

Modelo de crecimiento del Departamento de Ingeniería Industrial de la  
Universidad de los Andes 2007- 2017 con base en teoría de dinámica de sis-  
temas

Trabajo de tesis  
presentado al  
Departamento de Ingeniería industrial

por

**Adriana del Pilar Díaz Manrique**

Asesor: Jorge Andrés Mejía Delgadillo, Ph.D

Para optar al título de  
Maestría en Ingeniería: Área Industrial

Ingeniería Industrial  
Universidad de los Andes  
Agosto 2007

## **Agradecimientos**

*A Dios porqué gracias a él alcanzo una meta más en mi vida.*

*A mis padres, a mis hermanos y a mis tías, quienes diariamente luchan conmigo incondicionalmente.*

*A Victor, Henry, Charles, Iri, Diego y Andrés por su compañía y ayuda, por todos los buenos momentos y sobre todo por su amistad*

*Agradezco a todas las personas del departamento que me colaboraron con este trabajo y a mi asesor, pues sin su ayuda este trabajo no sería posible.*

## Tabla de Contenido

|   |    |
|---|----|
| Lista De Figuras .....  | 4  |
| 1. INTRODUCCION .....   | 6  |
| 1.1 Universidad De Los Andes.....   | 6  |
| 1.2 Departamento De Ingeniería Industrial.....  | 6  |
| 2 ANTECEDENTES.....   | 8  |
| 2.1 Gobernación corporativa .....   | 8  |
| 2.2 Calidad de la educación .....   | 9  |
| 2.3 Practicas de enseñanza.....   | 9  |
| 2.4 Demanda en matrículas .....   | 9  |
| 2.5 Planeación, gestión de recursos y presupuesto .....                               | 9  |
| 2.6 Simulador para la planeación de un departamento california state university ..... | 10 |
| 3 METODOLOGÍA .....   | 12 |
| 4 DESCRIPCIÓN DEL MODELO .....  | 13 |
| 4.1 Diagrama Causal .....   | 13 |
| 4.2 Estudiantes De Pregrado.....  | 13 |
| 4.3 Estudiantes De Maestría .....   | 14 |
| 4.4 Profesores .....  | 15 |
| 4.5 Contratación .....  | 15 |
| 4.6 Ingresos Y Gastos.....  | 16 |
| 4.7 Interfaz Con El Usuario.....  | 18 |
| 5 VALIDACIÓN DEL MODELO .....   | 19 |
| 6 POLITICAS Y ESCENARIOS .....  | 21 |
| 6.1 Número De Matriculados Estable .....  | 21 |
| 6.2 Crecimiento Del Número De Matriculados .....                                      | 28 |
| 6.3 Decrecimiento Número De Matriculados .....  | 30 |
| 7 CONCLUSIONES.....   | 33 |
| 8 BIBLIOGRAFIA .....  | 35 |
| 9 ANEXOS.....   | 36 |
| 9.1 Escenario Matriculados Estable.....   | 36 |
| 9.2 Escenario Crecimiento Continuo De Matriculados. ....                              | 37 |
| 9.3 Escenario Decrecimiento De Matriculados.....                                      | 38 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Esquema del modelo de simulación de Herrmann y DeOlden.....   | 11 |
| Figura 2. Diagrama Causal Modelo de Crecimiento Departamento Ingeniería Industrial. ....                                | 12 |
| Figura 3. Sección estudiantes de pregrado en Ithink. ....   | 14 |
| Figura 4. Sección estudiantes de maestría en Ithink.....  | 14 |
| Figura 5. Sección profesores de planta del departamento en Ithink.....  | 15 |
| Figura 6. Sección contratación profesores de planta del departamento en Ithink.....                                     | 16 |
| Figura 7. Interfaz con el usuario. Entrada de parámetros.....   | 19 |
| Figura 8. Gráficas comparación datos históricos vs datos simulados con el modelo.....                                   | 20 |
| Figura 9. Gráficas de estudiantes y pe para escenario crecimiento estable.....  | 22 |
| Figura 10. Gráfica de total de profesores para escenario matriculados constante.....                                    | 22 |
| Figura 11. Gráfica de PE por área primer escenario.....   | 23 |
| Figura 12. PE Departamento con estrategias y sin estrategias.....   | 24 |
| Figura 13. Gráfica Ingresos y Costos con y sin estrategias. ....  | 24 |
| Figura 14. Gráfica Márgenes Operacionales con y sin estrategia.....   | 25 |
| Figura 15. Gráfica Diferencias PE por área con y sin estrategia. ....   | 25 |
| Figura 16. Margen operacional de análisis de sensibilidad.....  | 26 |
| Figura 17. Ingresos y costos con fracción cátedra =1 .....  | 27 |
| Figura 18. Comparación Ingresos totales y costos nómina con diferentes fracciones de atención por cátedra .....         | 27 |
| Figura 19. Gráfico de PE total del departamento escenario crecimiento continuo.....                                     | 29 |
| Figura 20. Ingresos por profesores asociados para cada valor de PE de Asistentes.....                                   | 30 |
| Figura 21. Comparación ingresos totales para los diferentes escenarios.....   | 31 |
| Figura 22. Margen operacional para cada escenario con diferentes fracciones de atención por profesores de cátedra ..... | 32 |

Figura 23. Total profesores de planta para cada escenario .....32

# 1. INTRODUCCION

## *1.1 Universidad de los Andes*

La educación superior en Colombia se enfrenta cada vez más a nuevos y mayores desafíos en un mundo cambiante, globalizado, en constante desarrollo tecnológico y con grandes desafíos en los campos social, económico y ambiental. Con el fin de cumplir exitosamente con estos y nuevos retos, las universidades deben adaptarse y diseñar sus sistemas de educación, claro está, definiendo todo bajo el marco de unos objetivos claros a largo y corto plazo.

La Universidad de la Andes, fundamentados en su misión y con el fin de alinear intereses y recursos hacia objetivos compartidos por la comunidad, publica a partir del año 2001 su Programa de Desarrollo Integral (PDI) con vigencia de cinco años (2001 – 2005 y 2006-2010). En este programa se definen los objetivos institucionales, los cuales se deben alimentar a través de los planes de desarrollo de las facultades, departamentos y unidades administrativas de la universidad.

## *1.2 Departamento de Ingeniería Industrial*

En el marco del PDI y del Plan de Renovación de la Facultad de Ingeniería, el Departamento de Ingeniería Industrial definió su Plan de Desarrollo del Departamento (PDD) para los próximos cinco años 2006 – 2010 con el que busca contribuir académicamente y financieramente al fortalecimiento y solidez del departamento, la facultad y la Universidad.

En el PDD se definieron cinco desafíos principales hacia los que se enfocan los trabajos del departamento en estos cinco años. Uno de estos desafíos y el de interés para el desarrollo de este trabajo es el crecimiento del departamento. Este desafío tiene como objetivo “garantizar que el crecimiento del Departamento de Ingeniería Industrial sea planeado, moderado y con calidad. Este crecimiento se define especialmente en términos de programas, número de estudiantes que pertenecen a cada uno de estos y el número de profesores necesarios”. (Departamento de Ingeniería Industrial, 2005, p. 1)

Por lo anterior se identificó la necesidad de diseñar una herramienta de planeación que permitiera definir políticas claras para la determinación de los recursos del Departamento, teniendo en cuenta alianzas internas y externas, políticas de crecimiento existentes y los cambios originados por la reforma curricular.

Con base en lo anterior, el crecimiento del departamento no solo depende de las entidades internas (estudiantes, profesores, programas del departamento) sino también de las externas (estudiantes y programas de otros departamentos, alianzas, universidad(es), economía país, etc.) y la relación entre éstas. Es por esto que el Departamento puede ser representado como un sistema que como lo define Javier Aracil, es "una unidad cuyos elementos interaccionan juntos, ya que continuamente se afectan unos a otros, de modo que operan hacia una meta común. Es algo que se percibe como una identidad que lo distingue de lo que la rodea, y que es capaz de mantener esa identidad a lo largo del tiempo y bajo entornos cambiantes." (Isdefe, 1995, Pág. 9).

Al analizar un sistema se identifican qué variables lo conforman y como éstas se relacionan e

interactúan. Es importante tener en cuenta que las variables que hacen parte del departamento no son estáticas, sino que por el contrario varían en el tiempo es decir, es un sistema dinámico.

Teniendo en cuenta estos aspectos se elaboró como herramienta de planeación un modelo de crecimiento del departamento con base en teoría de dinámica de sistemas (DS), el cual permite observar el comportamiento de variables importantes ante no solo los cambios originados por la reforma curricular sino ante cambios en las políticas definidas por el departamento. El modelo desarrollado permite evaluar este comportamiento en un horizonte de 13 años (2007-2020) ya que en un sistema dinámico las consecuencias de los cambios en las variables, pueden no ser inmediatas sino que surgen después de algún tiempo. Como Forrester (1994, citado en Kennedy, 2000) afirma:

“Se percibe un problema, se propone una acción, se espera un resultado pero éste no siempre ocurre. Síntoma, acción y solución no están aislados en una relación causa efecto, sino que se encuentran en una red de estructuras inter relacionadas.”\*

---

\* Traducción por el autor.

## 2 ANTECEDENTES

Mundialmente las universidades buscan continuamente cumplir con las necesidades del país, los empleados y los estudiantes así como prever y responder a nuevos problemas. Por tanto el tomar decisiones acertadas y en el momento indicado es de vital importancia para los directores de las instituciones. Los modelos basados en estadística lineal y hojas de calculo han sido muy utilizados pero como sostienen Kennedy y Clare (1999) estos modelos estáticos son inadecuados para este dominio ya que las universidades son dinámicas, complejas y sistemas no lineales; de manera que como sistema se caracterizan por las interacciones entre ciclos cerrados cuya combinación define la estructura del sistema y su comportamiento en el tiempo. (Kennedy, 2000).

De esta manera DS es una técnica apropiada para modelar la dirección de las universidades. Este campo ha obtenido gran interés de los investigadores encontrando por ejemplo un seminario internacional llamado ‘Using System Dynamics as a Tool for Decision Making in Higher Education Management’ en Junio de 1999 en Londres, llevado a cabo en la Royal Society, London y South Bank University, bajo los auspicios de la “Society for Research into Higher Education”.

Además se han realizado varios trabajos atacando distintos problemas enmarcados en la dirección de la educación. Kennedy (2000) realizo una taxonomía de todos los trabajos realizados en el campo de la dirección de las universidades con base en DS. En esta taxonomía dividió los trabajos en seis categorías: Gobierno Corporativo (Corporate Governance), Planeación, gestión de recursos y presupuesto; Calidad de la Educación, practicas de enseñanza, micromundos y demanda de matrículas.

A continuación se realiza una síntesis de los resultados encontrados en los trabajos mencionados por Kennedy y se presenta un modelo de simulación para la planeación de un departamento de California State University:

### 2.1 GOBERNACIÓN CORPORATIVA

**Saeed (1996)** investigó la dinámica en sistemas colegiales (“collegial systems” Ej.: la Universidad) en países en vía de desarrollo. Afirmó que en estos sistemas es esencial legitimizar el poder para evitar la burocracia y por tanto la mala asignación de los recursos, además de permitir la autonomía profesional y la innovación; aunque la gestión estará bajo la supervisión externa o se establecen normas o estatutos.

**Kennedy and Clare (1999)** estudian la discusión entre los gerencialistas (managerialists) que respaldan la centralización y los “collegiumists” para quienes la universidad es una comunidad. Clare (1995) divide los interesados (stakeholders) de una universidad en cuatro grupos: *los estudiantes*, que a su vez son su producto y esperan se les provea de cursos de estudio, *los empleados* de los graduados quienes necesitan profesionales calificados, además el éxito en esta área puede traer otros beneficios como inversión de los empleadores en investigación, desarrollo, consultorías y cursos cortos. *El gobierno*, quienes proveen fondos a las universidades y finalmente *la comunidad* con quien las instituciones tienen obligaciones como facilitar el acceso a la educación, contribuir a la comunidad académica, posibilitar las alianzas internacionales para llevar a cabo estudios, proyectos e investigaciones y por último generar bienestar a la comunidad en general.



## 2.2 CALIDAD DE LA EDUCACIÓN

**Kennedy (1998a, 1998b)** como parte de un proyecto a largo plazo hizo un primer modelo para estudiar temas de la administración de la calidad en uno de los programas de la universidad South Bank. Como resultados claves están la identificación de los sectores que deben considerarse en un modelo futuro de administración de la calidad, y la determinación de los indicadores que se deben utilizar para futuras investigaciones con DS.

## 2.3 PRACTICAS DE ENSEÑANZA

**Saeed (1990, 1993, 1997)** realizó varias investigaciones del rol de la DS en el desarrollo de las prácticas de enseñanza en disciplinas como ciencias sociales, desarrollo económico y educación neo liberal. Encontró que el aprendizaje experimental se utiliza muy poco en la enseñanza de las ciencias sociales y demuestra que la DS es apropiada para experimentar con las relaciones. En la investigación de la educación neoliberal examinó la manera de implementar el modelo de aprendizaje experimental de Kolb utilizando DS como una tecnología.

## 2.4 DEMANDA EN MATRÍCULAS

**Jordan (1992), Frances(2000), Frances et al (1994).** Construyeron modelos con DS para mejorar la planeación y el presupuesto de las universidades. Desarrollaron un modelo para el consejo rector de la universidad de Arizona para estudiar la demanda de estudiantes inscritos en un periodo de 20 años. Con la universidad de Houston además del modelo, investigaron estrategias para generar más demanda de estudiantes pertenecientes a las poblaciones hispánicas de Houston y a los afro americanos.

Como conclusiones encontraron que aunque puede ser difícil alterar el curso de un sistema que tiene un patrón de crecimiento lento, la DS puede ayudar a identificar las áreas donde cambios en las políticas o en la dirección pueden ser más efectivos para alcanzar los resultados deseados, además frecuentemente se descubren patrones que van en contra de la intuición. Esto se debe a sub sistemas interactuando en el tiempo generando resultados que van más allá de la capacidad de proyección de los observadores. También definieron como otro beneficio del uso de los modelos, los análisis de sensibilidad que permiten probar los resultados de tomar una u otra decisión, ya que un error en el sistema real podría traer consecuencias irreversibles.

## 2.5 PLANEACIÓN, GESTIÓN DE RECURSOS Y PRESUPUESTO

**Peter Galbraith (1982, 1989, 1998<sup>a</sup>, 1998<sup>b</sup>)** ha escrito varios artículos en este campo. Junto con Carss (1989) investigaron el impacto de diferentes políticas administrativas en el desempeño de las universidades enfatizando en las demoras entre los cambios de políticas y los resultados, a partir de los cuales plantearon.

A partir de un trabajo en la universidad de Queensland Australia, Galbraith (1998<sup>a</sup>, 1998<sup>b</sup>) identificó varios ciclos de retroalimentación negativos y positivos. Uno de los positivos es el proceso en el que el aumento en el ingreso de estudiantes, provee de más recursos con lo que se pueden incrementar los profesores, que a su vez permite la entrada de más estudiantes y por tanto recursos adicionales y así sucesivamente. Estos resultados, sin embargo, no son inmediatos pues un ciclo completo puede tomar varios años. Algunas de las conclusiones de su investigación son:

i) El comportamiento de una universidad como el de cualquier sistema complejo es determinado principalmente por la interacción de los ciclos según su estructura, y éste no se predice fácilmente por que las demoras en los ciclos no son lineales.

ii) Aunque los planes estratégicos son útiles para varios propósitos y su impacto en la práctica dentro de la universidad es inmediato, en la imagen de ésta no, ya que la percepción de las personas frente a la calidad cambia lentamente con el tiempo.

iii) Al definir planes separados para facultades, departamentos y carreras, la búsqueda de los objetivos individuales puede minar el logro de los objetivos institucionales.

iii) La administración institucional se está quedando rezagada frente al mundo, ya que hasta los intereses corporativos están cambiando para alcanzar metas más allá de su propio interés, considerando temas como el calentamiento global, la reforestación y la protección de especies en vía de extinción; mientras que la administración institucional se encuentra encerrada en una competencia corporativa.

Aunque Galbraith demostró la utilidad de DS como técnica para la planeación de las universidades destacando su fortaleza explicativa, no trabajó con los que toman las decisiones en la universidad de Queensland. Esta es una limitación de su investigación porque aunque sus hallazgos son interesantes, han tenido poco impacto en la planeación de la universidad. Es importante trabajar con los stakeholders para identificar los problemas relevantes y para verificar y validar el modelo.

**Barlas and Diker (1996)** en un formato de micromundos, construyeron un modelo de simulación dinámica interactiva, que examina varios problemas de la universidad como el crecimiento de los estudiantes, proporción de las facultades, mala calidad de la educación y baja productividad de la investigación.

Concluyeron que la orientación hacia los estudios de postgrado versus los de pregrado tiene efectos positivos considerables en los resultados de la investigación. Además observó cómo al incrementar las matrículas manteniendo clases no numerosas se necesitarán más secciones, aumentando la carga de los profesores por facultad, dificultando mantener el cuerpo profesoral (incremento de renunciaciones) y reduciendo los posibles usos del fondo común de la facultad.

**Kennedy and Clare (1999)** en una breve investigación examinan los métodos utilizados en la planeación y los problemas que se presentan. Argumentan que el problema con la mayoría de modelos entrada/salida es su visión estática y lineal, ignorando las interacciones dinámicas entre los factores de entrada y salida, y la naturaleza de la transformación que se lleva a cabo, es por esto que son poco usados cuando se considera la mejora del proceso.

#### ***Bell, Cooper, Kennedy and Warwick (2000)***

Combinan una metodología suave (Holon) con una técnica dura (DS), donde la primera utiliza preguntas de tipo quien, dónde y cuándo en el estado actual  $S_0$  y genera una visión de un estado deseado  $S_1$ ; además de producir un programa de medición donde las medidas pueden usarse como patrones de comportamiento dinámico. La capacidad explicativa de DS aborda las preguntas de tipo cómo y por qué. El principio esencial de su “planeación por Holon y estructura de costos”, es identificar un futuro común y diseñar la manera de alcanzarlo dentro de las restricciones de costos.

## ***2.6 SIMULADOR PARA LA PLANEACIÓN DE UN DEPARTAMENTO CALIFORNIA STATE UNIVERSITY***

En este trabajo Herrmann y DeOlden desarrollan un modelo de simulación para la planeación de un departamento de California State University la cual había sufrido un cambio en su sistema de financiación y como consecuencia el tiempo sabático y el de investigación debían ser soportados por el departamento y no por la universidad. El modelo permite a los directores del departa-

mento o de la facultad, probar distintas alternativas para dos variables: tamaño del curso y carga profesoral.

Los usuarios del modelo tienen control sobre esas dos variables, las cuales afectan otras variables importantes para el departamento como matrículas de estudiantes, número de profesores de tiempo completo, etc. En la construcción de la simulación tienen en cuenta las restricciones en la contratación y despido a lo largo de la carrera profesoral. También consideran que las matrículas son influenciadas por la reputación de la universidad y que el éxito de los estudiantes se debe a los puntajes de Scholastic Aptitude Test (SAT).

Relacionan el tamaño de la clase con el agotamiento tanto de estudiantes como de la facultad, asocian la carga de los profesores a políticas de la facultad, calidad de educación y a la demanda de profesores de medio tiempo. Además el presupuesto para el departamento se determina por la tendencia de las matrículas.

El modelo tiene cuatro subsistemas o sectores relacionados y dos bloques de control. El esquema es el siguiente:

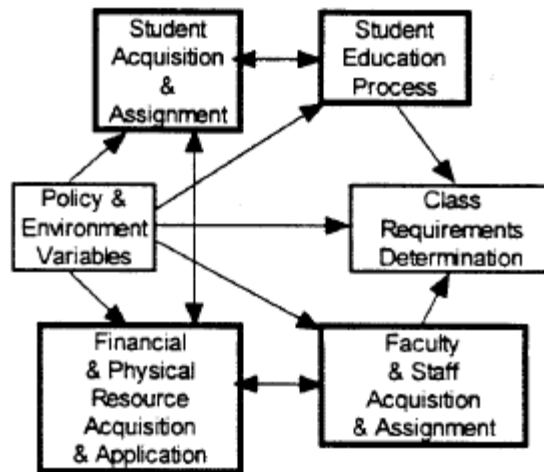


Figura 1. Esquema del modelo de simulación de Herrmann y DeOlden.

Las decisiones sobre políticas y requerimientos de las clases (bloques de control) influyen y controlan los cuatro sectores que interactúan y se retroalimentan entre sí y no son tratados por separado.

Finalmente, con este simulador los autores muestran que una aproximación intuitiva y una simple hoja de cálculo no son técnicas adecuadas para el análisis de decisiones del departamento, puesto que no tienen en cuenta los efectos interactivos complejos. Así mismo, con este estudio los autores muestran la importancia de tener en cuenta la influencia potencial de las variables de decisión.

En síntesis, las universidades como sistemas complejos, no deben ser modeladas con técnicas lineales o modelos tipo causa efecto. Por esto, la dinámica de sistemas es una técnica apropiada para la modelación de múltiples aspectos de las universidades.

De las investigaciones realizadas en el área de planeación, encontramos que aunque se han hecho varios trabajos modelando las relaciones entre estudiantes, profesores, recursos y calidad,

estos han sido a un nivel de universidad y no unidades que la integran (facultad, departamentos, etc.).

El trabajo que más se aproxima a nuestro modelo, es el simulador desarrollado para la California State University. En este modelo acorde con el valor de dos variables (tamaño de clase y fracción atendida por profesores de planta) encontraban el comportamiento de variables importantes para el departamento como calidad, matriculados, recursos y conformidad de profesores y estudiantes; ya que su objetivo era encontrar cómo financiar la investigación y las vacaciones de sus profesores.

En nuestro modelo también se tienen variables que define el usuario y que corresponden a políticas del departamento. Las variables de salida están relacionadas con estudiantes, profesores y el dinero que estos generan, pero no se incluyen variables relacionadas con calidad e investigación, lo cual puede plantearse para una extensión de este trabajo.

### 3 METODOLOGÍA

En primer lugar se desarrolló un diagrama causal (Figura 2) con el fin de representar la situación actual del departamento, identificando las variables que intervienen en su crecimiento y las relaciones entre éstas. Este modelo fue validado con personal administrativo del departamento, quienes conocen muy bien su funcionamiento.

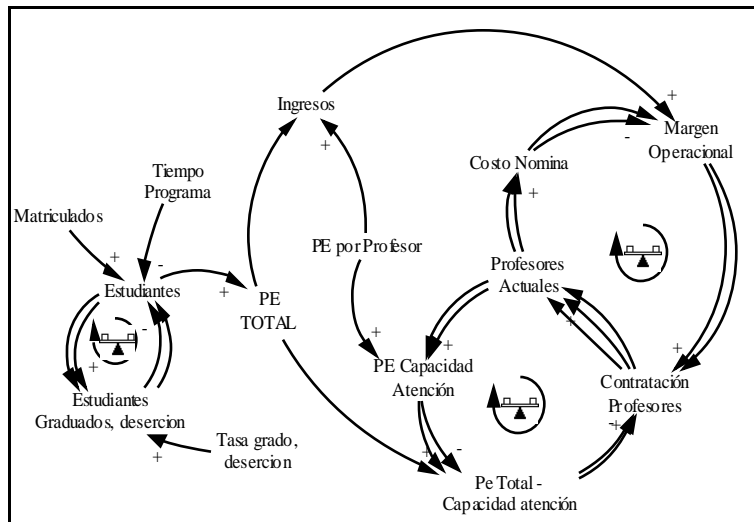


Figura 2. Diagrama Causal Modelo de Crecimiento Departamento Ingeniería Industrial.

Una vez validado el diagrama se construyó el modelo del departamento en itthink, con base en información histórica (2000-2006) e incluyendo los cambios correspondientes al nuevo plan de estudios. A medida que se desarrolló el modelo, fue evaluado con personas del departamento revisando las variables y relaciones planteadas, así como los supuestos.

Terminado el modelo, se corrió, se compararon sus resultados con los datos históricos del departamento (2000 -2006) para comprobar que reprodujera su comportamiento y se corrigieron los errores.

Por último, se definieron escenarios y las políticas a evaluar, se hicieron las simulaciones para un período de 17 años (2000-2016) y se compararon los resultados con los diferentes escenarios.

## 4 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

### 4.1 *Diagrama causal*

En este diagrama se representan los elementos principales que integran el modelo de acuerdo con el departamento y su funcionamiento (Ver Figura 2). Para la modelación se plantean como variables exógenas el número de estudiantes matriculados en los diferentes programas, el tiempo del programa, las tasas de salida de los estudiantes y los puestos estudiante por profesor.

A partir de esto se puede identificar que el aumento en el número de matriculados incrementa los PE del departamento necesitando una mayor capacidad de atención con la planta profesoral, la cual si no es suficiente para cubrir los PE necesitará de la contratación de nuevos profesores hasta lograr atenderlos todos. Con las contrataciones la planta profesoral crece lo cual trae también un mayor costo de nómina disminuyendo el margen operacional del departamento. De esta manera aunque el aumento de matriculados incrementa los ingresos, el margen operacional no crece de la misma manera ya que está afectado negativamente por el costo de la nómina, el cual también se incrementa al necesitar más profesores para la atención de los nuevos PE.

Otro objetivo de la modelación es observar los cambios en estudiantes y PE consecuencia de la disminución del tiempo del programa de pregrado. Acorde con el diagrama si este tiempo es menor y se mantienen el número de matriculados, el número de estudiantes en total se reduce al igual que los PE, los ingresos y los profesores requeridos, debilitándose el crecimiento del departamento. Para evitarlo se deben implementar diferentes políticas, las cuales pueden ser simuladas con el modelo analizando sus efectos en el crecimiento del departamento.

No se tienen en cuenta restricciones de espacio para profesores y estudiantes.

El modelo en Ithink tiene seis sectores principales:

### 4.2 *Estudiantes de pregrado*

En esta parte se modelan para cada semestre los estudiantes de pregrado de ingeniería industrial para pensum antiguo y nuevo y los PE correspondientes tanto en cursos de pregrado como en cursos de maestría. El cálculo de los PE por semestre para el currículo antiguo se basó en datos históricos (2000 – 2006) y a partir de estos y teniendo en cuenta los cambios del nuevo plan de estudios, se formularon los PE para cada semestre de los estudiantes con nuevo pensum.

Los datos históricos para cada semestre de tasa porcentual de deserción, transferencias, grados y flujos al siguiente semestre no presentan variaciones significativas, por esto se utilizó su media en la modelación. Para el nuevo pensum algunas de estas tasas se trasladaron, pues se espera un comportamiento similar pero en un menor tiempo.

También se modelan los estudiantes de otros departamentos que hacen doble programa con industrial o que simplemente ven cursos del departamento. Para esto último se tiene en cuenta la nueva electiva de todos los programas de ingeniería, la cual debe pertenecer a una ingeniería diferente, y por la cual se espera que aumente el número de estudiantes de otros departamentos que ven cursos en industrial. La estructura en Ithink es la siguiente:

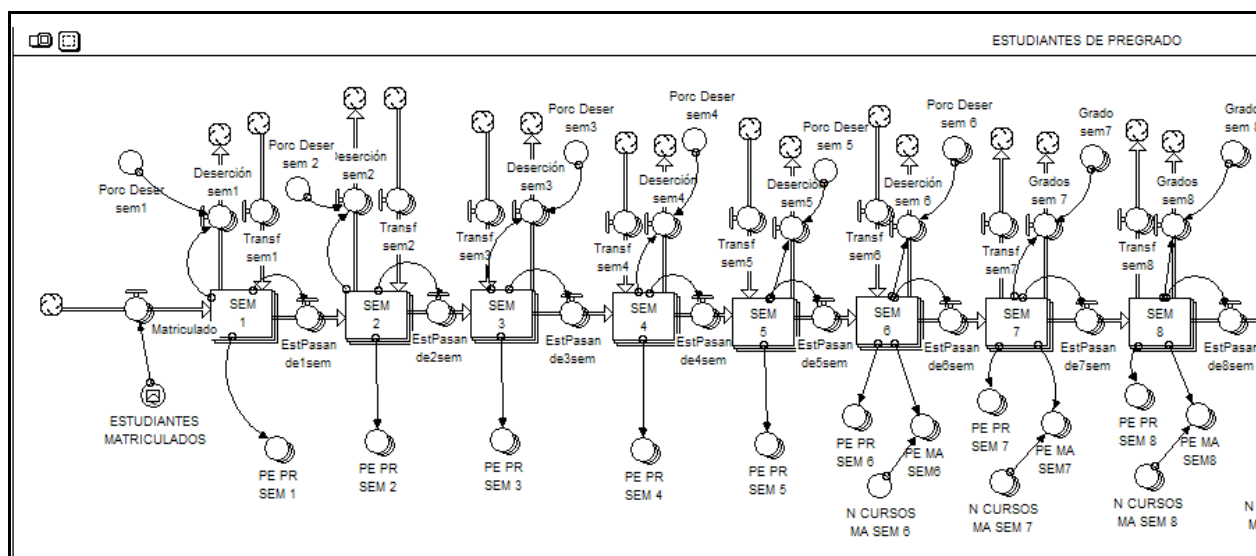


Figura 3. Sección estudiantes de pregrado en Ithink.

Como se observa en la figura para cada semestre se calculan los PE de cursos en el departamento de pregrado y de maestría y con estos PE por semestre se determinan los PE que corresponden a cada una de las áreas en las que se dividen los diferentes cursos: General, investigación de operaciones, producción, gestión de organizaciones, finanzas, investigación de operaciones y producción, y petróleos. Así mismo para los estudiantes de otros departamentos y de doble programa, se hallan los PE que corresponden a cursos en el departamento de pregrado y de maestría y estos también se dividen por áreas.

#### 4.3 Estudiantes de maestría:

Esta sección comprende los estudiantes del departamento en el programa de maestría área industrial, incluyendo los estudiantes coterminal y de la nueva línea de investigación en refinación y producción de petróleo. A partir de estos datos se calculan los PE en cursos de otros departamentos y del departamento, y estos últimos se dividen por área. Se debe aclarar que conforme a lo acordado entre el departamento y Ecopetrol, los últimos estudiantes del programa de maestría en refinación y producción de petróleo ingresarían en el segundo semestre del 2013, aunque el departamento podría ofrecer el programa a otras empresas para darle continuidad.

También se incluyen los estudiantes de otras maestrías que ven cursos del departamento y sus PE totales y por área del curso. La estructura es la siguiente:

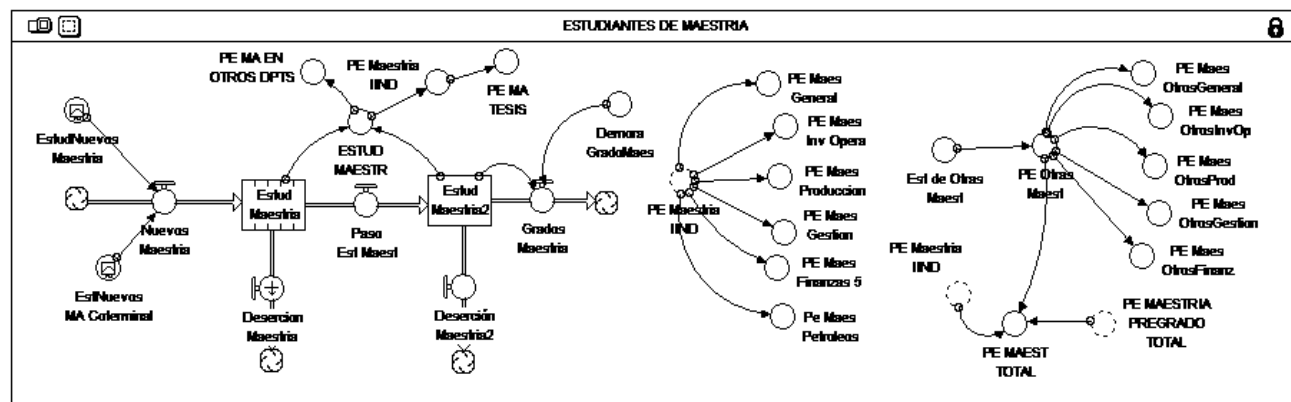


Figura 4. Sección estudiantes de maestría en Ithink.



pregrado; además se incluyeron otros datos de cursos y estudiantes de maestría que no contemplaban las carteleras. El MDI empezó el primer semestre del 2004, por esto se cuenta con la información histórica de los siete semestres desde el 200410 hasta el 200710.

Una vez se determinan los PE o CE que faltan por cubrirse se estima el número de profesores a contratar. Es importante aclarar que todos los tipos de profesores no dictan cursos de la cualquier categoría (Ej. los instructores no dictan cursos de maestría o electivas de pregrado) y los únicos tipos de profesores de planta a contratar en el modelo son instructores y asistentes.

Para la contratación se dividen los cursos del departamento en 4 niveles, el 1 nivel abarca los cursos introductorias, el 2 nivel los cursos obligatorios, el 3 nivel las electivas y el 4 nivel los cursos de maestría; y se calculan así los PE y CE de cada nivel. Para cada nivel según los datos históricos se define la proporción atendida por cada tipo de profesor, se hallan los PE y CE correspondientes y se calculan las diferencias para cada categoría profesoral entre los atendidos con los profesores actuales y los que deberían atenderse.

Para definir qué tipo de profesor contratar se tiene en cuenta cuál de las categorías (instructor o asistente) tiene diferencia negativa, se dividen los PE o CE del departamento que faltan por atención por los PE o CE de los que se puede hacer cargo un profesor, y se halla el número de profesores a contratar. Si tanto instructores como asistentes tienen faltantes por atención se contrata proporcionalmente a los faltantes de cada uno.

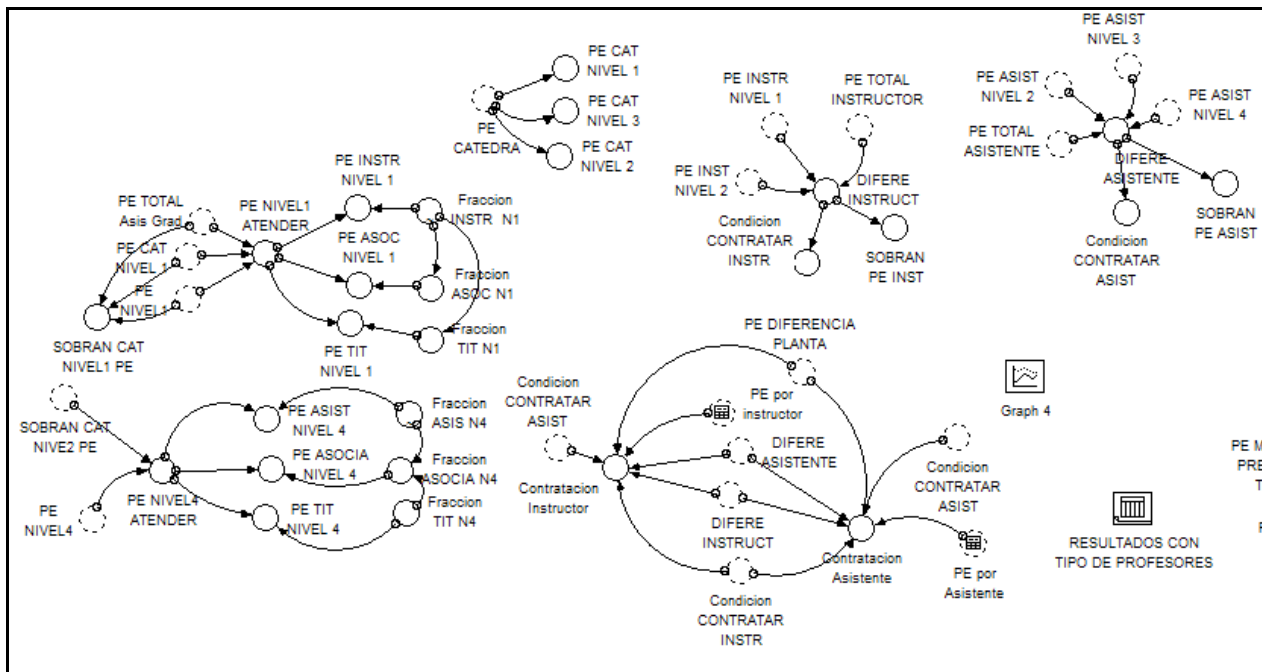


Figura 6. Sección contratación profesores de planta del departamento en Ithink

#### 4.6 Ingresos y Gastos

En esta sección se simulaban los ingresos del departamento por estudiantes de pregrado y de maestría, y los gastos únicamente por nómina de profesores. Estos ingresos y gastos se calculan para los dos criterios definidos, PE y CE.



Los ingresos y costos por especializaciones no se incluyen en el modelo ya que no se contratan nuevos profesores de planta para estos cursos, y a aquellos que se hacen cargo de alguno se les pagan bonificaciones. Estos ingresos y gastos se calculan para los dos criterios definidos, PE y CE.

Para el cálculo de los ingresos por pregrado se hizo una aproximación al Modelo de Distribución de Ingresos (MDI) que utiliza la universidad pero se tuvo en cuenta solamente la parte de ingresos por cursos y tesis.

La expresión para los ingresos por curso es la siguiente:

$$\text{Ingresos cursos} = \text{Factor Eficiencia} * \text{Salario Hora}_{pi} * 15 * 3 \quad (1)$$

$$\text{Factor de eficiencia} = \frac{\text{Puestos Estudiante}}{\text{Tamaño de Sección Estándar}} = \frac{PE_i}{TS_{std}} = \frac{PE_i}{30} \quad (2)$$

Donde el Salario Hora<sub>pi</sub> es el costo promedio por hora de un profesor tipo i, PE<sub>i</sub> es el total de PE a cargo de los profesores tipo i y 30 se definió como el tamaño estándar de sección. No se tuvieron en cuenta los rangos del factor de eficiencia definidos por el MDI.

Los ingresos por tesis se calcularon con la expresión:

$$\text{Ing.Tesis} = \text{Ing.Estu grad}_i * \text{Num Grad}_{i-1} \quad (3)$$

El primer factor corresponde a los ingresos que recibe el departamento por cada estudiante graduado en el semestre i y el segundo es el número de graduados en el semestre i-1. Con los datos históricos de los salarios del profesor por hora y los ingresos por estudiante graduado se halló la tendencia para proyectarlos en el tiempo.

Para calcular los ingresos por maestría, se hallan los PE de estudiantes de la maestría, correspondientes a cursos del departamento y a otros departamentos. Así mismo, para cada semestre se hallan los PE de estudiantes de otras maestrías que ven cursos en el departamento. Para el cálculo de los ingresos se definieron dos expresiones ya que antes del 200620 los departamentos no recibían dinero por los cursos que tomaban estudiantes de maestría de otros departamentos, pero a partir de ese semestre se definió repartir el dinero del curso, entregando el 75% para el departamento que dicta el curso y 25% para el departamento de origen del estudiante. Las expresiones son las siguientes:

Del 200010 al 200610:

$$\text{Ingresos Maestría} = \text{Ing.Curso MA}_i * (\text{PEIND}_{IIND} + \text{PEIND}_{OTROS}) \quad (4)$$

A partir del 200620:

$$\text{Ingresos Maestría} = \text{Ing.Curso MA}_i * (\text{PEIND}_{IIND} + 0.25 * \text{PEIND}_{OTROS} + 0.75 * \text{PEOTROS}_{IIND}) \quad (5)$$

Donde PEIND<sub>IIND</sub> y PEIND<sub>OTROS</sub> son los PE de estudiantes de la maestría de industrial en el departamento (IIND) y en otros departamentos. De igual manera PEOTROS<sub>IIND</sub> son los PE de estudiantes de otras maestrías que ven cursos en el departamento de ingeniería industrial. Ing.Cursos MA<sub>i</sub> son los ingresos por curso de maestría en el semestre i, calculado a partir de la tendencia encontrada con los datos históricos.

Para el costo de nómina, se calculó el promedio del sueldo mensual de cada categoría de profesor para cada semestre y se halló la tendencia. Este valor promedio se multiplica por el número de profesores de cada categoría y por el número de meses que trabajan para el departamento en cada semestre: 6 para profesores de planta y 4 para profesores de cátedra.

Con el total de ingresos del departamento y el costo por nómina se calculó el margen operacional con la siguiente expresión:

$$\text{Margen Oper.} = \frac{\text{Ing.Totales} - \text{Costo Nómina}}{\text{Ing.Totales}} \quad (4)$$

#### 4.7 Interfaz con el usuario:

Esta parte permite que el usuario cambie ciertos parámetros del modelo que son variables importantes para la definición de políticas de crecimiento. También se presentan los resultados de las variables de decisión obtenidos con los parámetros dados.

Los parámetros que el usuario puede modificar son: estudiantes nuevos matriculados en programas de pregrado y maestría del departamento para cada semestre, estudiantes con doble programa, fracción de PE o CE atendidos por profesores de cátedra y los PE y CE que atiende cada categoría de profesores.

Una vez se corre el modelo con estos parámetros se obtiene como salida las gráficas de estudiantes para los programas del departamento y los PE y CE correspondientes. También se grafican el número de profesores de cada categoría, los ingresos por matrículas y los gastos por nómina según las dos medidas utilizadas: PE y CE. Otra de las salidas es la tabla con el número de instructores y de asistentes que se deben contratar en cada semestre dependiendo si se utilizó como criterio PE o CE del departamento.

The interface is divided into two main sections: **PARAMETROS ENTRADA DE ESTUDIANTES** and **PARAMETROS PROFESORES DEL DEPARTAMENTO**.

**PARAMETROS ENTRADA DE ESTUDIANTES:**

- NÚM MATRICULADOS EN PREGRADO:** ESTUDIANTES MA. (Line graph showing an upward trend)
- NÚMERO ESTUDIANTES NUEVOS MAESTRIA:** EstudNuevos Maes. (Line graph showing fluctuations)
- NÚMERO ESTUDIANTES DOBLE PROGRAMA:** ESTUD DOBLE PR. (Line graph showing an upward trend)

**PARAMETROS PROFESORES DEL DEPARTAMENTO:**

- FRACCIÓN PE O CE ATENDIDOS POR PROFESORES DE CÁTEDRA:** A slider control labeled "Fraccion Atencion Catedra" with a value of 0.2300.
- PE POR TIPO DE PROFESOR:**

| PE POR TIPO DE PROFESOR   |        |
|---------------------------|--------|
| PE por Asistente Graduado | 30.34  |
| PE por Doctoral           | 41.12  |
| PE por instructor         | 105.8  |
| PE por Asistente          | 121.14 |
| PE por Asociado           | 112.47 |
| PE por Titular            | 83.07  |
| PE por Catedra            | 44.2   |
- CE POR TIPO DE PROFESOR:**

| CE POR TIPO DE PROFESOR   |        |
|---------------------------|--------|
| CE por Asistente Graduado | 91.026 |
| CE por Doctoral           | 123.35 |
| CE por instructor         | 317    |
| CE por Asistente          | 369.42 |
| CE por Asociado           | 366.6  |
| CE por Titular            | 264.5  |
| CE por Catedra            | 132.76 |

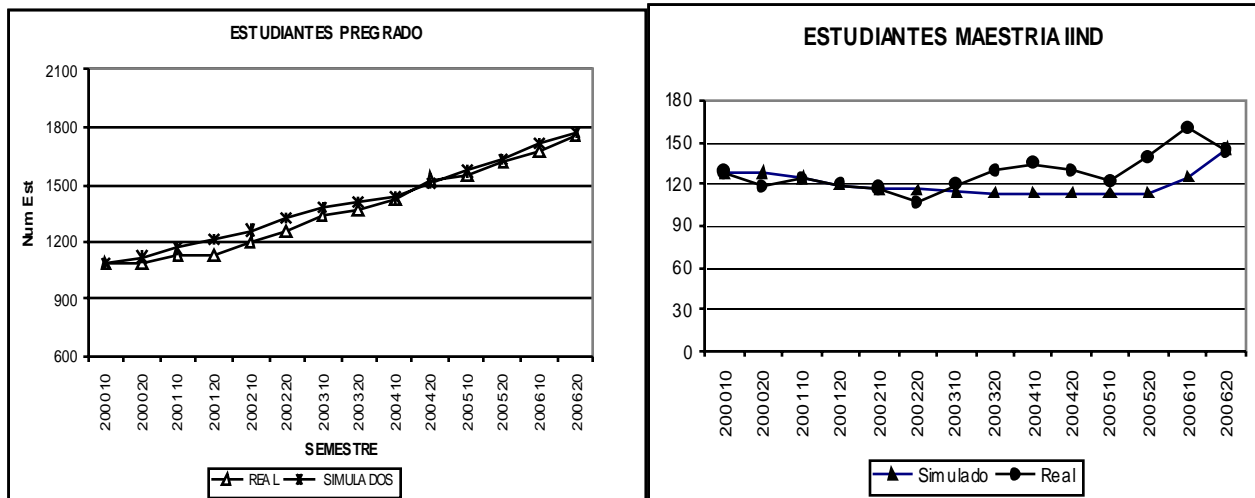
Figura 7. Interfaz con el usuario. Entrada de parámetros.

En la interfaz de salida con el usuario se definieron varias gráficas y tablas que se pueden dividir en 4 grupos:

- Gráficos de estudiantes y PE: total y de cada programa del departamento. Se definen gráficos en los que incluyen los PE de estudiantes de otros programas de pregrado o de maestría que ven cursos en ingeniería industrial. También se incluye el gráfico de los PE de cada área en las que se dividen los cursos del departamento.
- Comparación entre PE y CE: gráficos de estos criterios para pregrado, maestría y para todo el Departamento.
- Profesores: gráficos del total de profesores de planta y cátedra, y de los profesores de planta por categoría. También hay una tabla con el número de profesores a contratar cada semestre si se hace con base en PE o en CE.
- Ingresos y Costos: se encuentran los gráficos de ingresos detallados por fuente y por categoría de profesor, al igual que los costos de nómina. También están las gráficas del total de ingresos y costos para compararlos según PE ó CE y por último la gráfica de los márgenes operacionales.

## 5 VALIDACIÓN DEL MODELO

Primero se evaluó que el modelo reprodujera el comportamiento histórico de las variables del departamento, como número de estudiantes, puestos estudiante, número de profesores, ingresos y costos de nómina. No se encontraron diferencias significativas entre los datos simulados y los reales<sup>1</sup> lo cual puede observarse en las siguientes gráficas:



<sup>1</sup> Datos suministrados por la oficina de admisiones y registro.

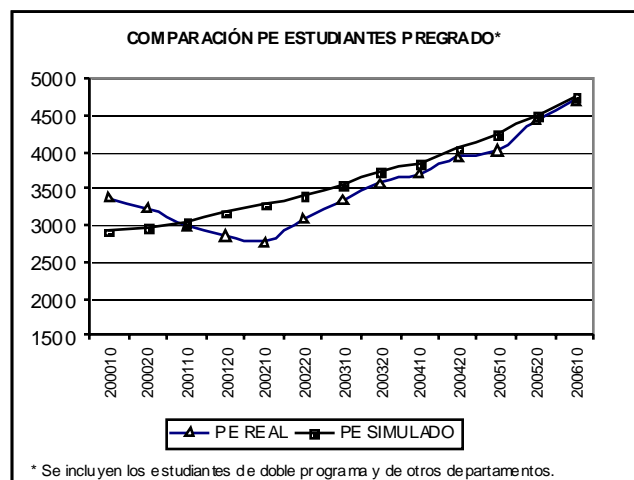
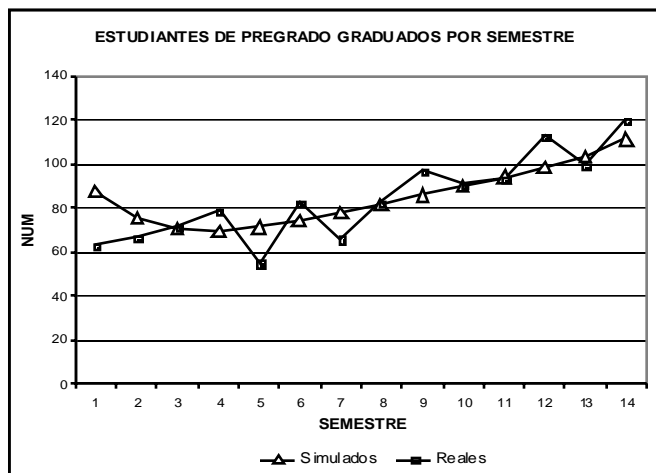


Figura 8. Gráficas comparación datos históricos vs datos simulados con el modelo

La robustez del modelo se verifico haciendo la simulación con valores extremos para las variables de entrada de estudiantes, fracción atendida por profesores de cátedra y PE y CE a cargo de cada tipo de profesor.

Al definir desde el período 200720 el número de matriculados de pregrado como cero, la población de estudiantes y los PE en general decaen rápidamente. Como se espera no se contratan más profesores, el número de instructores llega a cero mientras disminuyen los profesores asistentes y de cátedra; los asociados se mantienen constantes y los titulares aumentan lo cual se debe a la carrera profesoral y a que en el modelo no se contempla el despido de profesores. Así mismo los ingresos por pregrado disminuyen hasta el punto en que los costos por nómina son mayores que los ingresos totales del departamento.

Si se define desde el inicio de la simulación, la fracción de PE y CE atendidos por cátedra como 1, no se contratan más profesores, el número de profesores asociados disminuye, los instructores y asistentes llegan a cero y los titulares se mantienen en 3 y alcanzan 4 en los últimos períodos. El número de profesores de cátedra aumentan con el tiempo siguiendo la tendencia de los estudiantes en total del departamento. Aunque los ingresos del departamento se incrementan semestralmente los costos de nómina son mayores obteniendo márgenes operacionales negativos la primera mitad del tiempo. Estos altos costos se deben a que en el modelo no se contempla el despido de profesores por tanto cuando cátedra atiende todos los PE del departamento en costo de nómina se incluyen los salarios de los profesores que todavía están en el sistema, así no atiendan PE. Todos estos resultados son congruentes con el comportamiento del departamento.

Finalmente, se corrió el modelo asignando el mismo valor de PE y CE para cada categoría de profesores. El valor que se escogió corresponde a lo atendido por un asistente graduado, es decir 30 para PE y 91 para CE. Para esta simulación el número de profesores a contratar es muy alto, el número de profesores en las diferentes categorías aumenta con el tiempo, incrementándose así el costo de nómina y empeorando el margen operacional que siempre es negativo. También se simuló cambiando los valores únicamente a los profesores titulares y asociados. Los resultados arrojan una mayor contratación de asistentes que de instructores y un bajo margen operacional debido a que los costos de nomina son mayores que los ingresos por cursos y son muy cercanos a los in-

gresos totales. Estos resultados se esperan ya que al atender pocos PE, los profesores no cubren su salario lo cual disminuye los márgenes operacionales.

## 6 POLITICAS Y ESCENARIOS

Para ésta parte de la modelación se definieron tres escenarios relacionados con la variable de entrada más importante para el departamento: “número de estudiantes matriculados en pregrado”.

En primer lugar y como escenario de referencia, se define tener un número de matriculados estable. Este es el escenario actual del departamento, ya que la universidad ha determinado mantener una entrada de estudiantes a pregrado constante, por su gran tamaño y demanda. En segundo lugar está el escenario en el que se mantiene un crecimiento de matriculados constante, acorde con la tendencia de los datos históricos. Por último, está un escenario que es percibido como poco probable y es la disminución constante en el número de matriculados.

En cada uno de estos escenarios se hizo un análisis de políticas relacionadas principalmente con la fracción de atención por profesores de cátedra y el número de PE o CE atendidos por cada tipo de profesor.

### 6.1 Número de matriculados estable

Para este escenario, se especifica que desde el 2008 el número de nuevos estudiantes matriculados en pregrado es constante, es decir no crece con el tiempo. En cuanto a los matriculados en maestría, se utilizan los datos históricos hasta el 2008 y para los siguientes períodos se usa el promedio de las personas externas que entran (25) más los que se presupuestan para la línea de petróleos que son aproximadamente 30 por semestre; por otro lado, del programa coterminal se mantiene el número de estudiantes que entra a la maestría en 7.

Para el número de estudiantes de doble programa a partir del 2008 se plantea un crecimiento moderado en el que se pasa de 338 estudiantes a 378 en el 2016.

#### ~ Políticas actuales:

En las gráficas de salida de este escenario con las políticas actuales, se observa la disminución de los estudiantes y los PE de pregrado y del departamento en general a partir del primer semestre del año 2010. Esto se deriva de la implementación del nuevo plan de estudios de pregrado el cual disminuye el tiempo total en el programa, incrementando la tasa de salida de los estudiantes. En el programa de maestría también se observa una caída de los PE a partir del primer semestre 2014, ya que según lo acordado con la empresa Ecopetrol, en el segundo semestre del 2013 ingresarían los últimos estudiantes a la línea de investigación en refinación y producción de petróleo.

Las siguientes gráficas corresponden a los estudiantes del pregrado de ingeniería industrial y a los PE Totales del departamento, detallando los que son de pregrado y de maestría. Se debe aclarar que en los PE de pregrado se incluyen los PE de estudiantes de otros departamentos y de doble programa. Así mismo los PE de maestría contienen no sólo los que pertenecen a estudiantes del programa del departamento sino que también están los PE de otras maestrías.

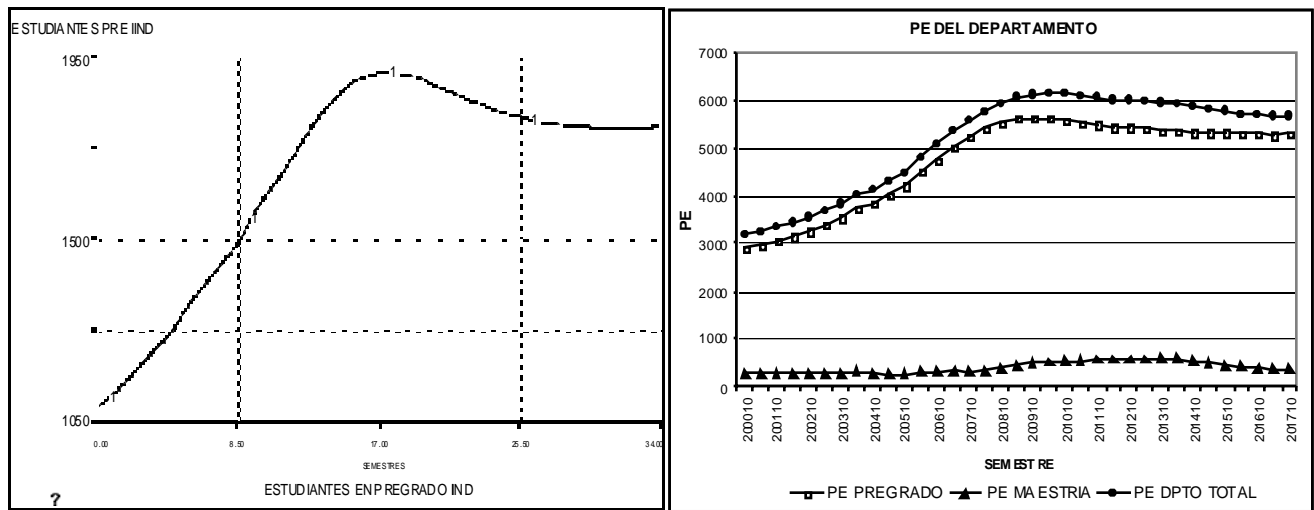


Figura 9. Gráficas de estudiantes y pe para escenario crecimiento estable

La simulación arroja que los ingresos por cursos de pregrado son un poco mayores que los costos por nómina, los ingresos de maestría si disminuyen a partir del 20014 y los ingresos totales siempre aumentan a lo largo de los semestres. El número de profesores de planta y de cátedra también se reducen a partir del 20010 como se ve en el siguiente gráfico:

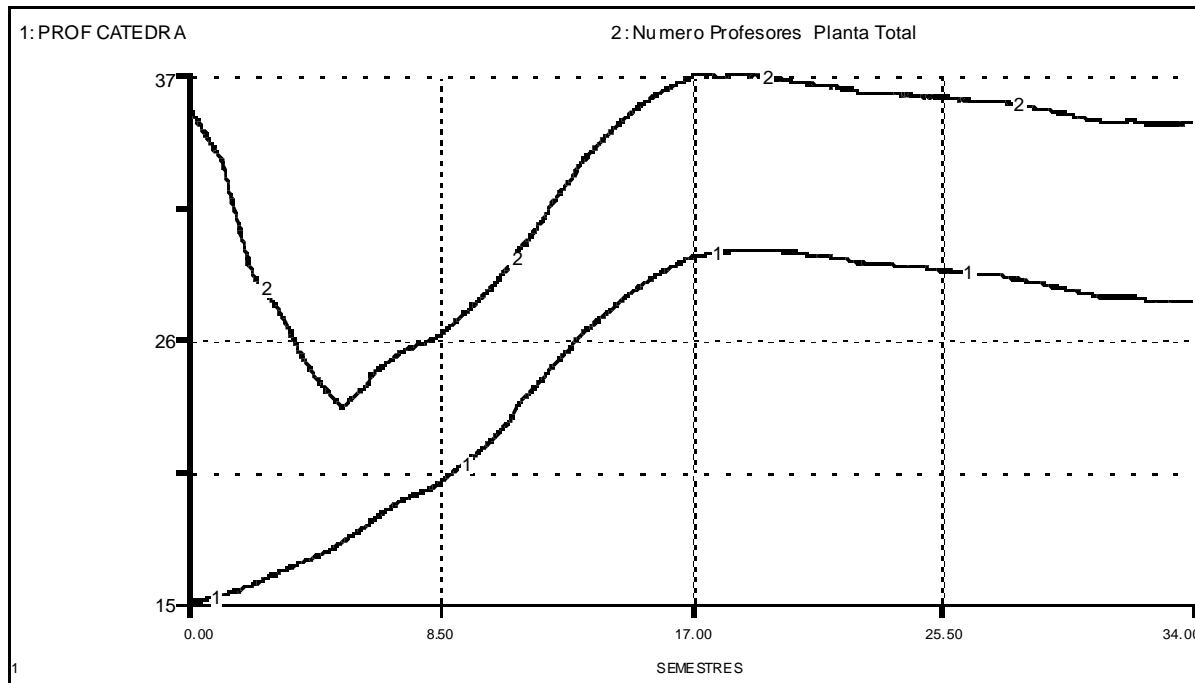


Figura 10. Gráfica de total de profesores para escenario matriculados constante

No hay grandes diferencias en el número de profesores a contratar por tipo y en el número de profesores totales cuando el criterio para la contratación es PE o CE. En cuanto a los PE por área, investigación de operaciones tiene el mayor número de PE, seguidos por finanzas, producción y gestión que presentan valores cercanos. En general a partir del 20010 las áreas presentan una disminución en sus PE o se mantienen constantes, pero ninguna crece.

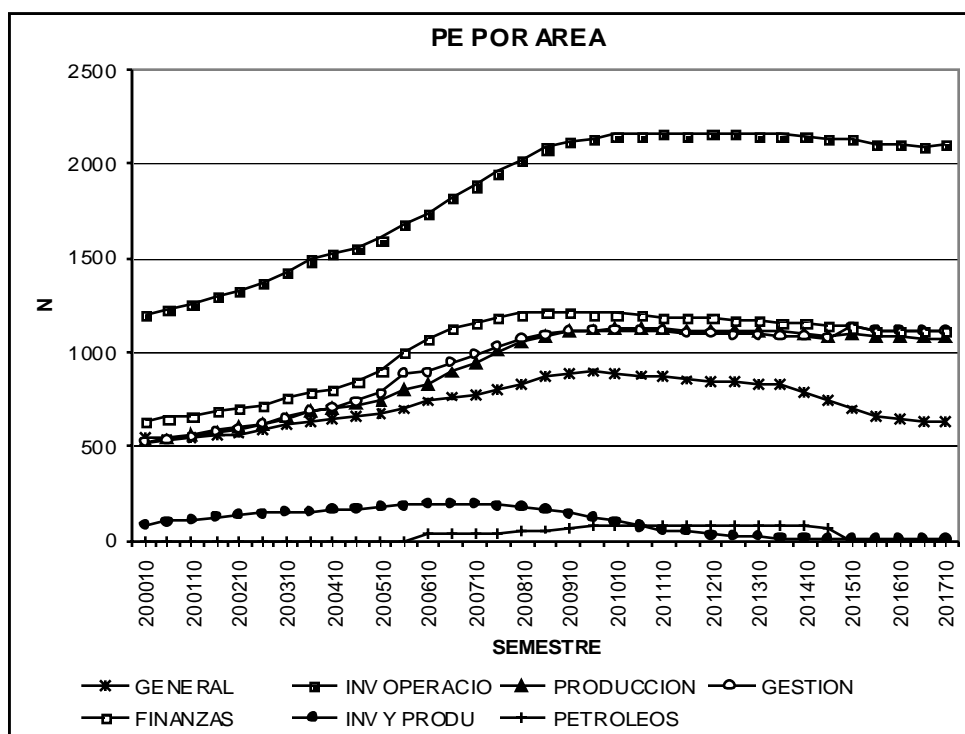


Figura 11. Gráfica de PE por área primer escenario

### ~ Planteamiento de Estrategias

Para reducir la caída de los PE del departamento se proponen dos estrategias: la primera es promover la realización de doble programa con ingeniería industrial, de manera que el crecimiento no sea tan moderado, sino que por lo menos desde el 2008 al 2016 se incremente el número de estudiantes haciendo doble programa en 140, es decir que crezca de 340 en el 2007 a 500 en el 2016.

La segunda estrategia plantea el crecimiento de los estudiantes que entran al programa de maestría. Teniendo en cuenta los datos históricos, el número promedio de estudiantes que entra a maestría semestralmente es 25 externos, 7 de coterminal teniendo en cuenta el crecimiento en los últimos semestres y para la nueva línea de investigación en producción y refinación de petróleos el promedio de estudiantes nuevos es de 30.

De esta manera, se plantea que se incremente el número de estudiantes que entran semestralmente a la maestría, por ejemplo motivando a los estudiantes a que continúen con el programa coterminal, o aumentando la publicidad para personas externas. Para la simulación, se define a partir del semestre 200910 un incremento de 10 estudiantes en el número de matriculados. También a partir del 2014 se mantiene la entrada de estudiantes del programa de petróleos pues el departamento puede conseguir nuevos acuerdos o crear nuevas líneas de investigación.

Con las dos estrategias, aunque los PE totales del Departamento bajan es muy leve en comparación a la simulación sin estrategias. En general vemos como las estrategias aumentan los PE de pregrado y de MA en general. Como consecuencia los ingresos totales son mayores cuando se implementan las estrategias, los costo por nómina también aumentan pero muy poco y los ingresos por cursos no cambian. La figura 12 compara los PE con y sin estrategia, y la figura 13 los ingresos totales, costos de nómina e ingresos por cursos.

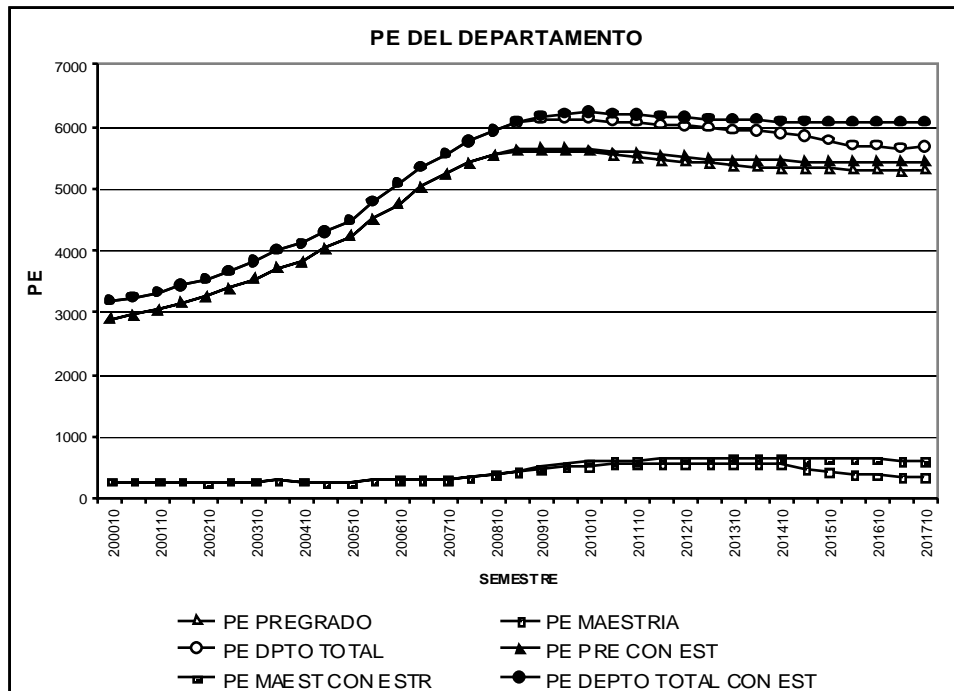


Figura 12. PE Departamento con estrategias y sin estrategias

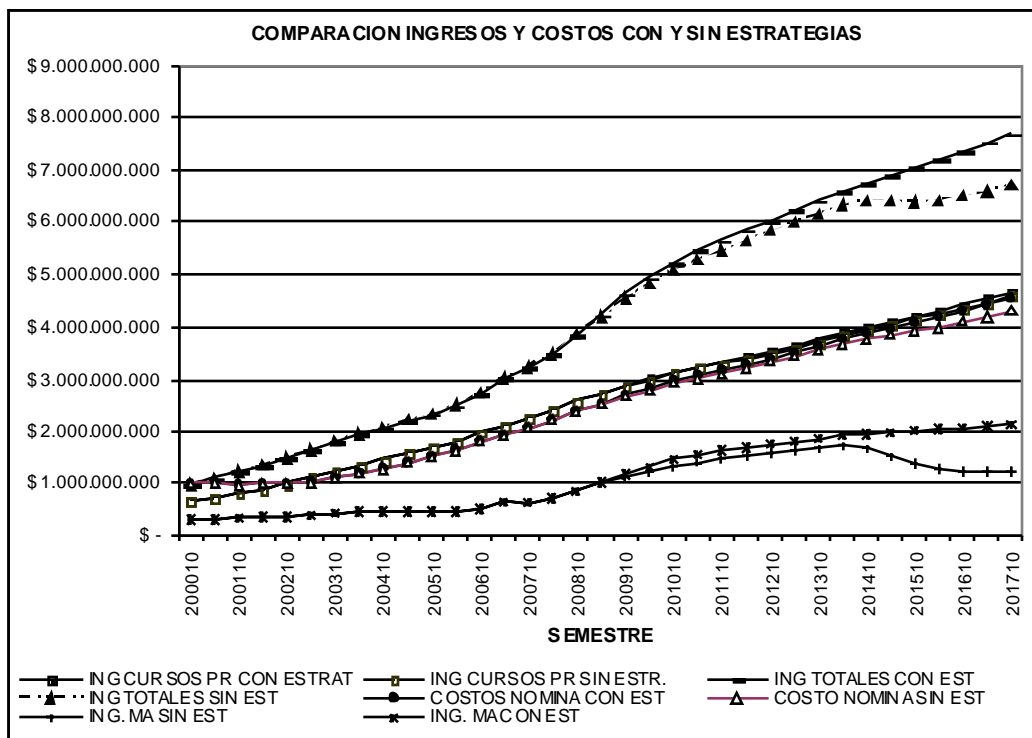


Figura 13. Gráfica Ingresos y Costos con y sin estrategias.

En esta gráfica se ve claramente que los ingresos por cursos según el MDI son similares a los costos por nomina cubriendo así este gasto; este comportamiento es el mismo para el escenario con y sin estrategias. Los ingresos totales son mayores cuando se implementan las estrategias y esto se debe a los ingresos por maestría como se observa en la gráfica anterior. La figura 12 co-



responde a la gráfica comparativa del margen operacional, siendo este mayor para la simulación con estrategias y con el criterio de CE. En relación con los profesores de planta, sucede lo mismo que con los PE, descienden ligeramente y continúan constantes. (Ver anexo 9.1.)

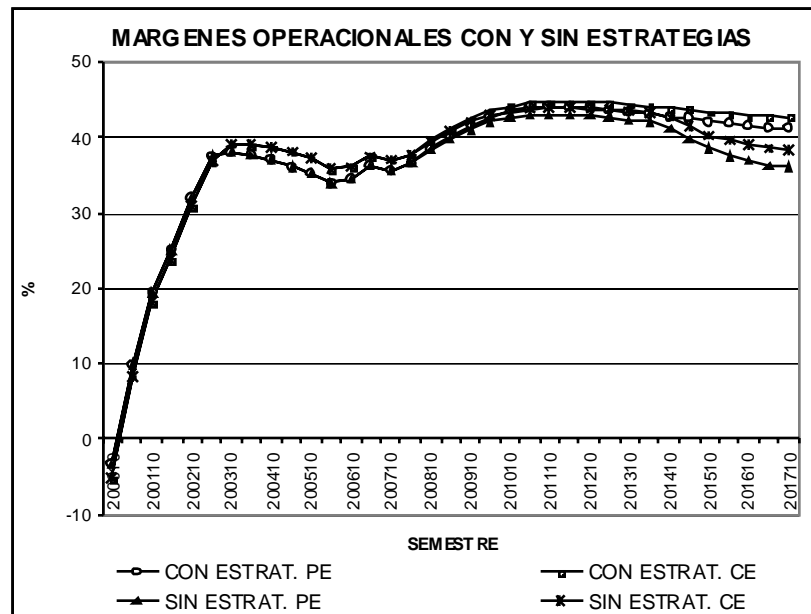


Figura 14. Gráfica Márgenes Operacionales con y sin estrategia.

En la parte de contratación de profesores, el número de instructores contratados es muy similar a los resultados sin estrategias, pero sí hay diferencias en el número de asistentes a partir del 200810, contratando más asistentes cuando se implementan las estrategias, sin embargo, la diferencia no es mucha. Finalmente en cuanto a los PE por área de los cursos, con las estrategias éstos no decrecen sino que se mantienen constantes y algunos presentan un leve aumento.

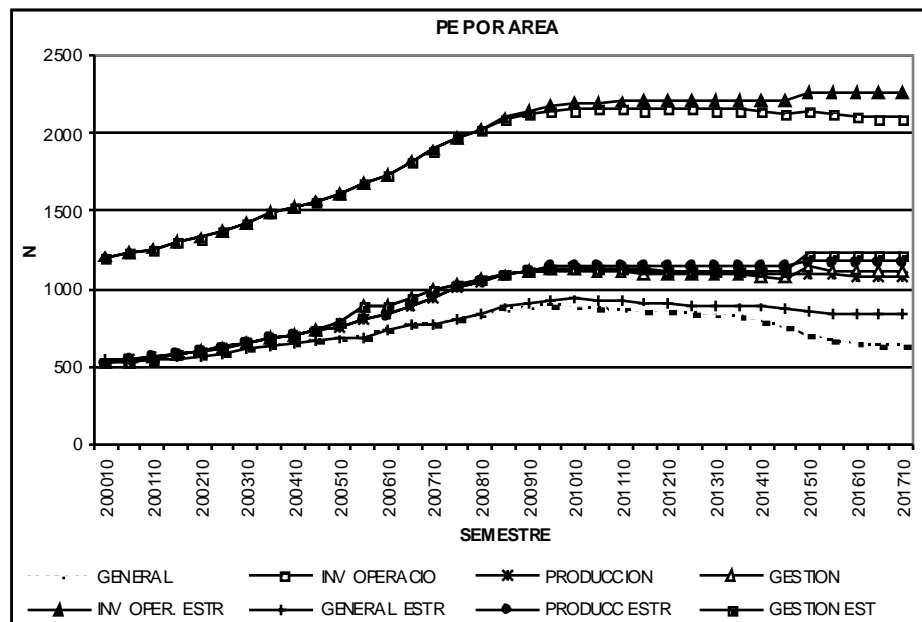


Figura 15. Gráfica Diferencias PE por área con y sin estrategia.

~ Política Fracción atención por Cátedra

Los análisis de sensibilidad y políticas se hacen sobre los datos iniciales sin poner en práctica las estrategias planteadas.

Se realizó un análisis de sensibilidad con la variable Fracción de atención Cátedra con seis valores: 0, 0.17, 0.23, 0.5, 0.75 y 1; el valor 0.17 es el valor meta para el departamento y 0.23 corresponde al actual. Al hacer la simulación se observó que los márgenes con los primeros 4 valores son muy cercanos y no tienen diferencias significativas. Con 0.75 y 1 primero se obtienen márgenes negativos, ya que en el modelo no se despiden profesores y por tanto en el costo de nomina se incluyen los sueldos de los profesores de planta que no han salido de la carrera profesoral, así no tengan a cargo PE. Así a medida que los profesores salen de la carrera profesoral ya sea por jubilación o por las tasas de deserción o renuncias, el costo de nomina va disminuyendo mejorando los márgenes operacionales como se puede ver en la gráfica.

En cuanto a los ingresos por cursos de pregrado, la fracción con valor 0 tiene los mayores ingresos ya que la hora de un profesor de planta es mayor que uno de cátedra lo cual afecta positivamente los ingresos.

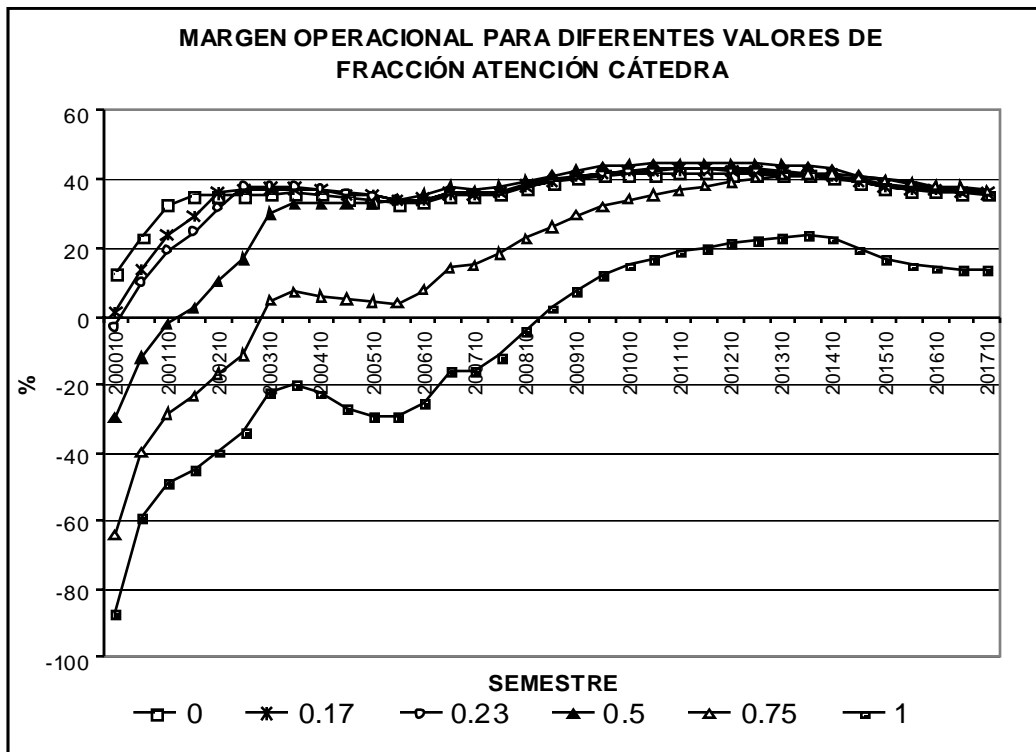


Figura 16. Margen operacional de análisis de sensibilidad

En la siguiente gráfica están en detalle los ingresos y costos por nomina cuando todos los PE son atendidos por cátedra.

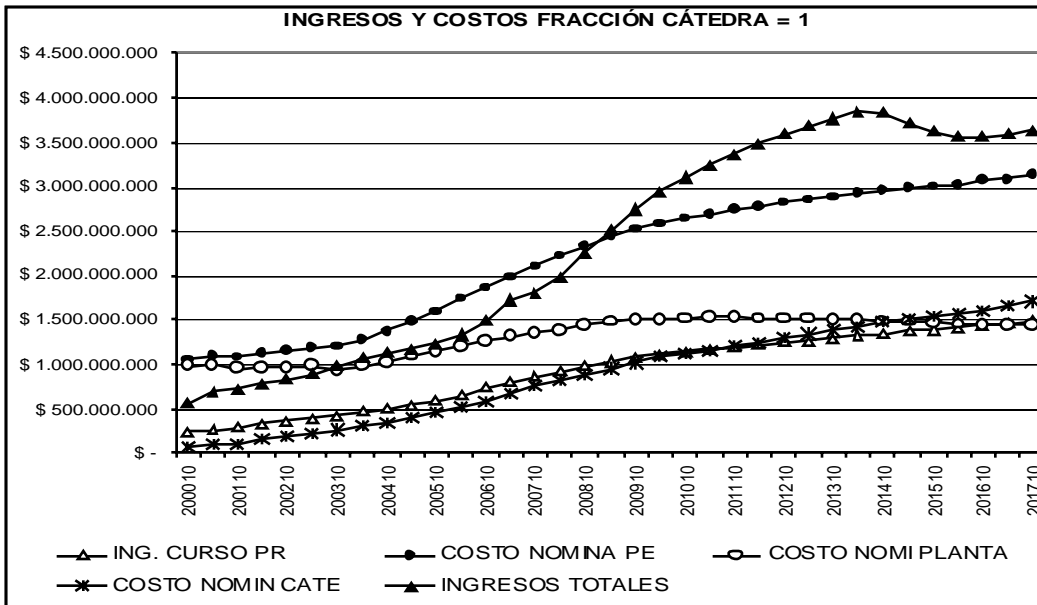


Figura 17. Ingresos y costos con fracción cátedra =1

En la gráfica se observa que los ingresos por cursos de pregrado es muy cercana al costo de nomina de cátedra.

Si tenemos en cuenta únicamente el costo de nómina por profesores de cátedra cuando éstos atienden todos los PE (fracción de atención=1) la gráfica comparativa de ingresos y gastos es la siguiente:

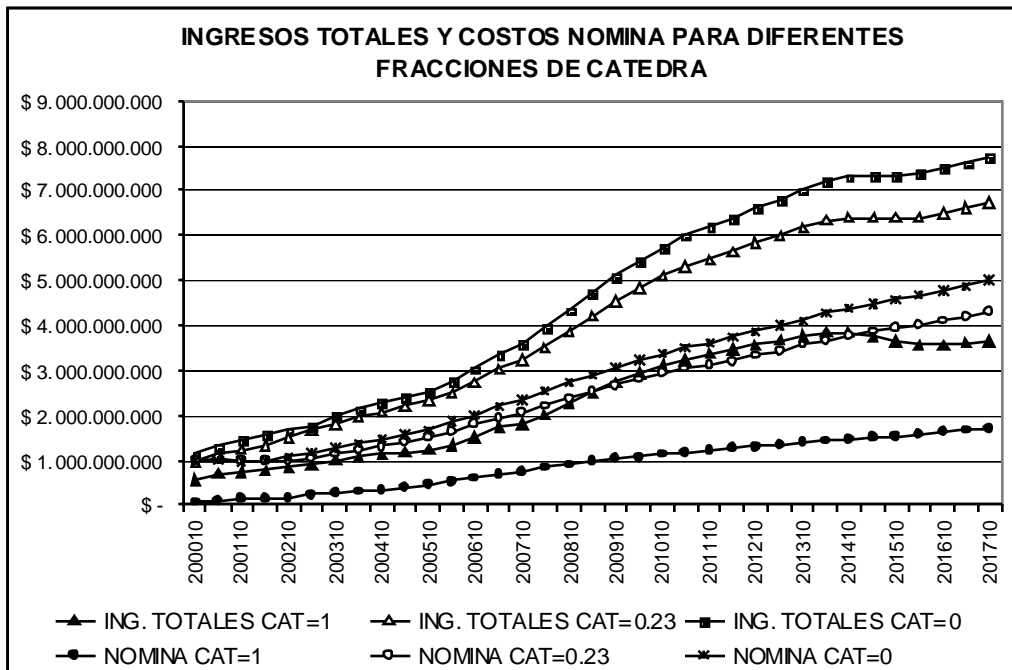


Figura 18. Comparación Ingresos totales y costos nómina con diferentes fracciones de atención por cátedra

Como se observa los ingresos totales son mayores cuando la fracción atendida por cátedra es menor, pero así mismo los costos por nómina son mayores.

### ~ *Políticas PE por profesor*

Por último se hizo un análisis de sensibilidad a la variable PE por titular, escogiendo para ello cinco valores: 50, 83, 100, 125 y 150, donde 83 es el valor actual de PE atendidos por profesor titular. A partir de la simulación se encuentra que a medida que los PE por titular aumentan, son menos las contrataciones de profesores y baja el costo de la nomina, aumentan los ingresos por tipo de profesor titular pero disminuyen los de los asistentes e instructores ya que se contratan menos. Aunque en los ingresos totales e ingresos por cursos de pregrado no se presentan grandes diferencias, los valores altos de PE por profesor titular presentan los mejores índices de margen operacional.

Para hacer una comparación del cambio en los márgenes operacionales, se hizo un análisis de sensibilidad para el número de PE a cargo de un profesor asociado. Los valores de la simulación se definieron con base en los utilizados anteriormente para los profesores titulares, de manera que se mantuviera la misma proporción. Con tal fin, los valores utilizados son 67.5, 112, 135, 169 y 202, donde 112 es el valor actual del departamento.

Con la segunda simulación, se llegan a las mismas conclusiones de la primera como el que un mayor valor de PE incrementa los márgenes operacionales. Finalmente, al confrontar los resultados de las dos simulaciones se encuentra que los márgenes alcanzados con los cambios en los PE de los profesores asociados son mucho mayores que los correspondientes a los profesores titulares, aunque se utilizó la misma proporción entre los cambios. Esta diferencia no se cumplió en el primer valor de la simulación en el que el margen fue mayor para el cambio en los titulares. La principal razón para que se cree esta brecha positiva o negativa, es la diferencia en el número de profesores de cada categoría los cuales multiplican el efecto de los cambios. Las diferencias se pueden ver en el Anexo 9.1.

### 6.2 *Crecimiento del número de matriculados*

En este escenario el número de nuevos matriculados de pregrado crece linealmente para cada período, siguiendo la tendencia de los datos históricos. Ver anexo 9.2. Se mantienen los datos iniciales del escenario anterior en cuanto a los estudiantes de doble programa que crecen moderadamente y los nuevos matriculados de maestría se mantiene constante.

### ~ *Políticas actuales*

Los resultados de la simulación muestran que el número total de estudiantes crece con el tiempo constantemente hasta el período 200820, a partir del cual la pendiente de crecimiento es mucho menor manteniendo un número de estudiantes casi constante hasta el período 201210, período desde el que se presenta un aumento continuo en el crecimiento de los estudiantes del departamento. Así mismo el número de profesores de planta crece linealmente hasta el 200820, se mantiene constante hasta el 201110 y empieza a crecer nuevamente, pero con una tasa menor a la inicial.

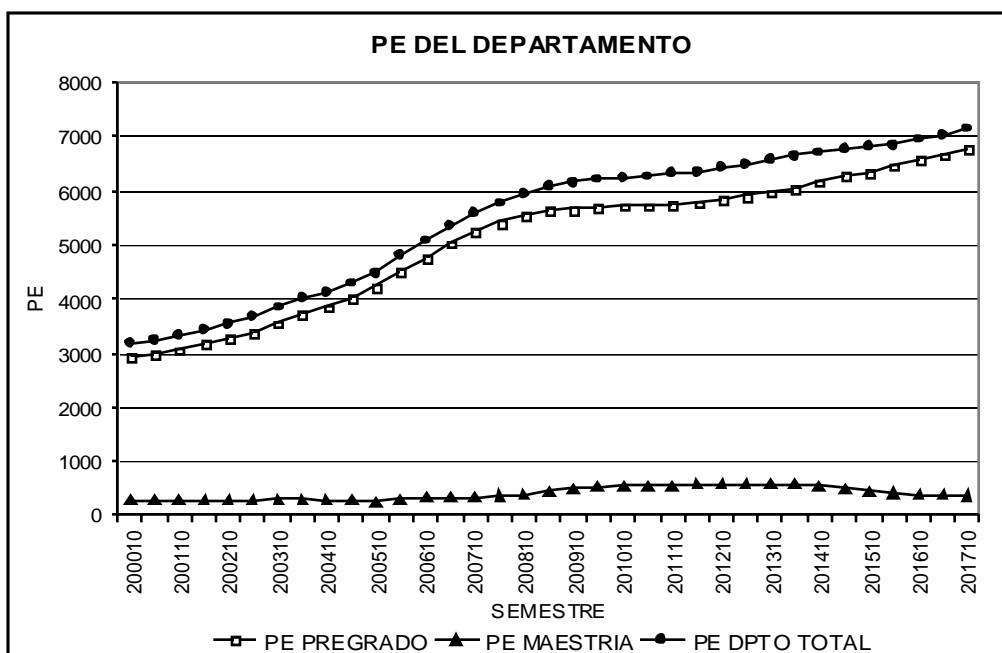


Figura 19. Gráfico de PE total del departamento escenario crecimiento continuo

Estos cambios se deben al nuevo plan de estudios, ya que para el 200810 el número de estudiantes de pensum antiguo es aproximadamente cero, y de ahí en adelante todos pertenecen al nuevo currículo. Aunque en este escenario los matriculados aumentan periódicamente, los estudiantes se demoran en el programa menos tiempo y por tanto su tasa de salida es más rápida provocando que el número de estudiantes y puestos estudiante se estabilicen por ocho semestres, luego de los cuales la pendiente de crecimiento es mayor. En este escenario, igual que en el anterior los ingresos por cursos de pregrado son muy cercanos a los costos por nomina aunque en los últimos semestres son levemente mayores. Ver gráficas en Anexo 9.2.

No existen diferencias importantes entre los resultados que se obtienen con PE y con CE.

#### ~ Política fracción atención por Cátedra

Para el análisis de sensibilidad con la variable Fracción de atención Cátedra se tomaron los mismos seis valores: 0, 0.17, 0.23, 0.5, 0.75 y 1 del escenario anterior y se encontró que el comportamiento de las variables de resultado es el mismo (Anexo 9.2). A continuación se compararon los costos de nómina para los dos escenarios, siendo menores los del primero y es lógico ya que hay diferencias en la contratación por los PE totales. Esta diferencia en los costos ocurre a partir del período 201020.

Según los datos de ingresos por cursos de pregrado, entre menor es la fracción atendida por cátedra mayores son los ingresos. Así mismo, los ingresos del escenario anterior son menores que los del actual, aunque los márgenes operacionales de estas dos simulaciones no tienen diferencias significativas.

#### ~ Política PE por profesor

Por último también se hizo análisis de sensibilidad con los PE para un profesor asistente cambiando su valor por 50, 113, 175, 238 y 300. Los valores de ingresos por cursos (MDI) e ingresos totales no varían mucho en estos valores del análisis, aunque a partir del periodo 200910 se observa que estos ingresos son levemente mayores con los menores valores de la variable (50,

113). Este comportamiento se explica porque a menor número de PE a cargo de un profesor asistente se deben contratar más de ésta categoría que con el tiempo pasan a ser profesores asociados, los cuales tienen un costo por hora mayor y reciben más dinero por hora dictada. La figura 15 corresponde a la gráfica de ingresos por profesor asociado para los diferentes valores de PE de los asistentes. Sin embargo, aunque los menores valores de PE por profesor tienen los mayores ingresos totales, los costos de nómina son más altos pues se contratan más profesores, y como consecuencia sus márgenes operacionales son los más bajos.

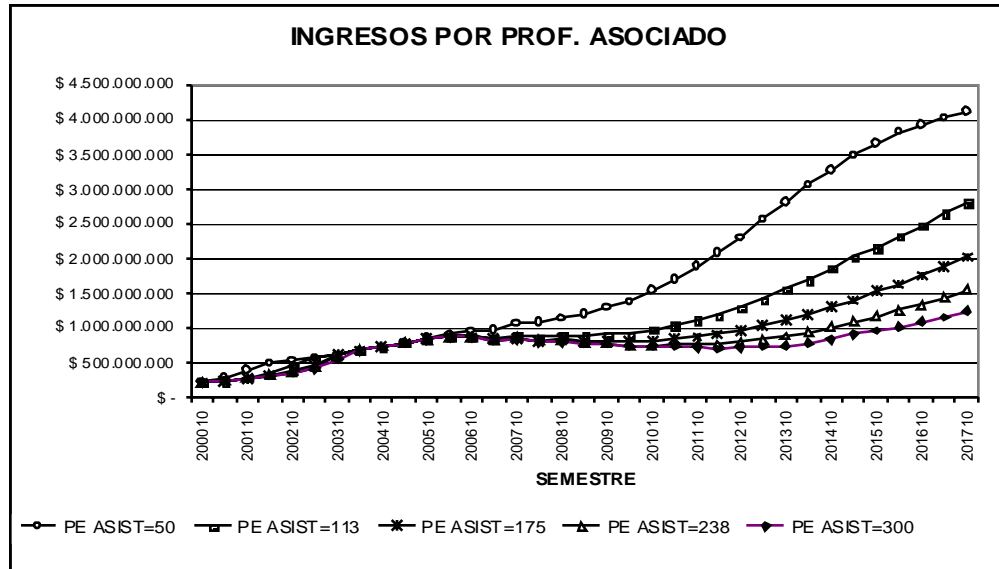


Figura 20. Ingresos por profesores asociados para cada valor de PE de Asistentes

### 6.3 Decrecimiento Número de Matriculados

En este escenario el número de estudiantes nuevos matriculados a primer semestre de pregrado disminuye con el tiempo (Ver Anexo 9.3). Se mantienen los valores de estudiantes nuevos de doble programa y de maestría utilizados en los escenarios anteriores.

#### ~ Políticas Actuales

Según los resultados de la simulación, los estudiantes y los puestos estudiante presentan un crecimiento lineal hasta el año 2008 donde se presenta un pico, y a partir de ese período decrecen también linealmente. El número de profesores a contratar después del 2008 es muy bajo como es de esperarse.

En cuanto a los ingresos por cursos y el costo de la nómina, ocurre lo mismo que en los escenarios anteriores siendo la diferencia entre estos mínima. Ver gráfico Anexo 9.3.

#### ~ Políticas fracción por Cátedra

Al realizar el análisis de sensibilidad con la fracción atendida por cátedra se obtienen los mismos resultados que en los escenarios anteriores donde los menores márgenes operacionales corresponden a los valores altos de la fracción (0.75 y 1).

#### ~ Políticas PE por profesor

Para este escenario se hizo un análisis de sensibilidad igual al del escenario anterior, asignando cinco valores diferentes a los PE atendidos por profesor asistente: 50, 113, 157, 238 y 300. Los

resultados son equivalentes a los del escenario dos, en los que para los menores valores de PE se obtienen los mayores ingresos totales y costos de nómina y los márgenes operacionales más bajos.

~ *COMPARACIÓN ENTRE ESCENARIOS*

De los tres escenarios, el último es el que tiene los menores valores de costos por nómina e ingresos por cursos, no obstante, los márgenes operacionales no tienen diferencias significativas con respecto a los obtenidos anteriormente. El que presenta los mayores costos e ingresos es el de crecimiento, seguido por el de número de matriculados estable pero implementando las estrategias planteadas. Como se observa en la siguiente gráfica la diferencia entre estos dos es pequeña:

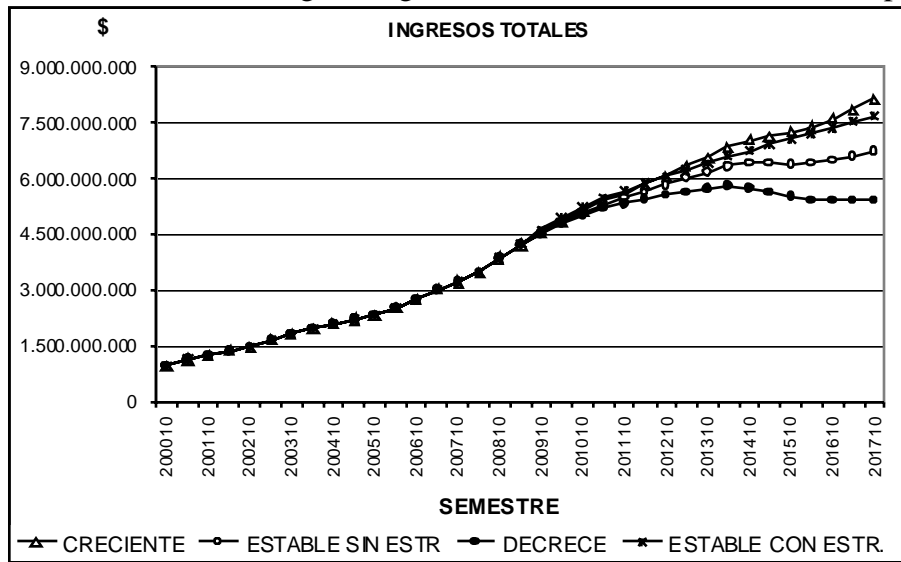


Figura 21. Comparación ingresos totales para los diferentes escenarios.

En cuanto al margen operacional, ante los distintos valores de la fracción de atención por profesores de cátedra los tres escenarios no presentan diferencias, ver gráfico 19.

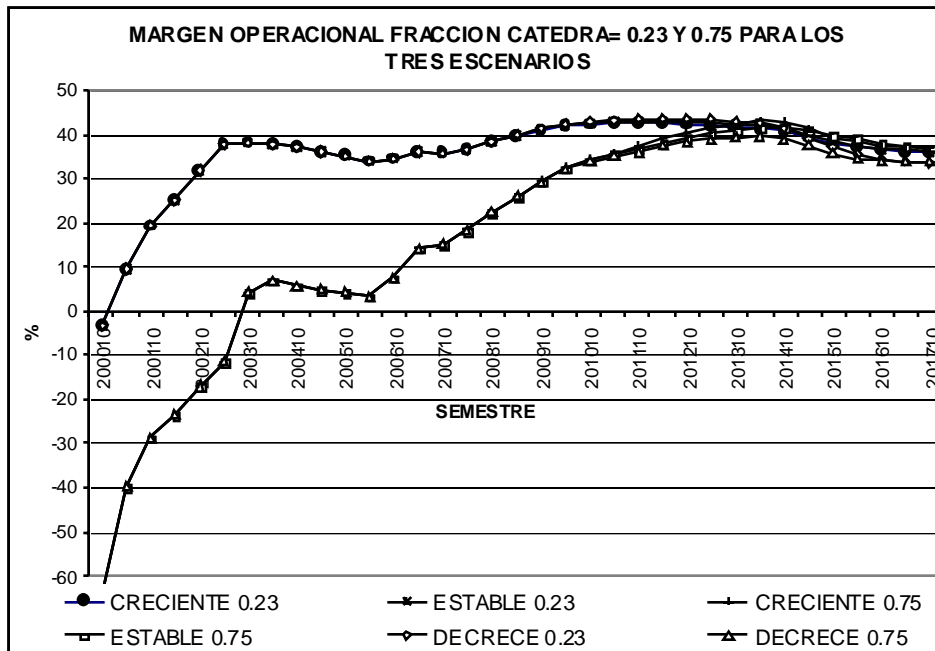


Figura 22. Margen operacional para cada escenario con diferentes fracciones de atención por profesores de cátedra

Con relación a los profesores de planta, en los tres escenarios estos se comportan como los estudiantes o PE, es decir, en el escenario de crecimiento los profesores de planta también crecen, en el de matriculados constante sin estrategias empiezan a disminuir lentamente mientras que al incluir las estrategias, estos bajan primero levemente y después se mantienen constantes. Este mismo fenómeno ocurre con los PE por área de los cursos.

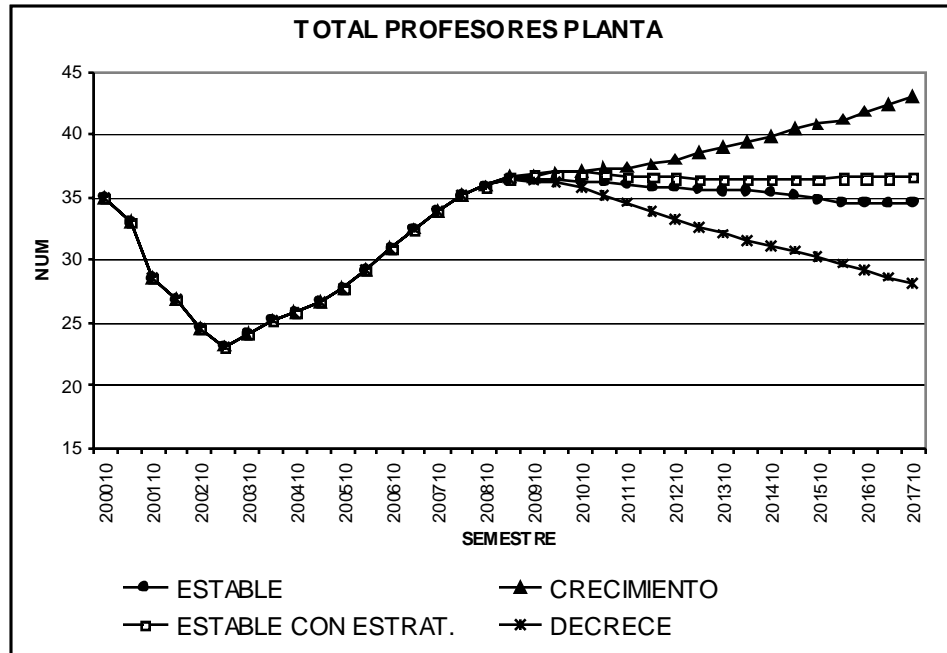


Figura 23. Total profesores de planta para cada escenario



## 7 CONCLUSIONES

Existe un gran potencial del uso de dinámica de sistemas en la modelación del departamento y de la universidad, ya que permite tener en cuenta los ciclos de retroalimentación, las demoras entre la puesta en práctica de una política y los resultados, y permite comparar los resultados ante diferentes valores de dichas políticas.

La reforma curricular traerá para el 20010 una disminución en los estudiantes y puestos estudiantes del departamento afectando sus ingresos y costos, aunque su margen operacional no se ve afectado. El número total de profesores también tiene un crecimiento importante hasta el 2009 año en el que empieza a descender y se estabiliza después de cinco años.

Con el fin de evitar el descenso en puestos estudiante se plantean dos estrategias para aumentar los puestos estudiante, creciendo los matriculados en programas de maestría y en el doble programa. Con esta propuesta se logran mantener los PE constantes a partir del 20010 al igual que el número de profesores de planta mientras los ingresos totales si aumentan.

Los estudiantes del programa de maestría y doble programa brindan una gran oportunidad para mantener el crecimiento del departamento constante, de tal manera que se deben promover los perfiles de coterminal y se deben crear nuevos programas de maestría o líneas como la de petróleos.

En los tres escenarios se mantienen márgenes operacionales similares, concluyendo que los ingresos están directamente relacionados con la nómina, es decir si esta última baja los ingresos totales también encontrando un margen operacional constante en todos los escenarios. Esta relación se debe a la expresión utilizada en el MDI, la cual garantiza una auto sostenibilidad de los departamentos desde que sus profesores atiendan un mínimo de PE.

Los ingresos y costos son sensibles a los cambios en la fracción de atención por profesores de cátedra, ya que siempre se reciben más ingresos por los PE atendidos por un profesor de planta que de cátedra aunque los costos de nómina también se ven afectados.

Los resultados con base en criterios de PE son muy similares a los encontrados con CE. En las contrataciones los valores de CE en su mayoría se encuentran por debajo de los de PE, pero esta diferencia es de décimas. Por esto, los resultados del margen operacional con criterio CE aunque siempre están por encima de los de PE, difieren de uno o máximo dos puntos.

El número de PE o CE atendidos por tipo de profesor afecta directamente el margen operacional, ya que con el mismo costo de nomina se están atendiendo más o menos PE o CE. En general, si se incrementan sus valores el margen operacional crece, aunque es mayor éste aumento dependiendo del tipo de profesor que realice el cambio, ya que si se tienen varios profesores en una categoría cualquier cambio se verá multiplicado por el número de profesores, aumentando la diferencia entre márgenes.

En general, los tres escenarios planteados reflejan un crecimiento continuo del departamento hasta el semestre 200810, en el que se presentan las consecuencias del nuevo plan curricular. De esta manera, si el número de matriculados continúa creciendo en los próximos años, el departamento no crecería en términos de estudiantes a partir del 200810 hasta el 201110, donde reiniciaría su crecimiento aunque con una tasa menor a la inicial.

En el escenario de crecimiento estable se podría mejorar el margen operacional aumentando la carga profesoral de alguna categoría de profesores. Aunque deben estudiarse las implicaciones en tiempo dedicado a la investigación.

En cuanto a las áreas del departamento, se encuentra que la más fuerte es investigación de operaciones, la cual tiene una gran diferencia de PE con las otras áreas. Finanzas, producción y gestión presentan valores cercanos de sus PE correspondientes. Las áreas de petróleos e investigación de operaciones y producción son las que presentan el menor número de PE, debido a que no son muchos los cursos que pertenecen a estas áreas.

Por último, como propuesta para trabajos posteriores y acorde con lo mencionado anteriormente, se puede incluir en el modelo variables relacionadas con la investigación en el departamento, calidad de la educación y percepción externa de los programas; variables que influyen en el crecimiento del departamento y hacen parte de los desafíos de su plan de desarrollo (PDD) para los próximos cinco años. Así mismo, en el modelo puede incluirse el crecimiento de los otros departamentos de la universidad los cuales también afectarían el desarrollo del departamento de ingeniería industrial.

## 8 BIBLIOGRAFIA

Ayala, C (1999). *Desarrollo de un modelo para la evaluación financiera de alternativas estratégicas en el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes*. Tesis para optar al Título de Magíster en Ingeniería. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. (2005). *Desafíos, Objetivos Estratégicos y estrategias del Departamento de ingeniería Industrial para el período 2006-20011*. Villa de Leyva: Autores.

Galbraith, P (1998). System Dynamics and University Management. *System Dynamics Review*1, 69-84.

Herrman, J.F. & DeOlden J.L. (1996). *Flight simulator for university department planning*. Ponencia presentada en el 14<sup>th</sup> International Conference of the System Dynamics Society, Cambridge, USA. Extraído el 16 de abril de 2007 de <http://www.systemdynamics.org/conferences/1996/proceed/papers/herrm217.pdf>

Kennedy, M. (1998a). *A Pilot System Dynamics Model to Capture and Monitor Quality Issues in Higher Education Institutions*. Ponencia presentada en el 16<sup>th</sup> International Conference of the System Dynamics Society, Quebec City, Canada. Extraído el 16 de abril de 2007 de <http://www.systemdynamics.org/conferences/1998/PROCEED/00066.PDF>

Kennedy, M. (1999). *Towards a Taxonomy of System Dynamics Models of Higher Education*. Ponencia presentada en el 18th International Conference of the System Dynamics Society, Québec City, Canada. Extraído el 16 de abril de 2007 de <http://www.systemdynamics.org/confereces/2000/proceeds.pdf>

Kennedy, M. & Clare C. (1999) *Some Issues in Building System Dynamics Models for improving the Resource Management Process in Higher Education*. UK: South Bank University, School of Computing, Information Systems and Mathematics.

López L. & Zúñiga R. *Dinámica de Sistemas y la nueva tecnología para la toma de decisiones complejas: mapeo y simulación organizacional*. [Documento PDF]. URL. Disponible en [http://www.oit.or.cr/mdtsanjo/actemp/ilgo2002/PresRoyZuniga\\_1.pdf](http://www.oit.or.cr/mdtsanjo/actemp/ilgo2002/PresRoyZuniga_1.pdf)

Misión Universidad de los Andes. Recuperado el 4 de febrero de 2007, de Universidad de los Andes: [http://www.uniandes.edu.co/homevisitantes/html/nuestrau\\_mision.htm](http://www.uniandes.edu.co/homevisitantes/html/nuestrau_mision.htm)

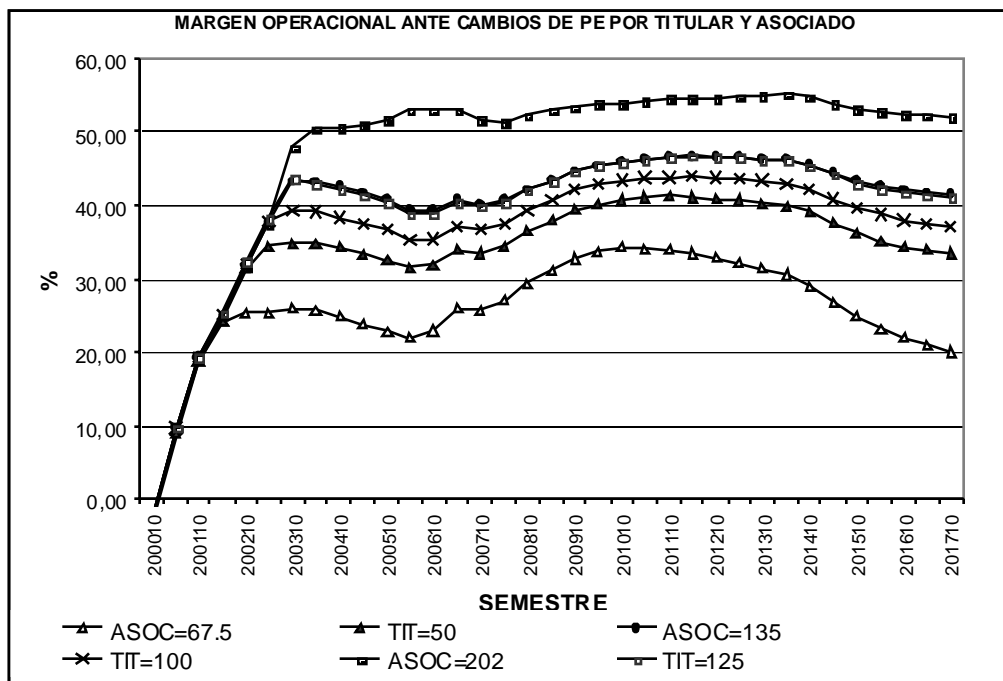
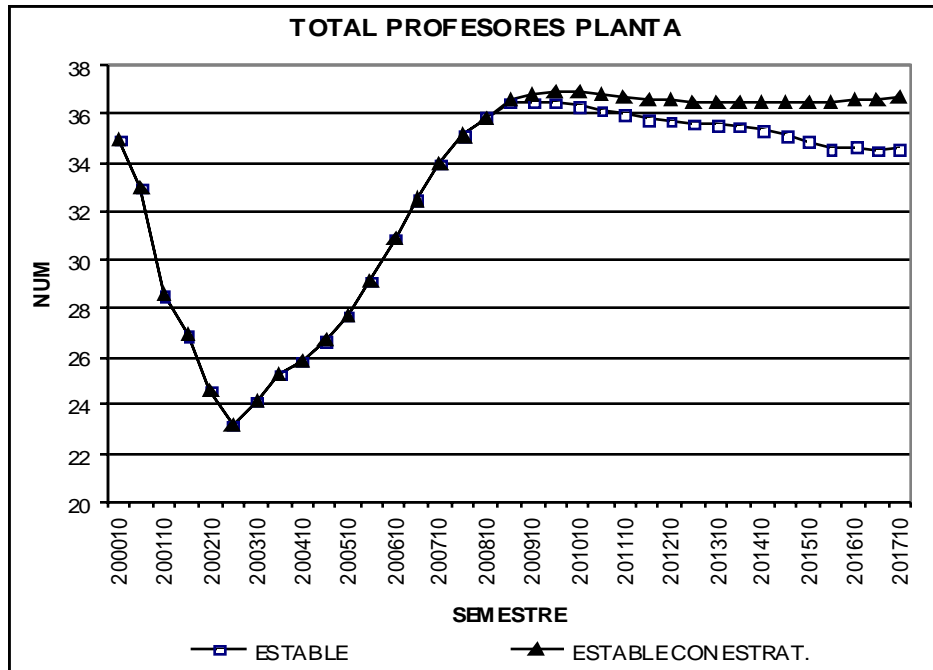
Pérez, A. (2004). *Análisis del sistema de selección y admisión de estudiantes en la Universidad de los Andes*. Tesis para optar al Título de Magíster en Ingeniería. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

Universidad de los Andes. *Programa de Desarrollo Integral PDI 2006 - 2010*. Recuperado el 6 de noviembre de 2005 de Universidad de los Andes [http://www.uniandes.edu.co/homevisitantes/html/nuestrau\\_pdi.htm](http://www.uniandes.edu.co/homevisitantes/html/nuestrau_pdi.htm)

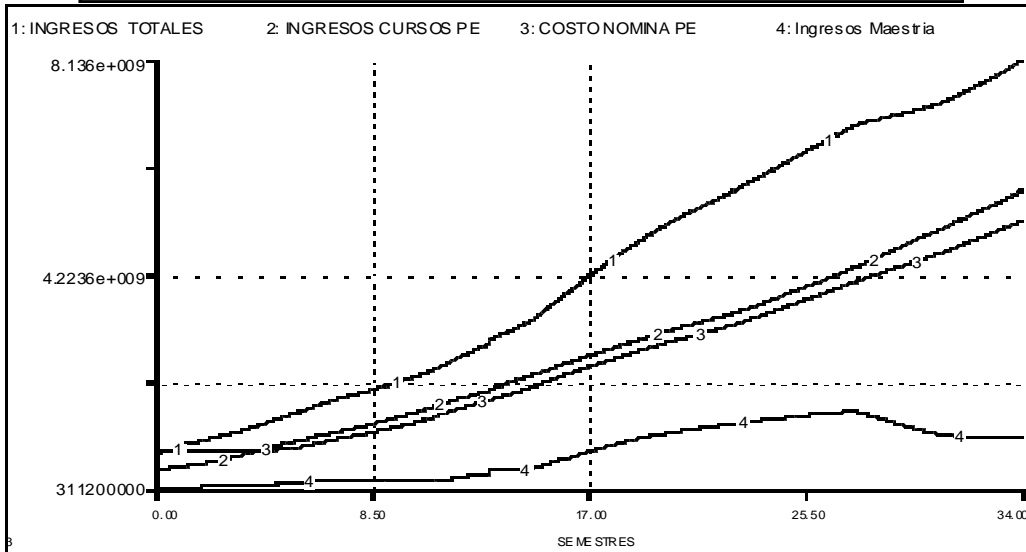
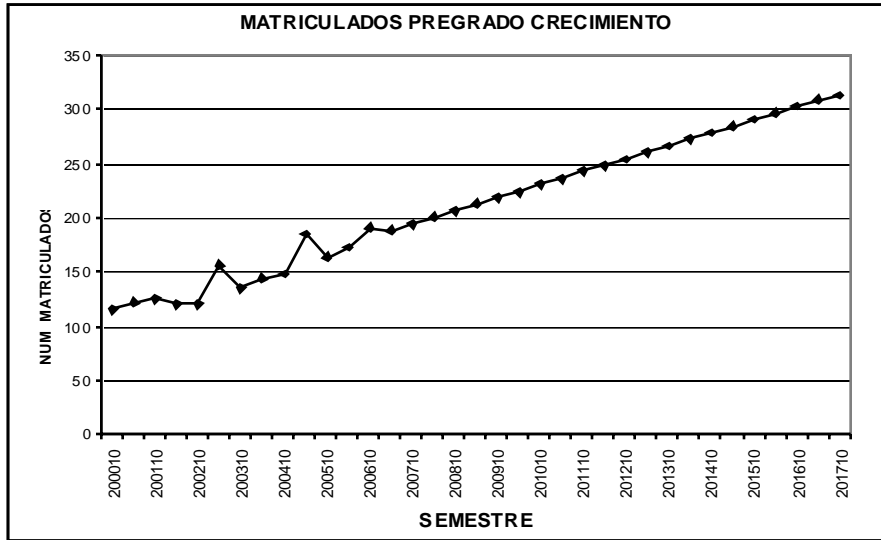
Sterman, J.D. (2000). *Business dynamics: systems thinking and Modeling for a complex world*. United States: McGraw Hill.

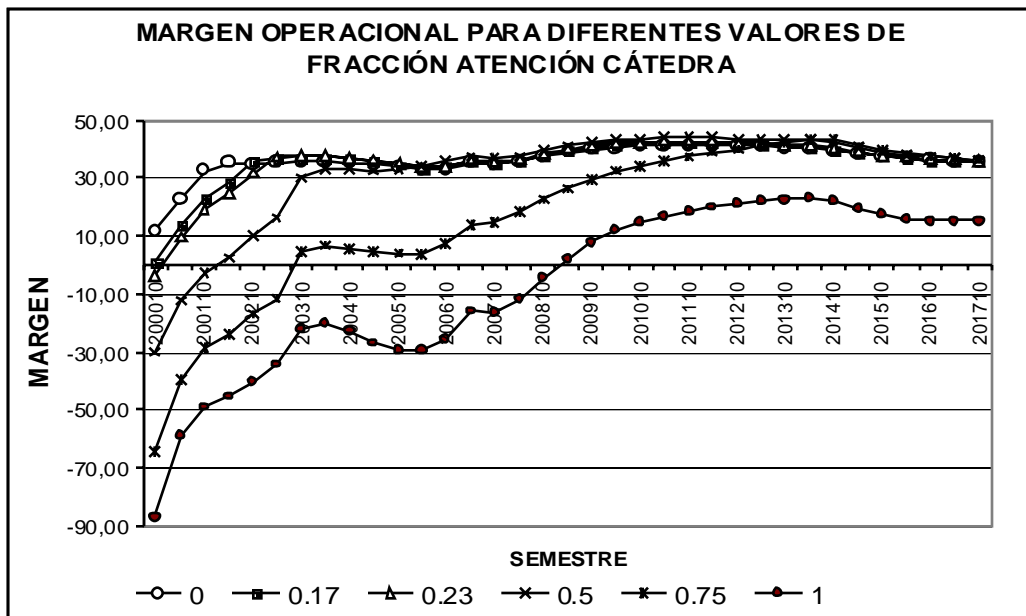
## 9 ANEXOS

### 9.1 Escenario matriculados estable



9.2 Escenario crecimiento continuo de matriculados.





### 9.3 Escenario decrecimiento de matriculados

