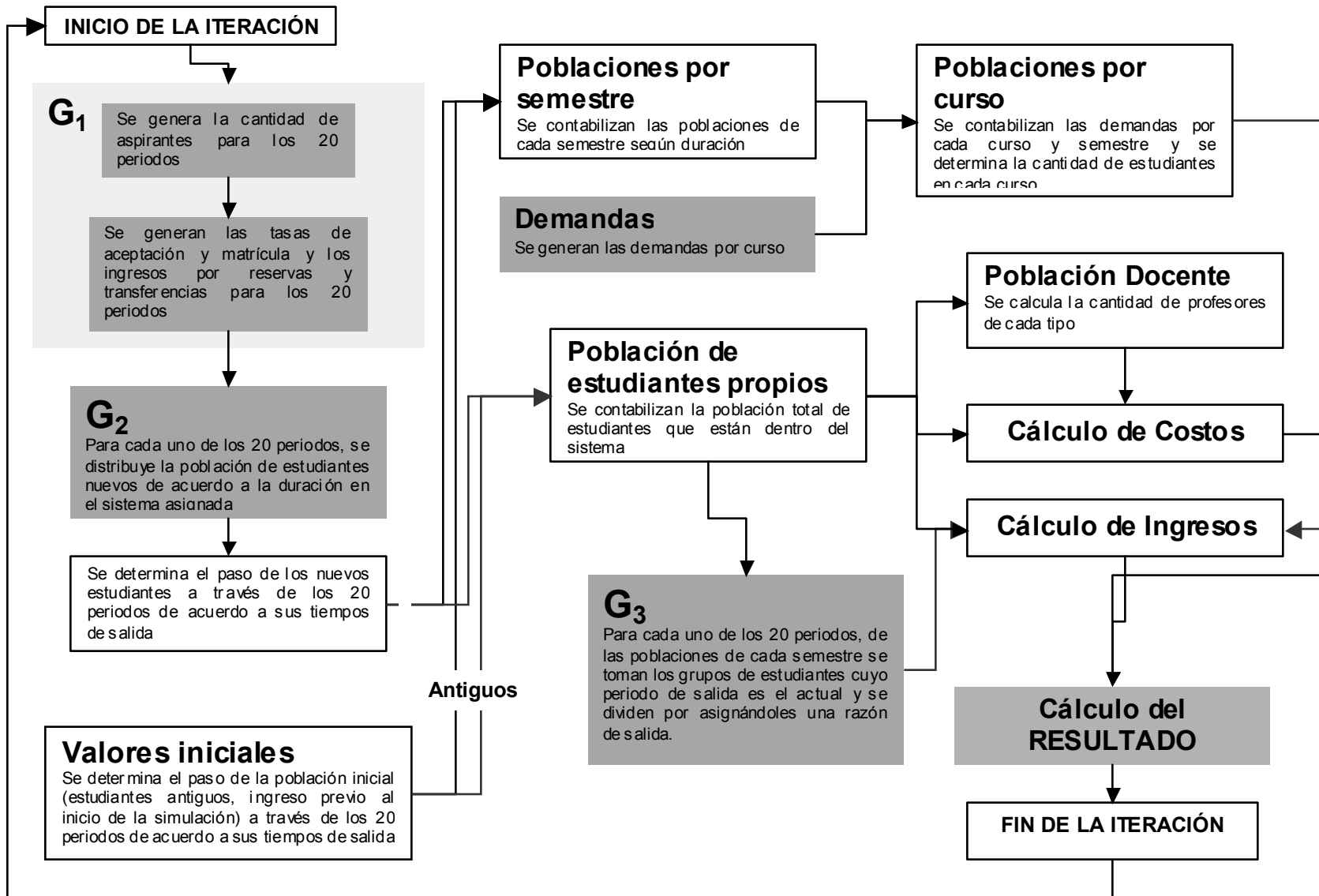
| Periodo | t  |
|---------|----|
| 2001-1  | 1  |
| 2001-2  | 2  |
| 2002-1  | 3  |
| 2002-2  | 4  |
| 2003-1  | 5  |
| 2003-2  | 6  |
| 2004-1  | 7  |
| 2004-2  | 8  |
| 2005-1  | 9  |
| 2005-2  | 10 |
| 2006-1  | 11 |
| 2006-2  | 12 |
| 2007-1  | 13 |
| 2007-2  | 14 |
| 2008-1  | 15 |
| 2008-2  | 16 |
| 2009-1  | 17 |
| 2009-2  | 18 |
| 2010-1  | 19 |
| 2010-2  | 20 |
| 2011-1  | 21 |
| 2011-2  | 22 |

|        |    |
|--------|----|
| 2012-1 | 23 |
| 2012-2 | 24 |
| 2013-1 | 25 |
| 2013-2 | 26 |
| 2014-1 | 27 |
| 2014-2 | 28 |
| 2015-1 | 29 |
| 2015-2 | 30 |

Tabla 4.6 Valores de t

#### 4.4 Simulación

La simulación se lleva a cabo usando la herramienta de simulación Crystall Ball que corre sobre MS Excel. Se hace sobre un escenario de 20 periodos y se corren 1000 iteraciones de este escenario. Por conveniencia debido a las condiciones del software empleado la simulación no genera entidades sino poblaciones. La gráfica 4.9, muestra el proceso que sigue la simulación.



Gráfica 4.9 Descripción del proceso de Simulación

#### 4.4.1 Valores iniciales

Para correr la simulación se requiere de una información de entrada que no se encuentra disponible en el mundo real. Esta información es la población inicial de estudiantes propios discriminada por duración actual en el periodo 0 y por el la cantidad de periodos que restantes en el PPII.

Para obtener esta información se simula un periodo de calentamiento que inicia sin estudiantes y permite establecer cual será la composición requerida de la población de estudiantes propios en términos de duración actual y restante.

Para simular el proceso durante los periodos de los que se carece de información, el modelo que genera la semilla o valores iniciales, se vale del hecho de que el proceso  $G_1$  utiliza una dependencia del índice del tiempo en la generación de aspirantes. De esta forma se puede retroceder en el tiempo cierta cantidad de periodos, dependiendo del cual vaya a ser el periodo 0 en la simulación que se desea correr.

Es importante tener en cuenta que la distribución  $G_2$ , que se use en la simulación generadora de semilla debe ser consistente con la utilizada en el la simulación completa.

#### 4.4.2 Prueba del modelo

Para dar inicio al proceso de análisis del impacto de la renovación curricular, es necesario probar que la herramienta replica la realidad de una forma o correcta o que hace una aproximación apropiada de la misma. Para esto, se selecciona un periodo de prueba sobre el que se tenga información real y utiliza el modelo para simular dicho periodo. Se espera que los valores generados por el modelo sean cercanos a los reales.

En este caso, por tener una información histórica tan reducida el periodo de prueba es el mismo periodo con que se generaron las estimaciones. Esto puede generar problemas debido a que no hay espacio para realizar un adecuado proceso de calentamiento.

Por esta razón, el modelo no pretende pronosticar valores sino estimar tendencias y este será el criterio con el que se establecerá el éxito o fracaso de las pruebas. Para probar el desempeño del modelo se verifica que la tendencias generadas sobre los parámetros de interés seleccionados sean consistentes con las reales durante el periodo de prueba, 2004-1 a 2205-2.

Para dar valores iniciales a este periodo, se corre la simulación generadora de semilla desde el periodo 1997-1.

Los parámetros seleccionados para determinar el desempeño del modelo son:

- Estudiantes nuevos
- Estudiantes Propios
- Resultado
- Ingreso por cursos

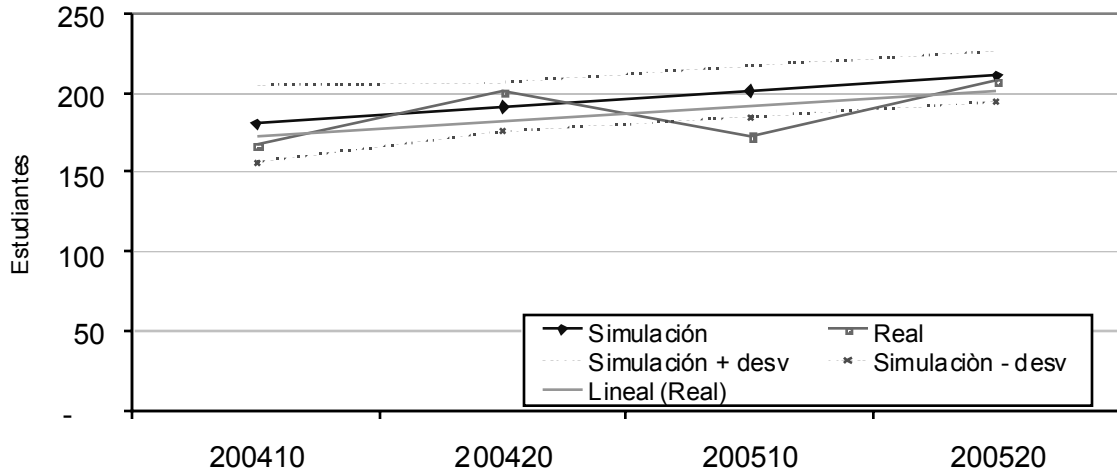
## **Resultados de las pruebas**

### Estudiantes Nuevos:

La gráfica 4.10 muestra el resultado obtenido para la cantidad de Estudiantes Nuevos.



## Estudiantes Nuevos



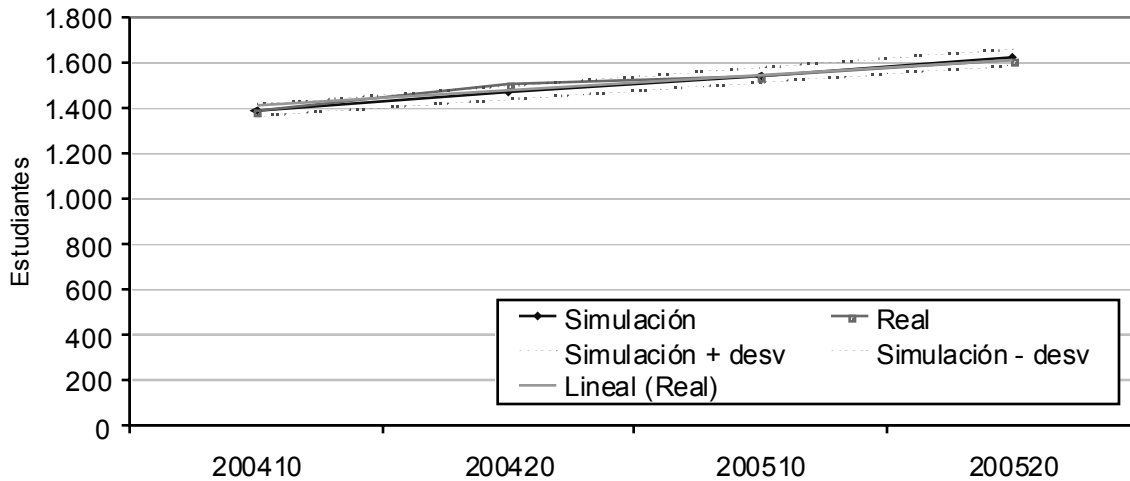
Gráfica 4.10 Resultados de la prueba para Estudiantes Nuevos

La tendencia generada por la simulación es consistente con la tendencia de la serie original. La tendencia de la serie real, está dentro del espacio entre desviaciones estándar de la serie generada por la simulación.

### Estudiantes Propios:

La gráfica 4.11 muestra los resultados para la población de estudiantes propios del PPII.

## Estudiantes Propios

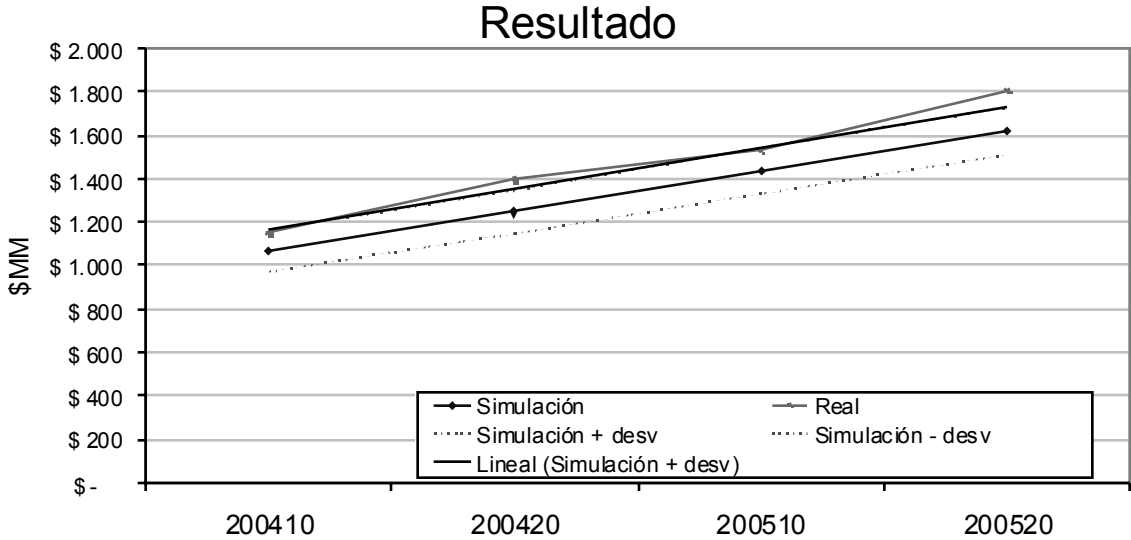


Gráfica 4.12 Resultados de la prueba para la población de Estudiantes Propios

La tendencia generada por la simulación es consistente con la tendencia de la serie original. Tanto la serie real como su tendencia, están dentro del espacio entre desviaciones estándar de la serie generada por la simulación.

Resultado:

La gráfica 4.12 muestra los resultados para el resultado del PPII.

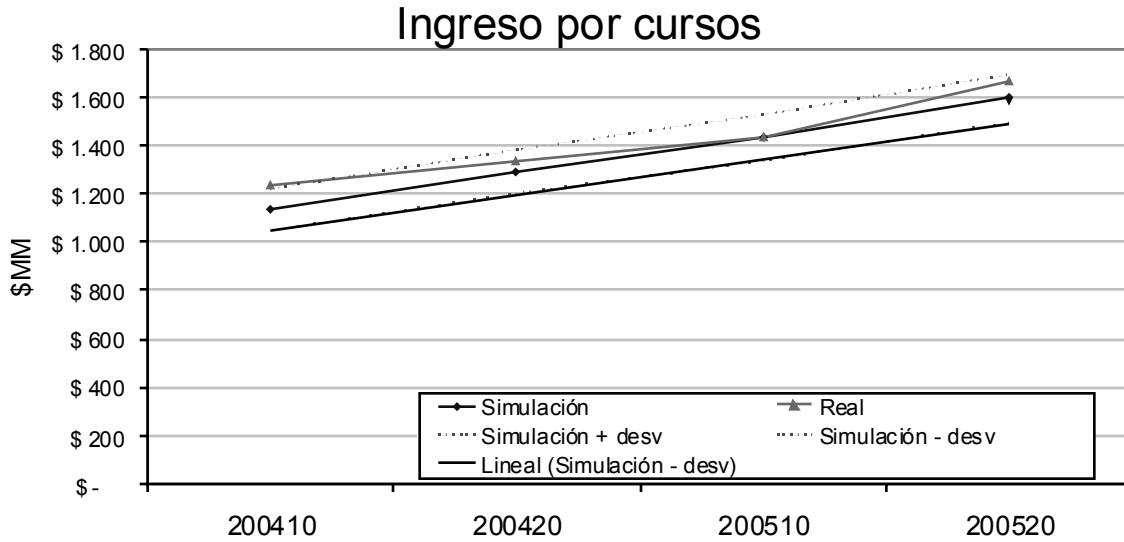


Gráfica 4.12 Resultados de la prueba para el Resultado

La tendencia generada por la simulación es consistente con la tendencia de la serie original. La tendencia de la serie original, está dentro del espacio entre desviaciones estándar de la serie generada por la simulación.

Ingreso por cursos:

La gráfica 4.13 muestra los resultados para el ingreso por cursos del PPII.



Gráfica 4.13 Resultados de la prueba para el Ingreso por Cursos

La tendencia generada por la simulación es consistente con la tendencia de la serie original. Tanto la serie real como su tendencia, están dentro del espacio entre desviaciones estándar de la serie generada por la simulación.

### Conclusión de las pruebas

El modelo refleja de manera suficientemente acertada el comportamiento real de los parámetros de validación y por lo tanto es apto para utilizarse en el análisis del impacto económico de la renovación curricular del PPII

#### 4.4.3 Cambios en el modelo para replicar cambio de pénsum

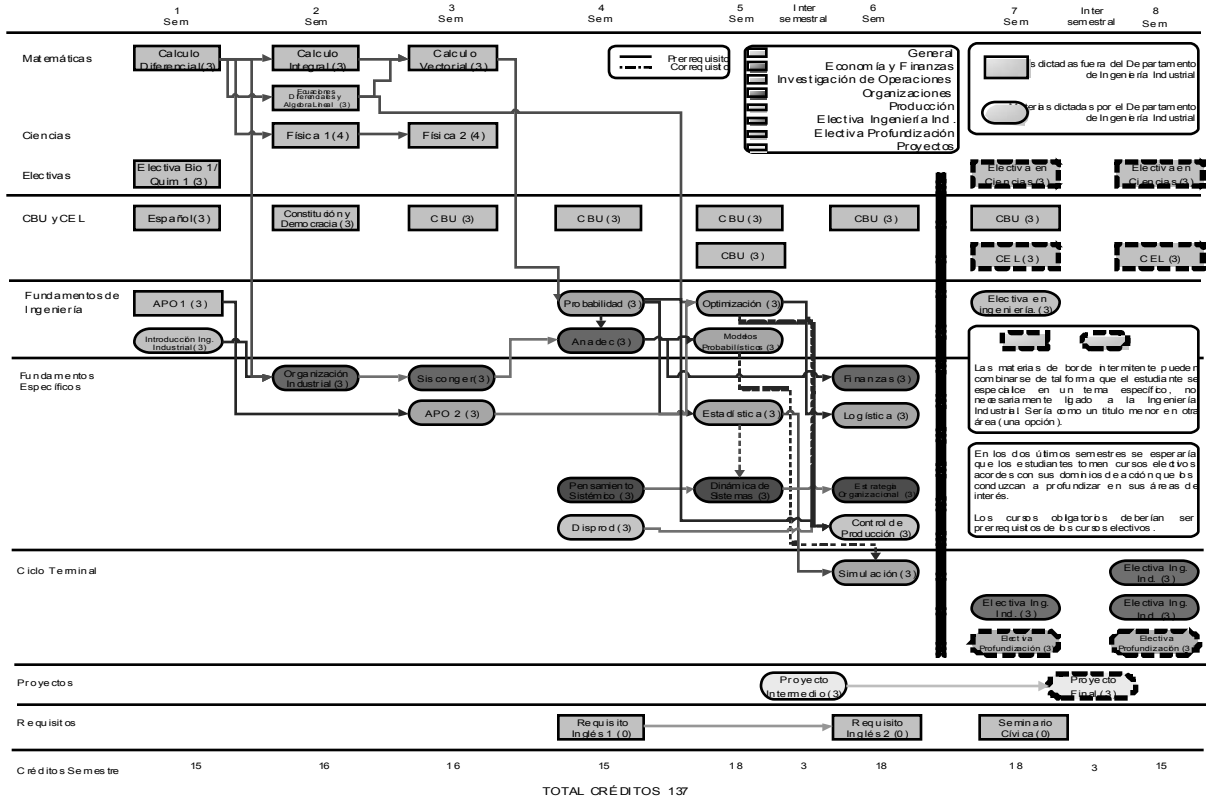
- Los cambios introducidos en el PPII por la renovación curricular están enfocados hacia la obtención de las competencias descritas en la sección 3.1.1 y al rediseño del proceso de formación y aprendizaje del Ingeniero Industrial.

### Cambios en el pénsum que afectan el modelo

El nuevo currículo presenta cambios en diferentes niveles. Algunos de ellos como los que afectan proyectos y requisitos de grado, no afectan el proceso de generación de ingresos. Se introducen en el modelo los cambios que afectan este proceso. Estos cambios son los que hacen referencia a:

- **Duración programada del currículo.** La duración programada pasa de 10 a 8 semestres. Es equivalente a la reducción de créditos
- **Materias que se vuelven obligatorias.** El nuevo programa no incluye la estructura Área Mayor-Área Menor del programa de 10 semestres. Algunas materias que bajo esa estructura eran obligatorias para un área, en el nuevo programa se vuelven obligatorias para la población general, ej.: Finanzas, Pensamiento Sistémico, entre otras.
- **Materias que se vuelven electivas.** Algunas materias que en el programa de 10 semestres eran obligatorias para las áreas, se vuelven electivas Ej.: Gerencia de producción, Gerencia de Producción
- **Materias que cambian el semestre en el que están programadas.** Algunas materias siguen siendo o se vuelven obligatorias y quedan programadas en un semestre diferente al semestre en que se encontraban en el pénsum anterior.

Estos cambios afectan el proceso de generación de ingresos en la medida en que alteran la demanda de los cursos involucrados. La Gráfica 4.14 muestra la propuesta para el nuevo pénsum.



Gráfica 4.14 Pénsum propuesto para el programa de 8 semestres

## Introducción de los cambios en el modelo

Para incluir el cambio de pénsum en el modelo, se siguen los siguientes pasos:

- **Duración programada.** Para introducir este cambio en el modelo, se cambia la distribución  $G_2$  para todos los estudiantes (nuevos) que ingresan a partir del periodo en que es implementado el cambio.
- **Materias que se vuelven electivas.** Se eliminan para los estudiantes que entran con el nuevo pénsum y se asumen incluidas dentro de las electivas de su área
- **Materias que cambian el semestre en el que están programadas y materias que se vuelven obligatorias.** Se desplazan las distribuciones de demanda de tal forma que la distribución del semestre natural nuevo (semestre en que están programadas) sea igual a la del semestre natural anterior.

## Supuestos de Migración

La migración es el proceso resultante de la comparación hecha por los estudiantes entre el programa antiguo y el nuevo. Cuando un estudiante que ha empezado el programa de 10 semestres evalúa el de 8 semestres y encuentra que le ofrece beneficios, decide cambiarse del primero al segundo.

Este proceso de decisión es bastante complejo y se lleva a cabo de manera individual. Adicionalmente puede darse en cualquier momento o periodo después de la implementación del nuevo programa.

Sin embargo, el efecto de este proceso es fundamental a la hora de evaluar el efecto de toda la renovación. Para incluirlo, se simplifica asumiendo:

- Toda la migración se lleva a cabo en el periodo en que se implementa el cambio.
- El criterio de decisión para determinar si estudiante se cambia o no, es el tiempo que lleva en el programa. Se define una duración a partir de la cuál todo estudiante que lleve menos en el sistema se migra.

Para la realización de la simulación se define el máximo periodo de migración en 6 semestres, considerando que se requieren al menos 2 periodos para completar requisitos de grado. El modelo ofrece la alternativa de modificar este valor.

## **5 Análisis del impacto de la implementación del nuevo programa**

Este capítulo muestra el desarrollo del punto 4 de la metodología propuesta en la sección 2.3. Para determinar cuál es el impacto de la renovación curricular sobre la capacidad del PPI para generar ingresos y cubrir sus costos es necesario adecuar el modelo para que represente la situación.

### **5.1 Adecuación del modelo para el cambio de pénsum**

La simulación debe representar el estado del sistema tanto antes como después de introducir el cambio. Como se expuso en la sección 4.4.3, para analizar el comportamiento de ingresos, costos y población con el nuevo programa, se debe

introducir en el modelo la distribución  $G_2$  correspondiente a este p nsun. Sin embargo, este procedimiento no es trivial debido a:

- La distribución  $G_2$  para el nuevo programa es desconocida. Su estimación por métodos probabilísticos es de una complejidad alta.
- Implementar el cambio no es tan sencillo como solamente cambiar la distribución  $G_2$ , ya que van a coexistir estudiantes de los dos diferentes programas. El escenario real presenta una composición mixta de los dos programas.

En las siguientes secciones se describe la forma en que se abordan las consideraciones anteriores en orden de obtener un modelo adecuado.

## 5.2 Cálculo de la Semilla

Los valores iniciales de la simulación corresponden a la población que cursa el programa anterior, es importante su correcta obtención ya que en la realidad el total de la población es una mezcla entre estudiantes de los dos programas. Está población semilla es el principal componente de la población del p nsun antiguo, en adición a los nuevos estudiantes que entren con él.

Para calcular esta semilla se carga la distribución  $G_2$ , en adelante  $\mathbf{G}_2^{10}$ , en el modelo generador de semilla y se corre iniciando en el periodo 1997-1, para generar la distribución de población del periodo 2005-2 e iniciar la simulación en el periodo 2006-1. Al cargar esta información en el modelo, se asegura la existencia de una población mixta.



### 5.3 Análisis de distribuciones

Como se explicó en la sección 5.1, para analizar la variación del Resultado debida a la Renovación, se requiere la distribución  $G_2$  del nuevo pénsum, en adelante  $G_2^8$ , que es desconocida y sobre la que no existe una metodología directa de cálculo. Para superar este obstáculo se construyen 3 escenarios para  $G_2^8$  con base en  $G_8^{10}$  cuyo comportamiento es conocido (sección 4.3.7). A partir de los resultados para los escenarios se analiza el efecto de la renovación curricular.

La variación que tenga en Resultado del PPII depende solamente de la población (sección 4.1). A su vez la variación de la población general, estudiantes propios, y las poblaciones auxiliares depende de dos elementos: el proceso de entrada al PPII,  $G_1$ , y el tiempo de permanencia en él, distribución  $G_2$ .

#### 5.3.1 Sensibilidad del modelo al proceso $G_1$

$G_1$  puede sufrir alteraciones por diferentes causas. Por ejemplo, entre otros casos:

- Pueden presentarse más o menos estudiantes debido a factores de la oferta de valor del PPII como cambios en las tarifas de las matrículas.
- Pueden ser aceptados más o menos estudiantes por cambios en las políticas de admisión
- Pueden matricularse más o menos estudiantes de los aceptados de acuerdo a las alternativas ofrecidas en las opciones de financiamiento.

Aunque todos estos casos pueden influir en la cantidad de estudiantes de PPII, ninguno de ellos depende del pénsum. Toda la variación proveniente de estas fuentes estará presente si se lleva a cabo la renovación curricular o no. Por esta razón, el efecto de la variación sobre el proceso  $G_1$  no será modelado ya que se considera externo al problema objeto de este trabajo.

Existe otro caso en el que currículo de 8 semestres tuviera un efecto muy marcado sobre la demanda, haciendo el PPII más o menos atractivo para el público, tal que llegara a incidir de manera importante sobre el proceso de arribos de aplicaciones. Este efecto debe ser analizado en detalle y debe ser el objeto de otro trabajo.

### 5.3.2 Sensibilidad del modelo a la distribución $G_2$ .

Para estudiar el efecto de la variación en  $G_2$  sobre el modelo se definen los conceptos de Concentración y Ritmo de la distribución.

Se entiende por Concentración de la distribución, la cantidad porcentual acumulada de estudiantes que tienen un tiempo de duración en el PPII igual o inferior a la duración programada del mismo, en este caso 10 semestres.

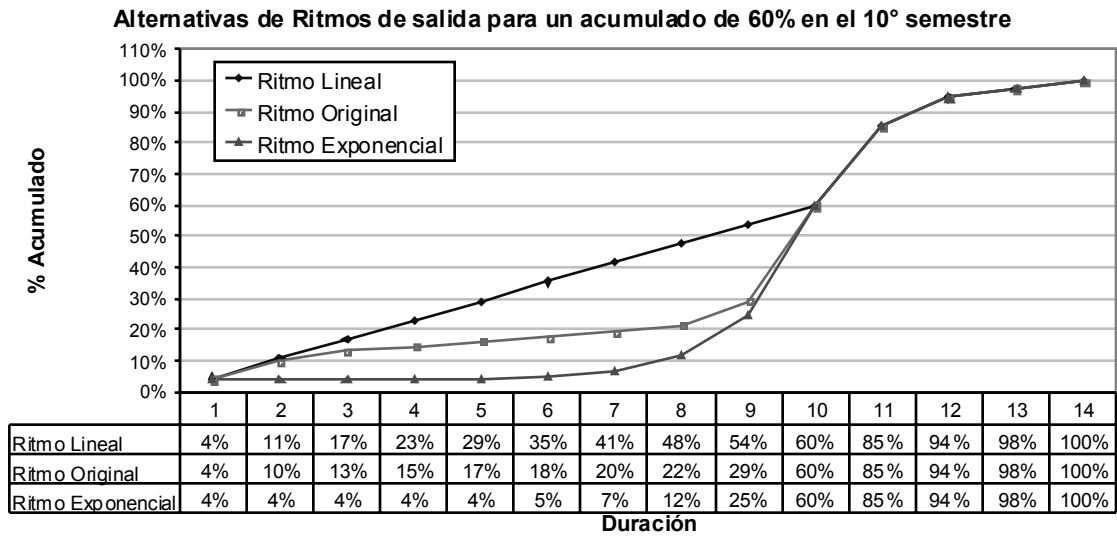
Se define como Ritmo de la distribución, la forma en que se distribuye la concentración a lo largo de los semestres programados, por ejemplo, las salidas pueden concentrarse más en los primeros semestres, en los últimos o al final de la carrera. Gráficamente, el ritmo es la forma que toma la distribución acumulada.

De la información real se encontró que la distribución  $G_2^{10}$  tiene una concentración del 60%. El ritmo de  $G_2$ , muestra que las salidas aumentan del primer al segundo semestre y permanecen relativamente estables hasta el 9º semestres, cuando se aceleran (Gráfica 4.14). Para analizar cuál es la variación de la población con respecto a  $G_2$  se parte de la distribución  $G_2^{10}$ , y se estudian los resultados para diferentes casos, introduciendo variaciones en el ritmo y en la concentración.

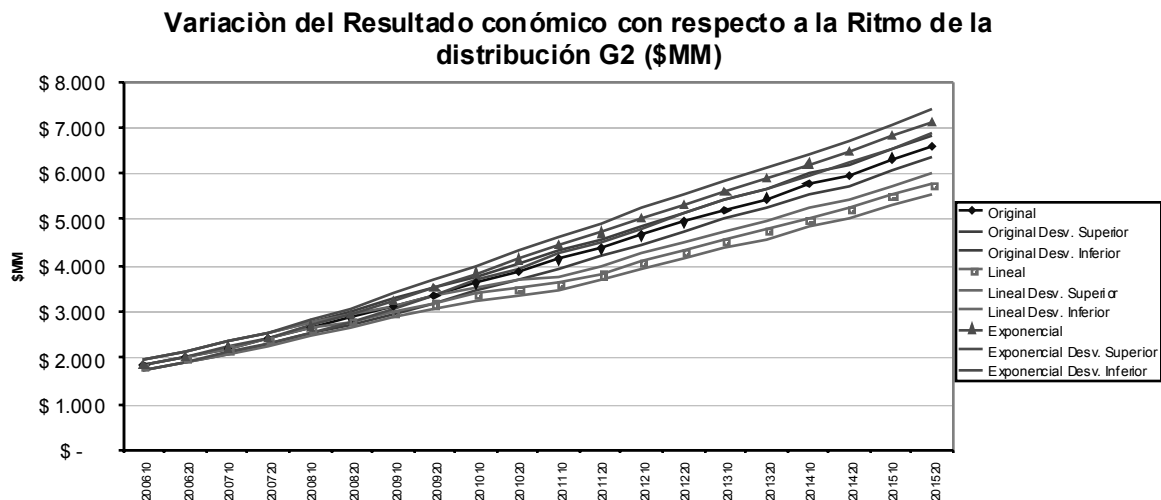
#### **Variaciones en el Ritmo**

Para determinar la sensibilidad del sistema con respecto a este atributo, se toma la distribución  $G_2^{10}$  original y se generan 2 escenarios alternos en donde se mantiene la concentración de la distribución fija, 60% al 10 semestre, y se varía el

ritmo. Los escenarios alternos consideran un ritmo lineal y uno exponencial (Gráfica 5.1). Luego se corre el modelo original (sin introducir cambio de p ensum) con las 3 distribuciones. Los datos obtenidos para el Resultado y la Población de Estudiantes Propios se muestran en las gráfica 5.2 y 5.3

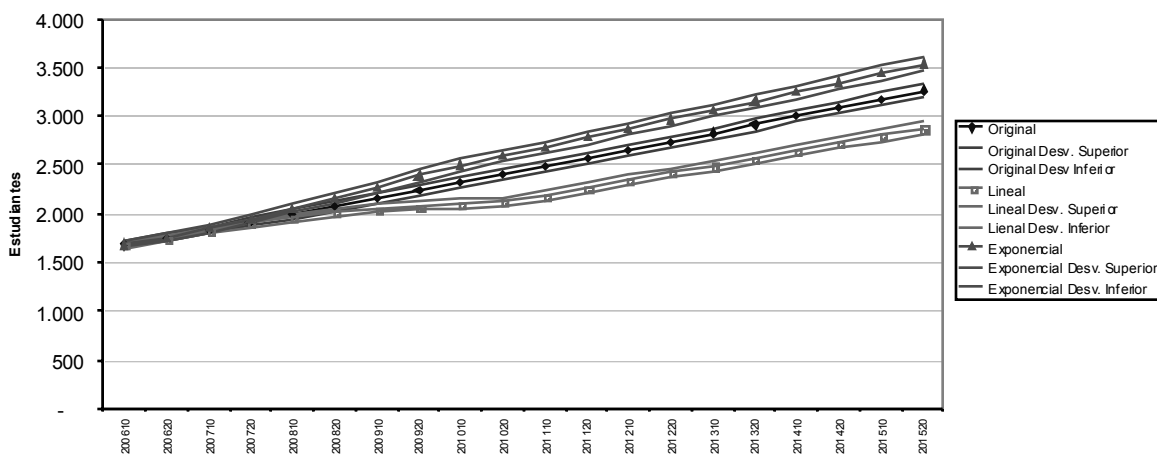


Gráfica 5.1 Distribuciones alternativas para el ritmo del acumulado del 60% de salida en el 10<sup>o</sup> semestre



Gráfica 5.2 Sensibilidad del Resultado con respecto a variaciones en el Ritmo de G<sub>2</sub>

### Variación de la Población de Estudiantes Propios con respecto al Ritmo de la distribución G<sub>2</sub>

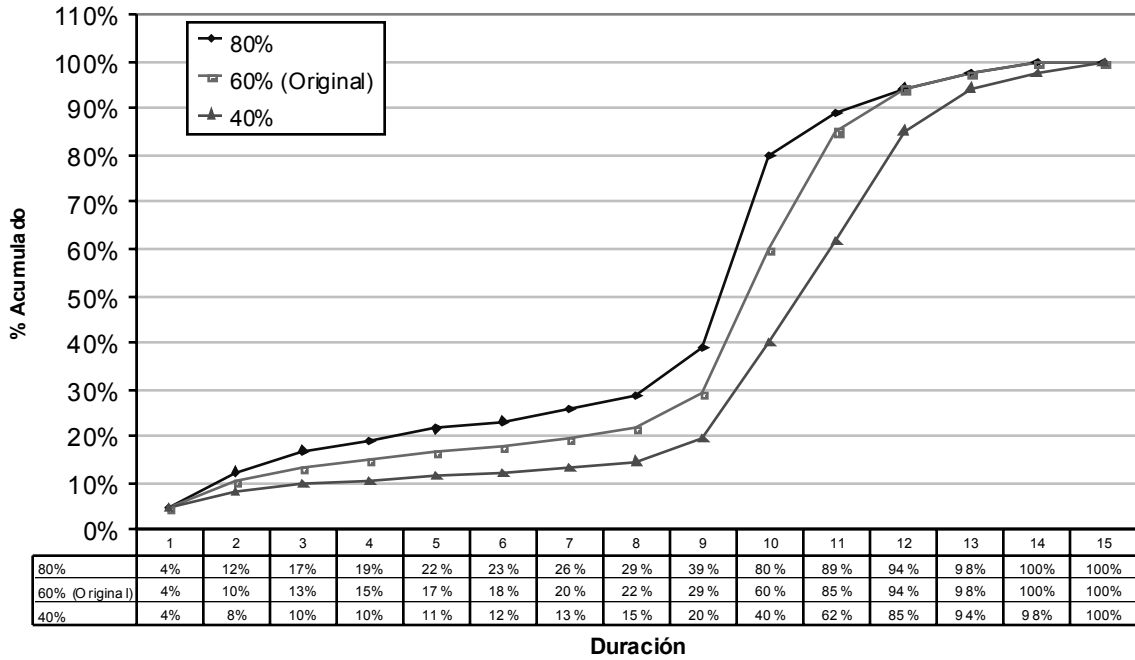


Gráfica 5.3 Sensibilidad de la Población de Estudiantes Propios con respecto a variaciones en el Ritmo de G<sub>2</sub>

### Variaciones en el acumulado

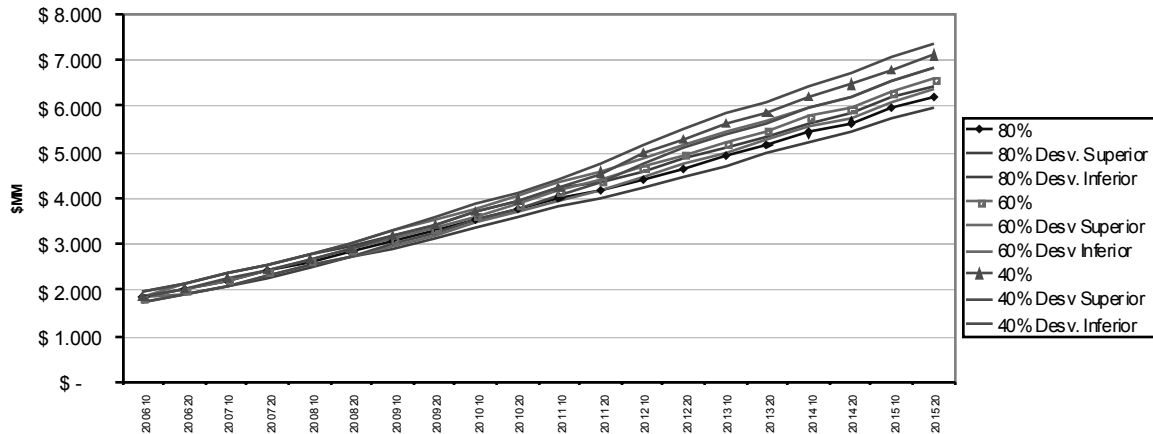
De manera similar para determinar si el modelo es sensible al acumulado de la distribución de generar 3 distribuciones alternas con base en  $G_2^{10}$  (Gráfica 5.4). Los escenarios consideran que al final de la duración programada hayan salido el 40% y el 80% de la población. Los datos obtenidos para el Resultado y la Población de Estudiantes Propios se muestran en las gráficas 5.5 y 5.6

### Acumulado de salida del PPII por al 10° semestre

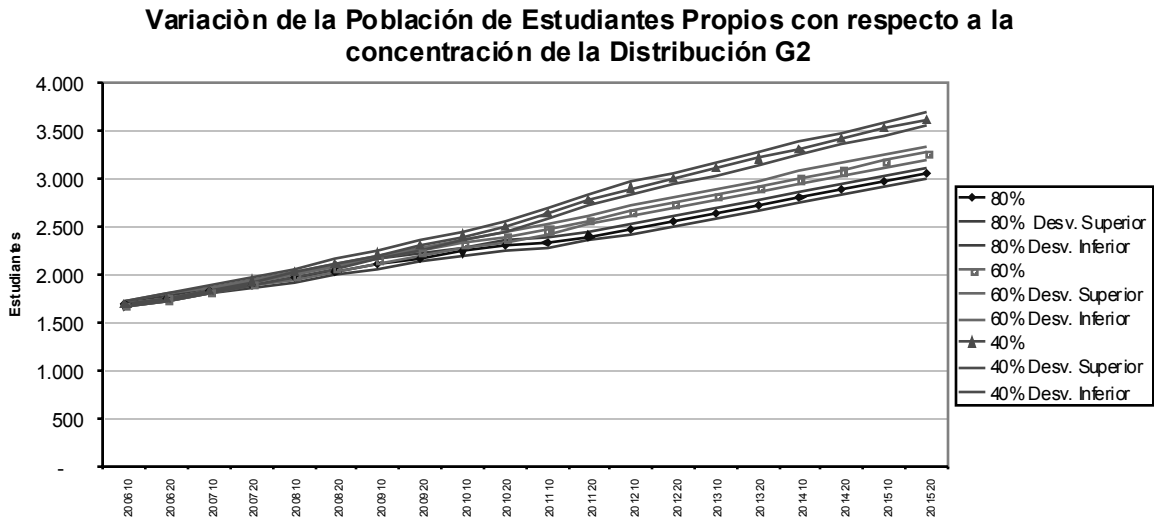


Gráfica 5.4 Distribuciones alternativas para el acumulado de salida en el 10° semestre

### Variación del Resultado económico con respecto a la concentración de la Distribución G2 (\$MM)



Gráfica 5.5 Sensibilidad del Resultado con respecto a variaciones en la concentración de G<sub>2</sub>



Gráfica 5.6 Sensibilidad de la Población de Estudiantes Propios con respecto a variaciones en la concentración de G<sub>2</sub>

## Conclusiones

Los resultados de las pruebas de sensibilidad mostrados en las gráficas 5.1 a 5.6 indican que en efecto, el modelo presenta sensibilidad a las variaciones de Ritmo y Concentración de la distribución G<sub>2</sub>, siendo el segundo atributo (concentración) el que muestra el mayor efecto.

La incertidumbre sobre el Resultado debida a la Renovación Curricular, es producida por los efectos que tenga sobre esos dos parámetros. Es natural esperar que la renovación modifique estos parámetros si se tiene en cuenta que:

- La distribución G<sub>2</sub> caracteriza el tiempo de duración de en el PPII, la renovación altera directamente esa duración programada y por lo tanto la concentración de G<sub>2</sub>
- El nuevo programa presenta variaciones con respecto al anterior, no solo en cuanto a la duración, sino también en las condiciones de algunos cursos que se vuelven obligatorios o cambian de semestre programado. Esta

situación puede llevar a que algunos semestres se vuelvan más fáciles o complicados y esto afecta el ritmo de  $G_2$

Para poder medir cuál será el cambio en el desempeño del PPII una vez entre en funcionamiento la renovación se debe correr el modelo mixto que mezcle las poblaciones con duración distribuida  $G_2^{10}$  y  $G_2^8$ . Como se explicó en secciones anteriores, no existe una estimación para  $G_2^8$ , para hacer posible el análisis, se parte de  $G_2^{10}$  y del análisis de sensibilidad para proponer escenarios para  $G_2^8$  y analizar los resultados en cada caso.

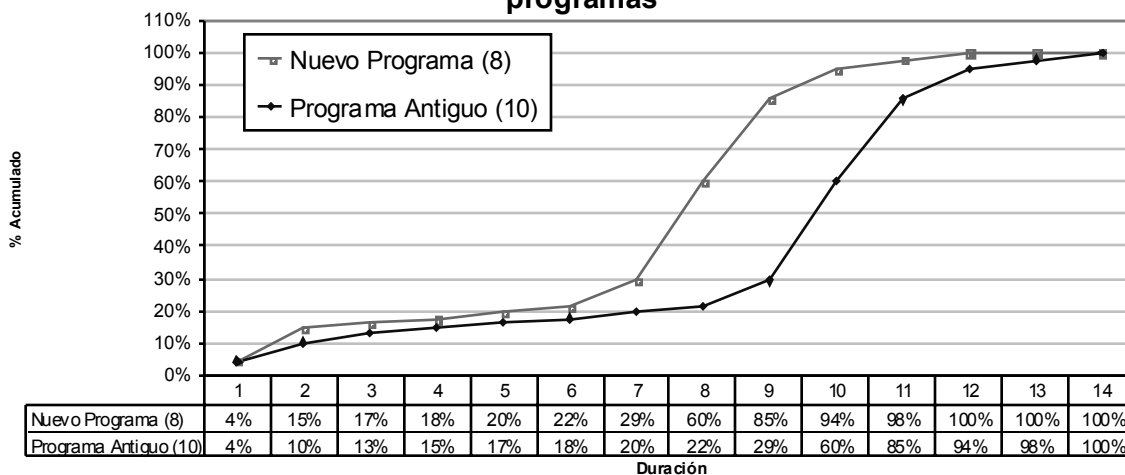
#### 5.4 Diseño de escenarios para $G_2^8$

La incertidumbre sobre el resultado se mide a través del análisis de los distintos escenarios formulados para las fuentes de variación detectadas. Para realizar dicho análisis, se definen escenarios para el Ritmo y para la Concentración de  $G_2^8$ .

Para hacer el diseño de los escenarios para  $G_2^8$ , se comienza por definir la distribución original, sobre la que se hacen las modificaciones que generan los escenarios. La distribución  $G_2^8$  original, se obtiene desplazando la  $G_2^{10}$  como se muestra en la Gráfica 5.7. En adelante, al hacer referencia a  $G_2^8$ , se entiende que se está hablando de  $G_2^8$  original.

$G_2^8$  conserva la misma concentración de  $G_2^{10}$ , retomando la definición de concentración (sección 5.3.2), el 60% de los estudiantes ha salido de PPII para la duración programada, en este caso 8 semestres.

### Distribución G2 acumulada Concentración del 60% para los dos programas



Gráfica 5.7 Distribuciones  $G_2^8$  y  $G_2^{10}$  originales

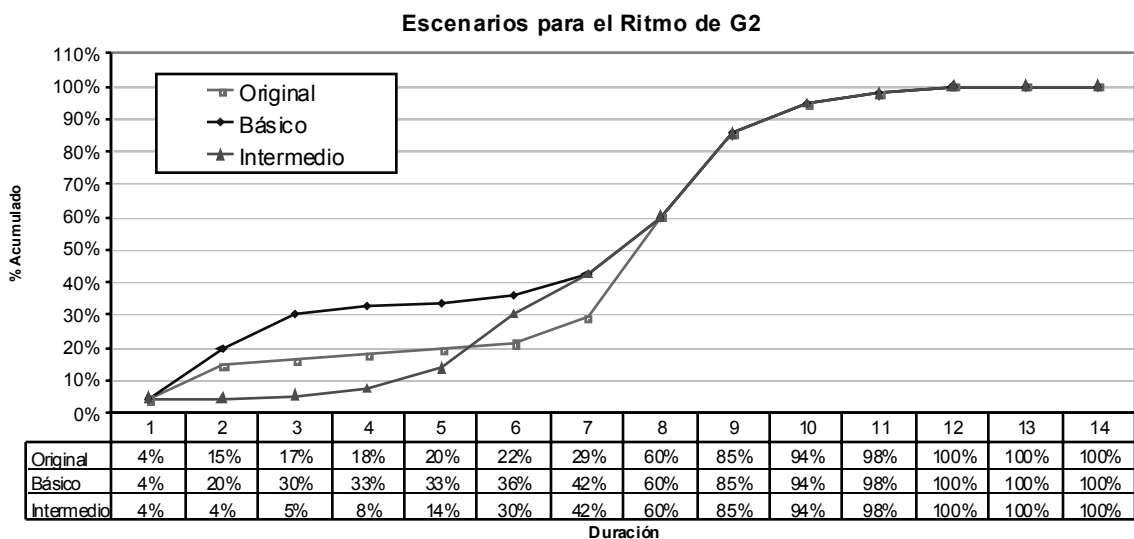
#### 5.4.1 Escenarios para el Ritmo de $G_2^8$

Las variaciones en el ritmo de la distribución se presentan debido a los atributos cualitativos del programa. Pueden incidir por ejemplo el orden de las materias, la inclusión o eliminación de materias de diferente nivel de dificultad. Con base en la propuesta para el nuevo pénsum (ver Gráfica 4.14) se construirán hipótesis para diseñar escenarios para el ritmo de  $G_2^8$ . Los escenarios que se formulan para el ritmo de  $G_2^8$  son:

- **Original:** desplazamiento de la  $G_2^{10}$
- **Básico:** aumento de salidas en los semestres básicos. En el nuevo programa se unifican Álgebra Lineal y Ecuaciones Diferenciales y se adelanta el inicio del ciclo profesional con Organización Industrial y Sisconger. Con este argumento se considera un escenario en el que se aceleran las salidas en 2° y 3° semestre
- **Intermedio:** aumento de salidas en los semestres intermedios. El nuevo programa presenta una carga alta de materias del ciclo profesional en los periodos intermedios del PPII. Con este argumento se considera un escenario en el que se aceleran las salidas en 4°, 5° y 6° semestre



La Gráfica 5.9 muestra las distribuciones acumuladas de los 3 escenarios. A partir del 8º semestre los escenarios son iguales ya que no existen elementos de juicio que permitan formular creencias sobre este sector de la distribución mediante generalizaciones.



Gráfica 5.9 Escenarios para el Ritmo de G<sub>2</sub><sup>8</sup>

#### 5.4.2 Escenarios para la Concentración de G<sub>2</sub><sup>8</sup>

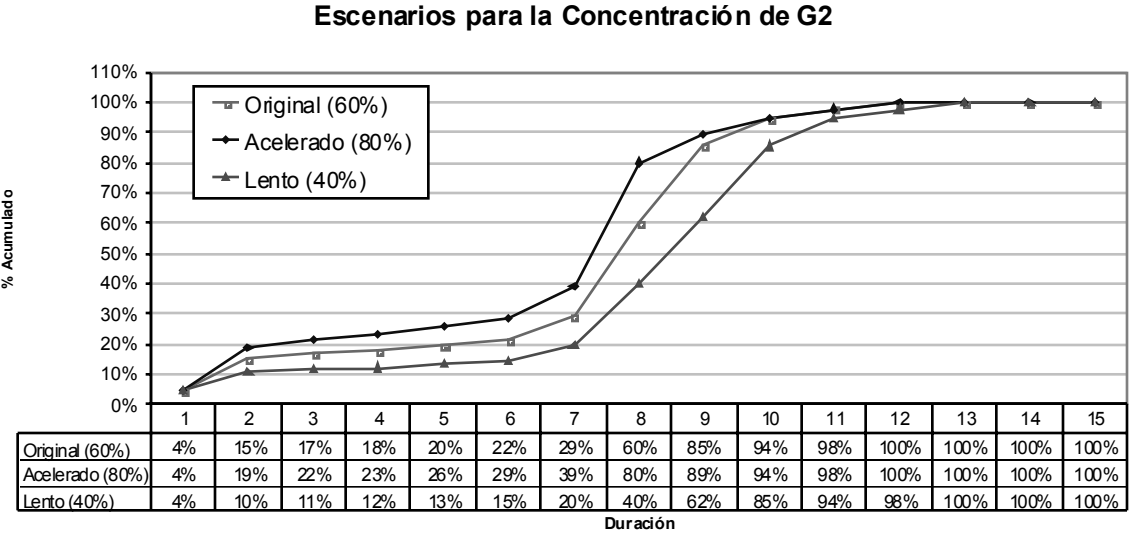
La Concentración de la distribución se puede ver afectada dependiendo de cómo los estudiantes reaccionen al nuevo programa. Este podría presentar mayor, menor o el mismo grado de complejidad que el anterior y por tanto modificar la duración esperada de los estudiantes en el PPII.

Para la Concentración de G<sub>2</sub><sup>8</sup> se formulan los siguientes escenarios:

- **Original:** desplazamiento de la G<sub>2</sub><sup>10</sup>. Concentración del 60%
- **Acelerado:** concentración del 80%
- **Lento:** concentración del 40%

La relación entre la dificultad del programa y la concentración de la distribución, debe ser objeto de un estudio cuidadoso ya que un programa de mayor dificultad aumentaría la duración para los estudiantes que egresan y la disminuiría para los que desertan. Lo contrario ocurriría para un programa nuevo que presente una menor dificultad.

La Gráfica 5.10 muestra las distribuciones acumuladas de los 3 escenarios.



Gráfica 5.9 Escenarios para la Concentración de G<sub>2</sub><sup>8</sup>

## 6 Resultados y Conclusiones

Este capítulo muestra el desarrollo del punto 5 de la metodología propuesta en la sección 2.3. El análisis del impacto de la renovación curricular, parte de la comparación entre los dos escenarios básicos. Después se explora el conjunto de resultados producto de las variaciones consideradas en cuanto a la duración de los estudiantes en el programa, este aspecto es el foco central de estudio de este trabajo. Los reportes de las simulaciones se encuentran en los Anexos 1 al 6.

### 6.1 Análisis Inicial: Estado actual vs. Nuevo Estado

Para hacer este análisis comparativo se parte de  $G_{2}^{10}$ , la distribución original del programa de 10 semestres y de  $G_{2}^{8}$ , la distribución original del nuevo programa (ver sección 5.4).

El análisis de esta sección consiste en observar cuales son las diferencias entre los resultados cuando no se implementa el nuevo programa y cuando se

implementa y el comportamiento de este es igual al del programa original, en términos de duración de los estudiantes en el sistema.

Vale la pena aclarar, que cuando se dice que los programas tienen un comportamiento igual no se está implicando que los estudiantes de los dos programas duren el mismo tiempo en el sistema. Lo que está diciendo es que el tiempo en el sistema se distribuye de manera equivalente, es decir, el ritmo (o la forma) de la distribución del nuevo programa es equivalente a la del anterior y la concentración se mantiene. Hay que recordar que la concentración hace referencia al porcentaje acumulado de salida para la duración programada (sección 5.3.2) que para el programa nuevo es de 8 semestres y para el anterior son 10.

A continuación se presentan los resultados obtenidos.

### **Población de Estudiantes Propios**

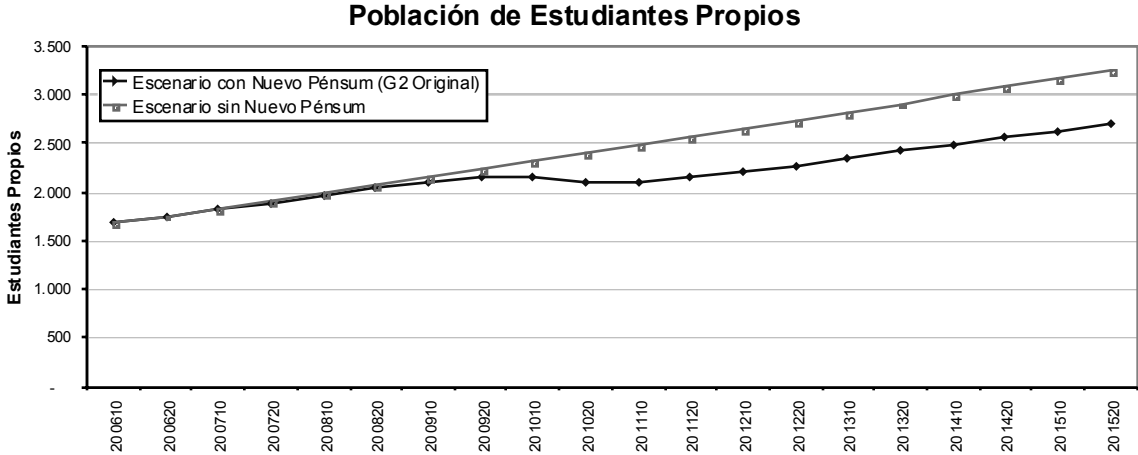
La Gráfica 6.1 muestra que a partir del tercer periodo, la población crece a una tasa menor si se implementa la renovación.

El efecto de la renovación aparece en este periodo y no se hace esperar ocho periodos como podría suponerse. Una vez implementada la renovación, la población afectada, no se limita a los nuevos estudiantes, incluye a aquellos estudiantes antiguos que deciden cambiar de programa.

En el escenario de estudio, la población con 6 periodos o menos en el sistema se cambió de programa, por esta razón 2 semestres después de la implementación, se observan los primeros egresos acelerados.

Para el 8° periodo, tiempo en el que sale la primera promoción que curso el nuevo programa completo, se observa un decrecimiento en la población. Hasta antes de

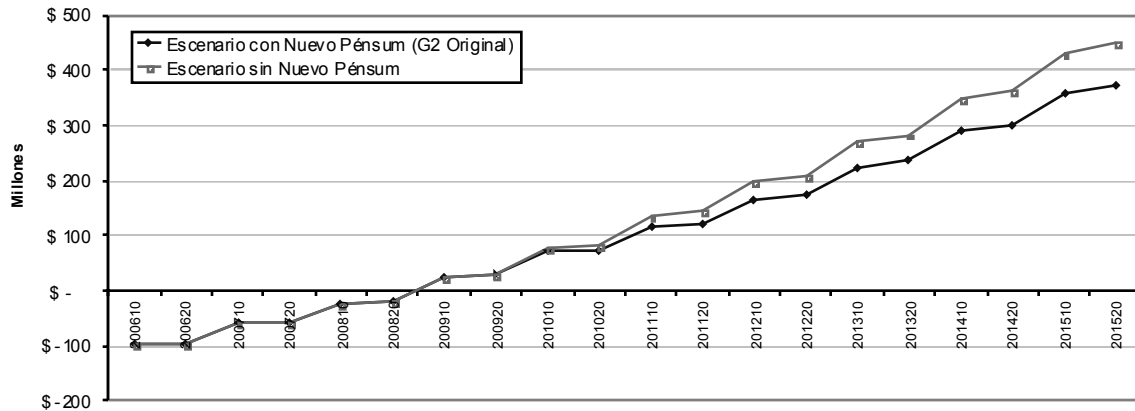
este periodo la diferencia se había dado solo por estudiantes que habían hecho migración de programa. A partir de este momento la población se reacomoda para tomar la forma correspondiente al nuevo pénsum, ya que son estudiantes de este programa los que predominan en la población.



Gráfica 6.1 Análisis inicial para la Población de Estudiantes Propios

El ingreso neto por estudiantes propios, Gráfica 6.2, varía de acuerdo a la población de estudiantes propios. Hasta el 7° periodo es positivo. Sin embargo esta situación no tiene relación con la población de estudiantes propios sino con los crecimientos para los ingresos y costos marginales por estudiantes propios. Conservando la tendencia de la población correspondiente, el ingreso neto por estudiantes propios del nuevo programa es inferior al del antiguo.

### Ingreso Neto por Estudiantes Propios

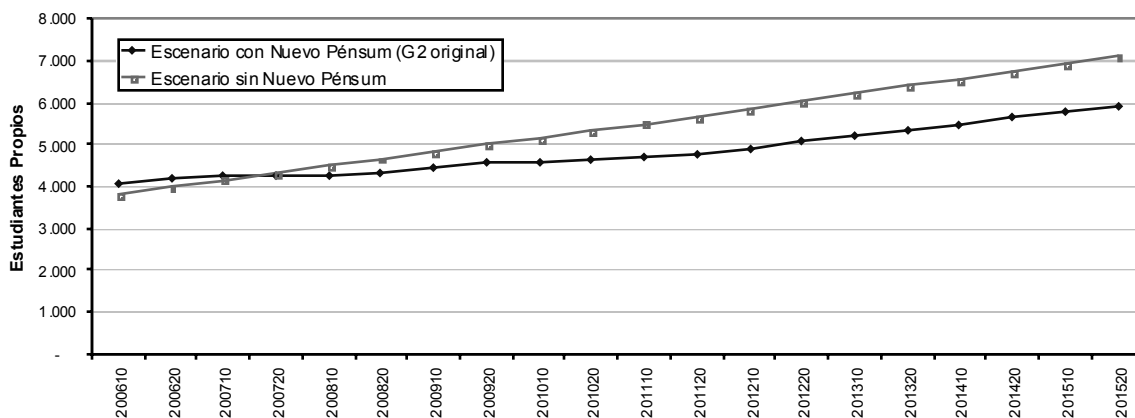


Gráfica 6.2 Análisis inicial para el Ingreso Neto por Estudiantes Propios

### Puestos Estudiante

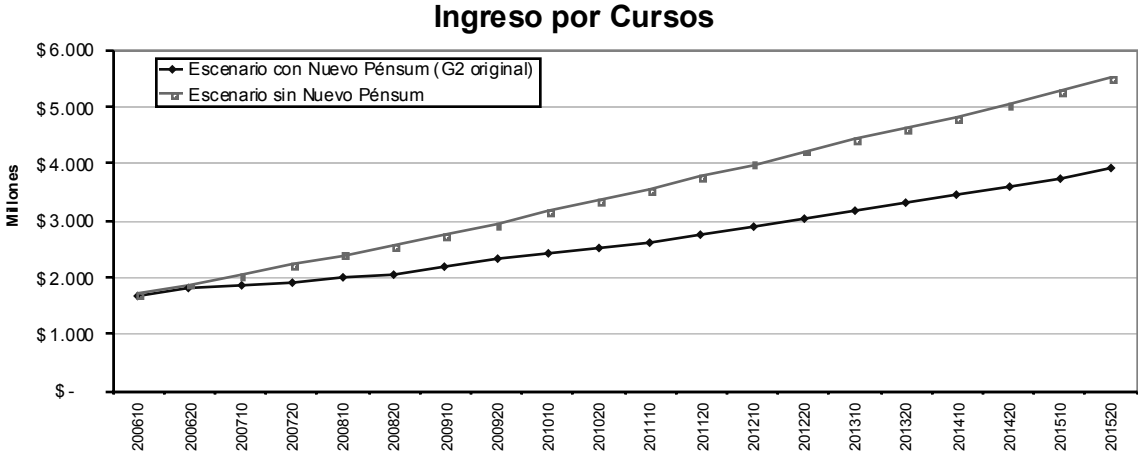
El total de puestos estudiante, Gráfica 6.3, aumenta en los primeros periodos. Este comportamiento se podría atribuir a los estudiantes que cambian de programa ya que deben adelantar materias. Hacia el 4° periodo de simulación se observa una desaceleración de la tasa de crecimiento de los puestos estudiantes con respecto al escenario sin renovación. Este efecto es consecuencia de la reducción en la población de estudiantes propios. La diferencia es de 12.000 puestos estudiante distribuidos a lo largo del periodo de estudio.

### Puestos Estudiante



Gráfica 6.3 Análisis inicial para los Puestos Estudiante

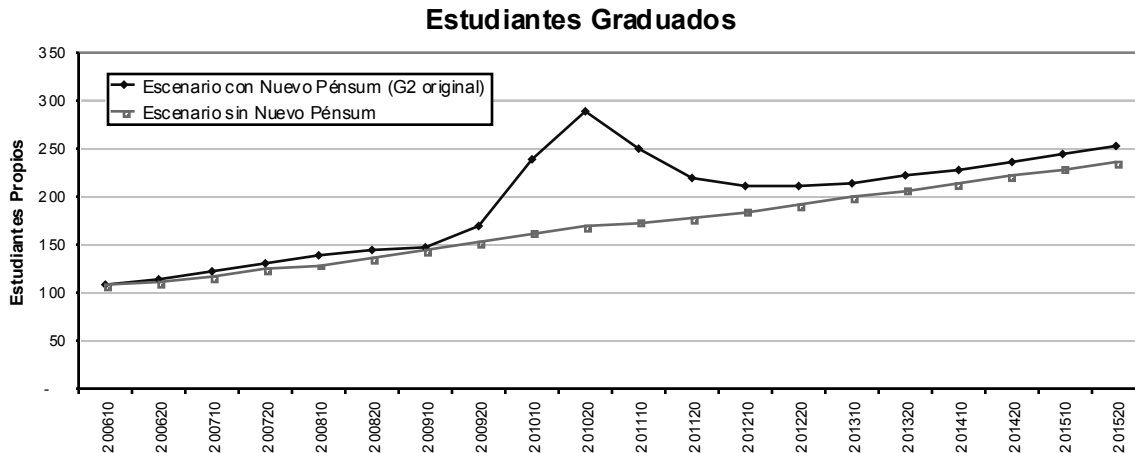
El ingreso por cursos, Gráfica 6.4, presenta la consecuente disminución de un escenario al otro de acuerdo con la disminución en los puestos estudiante. El Ingreso por Cursos es el principal componente del Resultado, este también disminuye como se verá más adelante.



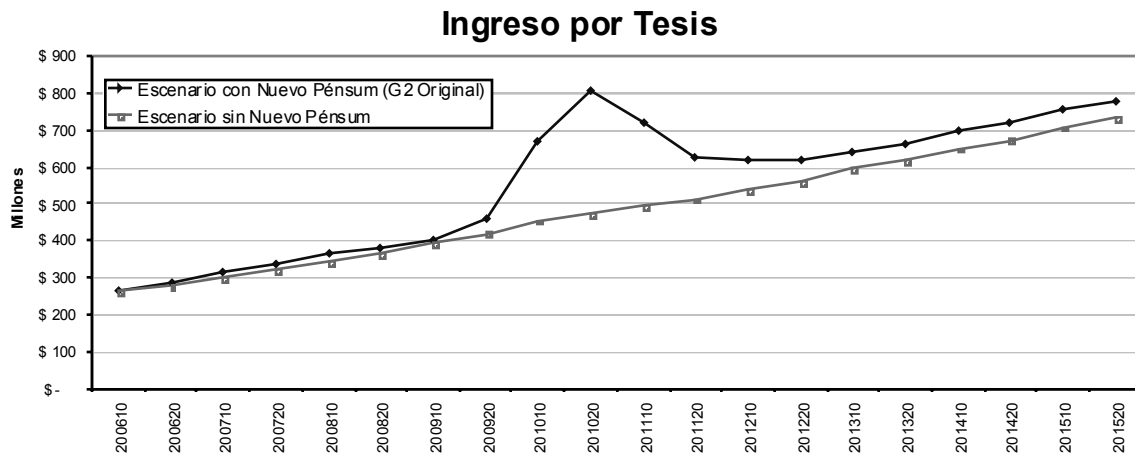
Gráfica 6.4 Análisis inicial para el Ingreso por Cursos

**Estudiantes Graduados**

A partir del segundo semestre se observa un aumento en la cantidad de estudiantes graduados, Gráfica 6.5. Este aumento se atribuye a los egresos que se aceleran por las migraciones de programa. A partir del 8° periodo se observa un aumento que alcanza el máximo en el 10° periodo, hacia el periodo 13 se retoma la tendencia inicial. Analizando el origen de este aumento en los egresos, se encuentra que corresponden a los últimos estudiantes que tenían tiempos de duración superiores a 10 semestres y que se migraron al nuevo programas. El Ingreso por Tesis, Gráfica 6.6, se comporta en consecuencia con lo anterior.



Gráfica 6.5 Análisis inicial para el Ingreso por Tesis

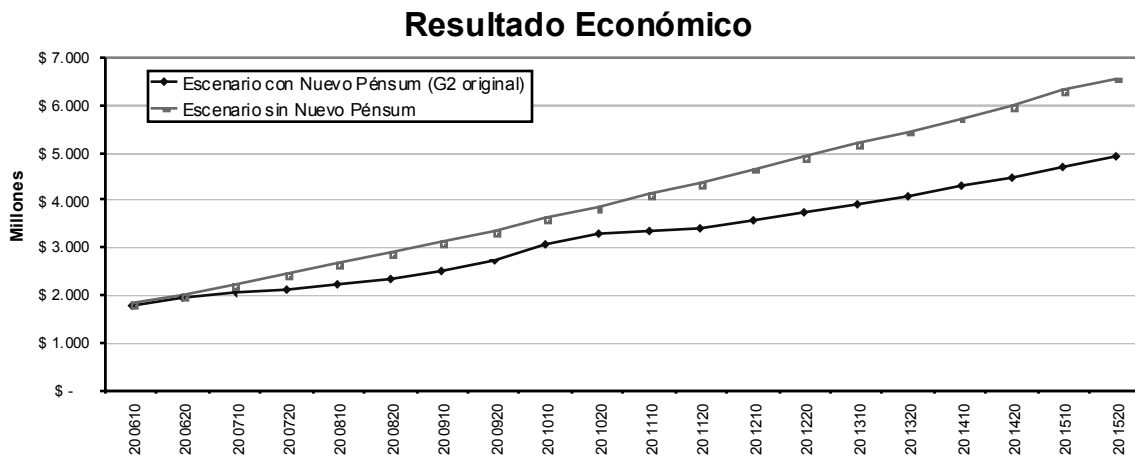


Gráfica 6.6 Análisis inicial para los Estudiantes Graduados

## Resultado Económico

Impulsado principalmente por la reducción en el ingreso por cursos, el Resultado Económico del escenario con el nuevo pénsum es inferior al obtenido sin cambiar el currículo. Despreciando el valor del dinero en el tiempo, la diferencia es de \$16.800 MM distribuidos a lo largo del periodo de estudio. La caída en el Resultado, se desagrava levemente durante el periodo de aumento de egresos debido al Ingreso por Tesis adicional que se percibe. La Gráfica 6.7 muestra la información generada.





Gráfica 6.7 Análisis inicial para el Resultado

## 6.2 Análisis de escenarios

De los resultados de la sección anterior se puede concluir que en efecto, los indicadores de la operación del PPII se van a ver afectados por la renovación curricular. Para hacer posible la medición de este impacto, se parte de la distribución del tiempo de duración en el semestre para cada estudiante,  $G_2^8$ . Sin embargo, como se explicó en la sección 5.3, esta distribución es desconocida. La función  $G_2^8$  original utilizada en el desarrollo de las simulaciones es un supuesto. Para determinar las variaciones que pueden encontrar estos resultados, se realiza un análisis con los escenarios propuestos en la sección 5.4. El propósito de estos escenarios proporcionar información que sirva de guía para crear expectativas con respecto a la distribución  $G_2^8$ , estos escenarios no son los únicos que pueden presentarse en el caso real.

### 6.2.1 Escenarios para la Concentración de $G_2^8$

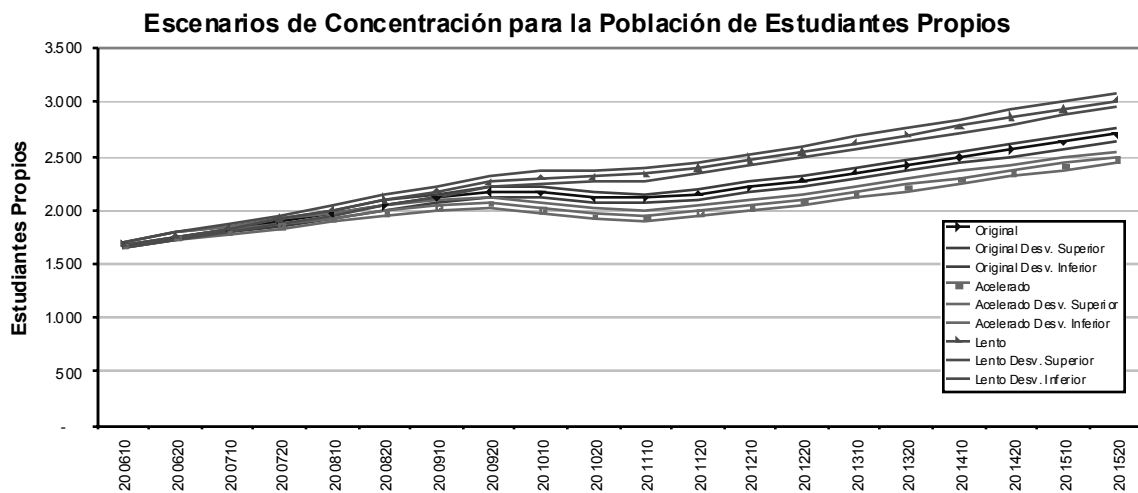
Como se explicó en capítulos anteriores, la Concentración mide de alguna manera que tan rápido salen los estudiantes del PPII. Contra el escenario original, cuyos resultados se mostraron en la sección 6.1, se compararan los dos escenarios

propuestos: acelerado y lento. En el escenario acelerado, la concentración del nuevo programa es del 80%, en el lento es del 40%

### Población de estudiantes propios

Al analizar los resultados para cada escenario y las desviaciones estándar de cada uno, Gráfica 6.8, se observa que durante los primeros 8 periodos no hay diferencias significativas entre las 3 concentraciones estudiadas. Sin embargo, a partir de ese momento al salir todas las entidades que iniciaron el programa de 10 semestres, momento en el que se puede decir que el nuevo programa alcanzó maduración, las diferentes concentraciones generan tamaños de poblaciones que no tienen probabilidad de ser iguales.

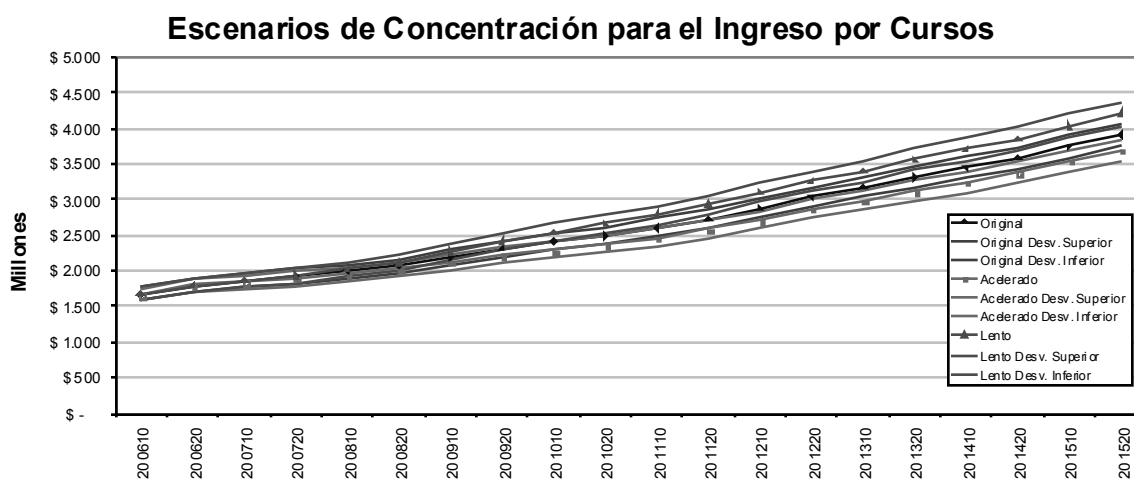
Los menores tamaños de población se encuentran con la concentración acelerada. En este caso la rotación de estudiantes es mayor que en el caso original. En el caso lento, la caída de población del 8ª semestre se da más atenuada.



Gráfica 6.8 Escenarios de concentración para la población de estudiantes propios

## Ingreso por cursos

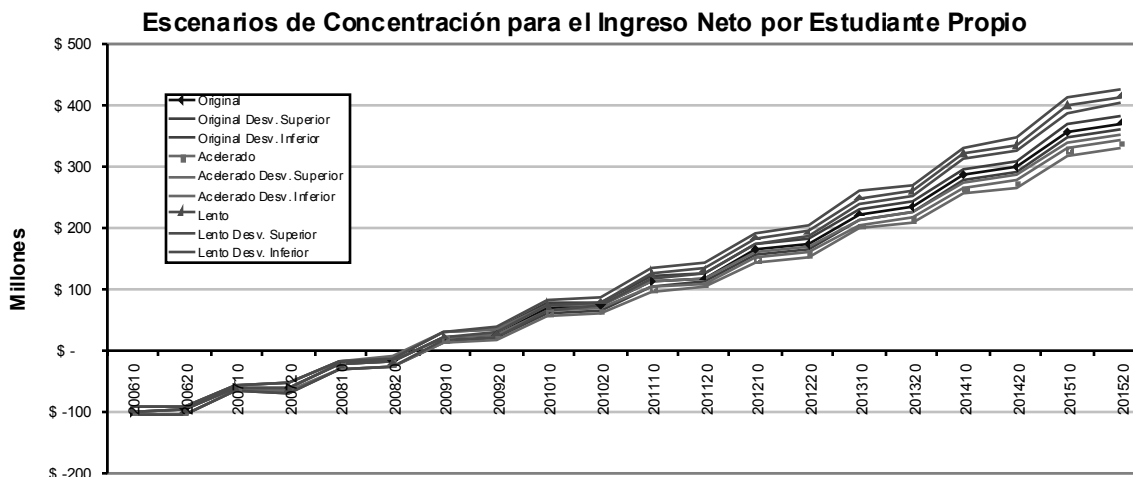
De igual forma, en el caso del ingreso por cursos (Gráfica 6.9), las diferencias significativas se encuentran a partir de la maduración del nuevo programa. A partir de este momento si bien la población del escenario original tiene probabilidad de no ser diferente a la del escenario acelerado o a la del lento, es claro que no es probable que los 3 resultados sean el mismo, de tal forma que el ingreso por cursos es igualmente afectado por la concentración. El ingreso por cursos disminuye con aumentos en la concentración.



Gráfica 6.9 Escenarios de concentración para el ingreso por cursos

## Ingreso Neto por Estudiante Propio

Los resultados para este ingreso se muestran en la Gráfica 6.10. Después de la maduración la concentración afecta este ingreso.

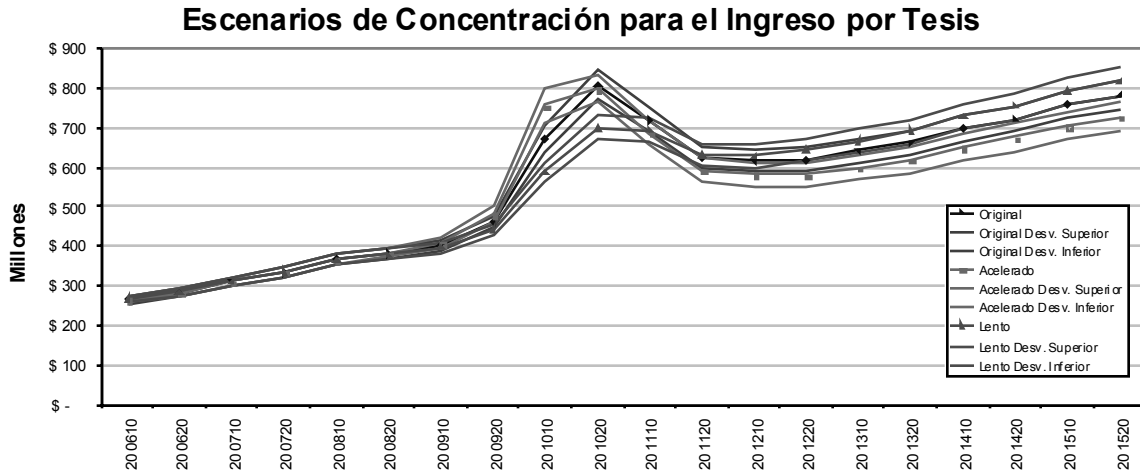


Gráfica 6.10 Escenarios de concentración para el Ingreso por Cursos

### Ingreso por Tesis

Los resultados para este ingreso se muestran en la Gráfica 6.11. Por el ordenamiento de las regiones probabilísticas de cada resultado, se concluye que también presenta efecto por cambios en la concentración. Sin embargo, la menor dispersión de estas regiones indica una menor sensibilidad de este indicador con respecto a los anteriores.

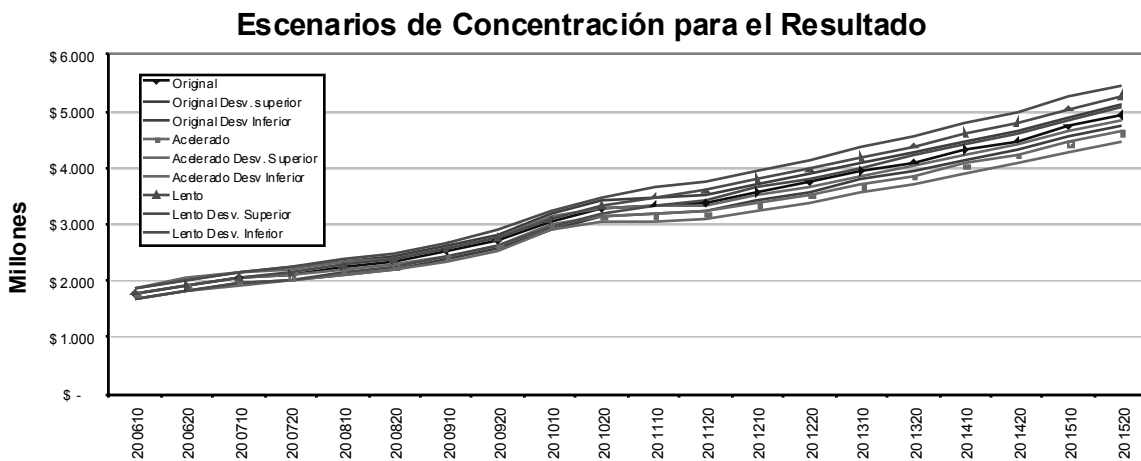
En el caso lento, se atenúa la subida de ingresos en el momento de la maduración.



Gráfica 6.11 Escenarios de concentración para el Ingreso por Tesis

## Resultado Económico

No hay evidencia probabilística que respalde la creencia de que el Resultado Económico no varía con la concentraión. Por el contrario, después de la maduración las regiones probabilísticas no se intersecan descartando la probabilidad de obtener los mismos resultados con diferentes escenarios, Gráfica 6.12



Gráfica 6.12 Escenarios de concentración para el Resultado

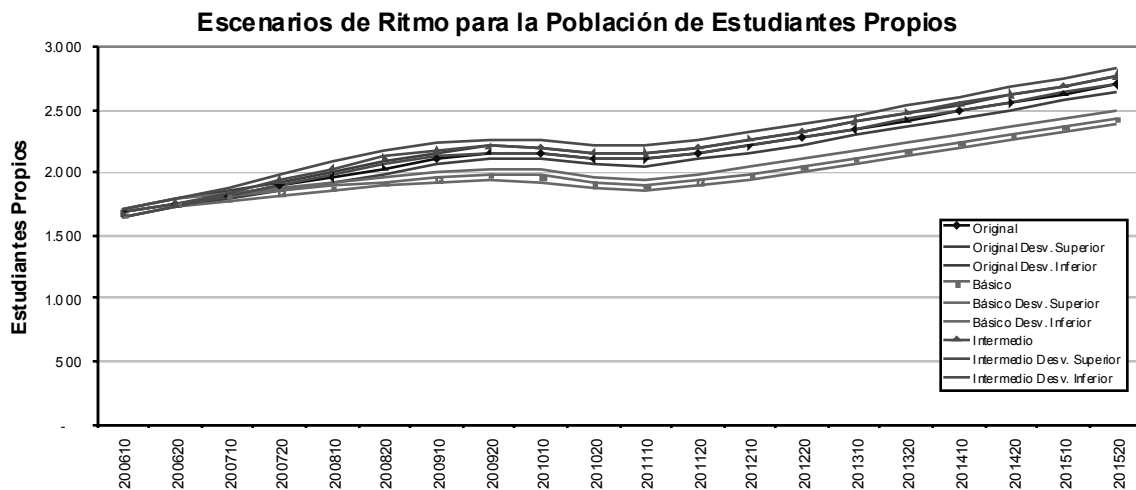
## 6.2.2 Escenarios para el Ritmo de $G^8_2$

El ritmo de la distribución proporciona información sobre el momento en que se dan las salidas. Al tener esta información se puede hacer inferencias sobre las razones de salida del PPII. Por ejemplo un ritmo que tiene la mayor cantidad de salidas en los periodos iniciales sugiere que la mayoría de las salidas son por egreso. Los escenarios propuestos para este atributo (sección 5.4) son: original, básico e intermedio.

### Población de Estudiantes Propios

La población de estudiantes propios muestra sensibilidad a los cambios en el ritmo de la distribución desde los primeros periodos de la simulación (Gráfica 6.13). Esta sensibilidad es significativa en el caso Básico. Las zonas probabilísticas de los escenarios Original e Intermedio presentan una intersección alta, se concluye que pueden no ser significativamente diferentes.

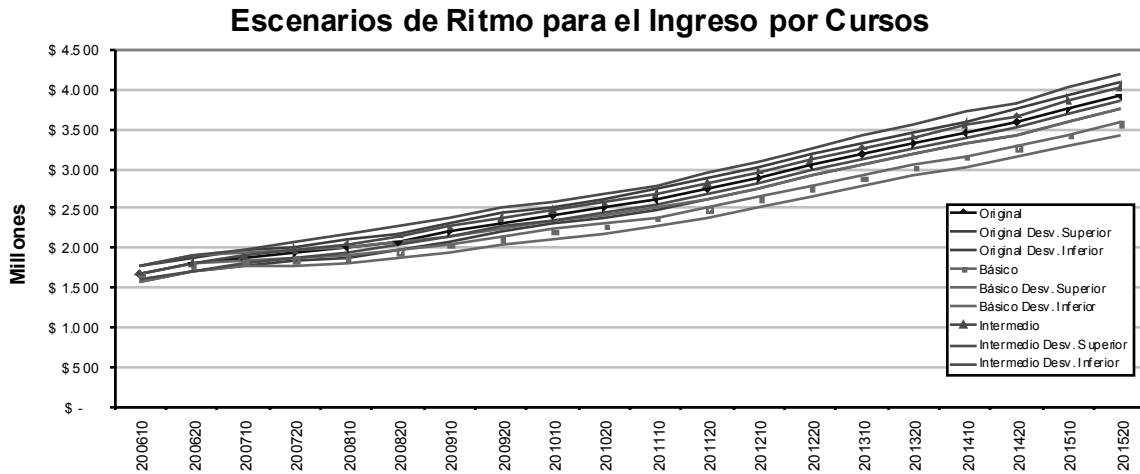
La población se reduce en el escenario Básico ya debido a la deducción en ciclo de rotación de los estudiantes.



Gráfica 6.13 Escenarios de ritmo para la Población de Estudiantes Propios

## Ingreso por Cursos

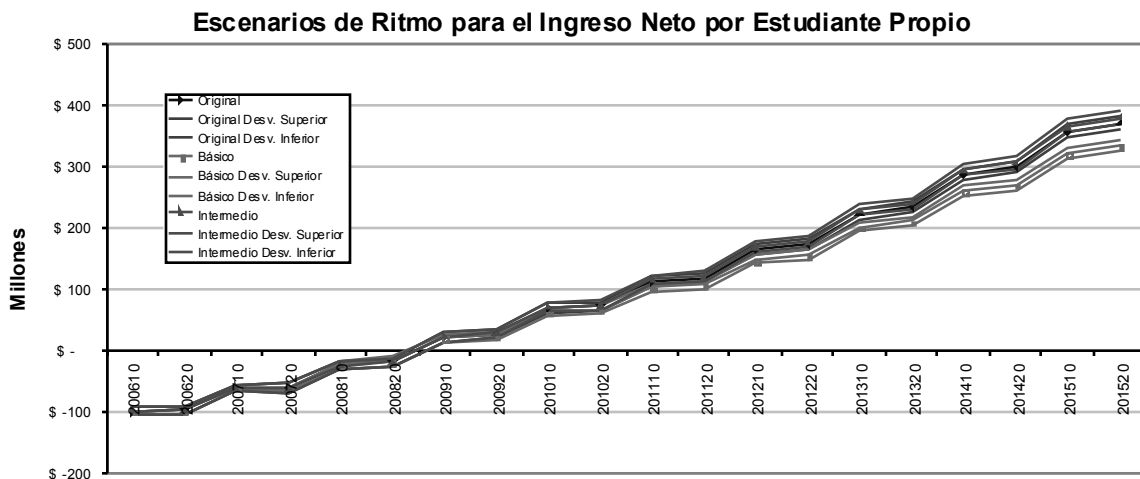
De la misma forma, se comprueba la sensibilidad del Ingreso por Cursos ante variaciones en el ritmo y se encuentra significancia en el caso Básico, Gráfica 6.14



Gráfica 6.14 Escenarios de ritmo para el Ingreso por Cursos

## Ingreso Neto por Estudiantes Propios

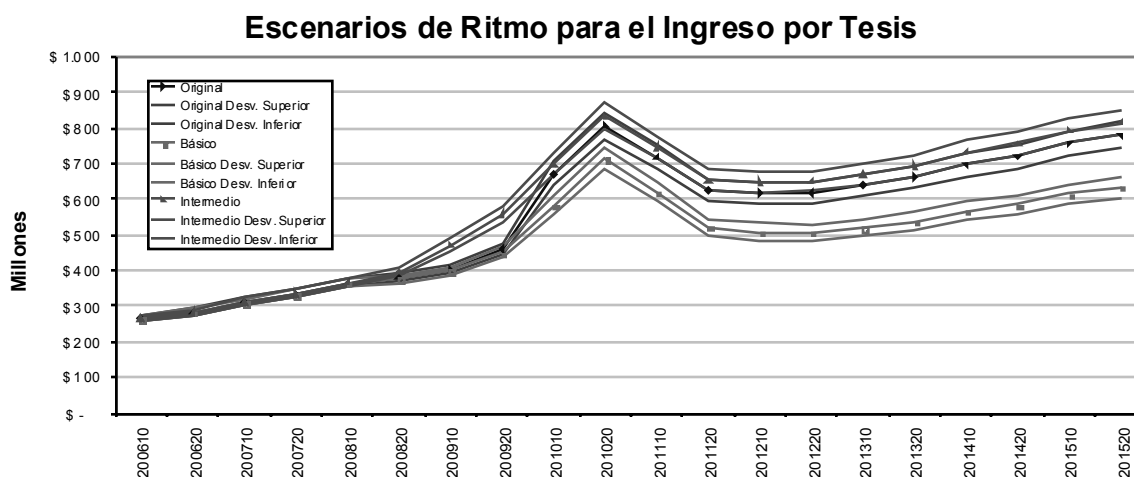
Este ingreso muestra la misma sensibilidad de los indicadores anteriores ante las variaciones en el ritmo de la Distribución, Gráfica 6.15



Gráfica 6.15 Escenarios de ritmo para el Ingreso por Cursos

## Ingreso por Tesis

La sensibilidad de este ingreso con respecto a las variaciones de ritmo, muestra el mismo comportamiento visto hasta hora (Gráfica 6.16), sin embargo, antes de iniciar el periodo de maduración (periodos 8 al 12), se ve una diferencia significativa entre el Ingreso para el escenario Intermedio y los demás. Se atribuye a que este escenario de ritmo desplaza salidas de los primeros semestres hacia este periodo, y en este periodo la principal causa de salida es el egreso. De esta forma en un escenario con comportamiento intermedio, se aumentan las graduaciones y por tanto el ingreso por tesis. De ahí la desviación tan grande con respecto al escenario Básico, escenario en el cual se concentran las salidas en donde la principal causa es la deserción.

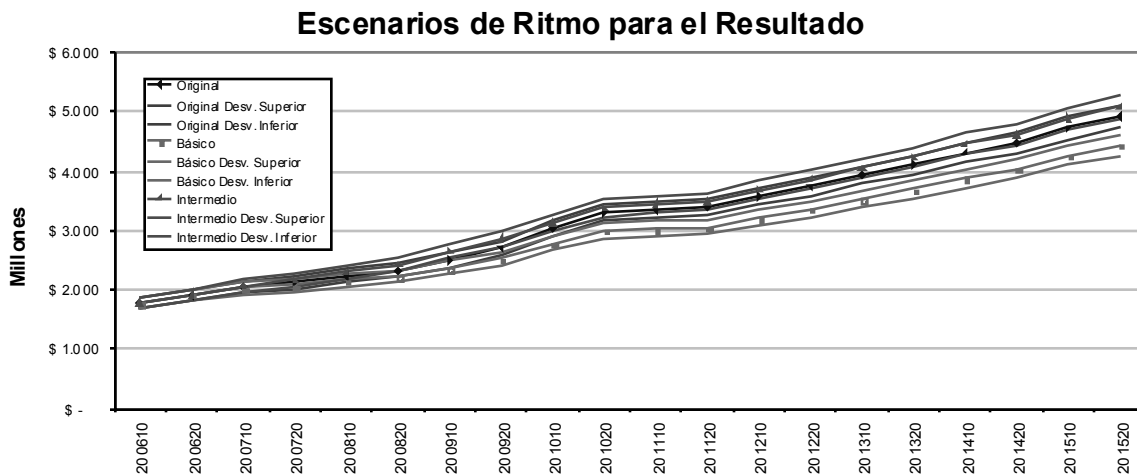


Gráfica 6.16 Escenarios de ritmo para el Ingreso por Tesis

## Resultado Económico

Como es de esperarse, el Resultado Económico se comporta de la misma forma, Gráfica 6.17. En el largo plazo la diferencia es significativa con el escenario Básico. Antes de periodo de maduración no hay diferencias significativas.





Gráfica 6.17 Escenarios de ritmo para el Resultado

### 6.3 Impacto de la Renovación Curricular

El impacto de la Renovación Curricular sobre el desempeño del PPI se mide en términos del resultado, como el valor en riesgo tanto por implementar la renovación como por la incertidumbre en la duración de los estudiantes.

La tabla 6.1 muestra el impacto de los escenarios estudiados en la sección 6.2 sobre el Resultado. Los valores presentados en la tabla están redondeados, ya que como se explicó en secciones anteriores, el modelo no está diseñado para hacer pronósticos sino para establecer tendencias, por esta razón, los valores se muestran con el fin de establecer órdenes de magnitud. Los valores están en millones de pesos.

| Parámetro     | Ingreso acumulado durante los 20 periodos \$MM |                                | Valor en riesgo \$MM        |                             |
|---------------|--|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|               | Valor máximo                                   | Valor Mínimo                   | Diferencia con Valor máximo | Diferencia con Valor Mínimo |
| Sin cambio    | 81.300   | -                              | -                           | -                           |
| Original      | 64.500   | -                              | 16.800                      | -                           |
| Ritmo         | Escenario Intermedio:<br>66.400                | Escenario Básico: 59.350       | 14.900                      | 21.950                      |
| Concentración | Escenario Lento: 67.400                        | Escenario Acelerado:<br>61.850 | 13.900                      | 19.450                      |

Tabla 6.1 Impacto de la Renovación Curricular sobre el Resultado

De lo escenarios estudiados se concluye que:

- El peor caso se presentaría cuando  $G_{2}^8$ , tiene una Concentración del 80% (original) y un ritmo Básico, el impacto es de \$21.950 MM
- El caso de menor impacto se presentaría cuando  $G_{2}^8$ , tiene un ritmo original y una concentración del 40% (lenta). El impacto es de \$13.900 MM

## 6.4 Conclusiones

### Sobre el Modelaje

1. **Metodología.** Se pueden proponer diferentes acercamientos para modelar la dinámica de tránsito de estudiantes a través del Programa de Pregrado en Ingeniería Industrial (PPII). El enfoque de colas se considera el más apropiado, ya que permite parametrizar el tiempo de permanencia en el sistema y efectuar cambios sobre él. Al aislar este parámetro de los demás componentes del sistema su manipulación permite incorporar al modelo los efectos de la renovación curricular.

2. **Exactitud del modelo.** El modelo propuesto, hace sentido de forma teórica. Sin embargo, al implementarlo presentó inconvenientes en cuanto a la exactitud de la información generada. Para solucionar dichos inconvenientes se requirió de un trabajo importante para afinar el modelo en la etapa de prueba. Aunque finalmente se obtuvieron resultados suficientemente cercanos a la información real, se generaron diferencias en las instancias preliminares de las pruebas. Estas diferencias se atribuyen a la calidad de la información de entrada con la que se alimentó el modelo.
3. **Recolección de Información.** La información histórica sobre todos los aspectos referentes al PPII se encuentra fraccionada en diferentes fuentes, incluso al interior de ellas se manejan diferentes bases de datos para información que debería ser compatible y no lo es. Un ejemplo se presenta en las estadísticas de deserción y egreso cuyas bases poblacionales no son consistentes. Adicionalmente, la información de Registro fue objeto de un post-proceso que afectó la información sobre los códigos. Para cada estudiante se estandarizó un único código correspondiente al último asignado; de esta forma, la información de pregrado de aquellos estudiantes que han cursado programas de postgrado se encuentra asociada al segundo código. Como consecuencia, este post-proceso impide utilizar el código como un indicador de la fecha de entrada de los estudiantes. Otro obstáculo se presentó en la recuperación de información académica de periodos anteriores al año 2001, dicha información no pudo ser obtenida.
4. **Sistemas de información.** Si bien es cierto que la Universidad dispone de la información necesaria para llevar a cabo un estudio como el realizado en este trabajo, el acceso a dicha información es muy difícil. Incluso después de recopilada, la información, necesita ser procesada antes de poder ser usada. En cuanto a Inteligencia de Negocio y Planeación, la Universidad podría obtener grandes beneficios de la implementación de un proyecto de Data Ware Housing, que permitiera centralizar la información en una fuente que fuera única para toda la institución.

## **Acerca del Análisis del Modelo**

5. **Estructura.** El modelo planteado para simular el proceso de generación de ingresos y costos del PPI, se logró estructurar sobre elementos específicos: el proceso de demanda ( $G_1$ ), la distribución de probabilidad para el tiempo de permanencia en el programa ( $G_2$ ), la distribución de probabilidad para la razón de salida ( $G_3$ ) y las distribuciones de demanda por cursos, entre otros. Esta estructura permite analizar el efecto de un cambio en el sistema real identificando cuál elemento lo representa y modificándolo. En otras palabras, el modelo permite analizar de forma concreta toda la problemática que en apariencia es compleja y donde las relaciones y efectos entre sus elementos no es directa.
6. **Variación en el Resultado Económico.** Al analizar la estructura del sistema de generación de ingresos y costos del PPII, se concluye que el efecto sobre su resultado económico y las variaciones a las que haya lugar, depende del tiempo de permanencia de los estudiantes. Esto implica, que para introducir la renovación curricular en el modelo y simular su comportamiento, se requiere modificar el parámetro que representa esta duración. Este parámetro es la distribución de probabilidad para el tiempo de permanencia ( $G_2$ ). En conclusión, el modelo para los dos programas difiere en este parámetro y cada programa tiene una distribución propia para la duración.

## **Sobre la Estimación de la distribución de probabilidad para la duración de los estudiantes en el nuevo programa**

7. **Estimación.** La nueva distribución de tiempo de permanencia, correspondiente al nuevo programa, no es conocida y su estimación tiene una complejidad alta. Para hacer una estimación formal hay que tener en

cuenta factores tales como tasas de aprobación de cada materia, actitud de los estudiantes frente al p $\acute{e}$ nsum y una serie de factores cualitativos que permitan saber cuándo y por qué los estudiantes ven las materias que ven. El desconocimiento de dicha distribución ( $G_2^8$ ) es la fuente de incertidumbre para la estimación del Resultado Económico.

8. **Parámetros.** Cómo no se conoce una distribución para la duración en el nuevo programa ( $G_2^8$ ) que se pueda considerar como un pronóstico o acercamiento a la distribución real, se construyen diferentes escenarios posibles para esta distribución con el fin de analizar el espectro de valores generados para el Resultado Económico y las variables de población. Para generar estos escenarios se definen parámetros o atributos de la distribución de duración en el programa ( $G_2^8$ ) y se hacen variaciones sobre ellos. Los parámetros definidos son el Ritmo y la Concentración. El Ritmo hace referencia a la distribución de las salidas durante los semestres del programa. La Concentración es el porcentaje acumulado de salidas al finalizar la duración programada. Para el programa antiguo, la Concentración indica el acumulado de salidas en el 10° semestre; para el nuevo programa indica el acumulado de salidas para el 8°.
9. **Sensibilidad.** Las simulaciones para los diferentes escenarios propuestos generaron valores significativamente diferentes para el Resultado Económico y las variables de población (estudiantes propios, graduados, puestos estudiante, entre otros). Esto confirma que la forma que tome la distribución de duración afecta directamente El proceso de generación de ingresos y costos del PPII.

### **Sobre los Resultados de la simulación**

10. **Resultado económico.** Los resultados obtenidos (Sección 6.3) muestran que el Resultado Económico se mueve en el mismo sentido de la población. De esta forma, la disminución de población debida al nuevo programa

genera una disminución en el ingreso percibido y por tanto en el Resultado Económico, dando lugar a lo que se puede considerar, un costo de oportunidad asociado al cambio de programa.

11. **Duración en el PPII.** Adicionalmente los resultados obtenidos confirman que el Resultado Económico es afectado también por el desempeño de los estudiantes en el nuevo programa. Este desempeño, para efectos del modelo, está representado por la distribución de duración en el mismo. Por ejemplo, si la nueva distribución agrupa más salidas en los primeros semestres se puede considerar que el nuevo programa tiene mayor dificultad para los estudiantes, ya que las salidas en esos semestres son por deserción. De esta manera el monto del costo de oportunidad varía con respecto a la forma que tome la distribución en cuestión.
12. **Generación de recursos.** La capacidad de generación de recursos para cubrir los costos de operación del PPII no se ve comprometida en ningún escenario. El balance o Resultado Económico del PPII, siempre es positivo.

### **Conclusiones Generales**

13. La Renovación implica un costo para el PPI; sin embargo, no se puede concluir con base en los resultados de la simulación que no es conveniente llevarla a cabo. Teniendo en cuenta factores que no son económicos, representa un beneficio. Estos factores fueron expuestos en la sección 3.1.1 y hacen referencia a las ventajas de la renovación en cuanto a calidad de la educación y aportes a la formación del Ingeniero Industrial.
14. Para atenuar el efecto de la renovación, en lo que respecta al Resultado Económico, se pueden formular estrategias tendientes a aumentar el ingreso percibido. Algunas de ellas se pueden enmarcar dentro de un contexto táctico y abarcan acciones puntuales como:
  - **Aumento de la matrícula.** Subir el valor de la matrícula para incrementar el ingreso por estudiante propio. Esta solución puede resultar muy indirecta porque el ingreso asignado es producto del

cálculo del Modelo de Distribución de Ingresos y no una asignación directa. Adicionalmente, puede reducir la demanda por el PPII.

- **Aumento de la demanda.** El departamento puede desarrollar tácticas enfocadas a aumentar la cantidad de estudiantes que entran en el programa mediante cambios en las políticas de aceptación o mediante el desarrollo de alternativas de apoyo financiero. Esta solución puede funcionar en el sentido de compensar con volumen la pérdida de población por duración del programa, sin embargo, está sujeta a análisis muy complejos de tipo cualitativo tales como la calidad del estudiante Uniandino
- **Disminución en la cantidad de cursos ofrecidos.** Si se reducen las secciones ofrecidas por curso, se puede forzar una sobrepoblación por sección que conduciría a un aumento en el ingreso asignado por cada estudiante a cada curso. Al considerar esta acción táctica, es necesario considerar el efecto que pueda tener sobre la calidad de los cursos.
- **Aumento en la oferta de cursos.** Esta opción es interesante ya que es el ingreso por cursos el que mayor efecto tiene sobre el resultado. Ante la reducción de cursos en el programa, el aumento en la oferta puede parecer no ser viable en primera instancia, sin embargo, pueden estudiarse alternativas tales como el aumento en la oferta de cursos de servicio y la formulación de tácticas para que estudiantes de otras carreras tomen los cursos del PPI
- **Sinergia con los programas de Postrado.** Al aumentar la población que decide continuar con estudios de postgrado al finalizar el PPII, el costo que se deja de percibir por causa de la renovación se puede considerar no como perdido sino como trasladado de una línea de servicio a otra. De esta forma, el ingreso que ya no va a entrar por medio del pregrado, entrará a través del postgrado.

15. Para minimizar el costo de oportunidad debido a la renovación, el diseño del nuevo programa tendría que irse ajustando de tal forma que se mantenga la concentración del programa anterior (60%). Esto implica necesariamente una reducción de ingresos que no se puede evitar. Una concentración mayor implicaría que el nuevo programa tiene un nivel diferente al anterior, más fácil o más difícil, dependiendo del Ritmo.
16. Adicionalmente, el Ritmo del nuevo programa debe estar concentrado hacia los semestres 6, 7 y 8 en donde la razón de salida predominante es el egreso. De esta forma el ingreso perdido por Puestos Estudiante y Estudiantes Propios puede compensarse mediante el ingreso por Tesis.

### **Recomendaciones para desarrollos posteriores**

Debido a la complejidad del proceso de generación de ingresos y costos del PPII, este trabajo representa un acercamiento inicial al análisis de la situación problemática. Especialmente en lo referente a la información de entrada para el modelo de simulación, existen caminos para enriquecer la herramienta presentada en este documento:

1. **Distribuciones de demanda del pénsum antiguo.** Las funciones de demanda por cursos de cada una de las poblaciones por semestre fueron estimadas con base en la información del registro por cursos y el cálculo de la duración acumulada de cada estudiante durante los periodos comprendidos entre el 2001-1 y el 2005-2. Este cálculo, como se explicó anteriormente, está afectado por el post-proceso realizado sobre los códigos. La estimación de estas distribuciones de demanda podría ganar exactitud si se alimentará con una información más precisa que se calculara con la fecha real de entrada de cada estudiante y que estuviera depurada con respecto a esa misma fecha.
2. **Distribuciones de demanda del pénsum nuevo.** Las distribuciones de demanda del nuevo pénsum se obtuvieron con el criterio del semestre



natural. Por semestre natural de un curso se entiende el semestre en el que están programadas. De esta forma cada curso tiene una función de demanda asociada a su semestre natural, al semestre anterior y al natural, al semestre anterior a ese, al semestre siguiente al natural y así sucesivamente, Para calcular las demandas de nuevo p<sup>é</sup>nsum se simplificó el proceso aplicando la demanda del semestre natural anterior al semestre natural nuevo de cada materia. Un análisis más exhaustivo del funcionamiento de este subsistema podría arrojar estimaciones más precisas para estos parámetros.

3. **Costos de docencia.** Las proyecciones de la nómina de profesores incluidas en el modelo se realizaron como función de la base de Estudiantes Propios. Las estimaciones de los sueldos promedios por categoría de profesor se hicieron como función del tiempo. Este enfoque se utilizó para no desviarse del problema original que era poblacional; incluir las estimaciones reales del Departamento con respecto a estos valores, aumentaría la exactitud del modelo.
4. **Ingresos por cursos.** De igual forma, los ingresos marginales de cada curso se proyectaron suponiendo que cada serie histórica había absorbido todos los choques de demanda, crecimientos de los costos de profesores (sueldos) y demás factores económicos y aleatorios que inciden sobre ellos. Hacer un estudio más detallado y concentrado en las poblaciones de cada curso, oferta de secciones y evolución de salarios, también aportaría exactitud al modelo.
5. **Distribución para el tiempo de permanencia de los estudiantes en el PPII con el nuevo programa.** Debido a que el desconocimiento de esta función es la principal fuente de incertidumbre del modelo, cualquier avance en dirección hacia la certeza en su estimación contribuirá a que los resultados del modelo se vayan volviendo más predictivos. El estudio de este problema, que desde un punto de vista más general es la estimación de las nuevas funciones de probabilidad después de introducir cambios en un sistema caracterizado (es decir, donde todas sus funciones son

conocidas), es muy interesante y tiene aplicaciones para múltiples áreas, incluso sería un tema interesante para otro trabajo de Tesis. De igual forma, aunque no se llegue a ningún avance en esa dirección, hay que buscar la forma de ir utilizando la información real generada en cada periodo después de la implementación del nuevo pènsun y así ganar información en cuánto a la forma real de esta función. Si se tuviera la información histórica sobre ingresos y salidas, un análisis de la forma en que la distribución análoga del programa antiguo se actualizó periodo a periodo puede ayudar a ganar exactitud.

## 7 Bibliografía

Zarama, Aldana. Hacia la renovación de la producción de conocimiento en Ingeniería Industrial de la Universidad de Los Andes.. Versión Julio 2005

Guía del Modelo de Distribución de Ingresos de Pregrado. Dirección de Planeación y Evaluación Universidad de Los Andes. 2005

Canavos, George. Probabilidad y Estadística. Mc Graw Hill

Banks, Carson, Nelson. Discrete Event System Simulation. 2nd Edition. Prentice Hall

Castillo, Mario. Toma de Decisiones en las Empresas: Entre el Arte y la Técnica. Agosto 2004

Saaty. Fundamental of Decisions Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process, University of Pittsburgh, 1994.

Marco de fundamentación conceptual y especificaciones de prueba. ECAES Ingeniería Industrial, ICFES, ACOFI. Primera versión corregida. Febrero 2005

Proyecto de renovación de Los programas de ingeniería. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Marzo 30 de 2005

Revista INANDES: Desde Industrial 2002

Dossier: Primer foro sobre el plan de renovación de la facultad de Ingeniería. Revista de Ingeniería, Universidad de Los Andes, N°. 20 Pág 67

Murphy, John J. Análisis técnico de los mercados financieros. Ediciones Gestión 2000, Barcelona 2003

Centro Nacional de Consultoría. Egresados de las universidades que ofrecen carreras de ingeniería. 2002

Centro Nacional de Consultoría. Percepción de imagen que tienen los estudiantes de grado 11 en bogota. 2002

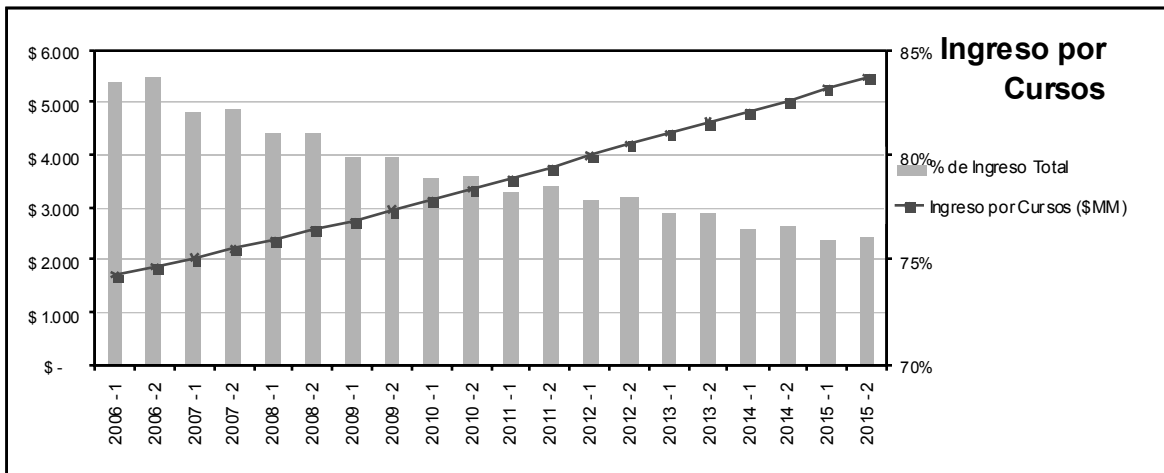
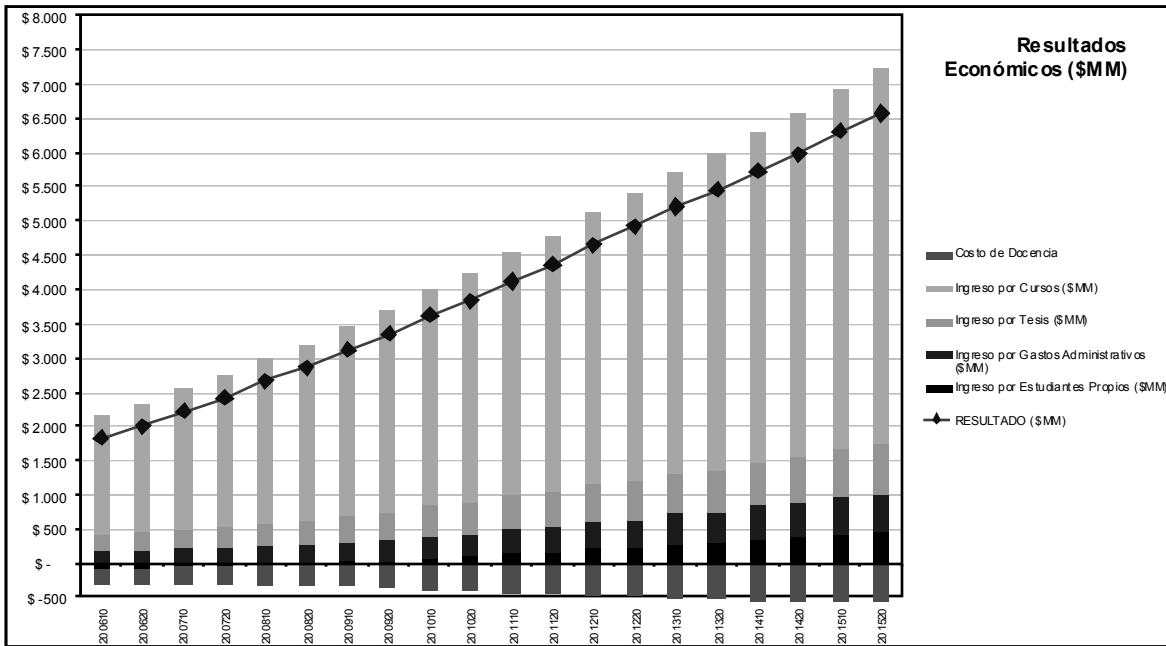
ABET. Criteria for accrediting engineering programs. Noviembre 1, 2004

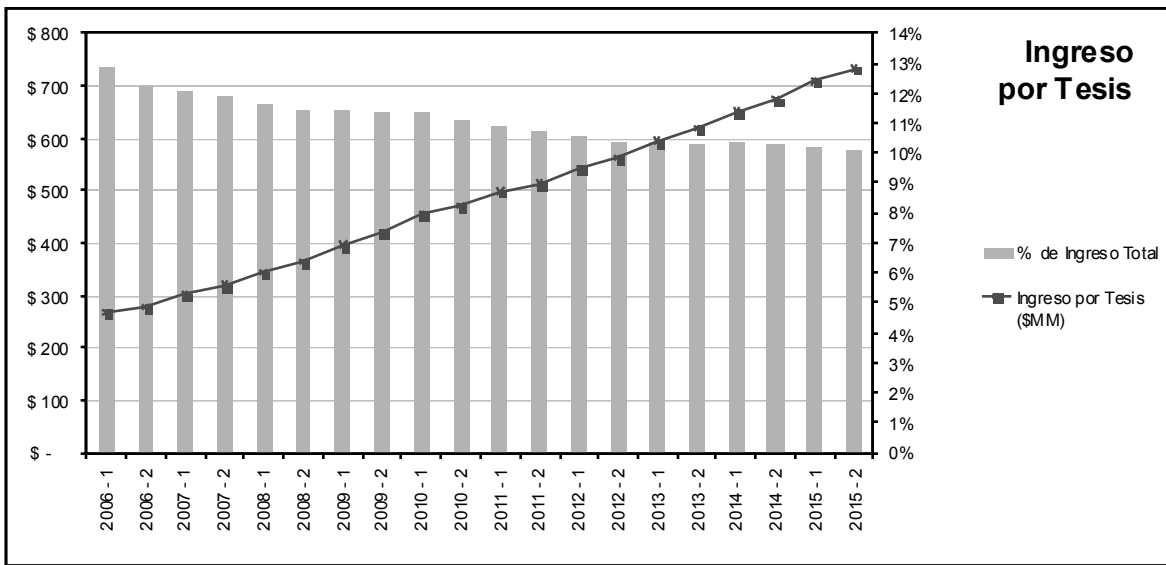
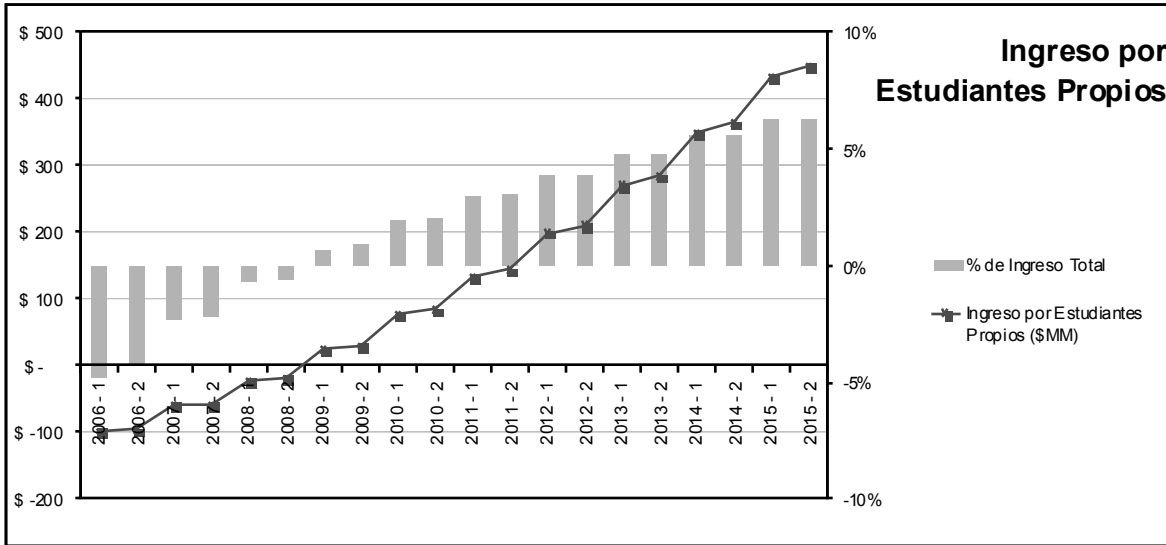
ProyecyoTuning: [http://ec.europa.eu/education/index\\_en.html](http://ec.europa.eu/education/index_en.html)

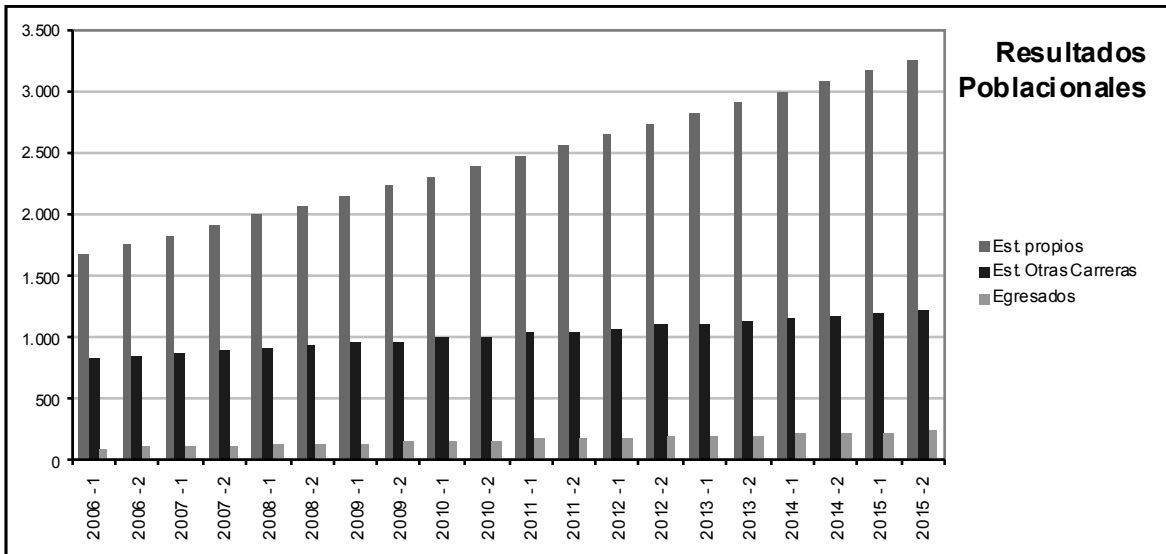
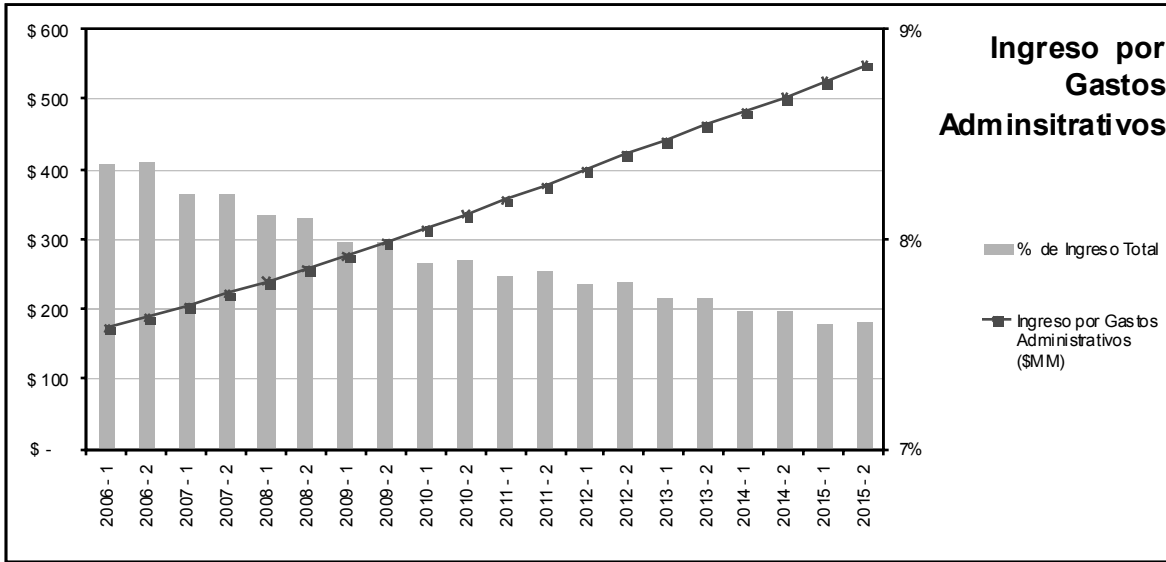
Iniciativa CDIO <http://www.cdio.org/index.html>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1: Reporte de la simulación sin Cambio de pénsum

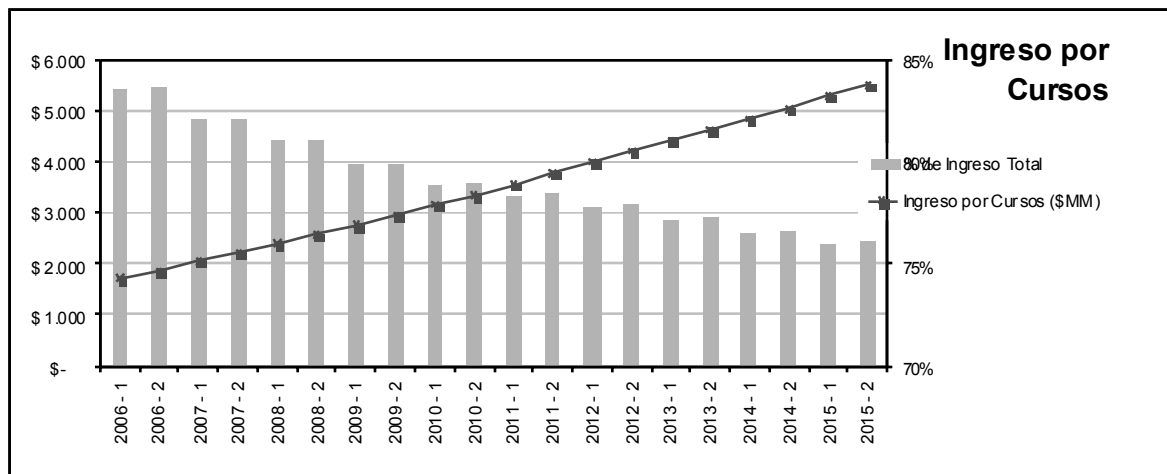
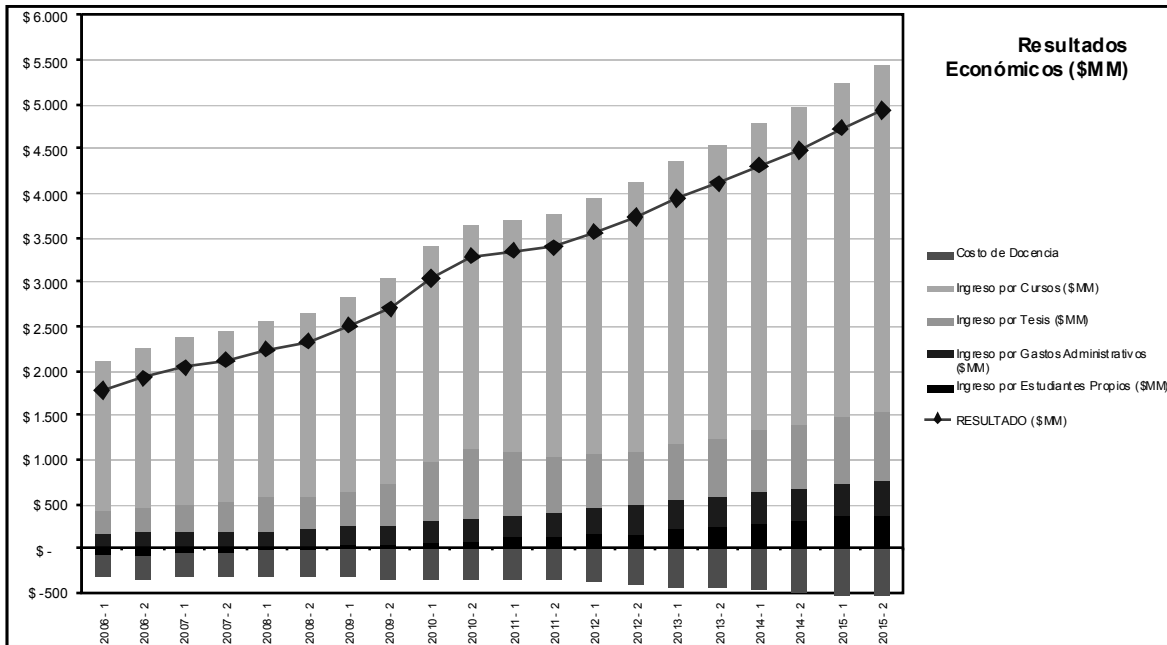


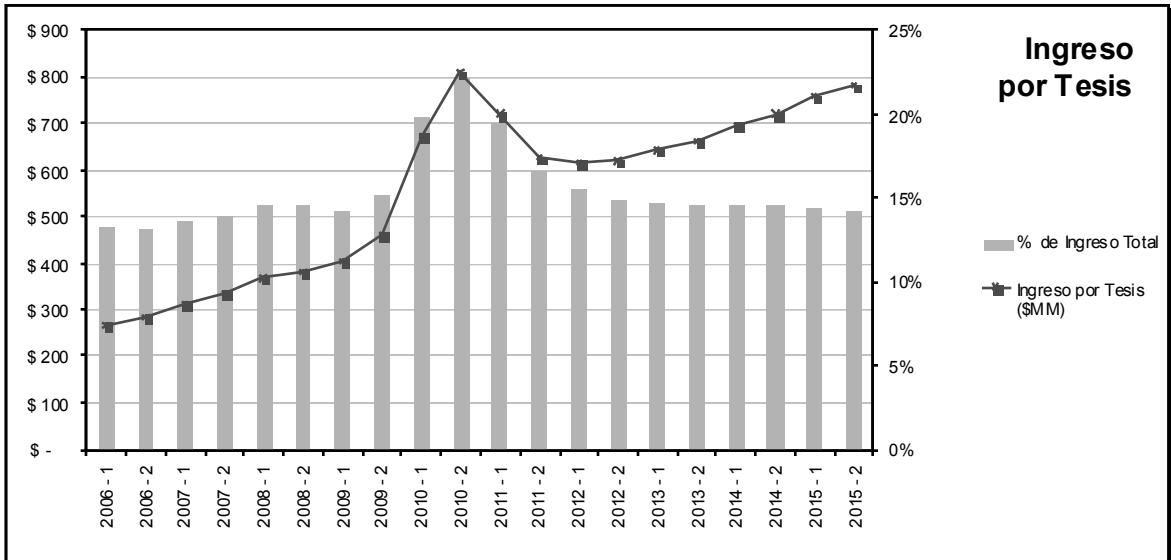
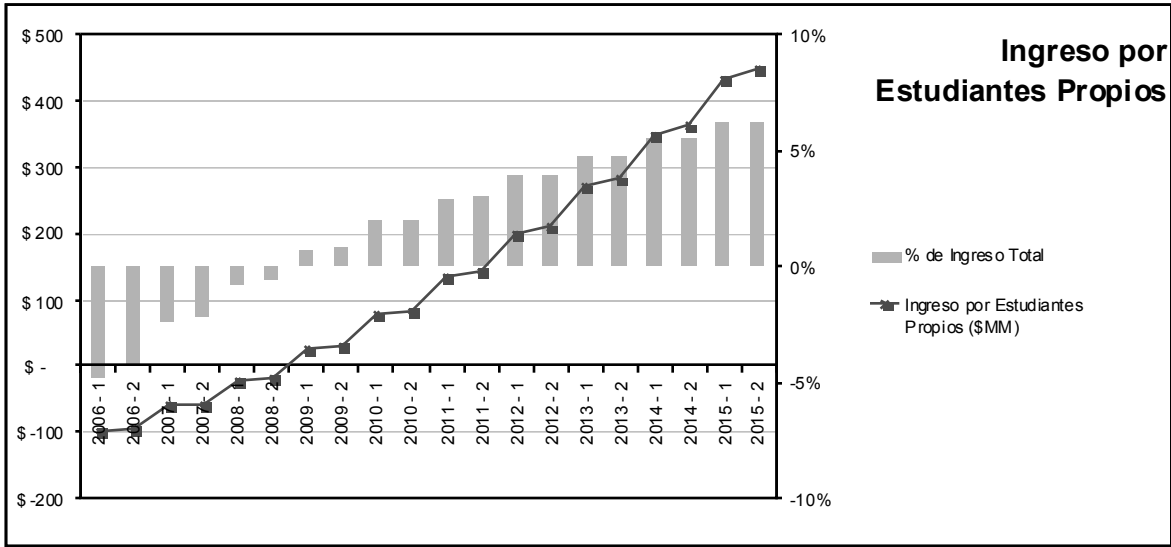


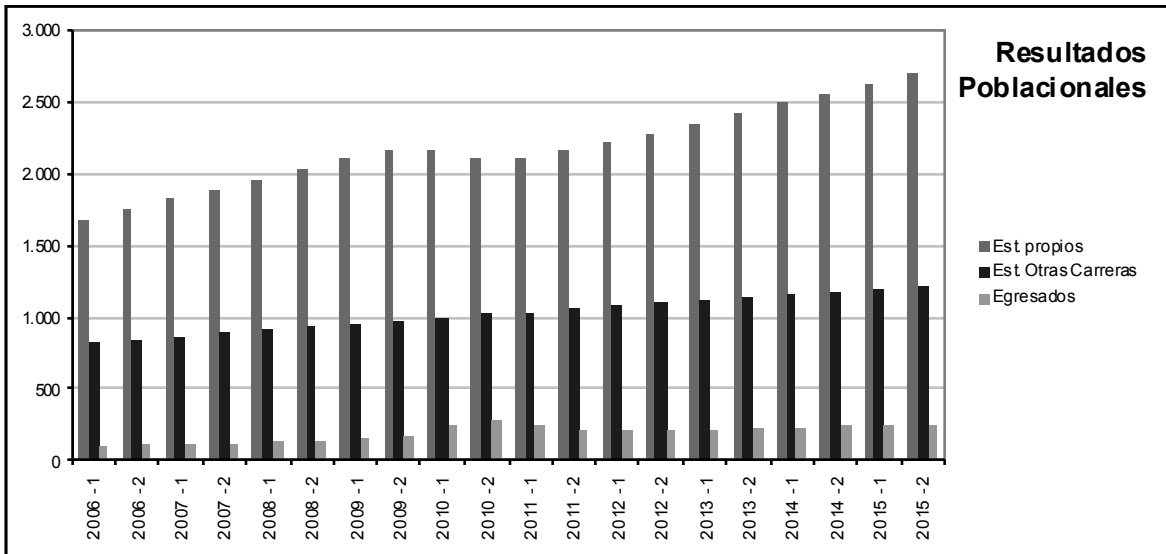
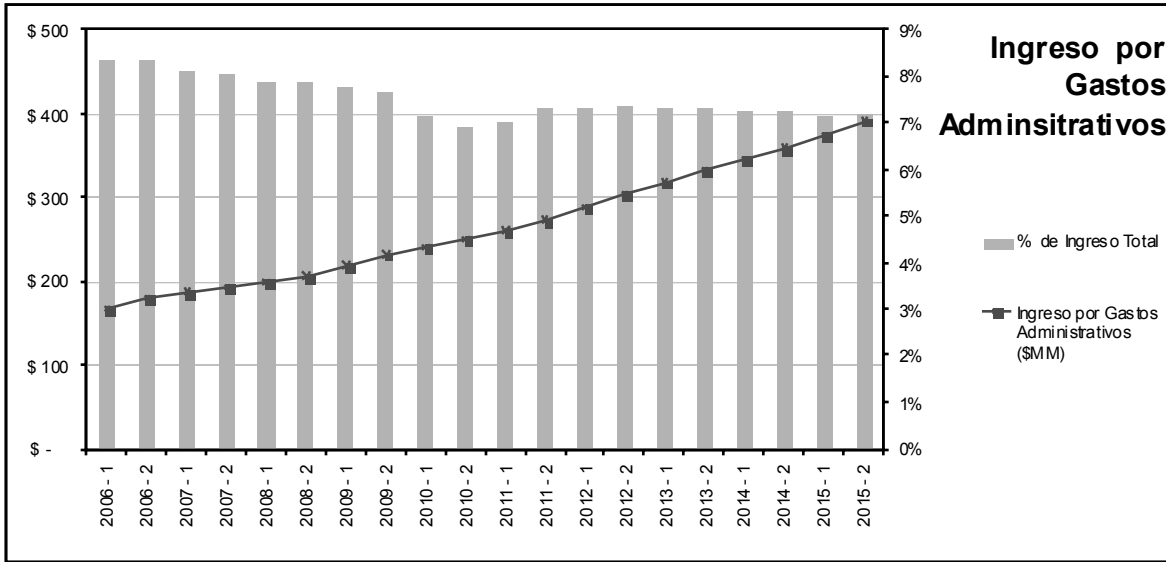




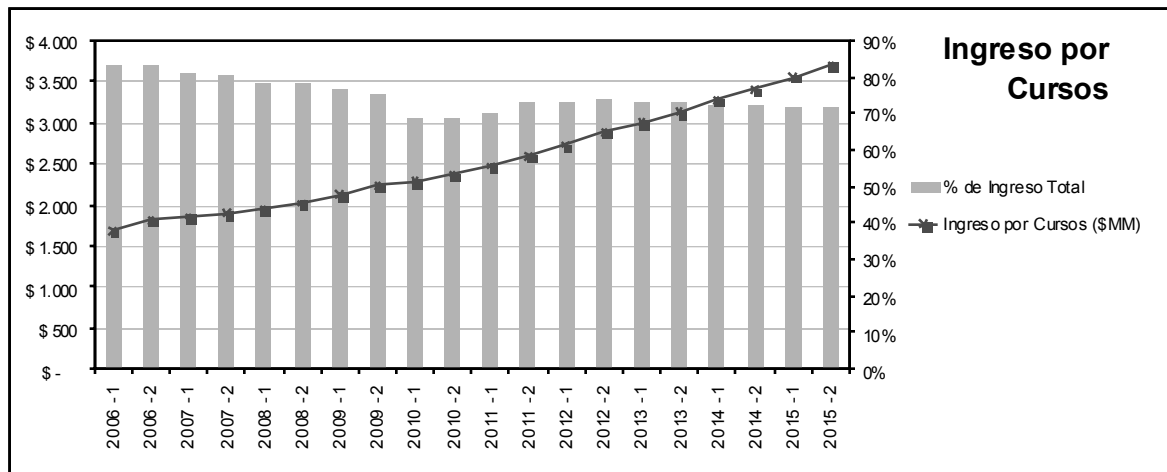
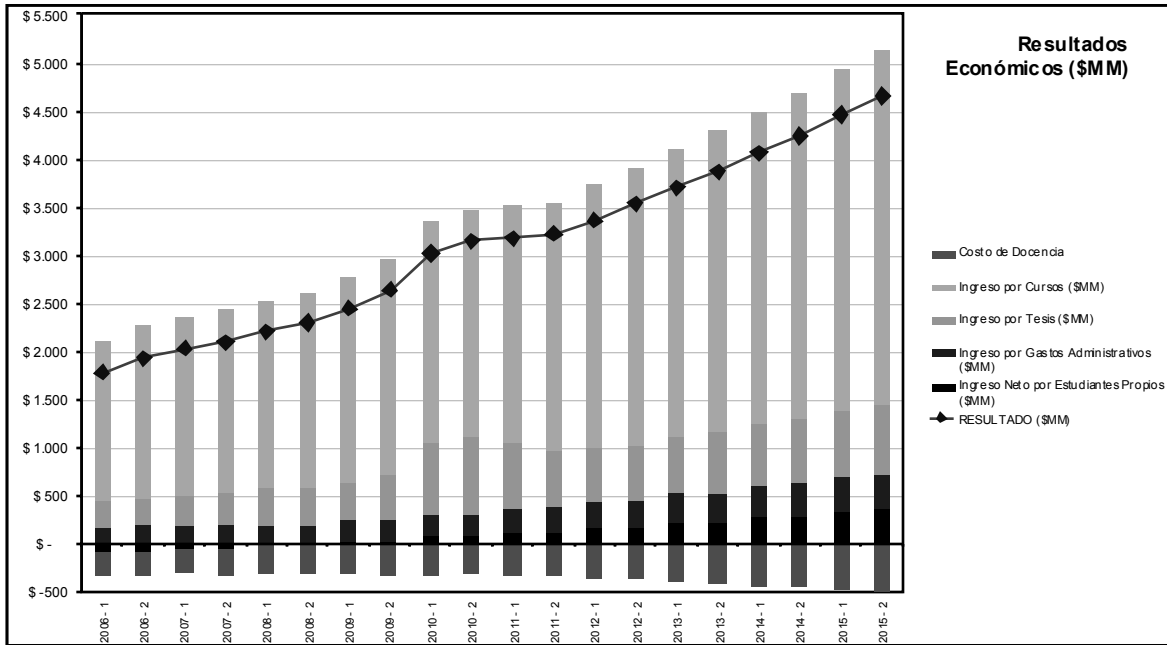
## ANEXO 2: Reporte de la simulación del cambio de p nsun para G<sup>8</sup><sub>2</sub> original

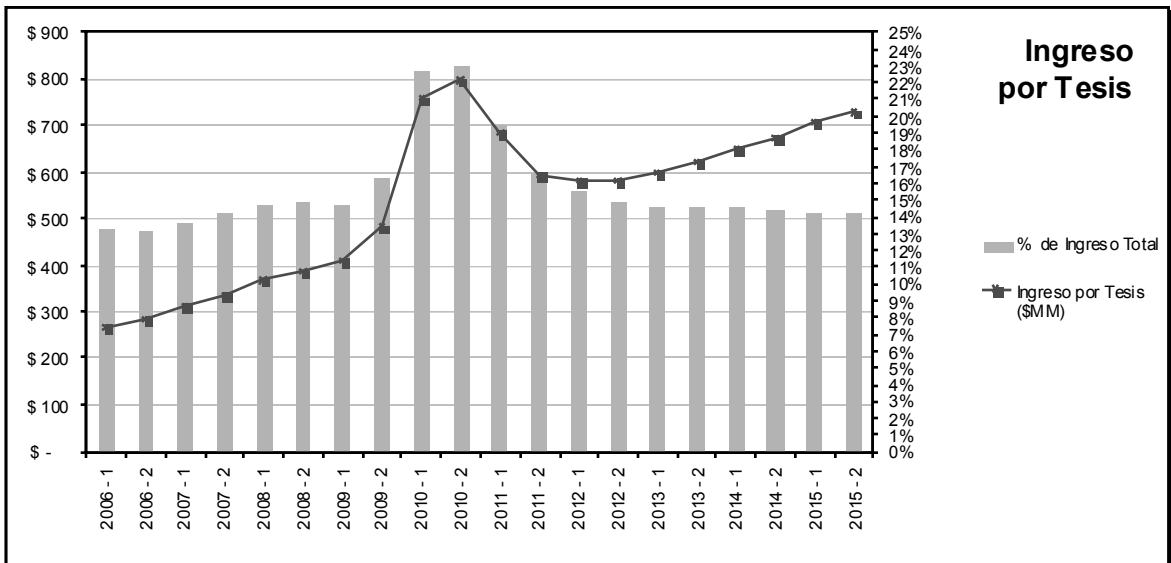
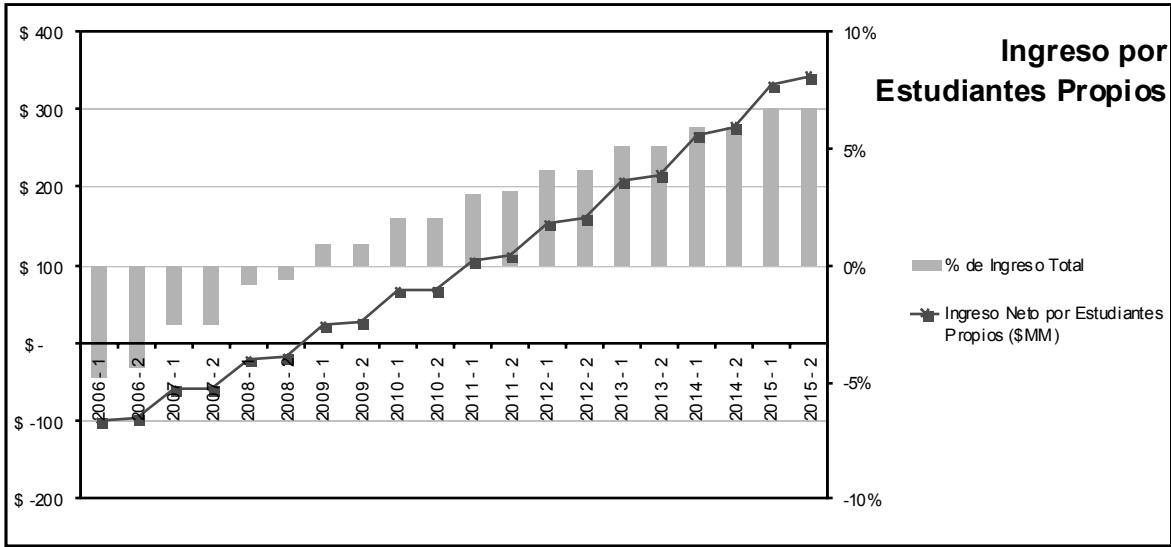


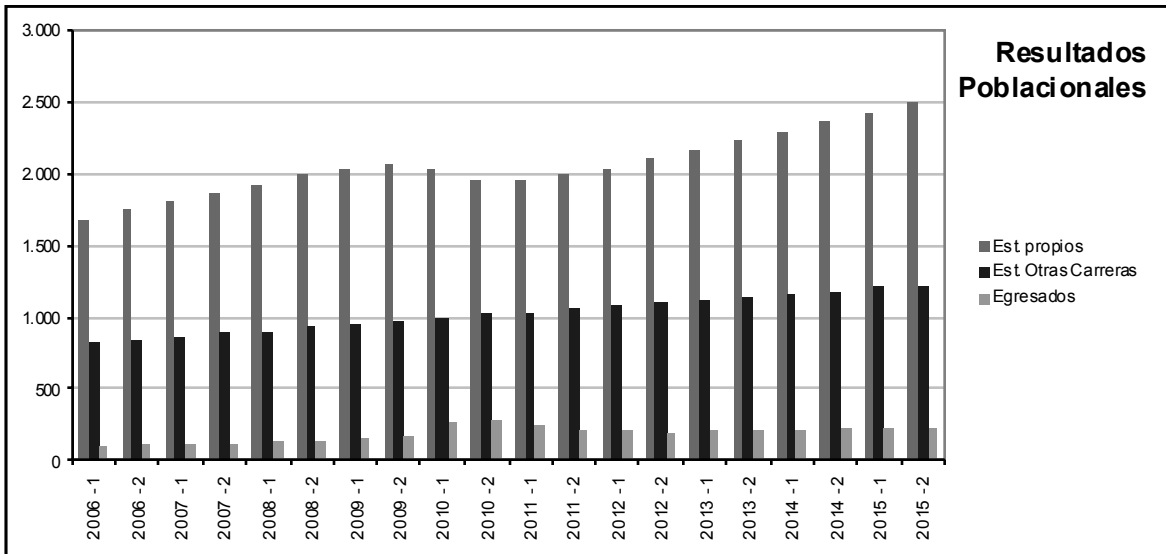
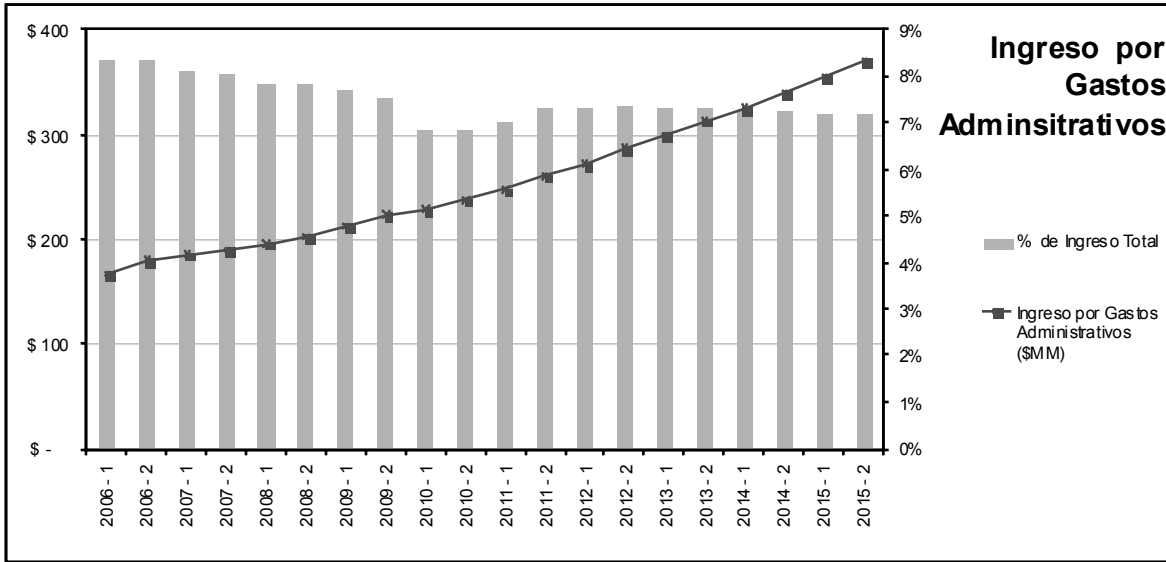




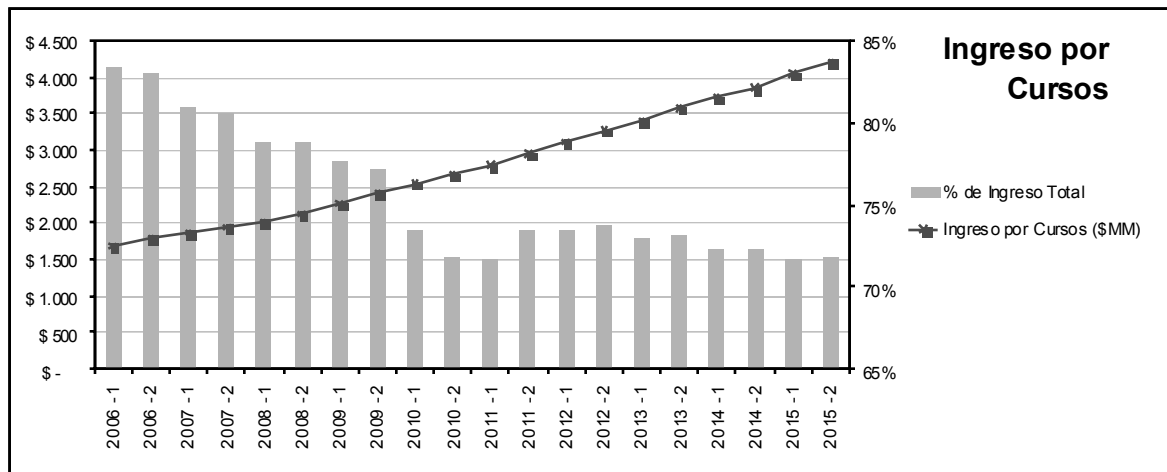
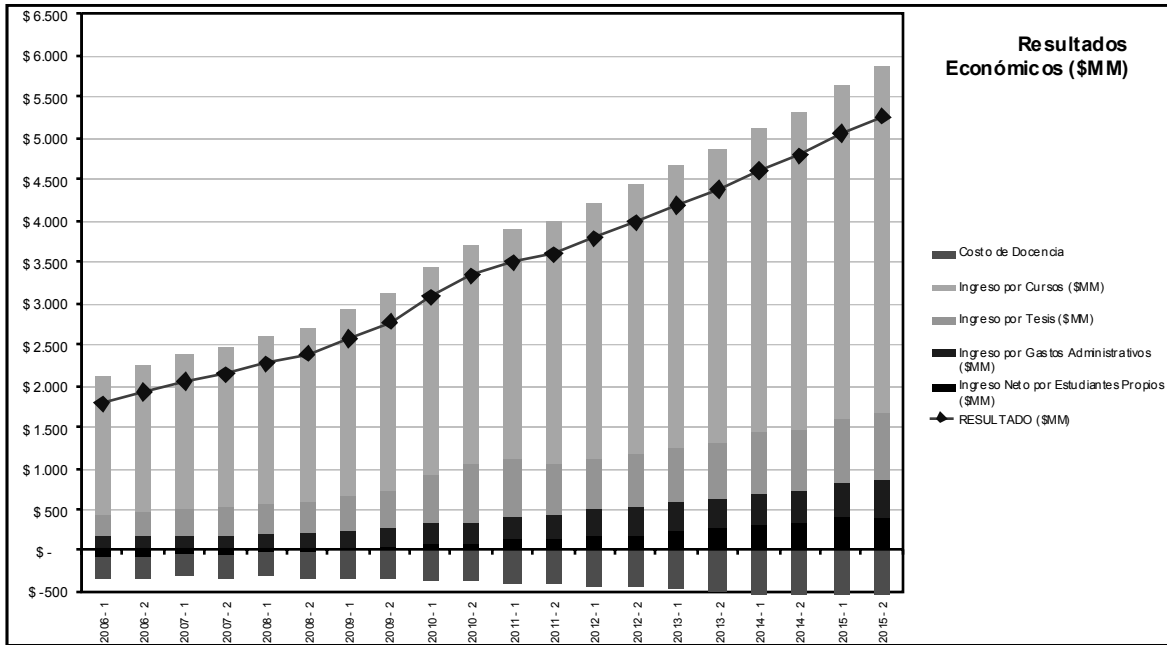
**ANEXO 3: Reporte de la simulación del cambio de p sum para G<sup>8</sup><sub>2</sub> con escenario de Concentración Acelerada (80%)**

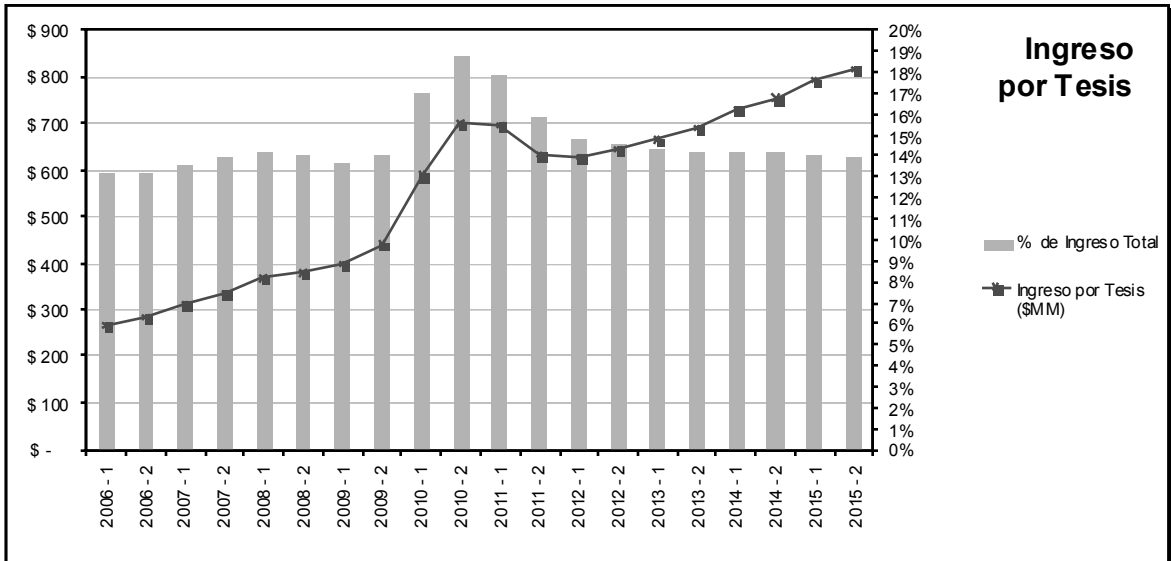
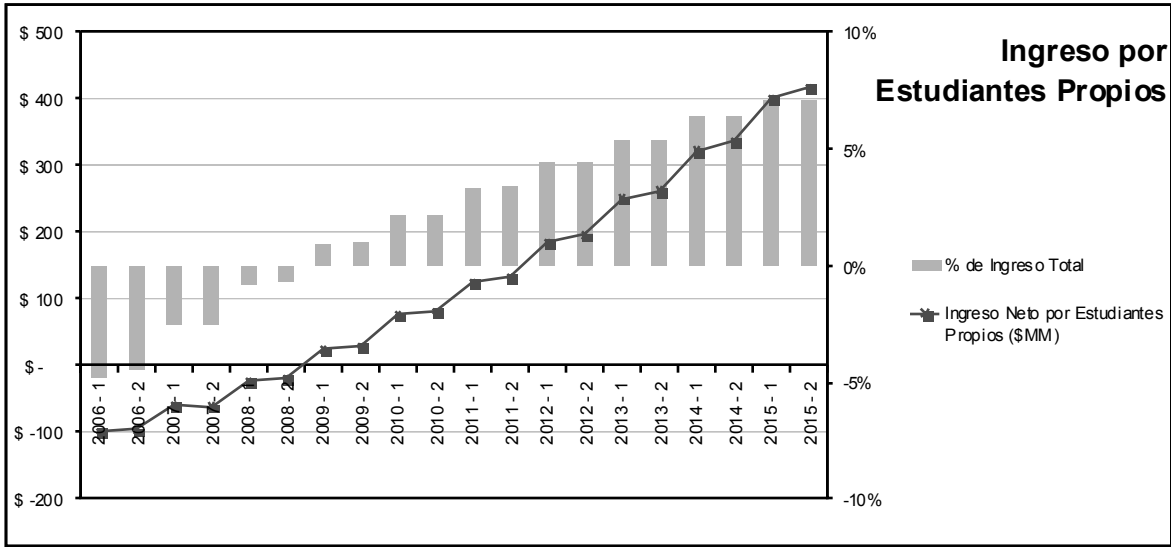




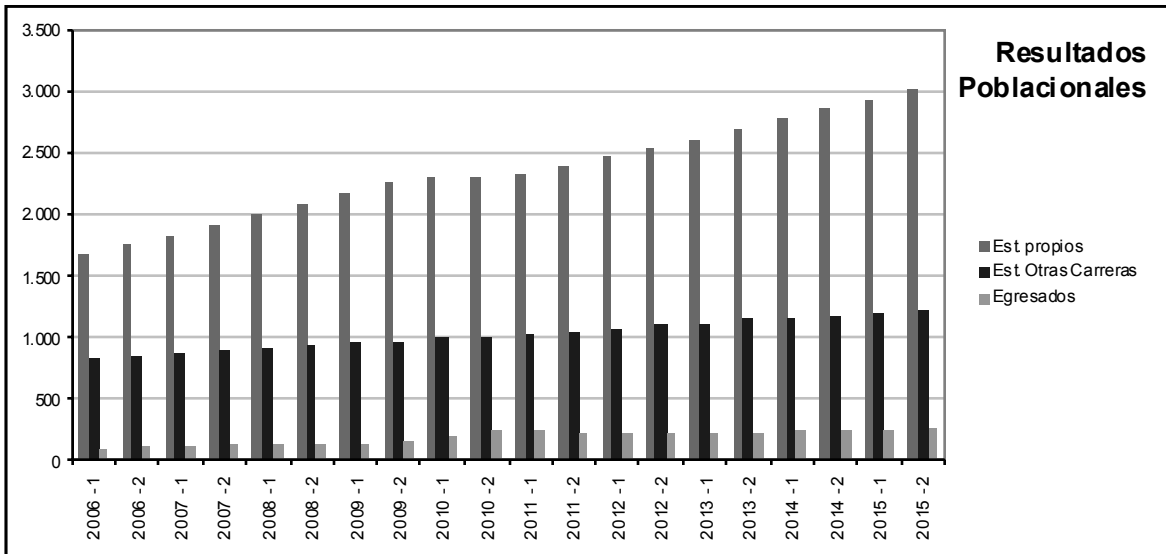
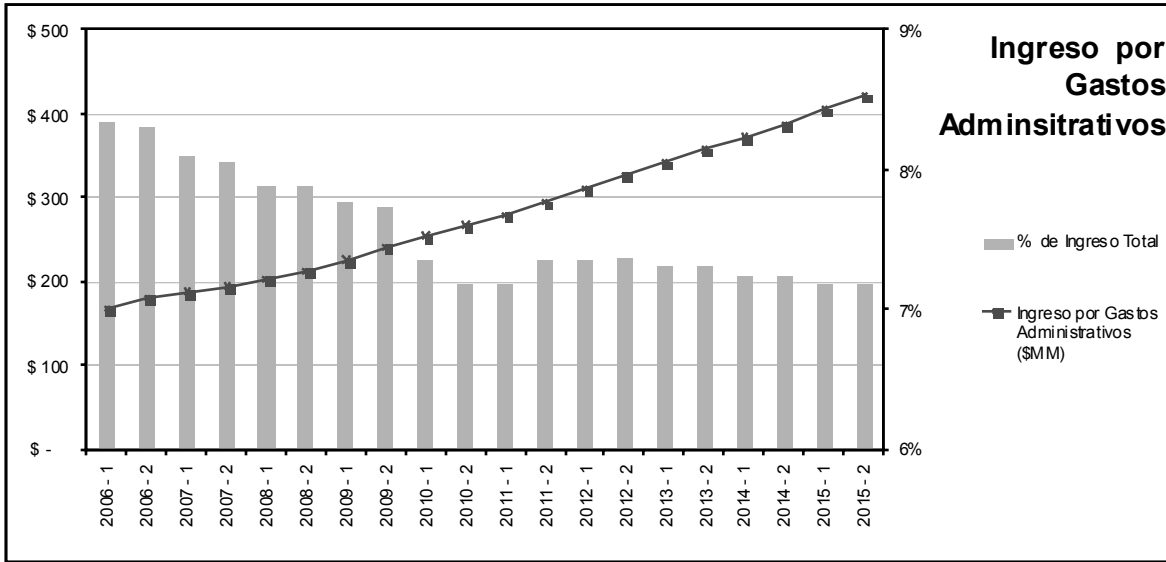


**ANEXO 4: Reporte de la simulación del cambio de p sum para  $G^8_2$  con escenario de Concentraci3n Lenta (40%)**

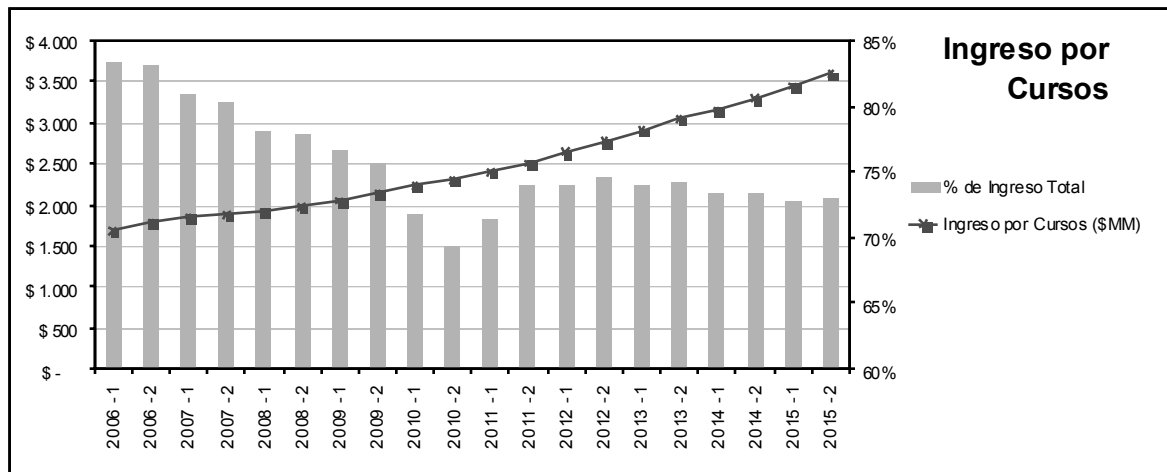
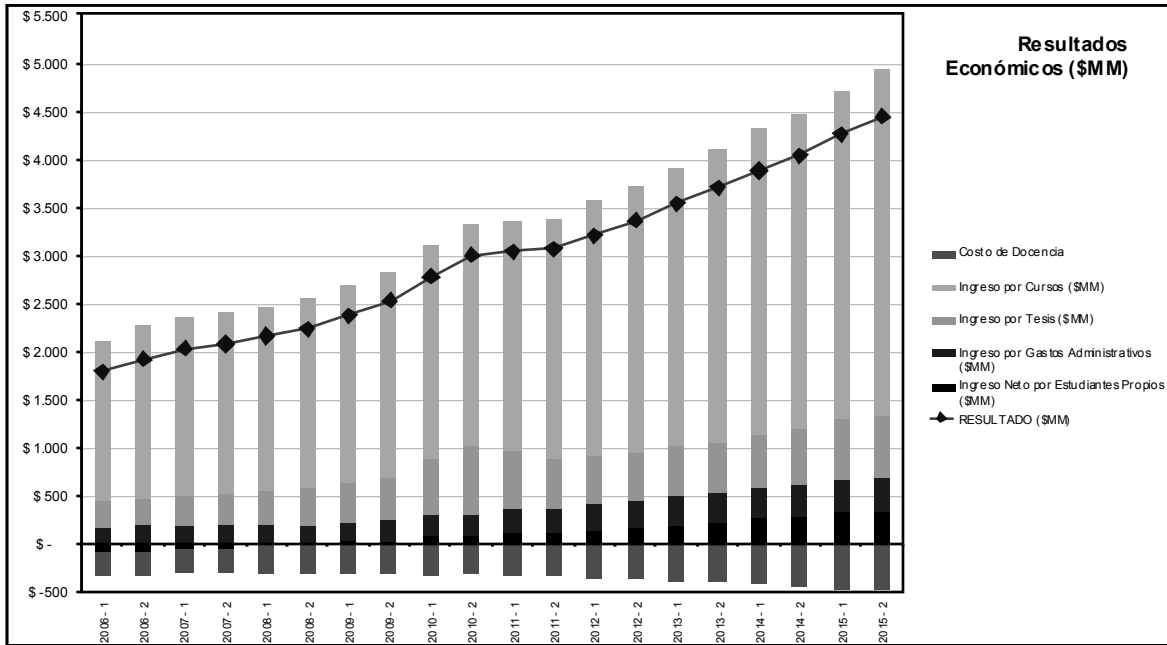


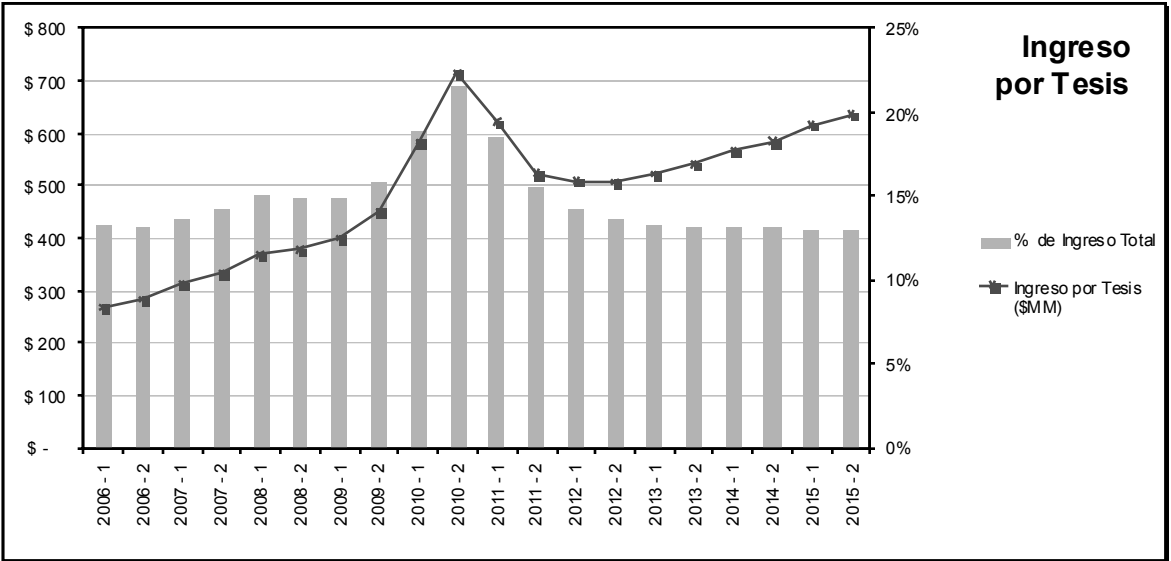
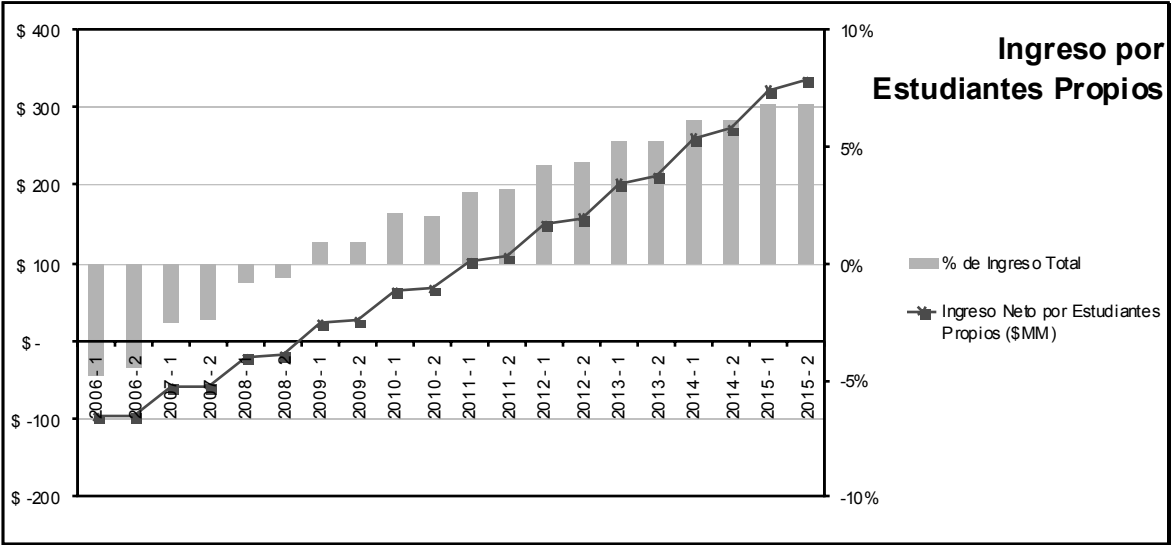


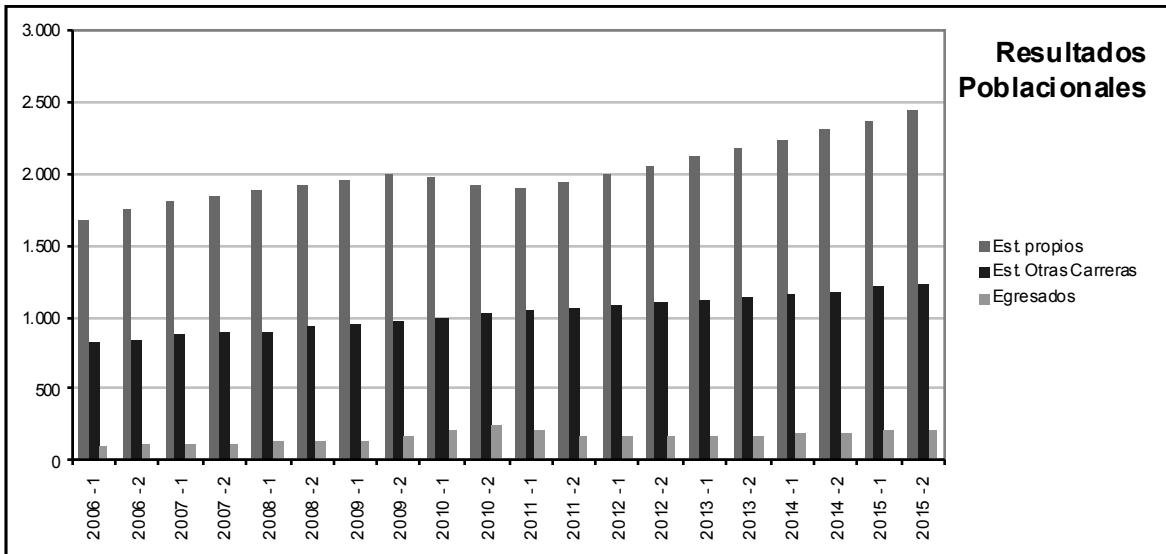
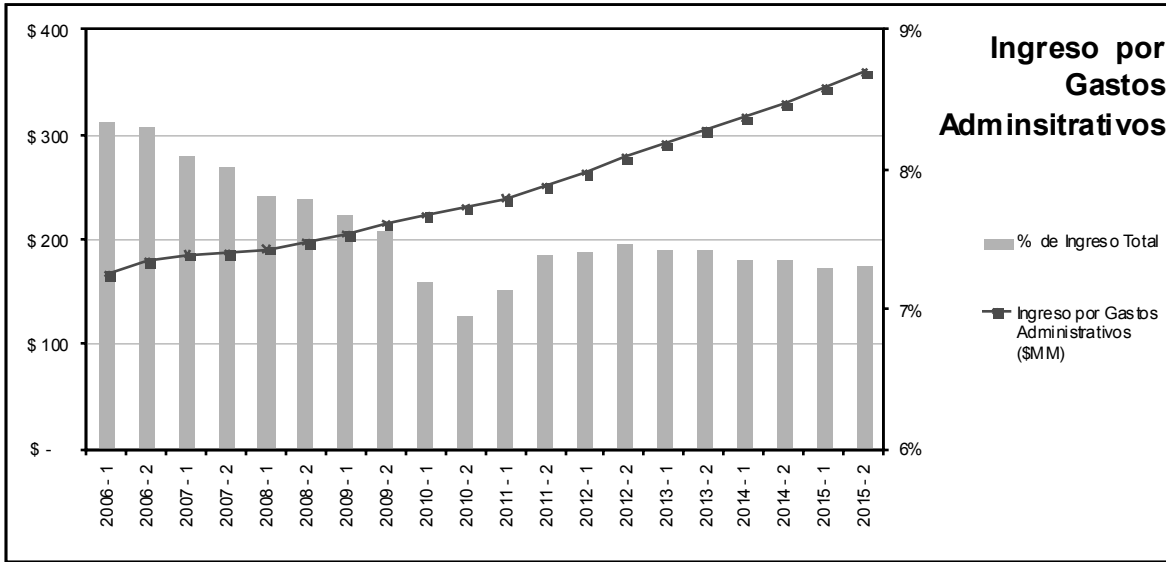




## ANEXO 5: Reporte de la simulación del cambio de p sum para G<sup>8</sup><sub>2</sub> con escenario de Ritmo Básico







## ANEXO 6: Reporte de la simulación del cambio de p nsium para G<sup>8</sup><sub>2</sub> con escenario de Ritmo Básico

