

Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica



Trabajo de Diploma

En Opción al Título
De Ingeniero Mecánico



Título:

“Propuesta de Indicadores de Gestión para la Universidad de Cienfuegos”

Autor: Yorlan González González

Tutores:

MSc. Jesús Antonio Peña Acción
Dr. Juan Bautista Cogollos Martínez



Cienfuegos, 2015

**DECLARACION DE AUTORIDAD
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS**



Por este medio hago constar que el presente trabajo constituye la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Cienfuegos, autorizando a que el mismo sea utilizado por el Centro de Estudio Superior para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de dicha institución.

Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido según acuerdo de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnico
Nombre y Apellidos. Firma.

Vice Decano.
Nombre y Apellidos. Firma.

Firma del Tutor.

Sistema de Documentación y Proyecto.
Nombre y Apellido. Firma.



Pensamientos

“...vegetar no es vivir. Vivir es tener algo que hacer. Vivir es tener una meta, un objetivo, una tarea, una obra a la cual dedicar el tiempo, la energía, y dedicar la vida...”

“Se pueden adquirir conocimientos y conciencia a lo largo de toda la vida, pero jamás en ninguna otra época de su existencia una persona volverá a tener la pureza y el desinterés con que, siendo joven, se enfrenta a la vida.”

Fidel Castro Ruz



“Constancia y más constancia, no importa caer una y cien veces, lo importante es saber caer con dignidad, con bandera y levantarse al primer momento oportuno y seguir la batalla, y caer y volver a batallar y seguir. Esa es la vida.”

“Pienso que hay combates que son necesarios, que a veces, incluso, hay que buscarlos y no dejarse llevar por derrotismos, temores, y pienso que hay combates que son inevitables en este camino de búsqueda de la verdad y de la vida”.

Hugo Rafael Chávez Frías



Dedicatoria

*A mi abuelita querida,
que sigue siendo maravillosa.
Te quiero como una Diosa
y estarás siempre en mi vida.
No hay nada que me impida
verte como una doncella.
Eres mi gran estrella,
por esto te quiero regalar:
DEDICATORIA ESPECIAL
a ti mi reina bella...*



Agradecimientos

A mis padres (Ricardo y Claribel). A ustedes les doy las gracias por existir y confiar plenamente en mí. Sé que les debo lo que soy, gracias por darme la formación y los valores que me identifican cada día como mejor persona.

A mi novia (Zurisleidy). Eres de las mejores cosas que me ha pasado en la vida, gracias por el apoyo ilimitado y por darme fuerzas cuando caprichosamente han aparecido obstáculos en este largo camino de la existencia. Nadie como tú me ha comprendido... *¡Te quiero más que a mí mismo!*

A mi familia en general, especialmente a mis hermanos, y a mi tía Emilia (Tita) por todo su cariño, por tenerme siempre presente y brindarme su apoyo incondicional.

A mis suegros por todo su aprecio, cariño y por permitirme formar parte de su familia.

A mis tutores Peña y Cogollos por brindarme su apoyo en un momento tan necesario, así como por dedicarme horas de su limitado tiempo.

A todos los que me dieron la mano cuando más lo necesité, los que me facilitaron información necesaria para la elaboración de mi tesis (David, el energético; Vilma, del Dpto. Pregrado; Olivia, Dpto. Estadística; Julio, profesor del CEEMA; Roy, Dpto. Mecánica; Betty, Dpto. Recursos Humanos; entre otros). Asimismo **a todos** los que de una forma u otra obstaculizaron el progreso de mi trabajo, los que me negaron información o simplemente creyeron en que su tiempo era mucho más valioso que la ayuda que pudieran haberme brindado, gracias de todo corazón, todo eso me dio más fuerzas para seguir adelante y pensar en que: en la vida siempre se debe luchar por superar cualquier impedimento, conseguirlo es alcanzar una nueva meta, ese es el objetivo.

A mis compañeros de aula. Especialmente a José Carlos y Orlando.

A todos los profesores de la carrera Ingeniería Mecánica por contribuir a mi formación y a la adquisición de valiosos conocimientos para mi vida profesional.

A todos los que siempre se han preocupado por mi formación y han apostado por ello, eso ha sido imprescindible.

...a todos ¡Muchas Gracias! y ojalá algún día pueda retribuir sus valiosos detalles...



Resumen

El siguiente estudio: “Propuesta de indicadores de gestión para la Universidad de Cienfuegos” proviene de la inexistencia de medidores de este tipo, capaces de reflejar su comportamiento como proceso. De ahí que se desarrolló un análisis que permitió la ganancia y enriquecimientos de conocimientos suficientes para desarrollar la investigación. En este caso aspectos relacionados con la gestión y su funcionamiento como sistema, además de su control mediante indicadores aplicados en distintas universidades del mundo, destacando el comportamiento en este sentido de la universidad objeto de estudio. También se enfatizó sobre la regresión múltiple, redes neuronales artificiales y el diseño de experimentos en aras de emplear sus herramientas para la solución de la problemática presentada. Luego se creó un modelo general que describió la institución como proceso, identificando las variables que influyen en esta. Posteriormente, a partir de una Regresión Lineal Múltiple y una Red Neuronal Artificial se ajustaron las condiciones encontradas y se identificó el modelo **20-30-4** (*neuronas en la capa de entrada- neuronas en la capa oculta- neuronas en la capa de salida*) como el mejor ajuste, con el mayor índice de R^2 y menor $MAPE$, presentando valores de **0.9956** y **0.0456**, respectivamente. Seguidamente se efectuó un Diseño de Experimentos que examinó el comportamiento de las variables identificadas y a su vez permitió determinar los indicadores a proponer para su implementación en la Universidad.

Palabras Claves: *proceso, gestión, control, indicadores, variables, ajuste*



Abstract

The following study: "Proposal of administration indicators for the University of Cienfuegos" comes from the nonexistence of meters of this type, able to reflect its behavior like process. With the result that an analysis was developed that allowed the gain and enrichments of enough knowledge to develop the investigation. In this case aspects related with the administration and their operation like system, besides their control by means of indicators applied in different universities of the world, highlighting the behavior in this sense of the university study object. It was also emphasized on the multiple regression, nets artificial neuronal and the design of experiments for the sake of using their tools for the solution of the presented problem. Then was created a general model that described the institution like process, identifying the variables that influence in this. Later on, starting from a Multiple Lineal Regression and a Net Artificial Neuronal the opposing conditions were adjusted and the pattern was identified **20-30-4** (*neurons in the entrance layer - neurons in the hidden layer - neurons in the exit layer*) as the best adjustment, with the biggest index in R^2 and smaller $MAPE$, presenting values of **0.9956** and **0.0456**, respectively. Subsequently a Design of Experiments was made that examined the behavior of the identified variables and in turn it allowed to determine the indicators to propose for its implementation in the University.

Key words: *process, administration, control, indicators, variables, adjustment*



Índice

Introducción.....	11
Capítulo 1. Marco Teórico de la Investigación.....	15
1.1 – Fundamentos teóricos sobre Gestión	15
1.1.1 – La Gestión como un Sistema	16
1.1.2 – Control de la Gestión	18
1.1.3 – Control de Gestión a través de indicadores.....	20
1.2 – Gestión en Universidades. Indicadores Implementados	22
1.2.1 – Gestión en Universidades del Mundo.....	24
1.2.1.1 – Indicadores de gestión universitaria implementados.....	25
1.2.1.2 – Indicadores de gestión energética-ambiental implementados.....	28
1.2.2 – Gestión en la Universidad de Cienfuegos	30
1.3 – Regresión Lineal Múltiple	32
1.4 – Redes neuronales artificiales (RNA).....	34
1.4.1 – Estructura de una red neuronal artificial.....	36
1.4.2 – Clasificación de los modelos neuronales.....	37
1.4.3 – Aplicación de un Perceptrón Multicapa (MLP).....	39
1.5 – Diseño de experimentos.....	40
Capítulo 2. Modelación de la Universidad de Cienfuegos a través de una Regresión Lineal Múltiple y una Red Neuronal Artificial. Variables que describen el proceso .	43
2.1 – Modelo Propuesto para la Universidad.....	43
2.2 – Análisis de las variables del proceso. Obtención de los datos para la muestra....	44
2.2.1 – Consumo de Agua	45
2.2.2 – Consumo de Diesel de Calderas.....	48
2.2.3 – Consumo de Electricidad	49
2.2.4 – Matrícula.....	50
2.2.5 – Tipo de Estudiantes	51



2.2.6 – Equipos.....	52
2.2.7 – Profesores	53
2.2.8 – Graduados	54
2.2.9 – Promoción por Año	55
2.2.10 – Artículos Publicados.....	55
2.2.11 – Impactos en Ciencia.....	56
2.2 – Modelado con Regresiones Lineales Múltiples	57
2.2.1 – Pruebas de normalidad de las variables de entrada del proceso	58
2.2.2 – Modelos Lineales Diseñados	60
2.2.3 – Mediciones de Precisión	63
2.3 – Modelado con Redes Neuronales Artificiales (RNA).....	64
2.3.1 – Normalización de los datos	65
2.3.2 – Estructura de las redes	65
2.3.3 – Entrenamiento de las redes neuronales.....	66
2.3.4 – Validaciones y Pruebas al conjunto de redes diseñadas. Obtención del mejor ajuste.....	67
2.4 – Comparación de Modelos.....	69
Capítulo 3. Determinación de Indicadores de Gestión en la UCF a través de un diseño de experimentos	72
3.1 – Diseño de experimentos.....	72
3.1.1 – Descripción del experimento	72
3.1.2 – Procesamiento estadístico	73
3.1.2.1 – Estudiantes Graduados	73
3.1.2.2 – Promoción	76
3.1.2.3 – Artículos Publicados	78
3.1.2.4 – Impactos en Ciencia.....	81
3.1.2.5 – Electricidad.....	84



3.1.2.6 – Agua y Diesel de Calderas	86
3.2 – Indicadores propuestos	87
3.2.1 – Indicadores de Estudiantes Graduados	87
3.2.2 – Indicadores de Promoción	88
3.2.3 – Indicadores de Artículos Publicados	89
3.2.4 – Indicadores de Impactos en Ciencia	90
3.2.5 – Indicadores de Consumo de Electricidad	91
Conclusiones	93
Recomendaciones	94
Bibliografía	95
Anexos	100



Introducción

La realidad de la educación superior y las instituciones universitarias está sufriendo en los últimos decenios cambios de gran magnitud. Tanto los teóricos y expertos en políticas de este tipo, como los responsables de gestión, aceptan los cambios y se plantean como objeto de análisis la manera en que las organizaciones reaccionan ante los mismos.

Estas instituciones han pasado de ser sencillas y estables a complejas y dinámicas, producto a nuevas realidades científico tecnológicas y demandas sociales enmarcadas en la nueva concepción de la sociedad del conocimiento y la información de fines del siglo XX y comienzos del XXI.

Estos sistemas tienen un rol central en el desarrollo de las sociedades, para ello deben contar con los mejores atributos que le permitan: formar personas con capacidades profesionales y académicas acordes con sus demandas; investigar y hacer progresar la ciencia y la tecnología; y transferir conocimientos a la sociedad para su desarrollo sostenible. De ahí que este nivel ha incrementado el número de estudiantes, con la consiguiente masificación en dependencia de cada territorio.

El comienzo del siglo XXI se caracteriza por el desarrollo de la era del conocimiento y la información, donde la universidad debe ocupar un lugar protagónico en esta nueva sociedad, ejerciendo el liderazgo en la conformación de los principales aportes de estas nuevas configuraciones. De ahí que se ha derivado un proceso de internacionalización de la ciencia y la tecnología, a través del intercambio de investigadores y estudiantes, y la cooperación creciente entre universidades.

El sistema de educación superior actual, utiliza para la toma de decisiones, datos, opiniones generalizadas, información; todos estos, con distinto grado de confiabilidad, pertinencia y oportunidad. La meta de los responsables de los sistemas de este tipo, a partir de su capacidad de controlar y regular, es sin dudas, instaurar procesos de gestión que valoren la efectividad y, especialmente, la eficiencia de las instituciones universitarias.



Situación Problemática:

Ante esta situación se suele proclamar con frecuencia la necesidad de un sistema de indicadores que reflejen claramente la situación de las universidades. La Universidad de Cienfuegos no es excepción en este sentido, ya que no existen indicadores de gestión, capaces de reflejar su comportamiento como una función de producción, donde se puedan identificar las variables de entrada y salida, es decir, los factores de mayor influencia que permiten analizar cómo funciona la institución, valorar su rendimiento, lo que posibilita la toma de medidas en función de mejorar términos referidos a gestión de los recursos, además de considerar nuevos métodos que contribuyan a la reducción de los índices de consumo. Aspecto que constituye una herramienta de complementariedad necesaria y muy valiosa para la mejora y el cumplimiento de los objetivos, operando como medio de información a la sociedad y a los que han de tomar decisiones sobre el funcionamiento de las instituciones de educación superior.

Problema Científico:

La Universidad de Cienfuegos “Cede: Carlos Rafael Rodríguez” no cuenta con indicadores de gestión capaces de reflejar su comportamiento como un proceso.

Hipótesis:

Mediante la implementación de un modelo de ajuste y posteriormente un diseño de experimentos, es posible plantear indicadores de gestión que describan la Universidad de Cienfuegos como un proceso.

Objetivo General:

Proponer indicadores de gestión que describan la Universidad de Cienfuegos como un proceso.

Objetivos Específicos:

- 1- Realizar un marco teórico referencial que sustente la implementación de indicadores de gestión en las universidades.



- 2- Diseñar un modelo que contemple las variables que describan la universidad como un proceso.
- 3- Desarrollar un ajuste que simule el comportamiento de la Universidad a partir de las variables identificadas.
- 4- Crear un Diseño de Experimentos que determine la dependencia entre las variables referidas.

Capítulo 1. Marco Teórico de la Investigación

En este capítulo se desarrollará un análisis que contemple la adquisición y enriquecimientos de conocimientos previos a la investigación. Dígase aspectos relacionados con la gestión y su control mediante indicadores aplicados en distintas universidades del mundo. Además se argumentará sobre la Regresión Lineal Múltiple, Redes Neuronales Artificiales y el Diseño de Experimentos; como factores a tener en cuenta en la solución del problema encontrado.

Capítulo 2. Modelación de la Universidad de Cienfuegos a través de una Regresión Lineal Múltiple y una Red Neuronal Artificial. Variables que describen el proceso

En este capítulo se creará un modelo general que caracterice a la universidad como un proceso, identificando las variables tanto de entrada como salida que intervienen en su funcionamiento. Posteriormente, a partir de una Regresión Lineal Múltiple y una Red Neuronal Artificial se ajustarán las condiciones encontradas y se identificará el mejor ajuste.

Capítulo 3. Determinación de Indicadores de Gestión en la UCF a través un Diseño de Experimentos

En este capítulo se desarrollará un Diseño de Experimentos que analizará el comportamiento de las variables identificadas con anterioridad y a su vez conllevará a la determinación de los indicadores a proponer para su implementación en la Universidad.

Capítulo 1



Capítulo 1. Marco Teórico de la Investigación

En este capítulo se desarrolla un proceso investigativo en aras de obtener nuevos conocimientos y enriquecer los ya obtenidos, con respecto al desarrollo de un sistema de gestión en las universidades, específicamente en la UCF. Para ello se tienen en cuenta las diferentes concepciones planteadas por personas con vastos conocimientos al respecto. Además se hace énfasis en este proceso analizado como sistema, identificando las dimensiones que lo componen y argumentando la que se considera con mayor carácter práctico. También se destacan aspectos sobre la Regresión Lineal Múltiple, Redes Neuronales Artificiales y el Diseño de Experimentos; con el objetivo de reposar sobre sus maniobras la necesidad de solucionar la problemática existente.

1.1 – Fundamentos teóricos sobre Gestión

Existen diferentes concepciones acerca de gestión que pueden agruparse en cuatro conceptos básicos: propiedad emergente, propiedad de jerarquía, comunicación y control. En la **figura 1.1** se representa un esquema que demuestra esta afirmación (**Beltrán, 2002**).



Figura 1.1 Conceptos básicos de gestión. Fuente:(Beltrán, 2002)

La propiedad emergente se refiere a que la gestión está compuesta por diferentes partes, pero al considerársele como un todo, resulta ser más compleja que la suma de sus mismas partes. Esta variable hace que los sistemas funcionen, gracias a que las propiedades de sus partes emergen hacia la constitución del



todo; al operar conjuntamente con los demás elementos deben producir valor agregado para el funcionamiento de todo el sistema productivo **(Pacheco, Castañeda, & Caicedo, 2002)**.

La propiedad de jerarquía hace que el problema de la supervivencia y la competencia ocupen un lugar central. Los problemas de este tipo se relacionan con el medio, en el sentido que existen mayores logros y capacidades gracias a la eficiencia y eficacia de la producción del sistema. Al relacionarse con dicho medio, se da origen a los dos conceptos restantes de comunicación y control **(Abadie, 2010)**.

La comunicación se constituye por las líneas de interrelación con el medio, lo que permite a la organización responder de acuerdo con las necesidades del entorno y de manera cada vez más competitiva. El sistema de información retroalimenta sobre los mecanismos de autorregulación adoptados y es entonces cuando se decide modificar o potencializar las estrategias implementadas.

Con la idea de que la gestión debe estar asociada a determinados objetivos, el control se entiende como la estrategia de un sistema para alcanzar esos objetivos. Dentro de un sistema de gestión se encarga de prever los mecanismos bajo los que se verificará oportunamente el cumplimiento de las metas de la organización **(Abad, 2001)**.

De acuerdo con los cuatro conceptos señalados, se puede resumir que la idea de sistema radica en que el todo organizado jerárquicamente, al tener propiedades emergentes, podría, en principio, ser capaz de sobrevivir en un medio cambiante si tiene procesos de comunicación y control que le permitan adaptarse en respuesta a los impactos del medio **(Beltrán, 2002)**.

1.1.1 – La Gestión como un Sistema

La gestión puede ser definida como un sistema, a partir de diferentes corrientes teóricas modernas que tratan sobre teorías sociológicas, psicológicas, biológicas y de la tecnología.



Vista de esta manera involucra un conjunto de cinco dimensiones relacionadas entre sí (**figura 1.2**).

La primera de ellas se centra en los objetivos y la estrategia. Los objetivos están asociados con la misión de la organización y la estrategia con las reglas necesarias para alcanzar las metas propuestas. Objetivos y estrategias se definen de acuerdo con el entorno y se constituyen como el punto de partida de la gestión (**Granados, 2004**).

La segunda dimensión tiene que ver con la evidencia de prácticas directivas como el control, la toma de decisiones y el despliegue de la estrategia. Las anteriores son el motor de la gestión dentro de la organización. El control es un atributo de un sistema, es una estrategia para lograr sus objetivos. Por medio de este se evalúa el sistema a través de la retroalimentación establecida frente a la desviación de las metas. La toma de decisiones debe basarse en un conjunto de reglas acorde con las estrategias propuestas, de esta manera, se constituye como una de las reglas el aprovisionamiento de información necesaria para asegurar la calidad en las decisiones. Finalmente, el despliegue de la estrategia radica en la armonización del direccionamiento estratégico con los planes y las ejecuciones más pequeñas e importantes (**Charry, 2003**).

La tercera dimensión es la estructura y organización donde lo importante radica en garantizar directrices de funcionamiento coherentes y la eficacia global de una institución o entidad determinada. Para lograrlo en ocasiones se reducen niveles jerárquicos y se descentraliza la operación dando mayor autonomía y responsabilidad a las personas (**González, 2006**). Como cuarta dimensión se encuentran los métodos, instrumentos y herramientas. Estos son indicativos del desarrollo de las formas de gestión y se requiere de su utilización para lograr impulsar la consecución de las estrategias de la organización. Dentro de los instrumentos de la gestión, se encuentran los sistemas de medición por indicadores; estos permiten remplazar las apreciaciones subjetivas por medidas objetivas del comportamiento de determinadas variables y adicionalmente resultan ser valiosas cuando de la evaluación periódica se trata (**Escudero, 2001**).



La quinta dimensión se encuentra relacionada con la cultura y personalidad de la organización. Cualquier medio de gestión se basa en el quehacer de las personas como fuentes generadoras de conocimiento y productividad. Sin embargo, las personas se encuentran inmersas en realidades organizacionales que afectan positiva o negativamente su comportamiento laboral. Para que se cumplan efectivamente los objetivos, debe direccionarse la cultura y personalidad para que sean coherentes con las estrategias y los tiempos de consecución de metas (Pacheco et al., 2002).

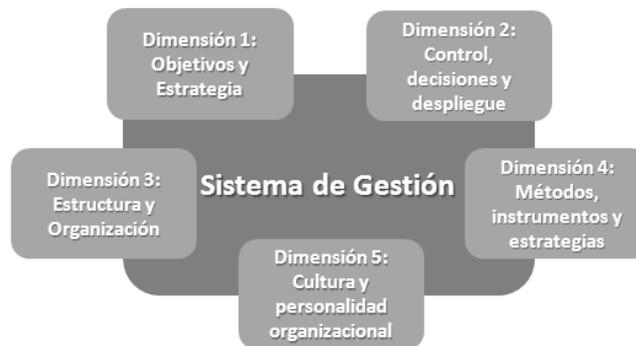


Figura 1.2 Sistema de Gestión. Fuente: (Granados, 2004)

1.1.2 – Control de la Gestión

El control de gestión se define como un instrumento gerencial, integral y estratégico que, apoyado en indicadores, índices y cuadros producidos en forma sistemática, periódica y objetiva, permite que la organización sea efectiva para captar recursos, eficiente para transformarlos y eficaz para analizarlos.

Otra definición aceptada indica que es un sistema de información estadística, financiera, administrativa y operativa que puesta al servicio de la directiva de la organización, le permite tomar decisiones acertadas y oportunas, adoptar las medidas correctivas que correspondan y controlar la evolución en el tiempo de las principales variables y procesos (Serna, 2001).

Para controlar es necesario poseer indicadores que permitan evaluar el desempeño de los procesos (Pacheco et al., 2002). Los mismos responden a dos principios básicos de gestión: lo que no se mide no es gerencial y el control se ejerce a partir de hechos y datos.



En el mismo sentido, controlar es mantener el comportamiento de los factores vitales dentro de un rango previamente determinado, durante cierto período **(Beltrán, 2002)**. Está centrado en el cómo se hacen las cosas, su énfasis está en la producción de rendimientos, utiliza normas y estándares, se centra en el futuro de la organización, es integral y evalúa el rendimiento **(Universidad Nacional de Colombia, 2002)**.

El sistema de control de gestión está destinado a ayudar a los distintos niveles de decisión a coordinar las acciones, a fin de alcanzar los objetivos de mantenimiento, desempeño y evolución, fijados a distintos plazos **(González, 2006)**.

Otra forma de definir el control de gestión es a través de diferentes enfoques **(figura 1.3)**.

El primero de ellos como un sistema basado en las finanzas, donde mediante indicadores numéricos se muestra el desempeño de una organización en lo relacionado con la productividad y los ingresos.

El segundo enfatiza el control como un sistema para fijar metas cuantitativas y evaluar el desempeño de los directivos.

El tercero relaciona el control con el balance social dentro y fuera de la organización pero relacionado directamente con su misión.

El cuarto observa el control de gestión como un sistema de mejoramiento continuo, a través del cual se mide permanentemente el comportamiento de los objetivos organizacionales para ajustar las estrategias y de esta forma conseguir las metas propuestas a mediano plazo.

Finalmente, el quinto enfoque se encuentra relacionado con el anterior y asume el control de gestión como un sistema integral de evaluación periódica de dicha organización, con respecto a ciertas dimensiones, estándares, datos históricos y metas definidas previamente **(Pacheco et al., 2002)**.



Figura 1.3 Enfoques del control de Gestión. Fuente: (Pacheco et al., 2002)

Teniendo en cuenta estos enfoques, se puede afirmar que el control de gestión es un sistema de mejoramiento continuo, basado en indicadores numéricos, que realiza una reflexión sistemática sobre unos factores claves del desempeño de la organización, para descubrir deficiencias y enfocar con mayor efectividad los esfuerzos que esta hace para perfeccionarse. Se considera que el control de gestión hacia un proceso es aquel mediante el cual se le da cumplimiento a los objetivos de una organización.

1.1.3 – Control de Gestión a través de indicadores

El control de gestión descansa sobre el seguimiento y la medición de indicadores. Este proceso toma la forma de estimar el desempeño real, de compararlo con un objetivo-meta y desencadenar una acción correctiva en caso de ser necesario. **(Carlos, 2010).**

Se entiende por indicador la relación entre variables cuantitativas o cualitativas, que permiten observar la situación y las tendencias de cambio generadas en el objeto o fenómeno observado, respecto a objetivos y metas previstas e influencias esperadas **(Beltrán, 2002)**. Estos indicadores generan valor en sí mismos y no pueden ser tomados como simples datos aislados. Deben ser cuantificables debido a que se convierten en el patrón de confiabilidad de las percepciones subjetivas de la dirección y también porque los fenómenos abstractos son difícilmente traducibles a cifras concretas.



Dada la particularidad en la forma de realizar las mediciones y la caracterización de las organizaciones, es necesario tener muy en cuenta que los indicadores numéricos requieren de apreciaciones centradas en el contexto donde se comportan las variables. En otras palabras, de requerirse un análisis entre diferentes organizaciones, se deberá considerar el resultado de este como un patrón de referencia y no de comparación, teniendo en cuenta la particularidad de cada una de las organizaciones en estudio **(Abad, 2001)**.

Existen diferentes tipos de indicadores numéricos. Aquellos que se denominan como razón incluyen la relación que se obtiene al dividir un dato entre su base, aclarando que numerador y denominador deben expresarse en unidades de medida de la misma naturaleza (monedas, pesos, cantidades); en caso que se relacionen unidades de medida de diferente naturaleza, el resultado recibe el nombre de tasa (clientes atendidos / horas hombre).

Los porcentajes representan el valor relativo de una medida con respecto al valor de referencia igual a cien, es decir, muestran la relación de una parte con relación al todo que la compone. Los promedios se expresan a través de medidas estadísticas como media, mediana y moda y representan la medida de un valor con respecto al comportamiento del conjunto de datos. Finalmente los índices expresan las modificaciones de una variable con respecto a una base que se le asigna el valor de cien, es decir, es de utilidad para comparar los cambios que ocurren en una medida a través del paso del tiempo **(Pacheco et al., 2002)**.

A partir de las anteriores ideas se puede resumir que un indicador es algo que indica, muestra, señala o cuantifica el grado en que las actividades de un proceso logran su objetivo. Están dirigidos a procesos, resultados o productos de los mismos, ayudando también a identificar y anticipar conflictos organizacionales. Un indicador correctamente construido debe tener las siguientes características: un nombre completo donde se incluya su objetivo y utilidad, una fórmula para calcularlo y la unidad de resultado (porcentaje, tasa, razón, etcétera) **(Beltrán, 2002); (Abadie, 2010)**.



Ahora bien, el término productividad puede ser entendido como la fuerza o actividad requerida como insumo para crear valor o resultado de un determinado proceso. Se puede comprender la productividad como un resultado de la capacidad o fuerza de alguien (recursos humanos, máquinas, empresas o instituciones) medido a través de ciertos indicadores.

Se infiere entonces que para el mejoramiento de la capacidad productiva, es necesario el análisis y desarrollo de todas las variables que intervienen en un determinado proceso. De ahí que una buena gestión requiere de medidas adecuadas de productividad **(Yepes & Cols, 2000)**.

Dentro de las ventajas de la incorporación de sistemas de gestión basados en el uso de los indicadores se encuentra la reducción drástica de la incertidumbre, de las angustias y la subjetividad, con el consecuente incremento de la efectividad de la organización y el bienestar de todos los trabajadores. Motiva a los miembros del equipo para alcanzar metas retadoras, y generar un proceso de mantenimiento continuo que haga que su proceso sea líder. Estimula y promueve el trabajo en conjunto, contribuyendo al desarrollo y crecimiento tanto personal como del grupo dentro de la organización. Permite el ejercicio autoevaluativo midiéndose a sí mismo y estableciendo los correctivos necesarios para la mejora en la gestión **(Yepes & Cols, 2000)**; **(Beltrán, 2002)**.

De manera general los beneficios de la implementación de indicadores se pueden sintetizar en lo siguiente: satisfacer al cliente; monitoreo permanente del progreso o retroceso de la organización; comparar procesos y actividades; gestionar el cambio **(Charry, 2003)**. Pero como todo método, puede presentar algunos obstáculos que son necesarios enfrentar. Estos están dados esencialmente por la resistencia al cambio; visión de corto plazo; no creer en la importancia de medir; temor a mayor control; y la preocupación sobre tiempos y costos involucrados **(Yepes & Cols, 2000)**.

1.2 – Gestión en Universidades. Indicadores Implementados

La gestión universitaria está asociada al concepto general de gestión o gerencia estratégica. La gerencia estratégica se define como la formulación, ejecución y



evaluación de acciones que permitirán que una organización logre sus objetivos. A partir de esta definición, la formulación de estrategias supone una secuencia que incluye la identificación de las debilidades y fortalezas internas de la organización; la determinación de amenazas y oportunidades externas; el establecimiento de misiones; la fijación de objetivos; el desarrollo y análisis de estrategias alternativas, y la decisión de escoger las más convenientes **(David, 2005)**.

Hoy día, las instituciones universitarias son cada vez más conscientes de su realidad competitiva y sobre todo de la importancia de mantenerse vigentes y actualizadas en el nuevo mundo globalizado. De la misma manera son más responsables de su misión en la sociedad, deseando lograr la permanencia a través de la calidad formativa medida a través de sus diferentes frentes. Las anteriores situaciones, llevan, como en cualquier contexto empresarial, a la racionalización en los gastos de operación con respecto a los ingresos que se logran por diferentes conceptos **(Carlos, 2010)**.

Los indicadores pueden estar referidos a tres tipos de elementos dentro de una organización: insumos, procesos y resultados. Los primeros tienen que ver con elementos no elaborados que ingresan al sistema, tales como recursos humanos financieros y físicos que ingresan a programas, actividades o servicios de una universidad.

Los procesos se relacionan con las formas y los métodos que se utilizan para impartir programas, actividades y servicios. Los indicadores de procesos informan acerca de las formas en que los insumos se convierten en productos o resultados. Entre otros, son indicadores de procesos las evaluaciones de rendimiento estudiantil, las tecnologías utilizadas, las mediciones del cumplimiento docente, las evaluaciones de calidad de la enseñanza, etcétera. Los resultados hacen referencia a productos, efectos o impactos que salen del sistema. Son indicadores de resultado: el número o proporción de los egresados, el número de títulos otorgados en un año determinado o los impactos que se producen en la comunidad como consecuencia del desarrollo de programa o actividades de una universidad **(Abadie, 2010)**.



viabilidad de la oferta educativa, y lógicamente el acercamiento al asunto de los indicadores de gestión en el mismo contexto.

Desde su estructura de estadísticas e indicadores universitarios incluye en sus diferentes reportes elementos referentes a la investigación, extensión, análisis de la situación del entorno que se clasifica dentro de contexto, estadísticas de la Universidad (datos de admitidos, matriculados, graduados, recursos humanos vinculados a la Universidad), medios de comunicación, salud universitaria, universidad virtual (**Universidad Nacional de Colombia, 2002**).

Las universidades españolas cuentan con gran cantidad de información, sin embargo no en todos los casos cumple con las expectativas de calidad y organización. Algunos de los inconvenientes encontrados se relacionan con diversidad de archivos contruidos con diferentes criterios, falta de confiabilidad de la información, bases de datos incompletas y desiguales, diferencias entre los criterios de organización de información e inexistencia en la utilización de indicadores comunes en las Instituciones de Educación Superior (IES) (**Escuadero, 2001**).

En el contexto específico de las universidades venezolanas, el proceso de gestión abarca la dirección, jefatura y/o coordinación que incluyen la formulación, ejecución y evaluación de estrategias, acciones, operaciones y tareas, tanto en forma individual como en grupo, orientadas a la realización de procesos y al logro de los objetivos y metas de unidades o programas académicos en diferentes niveles de la organización.

1.2.1.1 – Indicadores de gestión universitaria implementados

Algunas de las Universidades que han aplicado el trabajo con indicadores de gestión universitaria son la Universidad Central de Venezuela, la Universidad Simón Bolívar y la Universidad de los Andes, ambas pertenecientes al estado venezolano (**Salcedo Galvis, 2006**).

En el caso de la Universidad de los Andes, dispone de la Dirección General de Planificación y Desarrollo (PLANDES), a través de la cual se adelantan los



procesos de diagnóstico de los sistemas de información, así como el diseño, formulación, validación e implantación del sistema de indicadores que contribuirá a mejorar la gestión universitaria (**Salcedo G, Ruzza, & Zerpa, 2011**).

Algunos de los indicadores aplicados en este sentido en algunas universidades se muestran seguidamente:

Tabla 1.1 *Indicadores de gestión universitaria aplicados en universidades venezolanas.*

Fuente: Elaboración propia

Indicador	Formulario	Ecuación
Tasa de incorporación estudiantil	$TINC(t) = (NI(t)/ME(t))$	(1.1)
Tasa de demanda estudiantil satisfecha	$TDS(t) = (NI(t)/DT(t))$	(1.2)
Relaciones estudiante por profesor	$REP(t) = ME(t) / PTCEq(t)$	(1.3)
Rotación matricular	$RM(t) = NI(t) / GR(t)$	(1.4)
Tasa bruta de graduación	$TBG(t) = (GR(t) / ME(t))$	(1.5)
Tasa de asignación presupuestaria al programa de enseñanza	$TPPE(t) = (PAE(t)/TPA(t))$	(1.6)
Tasa de PPI institucional	$TPPII(t) = (PPI(t)/(DE + TC(t))$	(1.7)
Tasa de PPI nacional	$TPPIN(t) = (PPI(t)/TPPI(t))$	(1.8)
Tasa de asignación presupuestaria al programa de investigación	$TPI(t) = (PAI(t)/TPA(t))$	(1.9)
Tasa de asignación presupuestaria al programa de extensión	$TPEX(t) = (PAEX(t)/TPA(t))$	(1.10)

Anteriormente se hace referencia a indicadores pertenecientes al área académica (Docencia, Investigación y Extensión), aunque también se aplican algunos vinculados a la gestión de los recursos, dígame recursos humanos y financieros; véase **anexo 1.1** (*Gestión de los recursos*).

Nota: Se considera necesario destacar que en todos los casos donde aparece el subíndice (t) se hace alusión al año fiscal de referencia.

Docencia

Tasa de incorporación estudiantil (TINC): Se refiere al porcentaje de estudiantes nuevos respecto a la matrícula total; donde NI- Nuevos Inscritos; y ME- Matrícula Estudiantil.



Tasa de demanda estudiantil satisfecha (TDS): Hace alusión al porcentaje de estudiantes nuevos inscritos respecto a la demanda total en primera opción; donde *NI*- Nuevos Inscritos; y *DT*- Demanda Total en primera opción.

Relaciones estudiante por profesor (REP): Es la relación entre el número promedio de estudiantes por profesor a tiempo completo equivalente; donde *ME*- Matrícula Estudiantil de pregrado; *PTCEq*- Profesor Tiempo Completo Equivalente que está dado por:

$$PTCEq = DE + TC + \frac{1}{2}MT + \frac{1}{4}Tconv \quad (1.11)$$

En este caso *DE*- Dedicación exclusiva; *TC*- Tiempo Completo; *MT*- Medio Tiempo; y *Tconv*- Tiempo convencional.

Rotación Matricular (RM_{pg}): Relación entre el número de nuevos inscritos y el número de estudiantes graduados; dado por los *NI*- Nuevos inscritos; y *GR*- Estudiantes Graduados.

Tasa bruta de graduación (TBG): Porcentaje de estudiantes graduados respecto a la matrícula estudiantil; para lo que *GR*- Graduados; y *ME*- Matrícula Estudiantil.

Tasa de asignación presupuestaria al programa de enseñanza (TPPE): Porcentaje presupuestario asignado al programa de enseñanza; denotado por el *PAE*- Presupuesto Asignado al Programa de Enseñanza; y *TPA*- Total Presupuesto Asignado.

Investigación

Tasa de PPI institucional (TPPII): Porcentaje de profesores de la institución acreditados en el PPI en relación con el total de profesores a dedicación exclusiva y tiempo completo; en este caso *PPI*- Investigadores acreditados PPI; y *DE + TC*- Profesores a Dedicación Exclusiva y Tiempo Completo.

Tasa de PPI nacional (TPPIN): Porcentaje de profesores de la institución acreditados en el PPI en relación con el total de profesores acreditados a escala



nacional; para lo que *PPI*- Investigadores acreditados PPI; y *TPPI*- Investigadores acreditados PPI nacional.

Tasa de asignación presupuestaria al programa de investigación (*TPI*): Porcentaje presupuestario asignado al programa de investigación; dado por el *PAI*- Presupuesto asignado al programa de investigación; y *TPA*- Total presupuesto asignado.

Extensión

Tasa de asignación presupuestaria al programa de extensión (*TPEX*): Porcentaje presupuestario asignado al programa de extensión; donde *PAEX*- Presupuesto asignado al programa de extensión; y *TPA*- Total presupuesto asignado.

1.2.1.2 – Indicadores de gestión energética-ambiental implementados

En este caso se muestra un resumen de algunos de los más utilizados actualmente a nivel mundial, específicamente en universidades chilenas y españolas.

Tabla 1.2 Indicadores de gestión energética aplicados en universidades chilenas y española. Fuente: Elaboración propia

Indicador	Formulario	Ecuación
Consumo Energético Anual	$CEA = C_{enero} + C_{febrero} + \dots + C_{diciembre}$	(1.12)
% Ahorro respecto al año anterior	$\% \text{ Ahorro} = \frac{C. \text{ año actual} - C. \text{ año ant}}{C. \text{ año ant}} * 100$	(1.13)
Consumo final de energía desagregado por sectores	$CF_{\text{área } 1} = X$ $CF_{\text{área } 2} = Y$... $CF_{\text{área } n} = Z$	(1.14)
Consumo de Energía per cápita	$CER = \frac{\text{Consumo total}}{\text{Total Personas}}$	(1.15)
Consumo por unidad de área construida	$CUAC = \frac{\text{Consumo total}}{\text{Área construida}}$	(1.16)
Emissiones de CO ₂ por	$EAC = \frac{\text{Emisiones de CO}_2}{\text{Área construida}}$	(1.17)



unidad de área construida

Consumo por iluminación $I_{iluminación} = \frac{Potencia\ instalada}{Superficie * Iluminación}$ (1.18)

Consumo por equipos de cómputo $I_{cómputo} = \frac{Energía}{\#PC * Horas\ de\ uso}$ (1.19)

Sostenibilidad energética (%) $I_{sostenibilidad} = \frac{Energía\ generada}{Energía\ total\ consumida}$ (1.20)

Eficiencia energética global

-

-

Consumo Energético Anual: Permite medir la cantidad de energía que utiliza una edificación en un año, desglosado por meses.

% Ahorro respecto al año anterior: Permite conocer el porcentaje de ahorro del presente año, comparado con el año anterior.

Consumo final de energía desagregado por sectores: Permite conocer patrones de consumo de los diferentes sectores o áreas en estudio.

Consumo de Energía per cápita: Determina el consumo aparente que surge de la tasa de consumo final de energía de todas las edificaciones de la universidad y el número de personas, tanto estudiantes, profesores como cualquier otro personal.

Consumo por unidad de área construida (kW-h/m²-año): Este índice busca correlacionar el consumo total de una edificación con respecto al área construida del mismo.

Emisiones de CO₂ por unidad de área construida (kgCO₂/m²-año): Este índice busca correlacionar las emisiones totales de CO₂ de una edificación con respecto al área construida del mismo.

Consumo por iluminación (kW/m²-Lux): En este caso se tiene en cuenta la relación entre la potencia instalada debido a la iluminación la superficie total a iluminar y la iluminación mantenida.

Sostenibilidad energética (%): Este indicador se refiere al porcentaje de energía que la edificación es capaz de generar con referencia al total consumido.



Consumo por equipos de cómputo (kW-mes): Indica la relación entre la energía que consume un número de equipos de cómputo según las horas de uso en una unidad de tiempo determinada; donde # PC se refiere al número de computadoras.

Eficiencia energética global: Este se utiliza para certificar edificaciones.

1.2.2 – Gestión en la Universidad de Cienfuegos

Precedentemente se han desarrollado algunas investigaciones, como parte de los estudios relacionados con la implementación de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía en la Universidad de Cienfuegos, en las que se han definido indicadores para la gestión de energía y agua, que se centran en elementos tradicionales de la gestión universitaria: gasto de energía/superficie, gasto de energía/matrícula + trabajadores, gasto de agua/matrícula, gasto de agua/matrícula + trabajadores, entre otros citados en la tabla siguiente.

Tabla 1.3 Indicadores implementados en la UCF. Fuente: (Díaz Rodríguez, 2012)

Indicador	Formulario	Ecuación
Energía consumida por Estudiante Diurno	$\frac{kWh}{\text{Estudiante Diurno}}$	(1.21)
Energía consumida por Matrícula Total	$\frac{kWh}{\text{Matrícula Total}}$	(1.22)
Energía consumida por Estudiante Becado Cubano	$\frac{kWh}{\text{Estudiante Becado Cubano}}$	(1.23)
Energía consumida por Estudiante Becado Extranjero	$\frac{kWh}{\text{Estudiante Becado Extranjero}}$	(1.24)
Litros de Diesel por Comensales del Comedor	$\frac{\text{Litros Diesel}}{\text{Comensales del Comedor}}$	(1.25)
Litros de Gasolina por km recorridos por medios de transporte	$\frac{\text{Litros Gasolina}}{\text{km recorridos}}$	(1.26)
Litros de Diesel por km recorridos por medios de transporte	$\frac{\text{Litros Diesel}}{\text{km recorridos}}$	(1.27)
Consumo promedio diario de agua (m^3)	-	-

Los análisis documentales realizados hasta la fecha permiten identificar que este tipo de indicadores también son utilizados con frecuencia en la gestión de



sistemas energéticos empresariales en diferentes partes del mundo, y verifican las carencias existentes en indicadores de salida o indicadores de producto final.

Tal es así que en los estudios efectuados, se han encontrado componentes de los consumos de materias primas y portadores energéticos, que no tienen una relación directa con los estándares de calidad utilizados en la evaluación del comportamiento de dichos indicadores y es frecuente que algunos de estos componentes del consumo, no se asocien incluso a los productos y se mantengan aún en situaciones extremas bajo los supuestos de cero matrícula, cero trabajadores o lo que es lo mismo, cero producción si se observa desde una óptica empresarial.

De igual manera, en el caso del establecimiento de indicadores para la gestión energética en inmuebles o edificaciones, el tratamiento es muy tradicional, generalmente a partir de la potencia media consumida por los equipos eléctricos o electrónicos en ellos instalados y los tiempos medios de trabajo de los mismos, sin tener en cuenta otros elementos como el tipo de edificación, sus características arquitectónicas y constructivas, el clima en dependencia de la época del año en las particularidades cubanas y las horas del día, las condiciones del emplazamiento, las condiciones de ubicación de los equipos en los inmuebles (aislamiento térmico, ubicación física, temperaturas externas), el perfil teórico de uso y gestión para el que fue previsto el inmueble inicialmente.

En la terminación del curso escolar 2010-2011 se realizó un trabajo de diploma en el que se integra la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía con la norma ISO- 500019 y se analizaron algunos indicadores de salida, no obstante existen otros que no se contemplan, sobre todos los de desempeño académico, de la economía, el medio ambiente y lo aspectos sociales en las universidades.

Otro indicador propuesto se encuentra referido a los estudiantes equivalentes, este también se planteó en una tesis de diploma pero en el curso 2013-2014. El mismo utiliza el término estudiante equivalente para generalizar los trabajadores de servicio social, becados cubanos y externos; entre otros, con un peso



correspondiente a cada uno de forma tal que describen el consumo de electricidad.

En resumen, no se han encontrado evidencias, en los modelos de gestión energética y de gestión del agua que aporta la literatura especializada, de la consideración de elementos asociados a las características operacionales y funcionales del campus y sus instalaciones como:

El uso (uso energético cuando, por ejemplo, la potencia instalada obedece a unas necesidades energéticas directamente relacionadas con el tipo de inmueble, características arquitectónicas, características constructivas, clima externo, las horas del día, las condiciones del emplazamiento y el perfil teórico de uso y gestión previsto inicialmente para el inmueble).

La gestión (diferencias entre las condiciones teóricas previstas y la realidad de funcionamiento del edificio).

No se reportan con frecuencia la aplicación de herramientas como el Análisis del Ciclo de Vida, para la identificación de indicadores de salida y se trabaja por regla general, con indicadores tradicionales de monitoreo de procesos sin enfoques a los productos como la del elemento último en la salida de un proceso.

Ello ha llevado también a que los modelos para el pronóstico de consumo de energía y agua reportados por la literatura especializada, tengan fallas por las causas mencionadas con anterioridad y porque no considera la incertidumbre presente en los datos históricos utilizados para pronosticar **(Peña Acción, 2012)**.

1.3 – Regresión Lineal Múltiple

La complejidad de la mayor parte de los mecanismos científicos es tal que para ser capaces de predecir una respuesta significativa se necesita un modelo de regresión múltiple. Cuando este modelo es lineal en los coeficientes, se denomina modelo de regresión lineal múltiple **(Rojo Abuín, 2010)**. La teoría de estos modelos es bien extensa, de ahí que solo se hace alusión a lo esencial.



Al ajustar un modelo a un conjunto de datos existentes siempre se comete un error de estimación ε entre los datos reales y los que se obtienen con un modelo de ajuste de forma general.

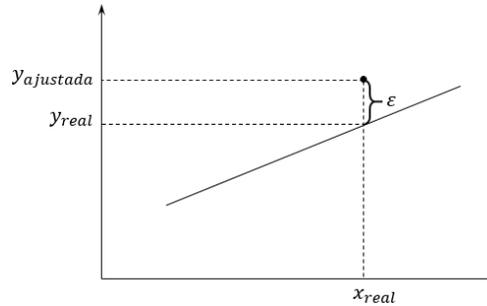


Figura 1.4 Error aleatorio o de estimación ε . Fuente: Elaboración propia

Cuando se utiliza un modelo de regresión lineal múltiple, en particular cuando el número de variables pasa de dos (ya sean dependientes o independientes), el conocimiento de las teorías matriciales puede facilitar las manipulaciones matemáticas (**Walpole, Myers, & Myers, 2008**). Suponga en este momento que se tienen k variables independientes x_1, x_2, \dots, x_k y n observaciones y_1, y_2, \dots, y_n , cada una de las cuales se puede expresar por la **ecuación 1.21**.

$$y_n = \beta_0 + \beta_1 x_{n1} + \beta_2 x_{n2} + \dots + \beta_k x_{nk} + \varepsilon_n \quad (1.28)$$

Este modelo en esencia representa n ecuaciones que describen como se generan los valores de la respuesta y_n . Con el uso de la notación matricial la **ecuación 1.28** se puede escribir de la siguiente forma:

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (1.29)$$

Ahora bien, si se tienen cuatro variables dependientes y_{nj} (donde $n = 60$ y $j = 4$), y se cuenta asimismo con once variables independientes x_{nk} ($k = 11$). Se puede plantear un modelo de regresión lineal múltiple con la utilización del álgebra de matrices, tal y como sigue:

$$\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} & y_{14} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} & y_{24} \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} & y_{34} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} & y_{n3} & y_{n4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ 1 & x_{31} & x_{32} & \dots & x_{3k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_{01} & \beta_{02} & \beta_{03} & \beta_{04} \\ \beta_{11} & \beta_{12} & \beta_{13} & \beta_{14} \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \beta_{23} & \beta_{24} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta_{k1} & \beta_{k2} & \beta_{k3} & \beta_{k4} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} & \varepsilon_{14} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} & \varepsilon_{24} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} & \varepsilon_{34} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \varepsilon_{n1} & \varepsilon_{n2} & \varepsilon_{n3} & \varepsilon_{n4} \end{bmatrix} \quad (1.30)$$



1.4 – Redes neuronales artificiales (RNA)

Una red neuronal, según **(Freeman & Skapura, 1993)**, es un sistema de procesadores paralelos conectados entre sí en forma de grafo dirigido. Esquemáticamente cada uno de sus elementos de procesamiento (neuronas) se representan como un nodo. Estas conexiones establecen una estructura jerárquica que tratando de emular la fisiología del cerebro busca nuevos modelos de procesamiento para solucionar problemas concretos del mundo real.

Lo significativo en el desarrollo de la técnica de las RNA es su útil comportamiento al aprender, reconocer y aplicar relaciones entre objetos y tramas de objetos propios del mundo real. En este sentido, se utilizan como una herramienta que podrá emplearse para solucionar problemas complejos. Ello es posible gracias a sus principios de funcionamiento, los cinco más importantes son citados por **(Hilera González & Martínez Hernández, 1995)**. Estos son enunciados a continuación:

Aprendizaje adaptativo: Esta es quizás la característica más importante de las redes neuronales, pueden comportarse en función de un entrenamiento con una serie de ejemplos ilustrativos. De esta forma, no es necesario elaborar un modelo a priori, ni establecer funciones probabilísticas. Además pueden modificarse constantemente con el fin de adaptarse a nuevas condiciones de trabajo.

Autoorganización: Mientras que el aprendizaje es un proceso donde se modifica la información interna de la red neuronal artificial, la autoorganización consiste en la modificación de la red completa con el fin de llevar a cabo un objetivo específico.

Autoorganización significa generalización, de esta forma una red puede responder a datos o situaciones que no ha experimentado antes, pero que puede inferir sobre la base de su entrenamiento. Esta característica es muy útil sobre todo cuando la información de entrada es poco clara o se encuentra incompleta.

Tolerancia a fallos: En la computación tradicional la pérdida de un fragmento pequeño de información puede acarrear comúnmente la inutilización del sistema. Las redes neuronales artificiales poseen una alta capacidad de tolerancia a fallos.



Se entiende por ello que pueden reconocer patrones de información con ruido, distorsión o incompletos, pero que, además, pueden seguir trabajando aunque se destruya parte de la red (con cierta degradación). La explicación de este fenómeno consiste en que mientras la computación tradicional almacena la información en espacios únicos, localizados y direccionales, las redes neuronales lo hacen de forma distribuida y con un alto grado de redundancia.

Operación en tiempo real: Las redes neuronales artificiales, de todos los métodos existentes, son las más indicadas para el reconocimiento de patrones en tiempo real, debido a que trabajan en paralelo actualizando todas sus instancias simultáneamente. Es importante destacar que esta característica solo se aprecia cuando se implementan redes con hardware especialmente diseñados para el procesamiento paralelo.

Fácil inserción en la tecnología existente: Es relativamente sencillo obtener chips especializados para redes neuronales que mejoran su capacidad en ciertas tareas. Ello facilita la integración modular en los sistemas existentes.

Al profundizar en los principios de las RNA y observar continuamente el término neurona no es de extrañar que se piense por analogía en el cerebro humano, este hecho quizás se deba a que las mismas están basadas en la inspiración biológica. El hombre posee cerca de 10 000 000 000 neuronas masivamente interconectadas, células especializadas que puede propagar una señal electroquímica.

Las neuronas tienen una estructura ramificada de entrada (las dendritas) y una estructura ramificada de salida (los axones). Los axones de una célula se conectan con las dendritas de otra, por vía de la sinapsis la neurona se activa y excita una señal electroquímica a lo largo del axón. Esta señal transfiere la sinapsis a otras neuronas, las que a su vez pueden excitarse. Válido señalar que se excitan sólo si la señal total recibida en el cuerpo de las células, por conducto de las dendritas, es superior a cierto nivel (umbral de excitación). Las redes neuronales artificiales tratan de imitar este principio de funcionamiento cerebral.

1.4.1 – Estructura de una red neuronal artificial

Las redes neuronales artificiales están formadas por una gran cantidad de neuronas, estas suelen denominarse nodos o unidades de salida. Un nodo o neurona cuenta con una cantidad variable de entradas que provienen del exterior (X_1, X_2, \dots, X_m). A su vez dispone de una sola salida (X_j) que transmitirá la información al exterior o hacia otras neuronas. Cada X_j o señal de salida tiene asociada una magnitud llamada peso y se calculará en función de las entradas, por lo cual cada una de ellas es afectada por un determinado peso ($W_{j0} \dots W_{jq} + m$). Los pesos corresponden a la intensidad de los enlaces sinápticos entre neuronas y varían libremente en función del tiempo y en cada una de las neuronas que forman parte de la red (**figura 1.5**).

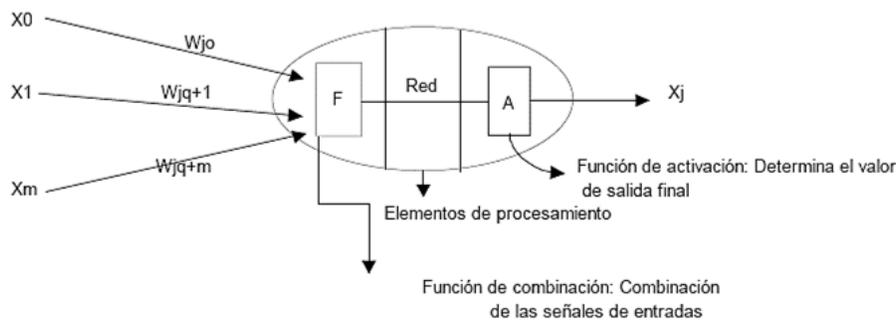


Figura 1.5 Esquema de una neurona. Fuente: (Hilera González & Martínez Hernández, 1995)

El proceso de aprendizaje consiste en hallar los pesos que codifican los conocimientos. Una regla de aprendizaje hace variar el valor de los pesos de una red hasta que estos adoptan un valor constante, cuando esto ocurre se dice que la red ya "ha aprendido". Al conectar varias neuronas de un determinado modo, se consigue una red. Existen variaciones de topologías, que se clasifican según tres criterios: número de niveles o capas; número de neuronas por nivel; y formas de conexión (**Freeman & Skapura, 1993**).

En la **figura 1.6** se muestra la arquitectura de una RNA clásica con variables de entrada, dos capas de neuronas intermedias y una capa de salida. Todas ellas conectadas entre sí.

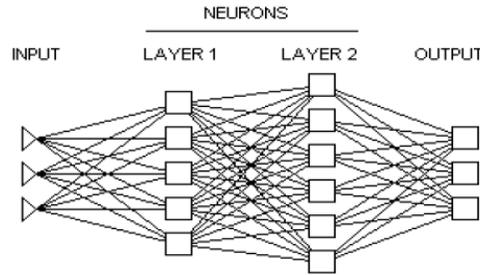


Figura 1.6 Esquema de una RNA de dos capas de neuronas intermedias. Fuente (Freeman & Skapura, 1993)

Otro algoritmo de RNA es el que aparece en la **figura 1.7**, en este ejemplo las neuronas se organizan en una tipología de capas diferentes. Solo incluye una capa neuronal oculta, este algoritmo es muy elemental y utilizado a nivel académico para la construcción y prueba de diferentes tipos de modelos de red.

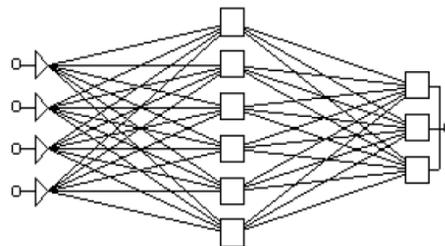


Figura 1.7 Esquema de una RNA del tipo alimentación directa (feed forward). Topología con una capa de neuronas intermedias. Fuente:(Freeman & Skapura, 1993)

Este tipo de Red Neuronal permite un diseño rápido, una gran capacidad de procesamiento, un comportamiento robusto y admite la realización de modelos de caja “gris”, caracterizado por encontrarse conceptualmente a medio camino entre los de caja “negra” (se desconoce la relación existente entre entradas y salidas, y el modelo la reproduce de modo paramétrico o estadístico) y los de caja “blanca” (relación entre entradas y salidas mediante ecuaciones con una base teórica).

1.4.2 – Clasificación de los modelos neuronales

Existe una gran variedad de modelos de redes neuronales. Estos dependen del objetivo para el cual fueron diseñados y del problema práctico que solucionan. Hoy día, su éxito depende en, gran medida, del valor comercial que logren alcanzar



sus aplicaciones. En dependencia de ello unos serán más populares que otros. Entre los más conocidos están el Perceptrón Multicapas, Adaline/Madaline (utilizado en el diseño y realización de filtros, para llevar a cabo la eliminación del ruido en señales portadoras de información, modems, etcétera), el *back propagation* (utilizado en el proyecto de la máquina de escribir neural fonética) y el modelo de los mapas auto-organizados (*Self-Organizing Map*, SOM). Este último es conocido como modelo de Kohonen por ser este su creador (**Sotolongo & Guzmán, 2001**).

A continuación, en la **figura 1.8**, se muestra un resumen de todos los modelos existentes de las redes neuronales artificiales.

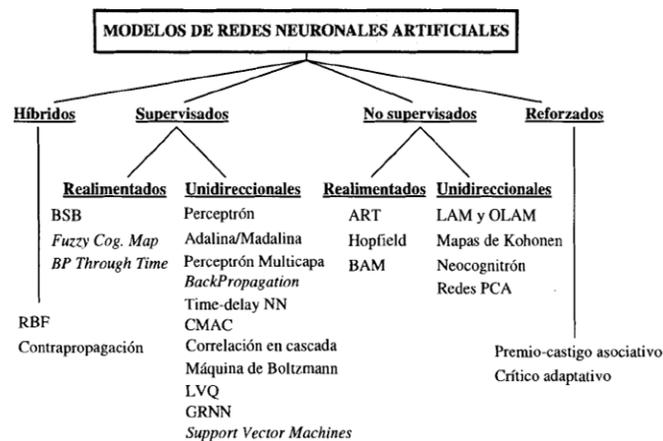


Figura 1.8 Modelos de redes neuronales artificiales. Fuente: (Sotolongo & Guzmán, 2001)

De la multitud de modelos y variantes que de hecho existen, unos cincuenta son medianamente conocidos, aunque tan solo aproximadamente una quincena son utilizados con asiduidad en las aplicaciones prácticas. Por tanto, para llevar a cabo el estudio sistemático de los modelos se precisa algún tipo de clasificación. Los dos conceptos que más caracterizan un modelo neuronal son el tipo de aprendizaje y la arquitectura de la red, por ello, se considera de suma importancia que la clasificación atienda ambos aspectos.

De esta manera, en primer lugar, se realiza una distinción en cuanto al tipo de aprendizaje, por lo que aparece una primera clasificación en modelos supervisados, no supervisados, de aprendizaje híbrido y modelos de aprendizaje



reforzado. A su vez, y dentro de cada uno de los grandes grupos, se tiene en cuenta el tipo de topología de la red, por lo que se distinguen además entre redes realimentadas y redes unidireccionales (no realimentadas). La clasificación que así surge se muestra en la figura anterior, valga la redundancia.

Se puede apreciar que el conjunto de modelos de redes no realimentadas y de aprendizaje supervisado es el más numeroso. Dentro de este grupo se tratará específicamente el caso del Perceptrón Multicapa o MLP (Multilayer Perceptron) **(Martín del Brío & Sanz Molina, 2003)**.

1.4.3 – Aplicación de un Perceptrón Multicapa (MLP)

Esta clase de modelos resulta especialmente importante por varias razones: por su interés histórico, generalidad, por ilustrar una amplia clase de aspectos que aparecen con frecuencia en todo el campo de las redes neuronales (memoria asociativa, clasificación, aproximación funcional, etcétera), y además por ser los sistemas más empleados en las aplicaciones prácticas **(Martín del Brío & Sanz Molina, 2003)**.

Si se añaden capas intermedias (ocultas) a un perceptrón simple, se obtiene un perceptrón multicapa o MLP (Multi-Layer Perceptron). Esta arquitectura suele entrenarse mediante el algoritmo denominado retropropagación de errores o BP, o bien haciendo uso de alguna de sus variantes o derivados, motivo por el cual en muchas ocasiones el conjunto arquitectura MLP+aprendizaje BP suele denominarse red de retropropagación, o simplemente BP.

La estructura del MLP se presenta en la **figura 1.9**, donde se denomina x_i a las entradas de la red, y_j a las salidas de la capa oculta y z_k a las de la capa final (y globales de la red); t_k serán las salidas objetivo (target).

Por otro lado, w_{ij} son los pesos de la capa oculta y θ_j sus umbrales, w'_{kj} los pesos de la capa de salida y θ_k sus umbrales. La operación de un MLP con una capa oculta y neuronas de salida lineal, constituye un *aproximador universal de funciones*.

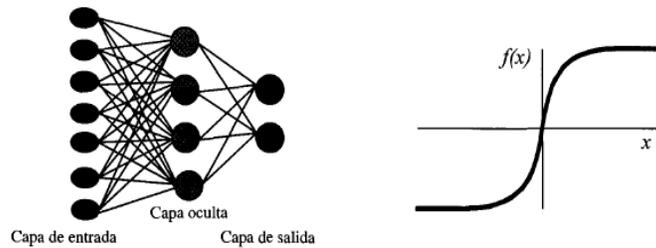


Figura 1.9 Perceptrón Multicapa y función de transferencia de la neurona. Fuente: (Martín del Brío & Sanz Molina, 2003)

1.5 – Diseño de experimentos

Diseñar estadísticamente un experimento, es realizar una prueba o una serie de pruebas, buscando caracterizar las variables explicativas o factores X_i de mayor influencia en un ensayo de interés, evaluado a través de varias variables respuesta tal que, si deliberada o sistemáticamente se introducen cambios controlados en algunas de las variables explicativas del proceso, siempre sea posible observar o cuantificar los cambios que éstos generan en las variables respuesta buscando adicionalmente, minimizar el efecto de las variables no controlables (covariables), procurando con ello estabilizar y minimizar la variabilidad de las respuestas (**Gómez Dorta, Rodríguez Pérez, & Estrada Varela, 2004**).

Ahora bien, para saber si dos efectos de interacción están confundidos y cuál de ellos afecta la respuesta se deben conocer los siguientes supuestos (**Rodríguez Pérez, 2010**).

- Los estimados de los efectos de los factores involucrados.
- La noción disponible sobre los factores experimentales y la posible interacción entre ellos.
- La determinación de los factores que realmente afectan la respuesta, utilizando toda la información disponible.
- Entre otros.

Tipos de experimentos

Los experimentos se pueden clasificar de acuerdo a dos tipos fundamentales.



El primero es el experimento absoluto en el cual el interés principal es la estimación y las propiedades físicas de la población a ser estudiada. Estas propiedades se espera que sean constantes, de acá el término absoluto. Aquí el propósito es incrementar el conocimiento científico. En estos experimentos un factor singular es estudiado frecuentemente para examinar un número reducido de tratamientos posibles o niveles de un factor. La selección de los tratamientos se hace generalmente mediante procesos aleatorios, por tanto, si el experimento puede ser repetido, el mismo grupo de tratamientos no necesariamente sería utilizado. Por esta razón, el tratamiento es considerado una variable aleatoria y el modelo señalado es un modelo de efectos aleatorios o Modelo II de Eisenhart, bajo el cual se detectan y estiman componentes (aleatorios) de variación asociada a una población compuesta.

El segundo tipo es el experimento comparativo. Frecuentemente cuando se estudia un grupo de tratamientos, los resultados absolutos varían erráticamente mientras que los resultados relativos permanecen razonablemente estables. En tales situaciones es posible establecer, que en circunstancias similares se espera que ciertos tratamientos sean sustancialmente mejores que otros, aunque los resultados de un solo tratamiento no pueden ser establecidos exactamente. En tales campos de la experimentación, los experimentos tienden a ser comparativos y tienen un interés secundario dado por los resultados absolutos. La teoría estadística del diseño de experimentos se relaciona inicialmente con este tipo de experimentos.

Los experimentos comparativos son básicamente experimentos en los cuales los tratamientos se comparan por sus efectos medios sobre una variable respuesta con el objeto principal de determinar cuál de ellos es “mejor” en algún sentido. La principal característica de este tipo de experimentación es que todos los tratamientos de interés están incluidos en el experimento **(Sotolongo & Guzmán, 2001)**.

C *apítulo 2*





Capítulo 2. Modelación de la Universidad de Cienfuegos a través de una Regresión Lineal Múltiple y una Red Neuronal Artificial. Variables que describen el proceso

En este capítulo se propone un modelo general que describe la universidad, teniendo en cuenta que representa en el proceso una variable de entrada y salida. Luego se ajustan las condiciones de entradas a las de salida teniendo en consideración la aplicación de un análisis de Regresión Lineal Múltiple y una Red Neuronal Artificial (RNA). Además se obtiene el mejor ajuste de planteados a partir un grupo de mediciones de precisión.

2.1 – Modelo Propuesto para la Universidad

El modelo que se muestra, ilustra en gran medida las variables que intervienen en el proceso universitario de forma global. Con la utilización del mismo se pretenden obtener indicadores más útiles y complejos que los planteados hasta el momento en estudios anteriores (se hacen referencia en el capítulo anterior).

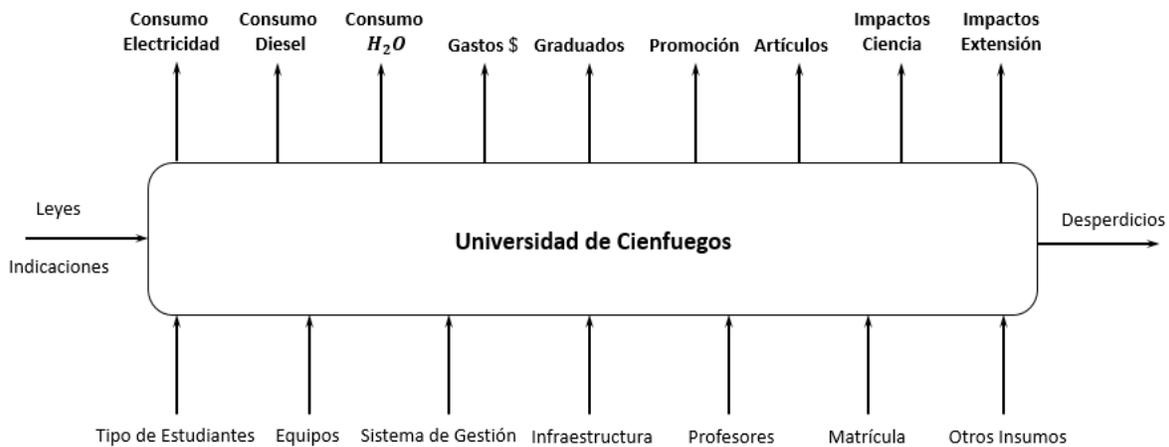


Figura 2.1 Modelo planteado. Fuente: Elaboración propia

Con la propuesta de este modelo y la implementación del mismo en una RNA y en una Regresión Lineal Múltiple, se debe tener en cuenta que representa dentro de este, una variable de **entrada** o **salida** del proceso.

En el grupo de entrada se sitúan las siguientes: tipo de estudiantes, número de equipos, sistemas existentes de gestión, infraestructura, cantidad de profesores, matrícula y otros insumos (en este punto se pueden ubicar además variables



menos importantes dentro del proceso). Las de salida hacen alusión al consumo en general y a lo que aporta la universidad como proceso de enseñanza-aprendizaje, en este grupo se pudiesen citar: consumo de electricidad, agua y diesel; además de los artículos publicados, impactos en ciencia, impactos en extensión universitaria, número de promovidos por curso y cantidad de graduados. También existen leyes, indicaciones y desperdicios (basura, etcétera) que de una forma u otra caracterizan el proceso y que se pudiesen en algún momento caracterizarse en alguno de los grupos antes descritos. Como se puede observar la heterogeneidad que poseen estas variables complejiza la investigación ya que es necesario evaluarlas por años o cursos académicos.

2.2 – Análisis de las variables del proceso. Obtención de los datos para la muestra

De las variables mencionadas con anterioridad en el modelo e identificadas en su mayoría como entradas o salidas del proceso, no se tienen en cuenta en esta investigación debido a carencia en información, las siguientes:

1. Otros Insumos
2. Sistema de Gestión
3. Infraestructura
4. Variable Gastos \$
5. Impacto en Extensión
6. Leyes
7. Indicaciones
8. Desperdicios

Sobre el resto de las variables recae el peso fundamental de la investigación en estas instancias. El total de datos de la muestra toma en cuenta los últimos quince cursos, hasta 2013-2014 y cuatro de las cinco facultades del centro, o sea: Facultad de Ingeniería (FING), Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales (FCEE), Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas (FCSH) y Facultad de Ciencias Agrarias (FCA), sin tomar en cuenta la Facultad de Ciencias de la Cultura



Física y el Deporte (FCCFD) debido a su reciente integración con la Cede "Carlos Rafael Rodríguez".

2.2.1 – Consumo de Agua

La Tierra, con sus diversas y abundantes formas de vida que incluyen a más de seis mil millones de seres humanos, se enfrenta en este comienzo del siglo XXI con una grave crisis del agua. Todas las señales indican que la crisis está empeorando y que continuará, a no ser que se emprenda una acción correctiva en la gestión de los recursos hídricos, esencialmente inadecuados actualmente.

La verdadera tragedia de esta crisis, sin embargo, es su efecto sobre la vida cotidiana de las poblaciones pobres, que sufren el peso de las enfermedades relacionadas con el agua, viviendo en entornos degradados y a menudo peligrosos, luchando por conseguir una educación para sus hijos, por ganarse la vida y por solventar a sus necesidades básicas de alimentación.

En realidad se trata fundamentalmente de un problema de actitud de comportamiento, problemas en su mayoría identificables y localizables. Actualmente se poseen los conocimientos y la pericia necesaria para abordarlos y se han elaborado excelentes herramientas conceptuales, tales como la equidad y la noción de sustentabilidad. Sin embargo la inercia de los líderes y la ausencia de una conciencia clara sobre la magnitud del problema por parte de la población mundial, producen un vacío de medidas correctivas oportunas y necesarias, y una incapacidad para infundir a los conceptos de trabajo una resonancia más concreta **(Martín, López Bastida, & Monteagudo Yanes, 2009)**.

El problema relacionado con esta variable no es una excepción para la universidad y por ende debe considerarse en el análisis. Este se planifica en función de los índices que plantea la Resolución No. 58/95 del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH).

La planificación según estos índices dista bastante de la realidad, o sea, los consumos reales se elevan notablemente y en ocasiones superan 5 veces lo que se planeó.



Tabla 2.1 Índice de consumo de agua según INRH. Fuente: Elaboración propia

Actividad	Índice	Unidad
Uso social	0.050	m ³ / cantidad de trabajadores
Comedor	0.012	m ³ / cantidad de comensales
Cafetería	0.006	m ³ / cantidad de usuarios
Limpieza	0.0015	m ³ / cantidad de m ² a limpiar
Hotel	0.600	m ³ / cantidad de habitaciones
Alumnos internos	0.13	m ³ / cantidad de alumnos
Alumnos seminternos	0.06	m ³ / cantidad de alumnos
Alumnos externos diurnos	0.04	m ³ / cantidad de alumnos
Alumnos de CPE	0.04	m ³ / cantidad de alumnos

Para tener una idea del consumo global se tiene el siguiente gráfico:

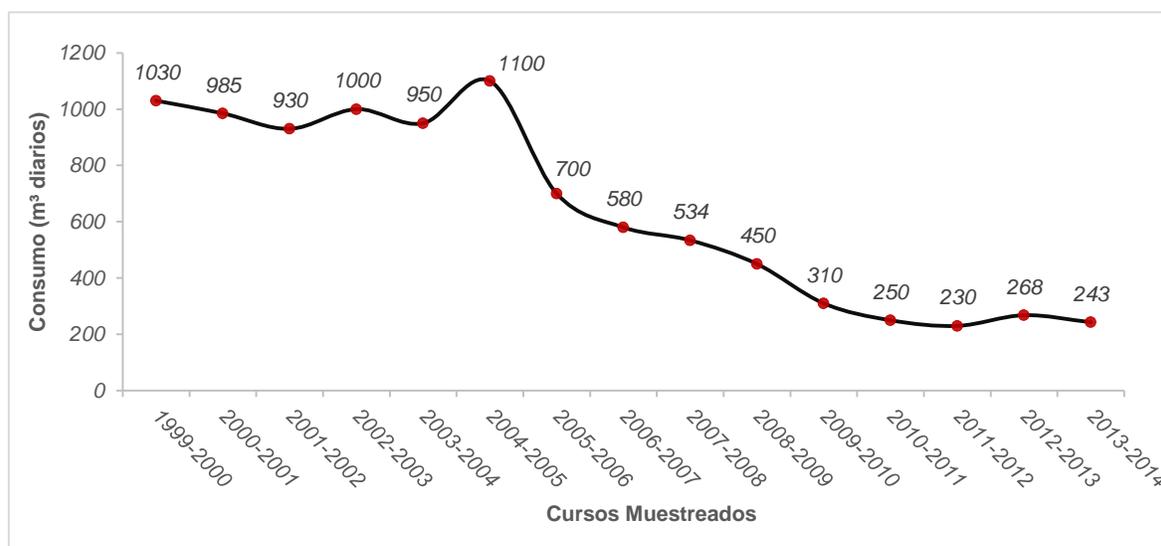


Figura 2.2 Gasto generales de agua en la UCF. Fuente: Elaboración propia

La tendencia del consumo es a disminuir a medida que avanza el tiempo y posteriormente a equilibrarse desde los cursos 09-10 hasta 13-14; esto es debido a la implementación de sistemas de gestión del agua, la subsanación de salideros en consecuencia con viejos sistemas de tuberías y a las investigaciones

realizadas sobre este tema. El punto más elevado de este consumo es referido al curso 04-05 en el que se gastaban diariamente un millón cien mil litros de agua (1100 m^3), o sea se derrochaba en cantidades elevadas este preciado líquido.

Como el objetivo con cada una de las variables es desglosarlas por facultad, tanto y como se pueda, se realizan los cálculos teniendo en cuenta estos índices pero ajustándose al consumo real en cada instancia; véase **anexo 2.1** (*Cálculos de distribución del consumo de agua por facultades, ejemplo: curso 2013-2014*). La **figura 2.3** muestra la distribución por facultades según los cálculos antes mencionados.

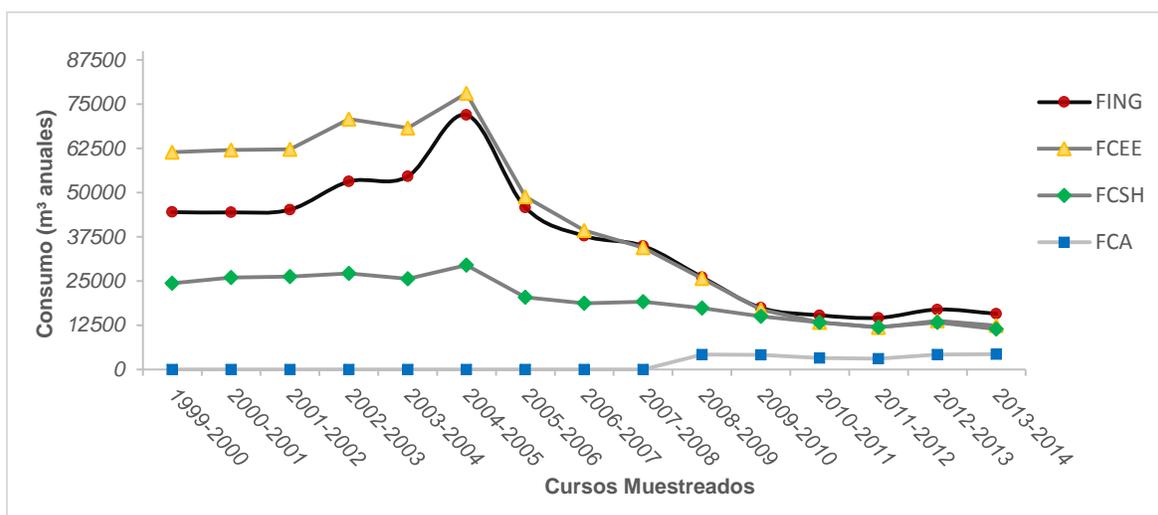


Figura 2.3 Gastos asociados a las facultades. Fuente: Elaboración propia

Existen cantidades no asociables de agua a cada facultad, que por no tener ningún vínculo con el lugar o la acción donde se utiliza se hace complejo cuantificarlas. Los casos más visibles son: consumo en el hotel de posgrado, la limpieza en áreas no pertenecientes a estas, así como la utilizada para regar las plantas, etc. Los consumos que se generan por facultades poseen gran influencia a causa de la cantidad de estudiantes becados que asume cada una, es por ello que los mayores gastos se cometen en FING y FCEE. Particularmente el consumo en FCA hasta 07- 08 es cero ya que en esos momentos esta facultad no se encontraba conformada, como se ha comentado con anterioridad.

2.2.2 – Consumo de Diesel de Calderas

En este estudio sólo se considera el diesel empleado en las calderas y no el resto que de este se consume, debido a la imposibilidad existente de poder cuantificarlos por facultad. Este consumo además de relacionarse con la eficiencia de trabajo de las calderas, se encuentra estrechamente vinculado a la cantidad de comensales y al menú a elaborar diariamente (producción de vapor de la caldera).

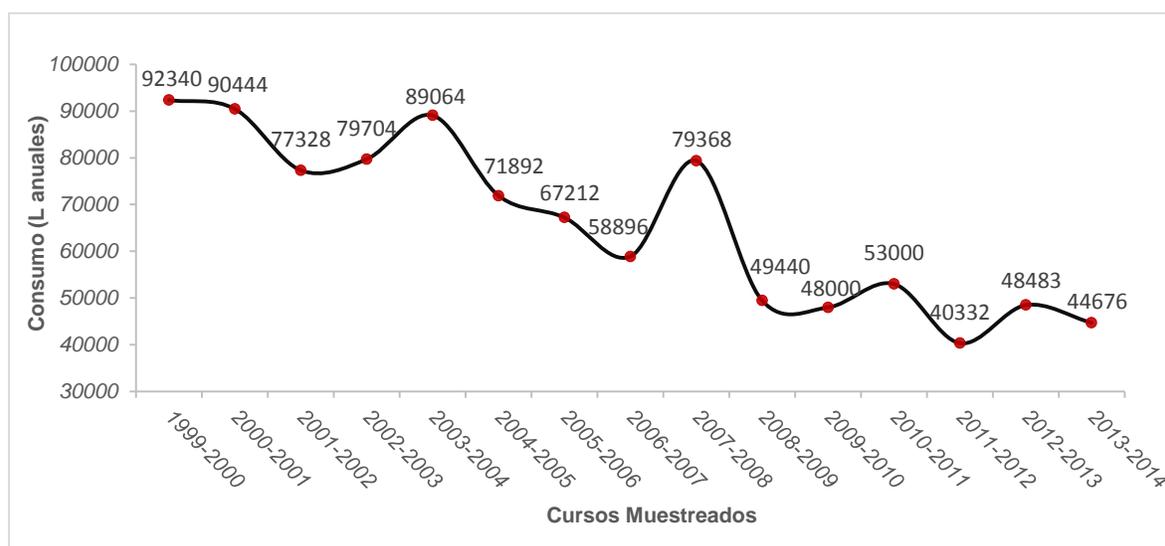


Figura 2.4 Gastos generales de diesel de calderas en la UCF. Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que gráficamente el gasto de esta variable tiende a un detrimento global, lo que ocurre como consecuencia de que en algunos de estos cursos los estudiantes externos también almorzaban en la universidad y a la implementación de nuevas tecnologías tras la búsqueda de mejores índices de eficiencia en las calderas. Existe una diferencia entre el consumo de diesel total y la suma de este por facultades, lo que se debe a la imposibilidad de asociar otros trabajadores que almuerzan o comen en el comedor a cada facultad. Además en este análisis tampoco se tiene en cuenta la FCCFD, como se abordó con anterioridad. La próxima figura muestra el comportamiento de esta variable llevada a cada facultad y el **anexo 2.2** (*Cálculos de distribución de diesel de calderas por facultades, ejemplo: curso 09-10 hasta 13-14*) justifica los cálculos efectuados con este propósito.

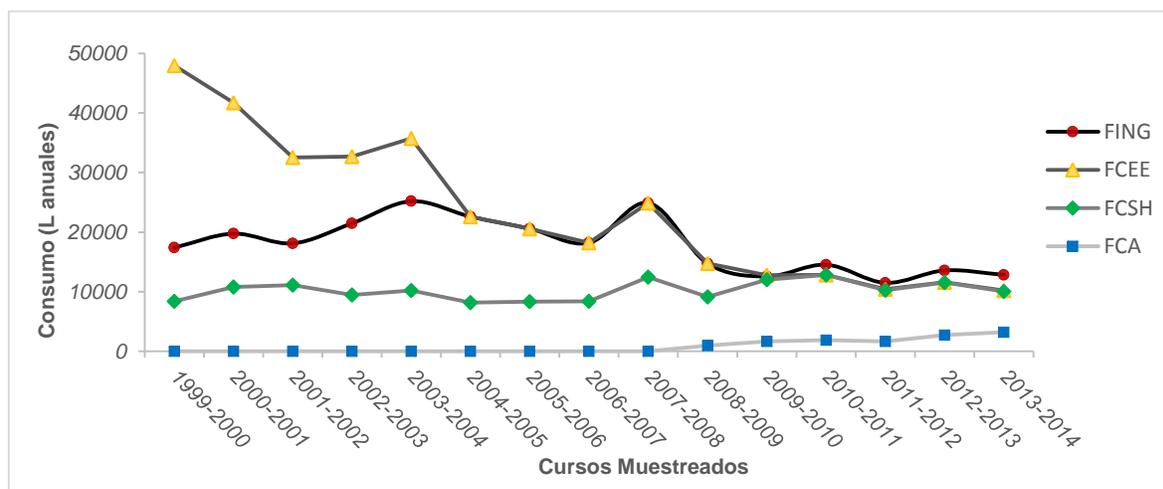


Figura 2.5 Gastos de Diesel de Calderas por facultades. Fuente: Elaboración propia

2.2.3 – Consumo de Electricidad

La variable consumo de electricidad es una de las más controladas en cualquier proceso, por la importancia capital que representa sobre estos. Hace algunos años la universidad marchaba en el lugar 41 entre los principales consumidores en la provincia. Un resumen histórico del gasto de electricidad del centro se muestra en la **figura 2.6**. Tras evaluaciones realizadas, los comportamientos de esta por tipo de consumidor enmarcan los equipos de cómputo como los mayores consumidores y según las edificaciones, al edificio de Informática + CRAI y Hotel de Postgrado.

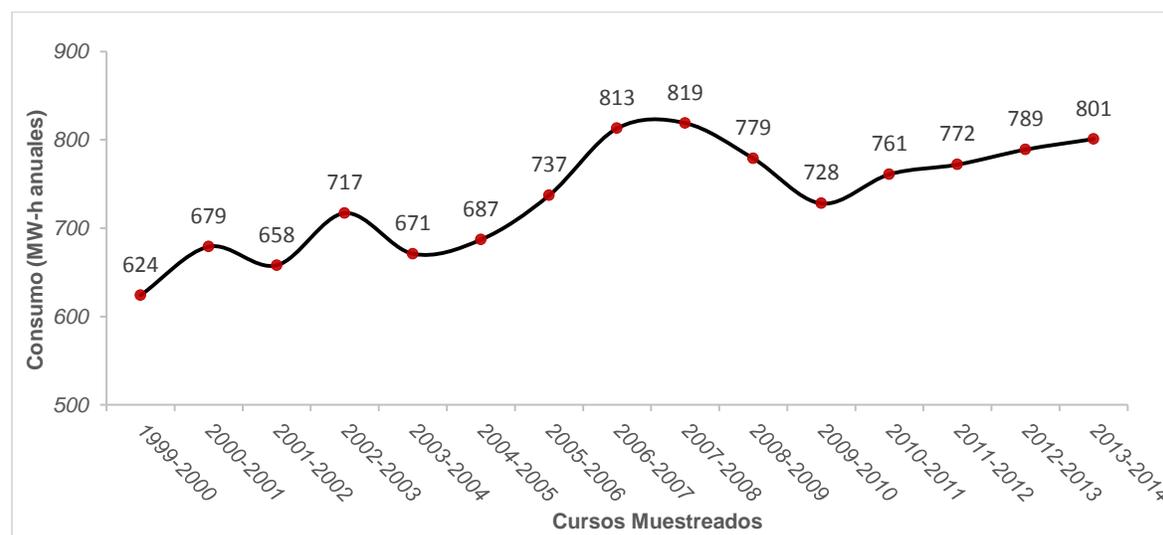


Figura 2.6 Gastos generales de electricidad en la UCF. Fuente: Elaboración propia

De manera general el aumento a través de los años se debe a la incorporación de nuevos equipos. Sin embargo, los últimos seis cursos contienen las mismas características ya que las nuevas incorporaciones se encuentran referidas a sustituciones, de forma tal que archivan una cantidad estable de estos.

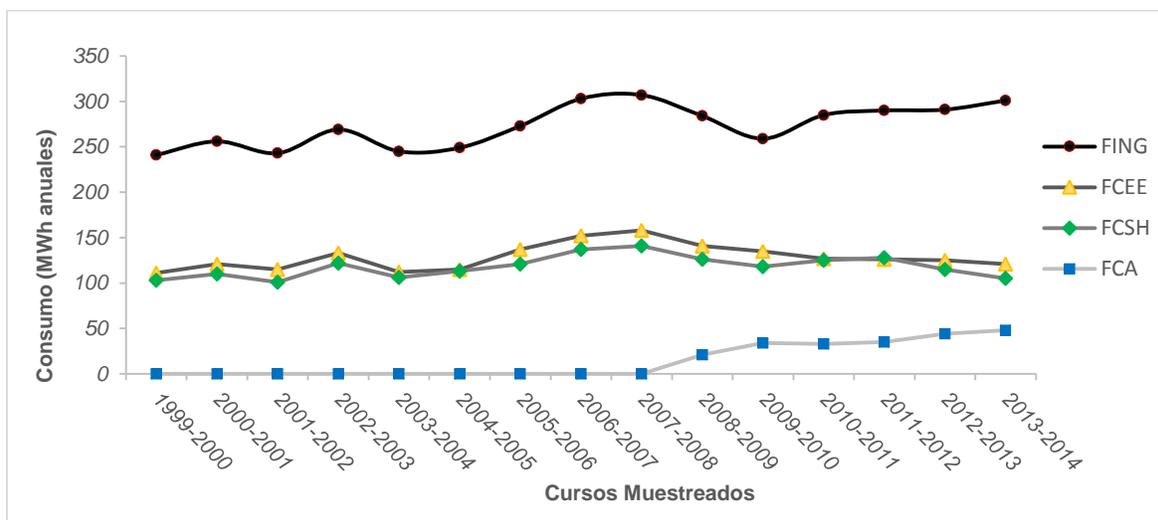


Figura 2.7 Gastos de electricidad por facultades. Fuente: Elaboración propia

El estudio sobre el consumo por facultades permite identificar a la de Ingeniería con los mayores índices. Esto es consecuencia, fundamentalmente, a la superioridad numérica en cuanto a equipos altos consumidores como los de cómputo y climatización que esta posee. El punto más elevado se alcanza en el curso 07-08 con un valor de 307 MW-h anuales. Además FCEE y FCSH evidencian una tendencia muy similar, ya que contienen un número parecido de equipos grandes consumidores.

2.2.4 – Matrícula

La matrícula en el centro es cambiante debido a la situación que demande la provincia. La **figura 2.8** señala el comportamiento de esta variable; es necesario aclarar que se utiliza la matrícula referida a los estudiantes del Curso Regular Diurno (CD) por ser los que representan mayor nivel de influencia sobre el proceso en general, no tomando en cuenta los de CPE.

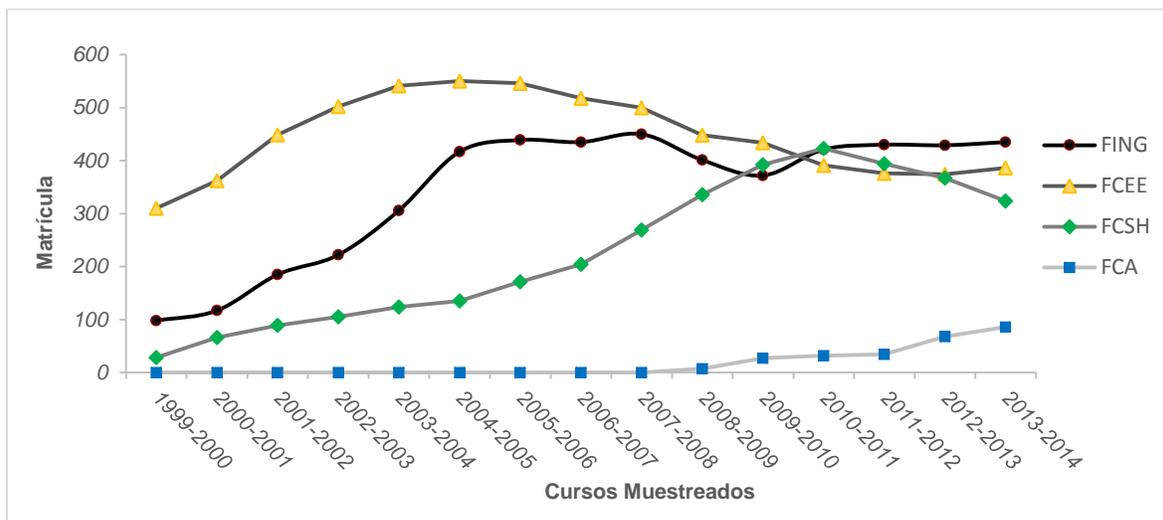


Figura 2.8 Matrícula de CD. Fuente: Elaboración propia

El curso donde más matrícula del CD se logró en el centro fue el de 10-11 con un total de 1267 educandos. Se puede deducir con bastante claridad que el mayor número de estudiantes lo ha encabezado históricamente FCEE. Uno de los principales factores que conllevan al incremento paulatino en FING y FCSH viene dado por la incorporación de nuevas carreras en el transcurso de los años, como es el caso de Ing. Química, Lic. Derecho, Lic. Historia, Lic. Lenguas Extranjeras. Mientras que la FCA fue creada en el 08-09 y solamente contaba con siete estudiantes, matrícula que ha sido superada posteriormente a esta fecha.

2.2.5 – Tipo de Estudiantes

La clasificación de acuerdo al tipo de estudiantes se encuentra referida al universo que componen los asistentes al Curso Regular Diurno (CD). Esta los cataloga como Externos o Becados. Los primeros, aunque reciben los mismos beneficios en materia de aprendizaje, no efectúan vida interna dentro de la universidad; al contrario de los segundos que, además de poseer alojamiento con las condiciones necesarias, se les garantizan suministros alimenticios, entre otros. En el análisis derivativo al modelo planteado no se tienen en cuenta las dos clasificaciones antes descritas, solo se hace énfasis en los becados, debido a que ambas conforman la variable abordada anteriormente (matrícula), o sea, si se tiene una

matrícula determinada, su diferencia con respecto a una de estas clasificaciones arrojará a la otra por analogía.

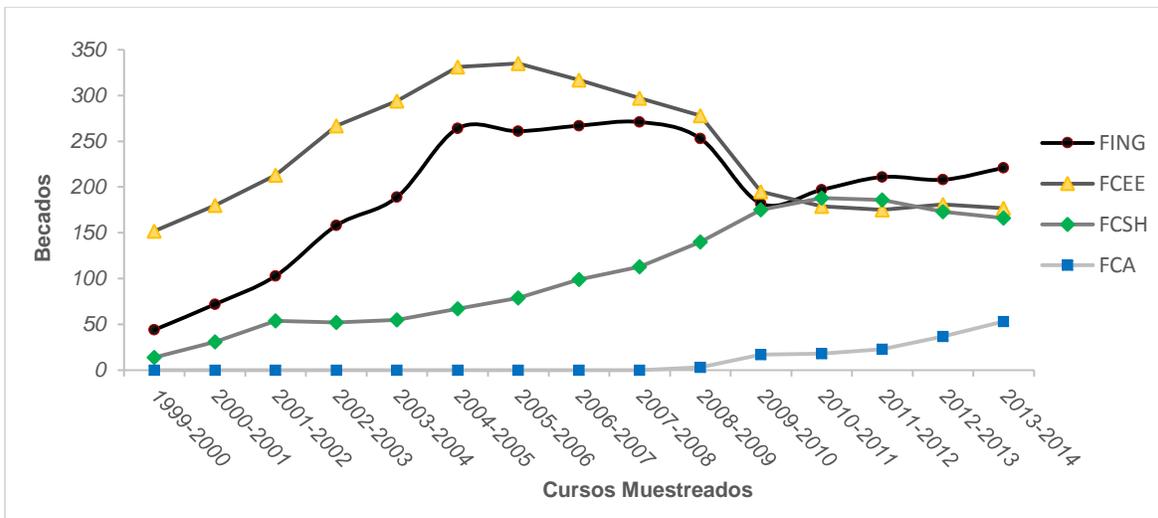


Figura 2.9 Becados por facultades. Fuente: Elaboración propia

En esta representación se observan características semejantes al mostrado en el comportamiento de la matrícula del CD, ya que en la mayoría de los casos existe una dependencia entre los becados y la matrícula total de estudiantes.

2.2.6 – Equipos

Fue necesario determinar los equipos existentes al período de muestra en cada facultad y clasificarlos de acuerdo a sus características en los siguientes grupos:

Iluminación: Se tomaron en cuenta tanto la iluminación interior como exterior en cada facultad.

Climatización: Recoge todos equipos alusivos al clima interior (Aires de Ventana, Split)

Refrigeración: Asume los equipos referidos a la refrigeración (Frisser, Refrigeradores, Bebederos)

Cómputo: Son todos los equipos concernientes a la computación (Computadoras, Fotocopiadoras, Laptop, Impresoras, Proyectoras, Scanner)



La cantidad de equipos fue incrementándose con el tiempo especialmente los de cómputo. Este comportamiento en los últimos quince cursos, se muestra en el **anexo 2.3** (*Equipamiento por Facultades*).

2.2.7 – Profesores

Los profesores son parte vital de un proceso docente. Estos se pueden clasificar de acuerdo a dos factores: grado científico, donde se hace referencia a doctores, másteres e ingenieros o licenciados; y en categoría docente, dígase titulares, auxiliares, asistentes e instructores. Teniéndose en cuenta (en este trabajo), solo los dos primeros en cada caso, pues se considera que sean los que más influencia tengan dentro de este.

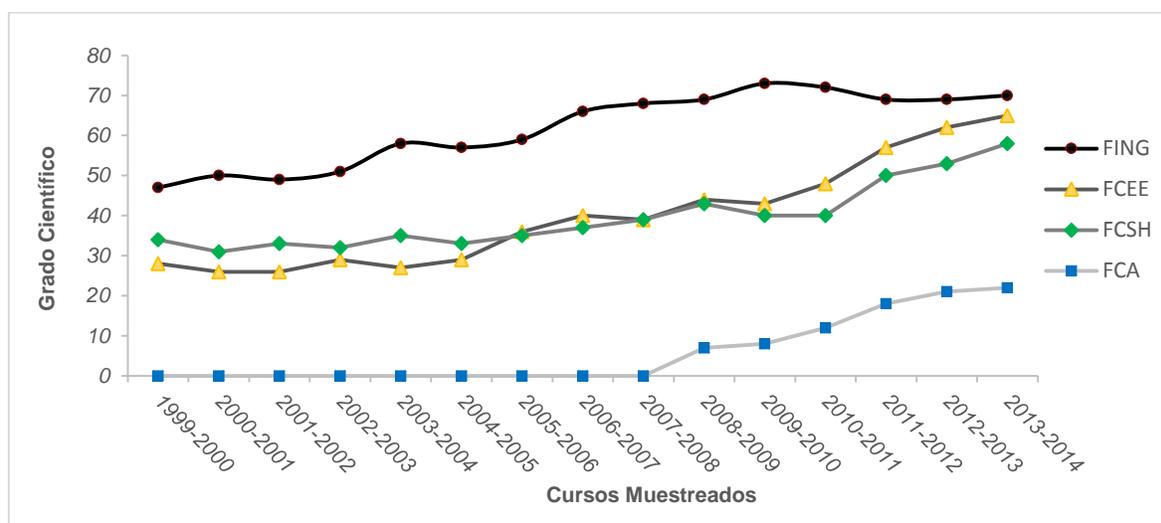


Figura 2.10 Histórico del grado científico de profesores. Fuente: Elaboración propia

De forma general Grado Científico muestra una trayectoria ascendente en todas las facultades. El mayor incremento de en los últimos años se produce en FCA, ya que es una facultad de reciente creación y ha ido alcanzando un claustro de profesores más preparado en este sentido. Por otra parte FING tradicionalmente posee el número más elevado de másteres y doctores de la Universidad.

Cabe señalar que generalmente, aunque no necesariamente, los doctores son titulares y los másteres auxiliares, de este efecto proviene la similitud entre grado y

categoría. Ulteriormente se demuestra el comportamiento la variable categoría docente.

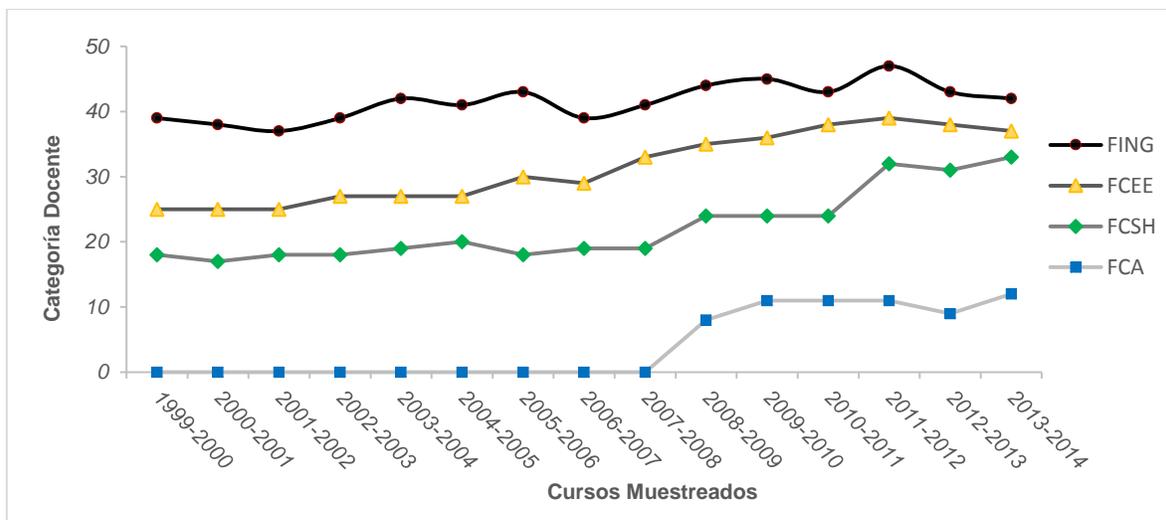


Figura 2.11 Histórico de la categoría docente de profesores. Fuente: Elaboración propia

2.2.8 – Graduados

Se trata de todos aquellos estudiantes que vencieron el nivel universitario, aprobando todas las asignaturas correspondientes a la carrera, además de la tesis de grado o prueba estatal al finalizar el último año. Seguidamente se muestra el comportamiento de los últimos 15 años por facultades.

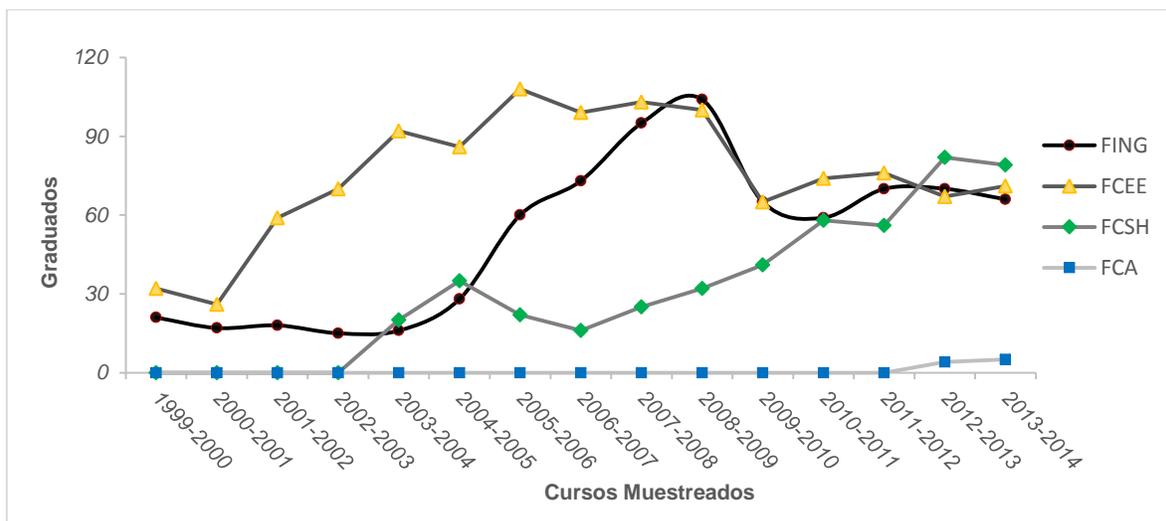


Figura 2.12 Graduados por facultades. Fuente: Elaboración propia

2.2.9 – Promoción por Año

Se hace alusión a todos aquellos educandos que superaron el año en estudio, es decir, los que aprobaron la mayoría de las materias pertenecientes al año, pudiendo desaprobado solo una de cada semestre, llevándola como arrastre para el curso posterior.

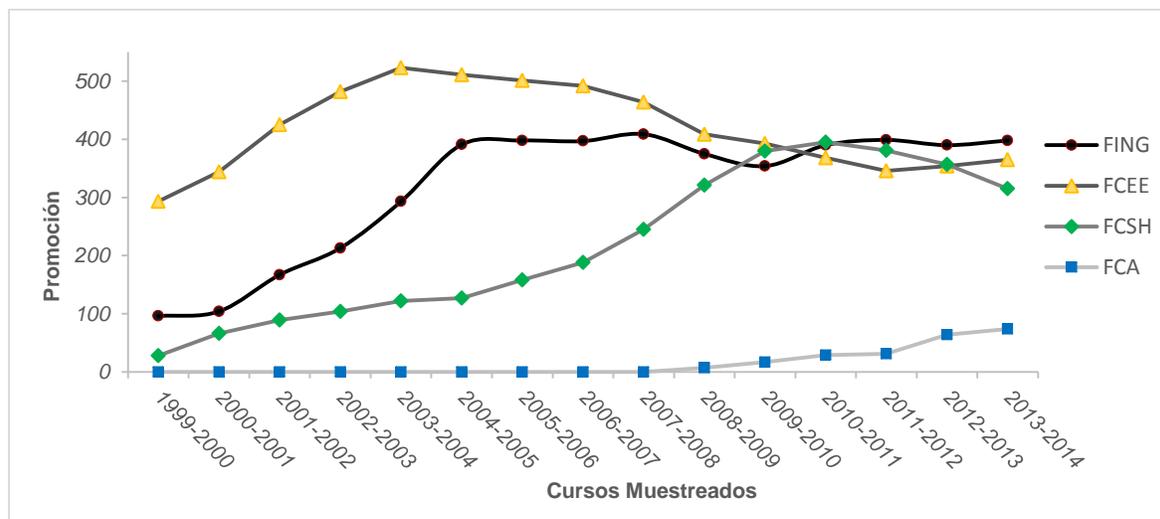


Figura 2.13 Promoción por facultades. Fuente: Elaboración propia

La Promoción está directamente vinculada con la Matrícula. Es por ello que el punto más elevado de esta variable en el centro se alcanza cuando la otra también es máxima, en este caso en el curso 10-11 (de 1267 promocionaron 1220). De ahí que en los primeros once cursos en la muestra FCEE se ratifica como la de mayores resultados y FCSH evidencia una tendencia ascendente.

2.2.10 – Artículos Publicados

Los artículos publicados son parte imprescindible de la universidad según su objeto social, teniendo en cuenta que representa la forma más oportuna de divulgar informaciones de diferentes índoles, de manera tal que puedan ser del conocimiento de todos. Cabe señalar que no todos se popularizan (actualmente se trabaja sobre esto) de la misma forma, está en dependencia de su repercusión. De ahí que pueden ser expuestos tanto en revistas nacionales como internacionales. Los encargados de hacer dicha selección son un grupo de especialistas en

diferentes temas con la capacidad suficiente para desempeñar este rol. En este caso se tuvieron en cuenta solo los que alcanzaron publicación en revistas referenciadas del I al IV nivel.

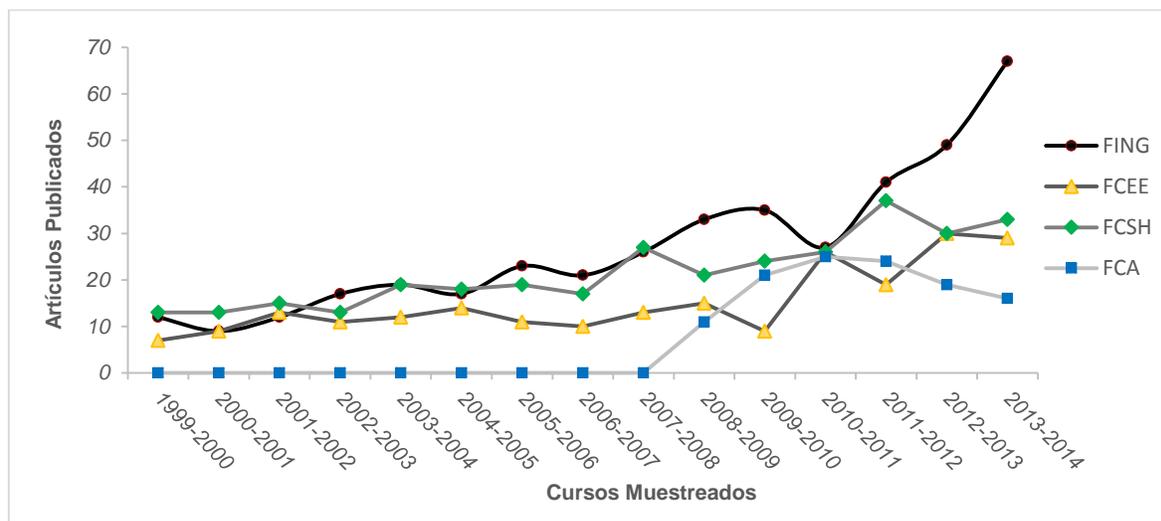


Figura 2.14 Artículos publicados por facultades. Fuente: Elaboración propia

Como se refleja esta variable tiende a un crecimiento global desde el mínimo alcanzado en 00-01 (31) hasta el máximo logrado en 13-14 (145). En FING se demuestra claramente esta afirmación, sobre todo en los últimos tres cursos donde se observa un ascenso notable entre estos. Nótese que en 10-11 las cuatro facultades en estudio muestran un comportamiento bastante parecido en tal sentido.

2.2.11 – Impactos en Ciencia

Los impactos en ciencia son los premios otorgados al centro tanto a nivel de base, municipal, provincial, nacional, como de carácter internacional. Los resultados alcanzados en este aspecto demuestran el potencial alcanzado en las estrategias desarrolladas, que han estado encaminadas a potenciar la visibilidad de la ciencia garantizando los impactos a nivel territorial y nacional, a partir de la integración de la investigación y el postgrado de la universidad, con énfasis en las líneas de investigación aprobadas y la participación conjunta de las distintas áreas en escenarios compartidos de trabajo. Actualmente la UCF mantiene su



posicionamiento científico e innovativo demostrando su progreso entre todos los centros de la provincia. Se mejora su relevancia a los resultados científicos lográndose incrementar los premios recibidos en todas las categorías a 0.42 premios por especialista equivalente en los últimos años.

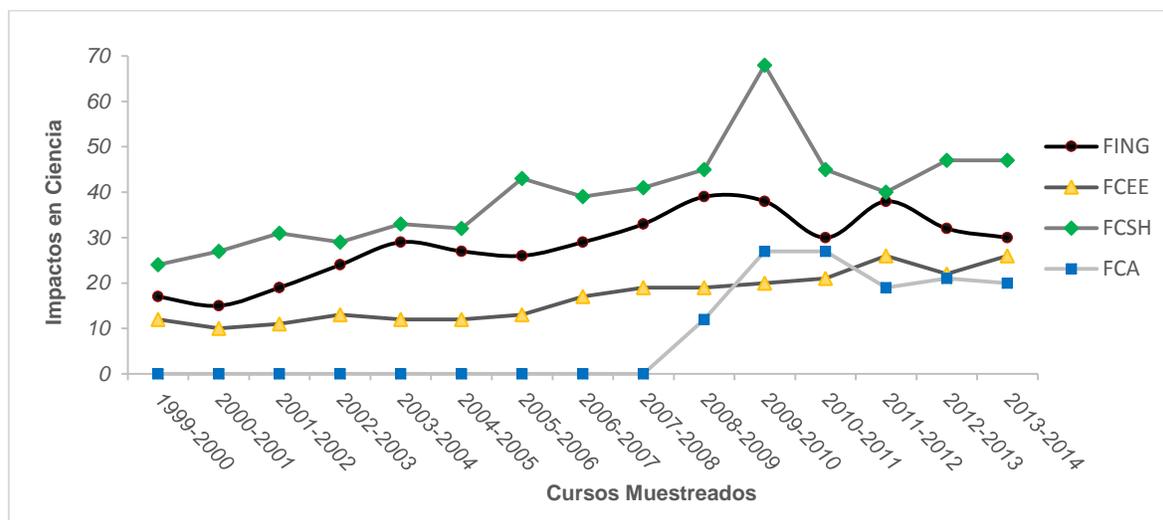


Figura 2.15 Impactos en ciencia por facultades. Fuente: Elaboración propia

La figura evidencia un comportamiento ascendente para todos los casos. Los principales impactos históricamente se logran por FCSH con el punto más elevado en 09-10 con 68 premios. Se considera meritorio resaltar el caso de FCA que a pesar de poseer el número más reducido en cuanto a estudiantes y claustro de profesores, en los cursos 09-10 y 10-11 superaron a FCEE con 27 y 27 vs 20 y 21, respectivamente.

2.2 – Modelado con Regresiones Lineales Múltiples

El análisis de regresión lineal es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables (**Rojo Abuín, 2011**). La diferencia entre una regresión lineal simple y una múltiple es que para el segundo caso aparecen más variables explicativas, pero el proceder es el mismo (**Rojo Abuín, 2007**). En este punto se pretende encontrar un ajuste entre las variables de entrada y salida del modelo planteado en el epígrafe 2.1 con la utilización de una regresión lineal múltiple.



2.2.1 – Pruebas de normalidad de las variables de entrada del proceso

Al establecerse un análisis de regresión, entre otras consideraciones, se puede obtener la dependencia probabilística que existe entre un grupo de variables independientes y las dependientes, como ya se decía. Ahora bien, esta probabilidad sería válida en el modelo donde se cumpla que:

- La muestra provenga de una distribución normal. Debido a ello, según la teoría de las probabilidades, la incorrelación entre las variables es equivalente a la independencia entre ellas.
- Sean iguales las varianzas entre las variables dependientes.

Si en el modelo esbozado se demostrasen los supuestos antes descritos, no sería muy complejo dar solución al problema planteado en el presente estudio. Por tanto se parte a comprobar, en esta instancia, que la muestra de datos no proviene de una población normal.

El análisis correspondiente se realiza en el software STATGRAPHICS CENTURION. En el mismo se tienen únicamente en cuenta las variables independientes o de entrada y no se considera la igualdad entre las varianzas debido a que con sólo cumplirse el primer supuesto se invalida la veracidad de la dependencia probabilística entre las variables.

Para demostrar la inexistencia de normalidad en los datos, solo se muestra el estudio asociado a la variable Grado Científico (Profesores); el resto de los análisis se pueden verificar en el **anexo 2.4** (*Pruebas de normalidad a las variables de entrada del proceso*).

La prueba de hipótesis a seguir en estos casos es la siguiente:

H_0 : $Valor_P \geq \alpha$ (*sigue una distribución normal*)

H_1 : $Valor_P < \alpha$ (*no sigue una distribución normal*)

Donde H_0 es la hipótesis nula; H_1 es la hipótesis alternativa; $Valor_P$ es la probabilidad determinada según la prueba de bondad del ajuste; y α es el nivel de significación (para este caso se asume igual a 0.05).

En la **tabla 2.2** se muestra el *Valor_P* según diversas pruebas realizadas para determinar si Grado Científico puede ajustarse adecuadamente a una distribución normal. La prueba de Chi-Cuadrado divide el rango de la variable en 20 clases igualmente probables (por defecto) y compara el número de observaciones en cada clase con el número esperado de observaciones.

Tabla 2.2 Pruebas de Normalidad para Grado Científico. Fuente: Elaboración propia

Prueba	Estadístico	Valor-P
<i>Chi – Cuadrado</i>	46.0	$0.173 \cdot 10^{-3}$

Luego, debido a que el *Valor_P* más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que Grado Científico proviene de una distribución normal con 95 % de confianza; o sea, se rechaza H_0 y se acepta H_1 . Este resultado se observa de forma gráfica en las *figuras 2.16* y *2.17*.

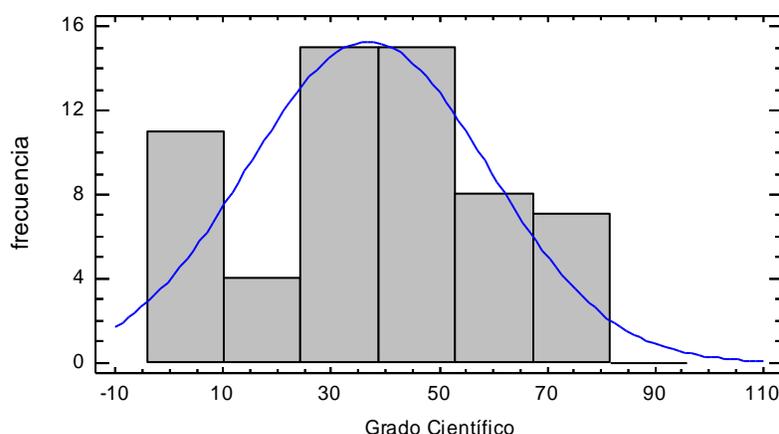


Figura 2.16 Histograma de frecuencias para Grado Científico. Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se muestran las frecuencias correspondientes a los 7 intervalos establecidos. Además, la función de densidad de probabilidad para la distribución normal ajustada ha sido sobrepuesta al histograma. Si la distribución se ajusta bien, la parte alta de las barras deberá estar relativamente cerca de la línea. Para el caso, la primera barra en el gráfico se encuentra distante de la función de densidad por lo que se ratifica que la variable no posee normalidad.

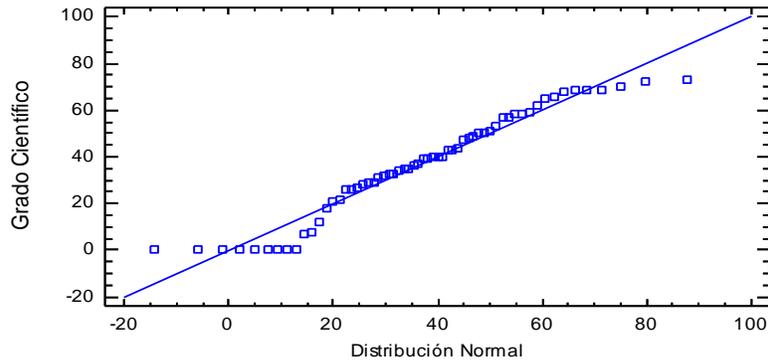


Figura 2.17 Análisis cuantil-cuantil. Fuente: Elaboración propia

Esta gráfica despliega la relación de probabilidad normal para Grado Científico. Al generar la misma el software ordena los datos en orden ascendente. Si estos procediesen de una distribución normal, los puntos deberían quedar aproximadamente a lo largo de una línea recta, que pasa a través de la mediana con una pendiente determinada por el rango intercuartílico.

2.2.2 – Modelos Lineales Diseñados

Aunque el análisis de normalidad arrojase como resultado que las variables de entrada del proceso no siguen una distribución normal y por ende toda la muestra, se procede a la construcción de modelos lineales que expliquen el cambio de las variables de salida con respecto a las de entrada; aunque no se tomen en cuenta los valores de probabilidad a que estos se refieren.

Se establecieron cuatro modelos de este tipo utilizando el comando *linearmodel.fit* del software MATLAB debido a las posibilidades que este brinda de poder cambiar el tipo de ajuste. Aunque es necesario resaltar que en este comando solo es posible modelar un grupo de variables de entrada con respecto a una sola de salida, por lo que la modelación utilizando una regresión lineal se conciba un poco extensa.

A continuación se muestra el análisis efectuado a la variable de salida Artículos Publicados; los demás estudios se muestran en el **anexo 2.5** (*Modelos de Regresiones Lineales Múltiples*), se refiere a un ajuste sin interacción entre variables, debido a la extensión del análisis.



En el caso de un arreglo sin interacción entre las variables, como el que se ejemplifica en la **figura 2.18**, se obtienen coeficientes de regresión más discretos con respecto a los demás modelos.

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	-0.82657	1.9673	-0.42016	0.67614
x1	0.35853	0.17275	2.0754	0.043014
x2	-0.10368	0.36132	-0.28694	0.77532
x3	0.035297	0.02791	1.2646	0.21175
x4	-0.07007	0.044341	-1.5803	0.12023
x5	0.074597	0.059036	1.2636	0.21213
x6	-1.0318	0.29964	-3.4435	0.001156
x7	-0.72005	0.37087	-1.9415	0.057733
x8	0.20254	0.039497	5.128	4.5759e-06

Number of observations: 60, Error degrees of freedom: 51
 Root Mean Squared Error: 6.02
 R-squared: 0.809, Adjusted R-Squared 0.78
 F-statistic vs. constant model: 27.1, p-value = 8.19e-16

Figura 2.18 Arreglo según modelo sin interacción entre variables. Fuente: Elaboración propia

La columna *Estimate* muestra los coeficientes β descritos en el capítulo anterior y que fundamentan la ecuación del ajuste. En este instante se plantea la **ecuación 2.1**, la cual representa la publicación de artículos según la muestra de datos.

$$\tilde{Y}_{\text{artículos}} = [1 \quad x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_8] \begin{bmatrix} -0.82657 \\ 0.35853 \\ -0.10368 \\ \vdots \\ 0.20254 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

En cualquiera de las variables de salida se obtendrá una ecuación similar. Por tanto, se puede generalizar un modelo matricial que describa el cambio de todas las variables independientes al unísono, igual que el mostrado en la **ecuación 1.30**.

Los demás modelos en los que las variables interaccionan o se elevan al cuadrado siguen siendo modelos que responden a una trayectoria lineal. Estos se justifican a través de un cambio de variable, o sea si se utiliza una ecuación cuadrática del tipo $y = a + bz^2$ y se sustituye $z^2 = x$ se obtiene un ajuste con características lineales.



	Estimate	SE	tStat	pValue				
(Intercept)	0.018206	1.9177	0.0094938	0.99251				
x1	0.67945	2.6546	0.25595	0.80026	x3:x4	-2.6474e-05	0.00027593	-0.095948
x2	3.1873	5.0845	0.62687	0.53692	x3:x5	0.0041364	0.0098521	0.41985
x3	-0.26778	0.72516	-0.36927	0.71531	x3:x6	-0.025928	0.037952	-0.68319
x4	0.70185	1.3136	0.53431	0.59826	x3:x7	-0.043043	0.029924	-1.4384
x5	-0.11411	0.30085	-0.3793	0.70795	x3:x8	0.0049917	0.0034183	1.4603
x6	-3.9276	5.3518	-0.73388	0.47044	x4:x5	-0.010164	0.019485	-0.52164
x7	17.234	13.357	1.2903	0.20978	x4:x6	0.06656	0.070483	0.94434
x8	-1.4096	0.92818	-1.5187	0.14246	x4:x7	0.05131	0.039085	1.3128
x1:x2	-0.005516	0.045813	-0.1204	0.90521	x4:x8	-0.0082218	0.0065665	-1.2521
x1:x3	0.00040774	0.011681	0.034905	0.97246	x5:x6	-0.026294	0.093012	-0.28269
x1:x4	0.0016218	0.018949	0.085587	0.93254	x5:x7	-0.30812	0.21512	-1.4323
x1:x5	-0.072277	0.04664	-1.5497	0.13487	x5:x8	0.037053	0.018361	2.018
x1:x6	0.17282	0.15542	1.112	0.27764	x6:x7	0.33076	0.55117	0.60012
x1:x7	-0.53532	0.31453	-1.7019	0.10225	x6:x8	-0.094754	0.043683	-2.1691
x1:x8	0.042119	0.025315	1.6638	0.10972	x7:x8	0.061478	0.049693	1.2372
x2:x3	0.0013255	0.019865	0.066724	0.94738				
x2:x4	-0.013235	0.03668	-0.36082	0.72153				
x2:x5	0.023337	0.084785	0.27525	0.78558				
x2:x6	0.12465	0.29732	0.41925	0.67892				
x2:x7	0.68925	0.40494	1.7021	0.10222				
x2:x8	-0.064749	0.035327	-1.8329	0.079798				

Number of observations: 60, Error degrees of freedom: 23
 Root Mean Squared Error: 5.75
 R-squared: 0.921, Adjusted R-Squared 0.799
 F-statistic vs. constant model: 7.5, p-value = 1.85e-06

Figura 2.19 Arreglo según modelo con interacción entre variables. Fuente: Elaboración propia

Para el caso con interacción, se tienen de la misma manera los coeficientes β en la columna de estimados. Nótese que los coeficientes de determinación son buenos.

En los demás casos (**figura 2.20 y 2.21**) se procede de similar forma al caso con interacción entre las variables. Los coeficientes de regresión tienden al aumento, aunque el ajuste de forma general se complejiza.

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	0.27262	1.8939	0.14395	0.88621
x1	-0.21036	0.51197	-0.41089	0.6832
x2	0.1594	0.98242	0.16225	0.87187
x3	-0.033616	0.11565	-0.29066	0.77271
x4	0.042975	0.21031	0.20434	0.83905
x5	-0.037022	0.34341	-0.10781	0.91465
x6	-0.76188	1.0338	-0.73697	0.46515
x7	-1.5973	2.1426	-0.74553	0.46001
x8	0.2434	0.14261	1.7068	0.095079
x1^2	0.0099893	0.0052641	1.8976	0.064471
x2^2	-0.0022277	0.017242	-0.1292	0.8978
x3^2	9.1704e-05	0.00015259	0.60098	0.55101
x4^2	-0.00021856	0.00045018	-0.4855	0.62979
x5^2	0.0015296	0.0034327	0.4456	0.65812
x6^2	-0.043562	0.027856	-1.5638	0.12518
x7^2	0.034125	0.1008	0.33853	0.73661
x8^2	0.00018567	0.00033976	0.54649	0.58755

Number of observations: 60, Error degrees of freedom: 43
 Root Mean Squared Error: 5.69
 R-squared: 0.856, Adjusted R-Squared 0.803
 F-statistic vs. constant model: 16, p-value = 3.76e-13

Figura 2.20 Arreglo según modelo puramente cuadrático. Fuente: Elaboración propia



	Estimate	SE	tStat	pValue					
(Intercept)	0.0024807	0.84771	0.0029264	0.9977					
x1	33.002	10.757	3.068	0.0078118	x3:x8	-0.02933	0.010797	-2.7166	0.015921
x2	-67.385	25.073	-2.6875	0.016876	x4:x5	0.12926	0.059635	2.1676	0.046689
x3	2.7104	1.0812	2.507	0.02417	x4:x6	-0.55403	0.21156	-2.6187	0.019362
x4	-5.2559	2.1089	-2.4923	0.024881	x4:x7	-0.38033	0.1447	-2.6284	0.018994
x5	11.96	5.4049	2.2129	0.04283	x4:x8	0.068983	0.024684	2.7946	0.013606
x6	85.336	26.101	3.2695	0.0051729	x5:x6	0.17917	0.2473	0.72449	0.47991
x7	-79.022	25.441	-3.1061	0.0072271	x5:x7	0.77448	0.23888	3.2421	0.005471
x8	-7.6236	2.3978	-3.1794	0.0062209	x5:x8	-0.0036006	0.014475	-0.24874	0.80694
x1:x2	0.059974	0.16038	0.37396	0.71367	x6:x7	-1.1228	0.77407	-1.4505	0.16751
x1:x3	0.0053672	0.0094075	0.57053	0.57677	x6:x8	-1.0374	0.28039	-3.6997	0.0021403
x1:x4	-0.071324	0.0286	-2.4938	0.024806	x7:x8	-0.15029	0.06913	-2.174	0.046122
x1:x5	-0.3567	0.13278	-2.6864	0.016915	x1^2	-0.13697	0.086813	-1.5777	0.13548
x1:x6	1.52	0.48466	3.1363	0.0067938	x2^2	0.37769	0.13642	2.7686	0.014338
x1:x7	1.9181	0.61423	3.1227	0.0069851	x3^2	0.0054963	0.0021874	2.5127	0.0239
x1:x8	-0.16801	0.041868	-4.013	0.0011292	x4^2	0.018636	0.0068473	2.7217	0.015759
x2:x3	0.0059132	0.016567	0.35693	0.72611	x5^2	-0.1454	0.069688	-2.0865	0.05442
x2:x4	0.092681	0.032486	2.8529	0.012094	x6^2	5.0847	1.5471	3.2867	0.0049932
x2:x5	0.59459	0.23764	2.502	0.024409	x7^2	-0.81067	0.31831	-2.5468	0.02234
x2:x6	-5.4281	1.9432	-2.7934	0.01364	x8^2	0.060737	0.015108	4.0201	0.001113
x2:x7	-0.64522	0.28969	-2.2273	0.041664					
x2:x8	0.49476	0.15609	3.1697	0.0063456					
x3:x4	-0.021964	0.0083964	-2.6159	0.019472					
x3:x5	-0.065515	0.029459	-2.2239	0.041932					
x3:x6	0.23516	0.092507	2.542	0.022551					
x3:x7	0.20865	0.083821	2.4892	0.025032					

Number of observations: 60, Error degrees of freedom: 15
 Root Mean Squared Error: 2.54
 R-squared: 0.99, Adjusted R-Squared 0.961
 F-statistic vs. constant model: 33.7, p-value = 1.9e-09

Figura 2.21 Arreglo según modelo cuadrático. Fuente: Elaboración propia

2.2.3 – Mediciones de Precisión

La medida de precisión más importante y decisiva en los modelos de ajustes se encuentra enfocada a la exactitud que estos poseen. Una medida de este tipo se define a menudo en términos del error en el ajuste, que es la diferencia entre el valor que estima el ajuste y el real. Existe un número de medidas de exactitud en la literatura y cada una tiene ventajas y limitaciones (Vandad, Furong, & Robinson, 2009). Entre los más usados frecuentemente están: el coeficiente de determinación múltiple o correlación (R^2), (ecuación 2.2) y el error de porcentaje de la media absoluta (MAPE), (ecuación 2.3).

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2.2)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{e_i}{y_i} \right| \cdot 100 \quad (2.3)$$

Donde: e_i es el error en la predicción individual; y_i es el valor real; \tilde{y}_i es el valor ajustado o estimado por el modelo; n es el número de datos en la muestra; SST es denominado suma total de cuadrados y SSR es la suma de la regresión de los cuadrados.



Estas son las mediciones de precisión que se utilizan para determinar cuál de los modelos lineales planteados es el mejor.

Tabla 2.3 Comparación entre los errores de ajuste en los modelos lineales. Fuente: Elaboración propia

Ajuste	R^2	MAPE
Sin interacción	0.	0.
Con interacción	0.	0.
Puramente cuadrático	0.	0.
Cuadrático	0.9874	0.0715

Como se observa el mejor de los ajustes lineales planteados es el cuadrático por lo que será el utilizado con posterioridad.

2.3 – Modelado con Redes Neuronales Artificiales (RNA)

Recurrir a una RNA es casi que ineludible al tratar de ajustar unas condiciones denominadas entradas con respecto a otras llamadas salidas, aunque la aplicación de las mismas es mucho más amplia de lo imaginable.

La metodología a aplicar cuando se trabaja con una red neuronal se puede dividir de manera formal en cuatro fases (siempre teniendo en consideración que lo primero que se hace para su uso efectivo es normalizar los valores y este no representa ninguna de las cuatro fases). En la práctica se encuentran muy relacionadas entre sí, y resulta complejo tratarlas de forma independiente: diseño de la estructura, entrenamiento, validación y uso posterior. La dificultad de desligarlas estriba en que al término de cada fase se extraen conclusiones que redundan a tratar de mejorar la red, mediante la aplicación de distintos parámetros. Esta metodología es afrontada en la realización de un modelo artificial que describa el funcionamiento del proceso de la UCF como un centro educacional.



2.3.1 – Normalización de los datos

Una normalización de datos es necesaria para evitar que las condiciones de las neuronas sean saturadas. De suceder esto, se produce un pequeño cambio en el valor de la entrada que puede ocasionar un error en el valor de salida. Es por ello que dichos datos deben ser normalizados antes de ser presentados a la red neuronal artificial. La normalización comprime el rango de los valores de entrenamiento entre 0 y 1. Esta es llevada a cabo por medio de la siguiente expresión:

$$X_n = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2.4)$$

Donde: X_n es el valor de los datos normalizados; X es el valor a normalizar; X_{\min} y X_{\max} son los mínimos y máximos de los datos de todo el conjunto.

A través de un proceso de este tipo en una muestra determinada, se logra que en los modelos de regresión que provee la red, los valores se encuentren situados a lo largo de toda la línea de tendencia. Esto garantiza en gran medida la veracidad del índice de correlación.

2.3.2 – Estructura de las redes

Los modelos artificiales planteados se basan en redes multicapas del tipo *Feedforward* (o sea con propagación hacia adelante con algoritmo de aprendizaje con retropropagación). El diseño de las redes consta de una capa de entrada de datos, una de salida y otra intermedia u oculta. Para la capa de entrada y la oculta se utiliza una función de transferencia sigmoidea (*Tansing*), con el objetivo de dotar la red de la capacidad de simular sistemas no lineales. Mientras que para la de salida se utilizan neuronas lineales (*Purelin*) porque permiten simular funciones sin discontinuidades.

En la creación de las RNA se utiliza el toolbox de MATLAB R2013a nntool debido a la posibilidad que este brinda de crear capas ocultas en la estructura de una red, no así con el toolbox nftool.



La configuración de las distintas redes diseñadas se muestra en la **tabla 2.4**; considerando que la última capa posee siempre cuatro neuronas en correspondencia a las cuatro variables de salida, algo característico en este tipo de red. Es necesario esclarecer que se utiliza una capa oculta y este número de neuronas por capa con el fin de obtener mejores resultados en la regresión. En caso de aumentar en exceso el número de neuronas, el proceso de obtención de la red se puede hacer más tardío.

Tabla 2.4 Número de neuronas en las redes. Fuente: Elaboración propia

Capa de entrada	Capa oculta	Capa de salida
10	10	4
10	20	4
10	30	4
10	40	4
10	50	4
20	10	4
20	20	4
20	30	4
20	40	4
20	50	4

Como se puede observar el número de neuronas por capa en cada red se obtiene a partir de un método constructivo, es decir se crea una red y la que le sigue tiene más neuronas en la capa oculta o en la de entrada. De esta forma se evita introducir neuronas que no aporten información y que den lugar a sobre-entrenamientos; con el propósito cimerio de tratar de reducir los errores y encontrar el mejor ajuste.

2.3.3 – Entrenamiento de las redes neuronales

La fase de entrenamiento es esencial, puesto que determina que el conocimiento presente en el conjunto de datos de entrenamiento quede almacenado en la red.



Sin embargo, el proceso es mecánico y una vez que se ha elegido el método de convergencia no cabe apenas intervenir en él.

Para efectuar este procedimiento en las redes, el Matlab solo utiliza el 60 % de los datos, el 40 % restante lo distribuye en: 20 % para validación y 20 % para prueba. Dicho software culmina esta fase por varios criterios (denominados *criterios de parada*) que pueden ser ajustables o no y que requieren de un tiempo mayor o menor en correspondencia con dichos ajustes.

2.3.4 – Validaciones y Pruebas al conjunto de redes diseñadas. Obtención del mejor ajuste

Una vez entrenadas las redes, el cálculo del error se efectúa comparando las salidas que estas producen, ante unas entradas determinadas, con las salidas reales con las que están emparejadas. En los ajustes creados se logran errores aproximados a 10^{-3} , lo que demuestra que el conjunto de redes diseñadas son capaces de responder con pequeños errores aún para datos de entrada con los cuales no han sido entrenadas. Además cabe señalar que los datos para calcular el error son los mismos que los utilizados en el entrenamiento y no afecta puesto que siempre aparece una diferencia entre los datos reales y los simulados por cada red; en esta instancia el *test* es comúnmente denominado de *resustitución*. De manera general las discrepancias ocasionadas pueden ser más o menos acusadas en función de la calidad de las redes.

Se procede entonces a obtener el mejor ajuste del conjunto de redes diseñadas considerando, al igual que en el caso de la regresión lineal multivariada, el coeficiente de correlación y el error de porcentaje de la media absoluta (**ecuaciones 2.1 y 2.2**). Un resumen del comportamiento de estos índices se muestra en la tabla que sigue a continuación.

Nótese que de manera general los ajustes están representados de la forma **a-b-c**; lo que significa que la red posee, **a** neuronas en la capa de entrada, **b** en la capa oculta, y **c** en la capa de salida.

Tabla 2.5 Comparación entre los errores en el ajuste de las diferentes RNA. Fuente: *Elaboración propia*

Ajuste	R^2	MAPE
10-10-4	0,9833	0.0803
10-20-4	0,9822	0.0932
10-30-4	0,9810	0.1188
10-40-4	0,9865	0.0728
10-50-4	0.9827	0.1051
20-10-4	0.9895	0.0623
20-20-4	0.9813	0.0699
20-30-4	0.9956	0.0456
20-40-4	0.9863	0.0615
20-50-4	0.9920	0.0627

Según lo identificado en la tabla anterior, el ajuste que posee mejores índices de R^2 y MAPE es el **20-30-4**, por lo que este es seleccionado para ulteriores exámenes. La configuración detallada de esta red se muestra en la **figura 2.22**; donde se observa, además del número de neuronas por capa, las funciones de transferencias utilizadas y descritas con anterioridad en este capítulo.

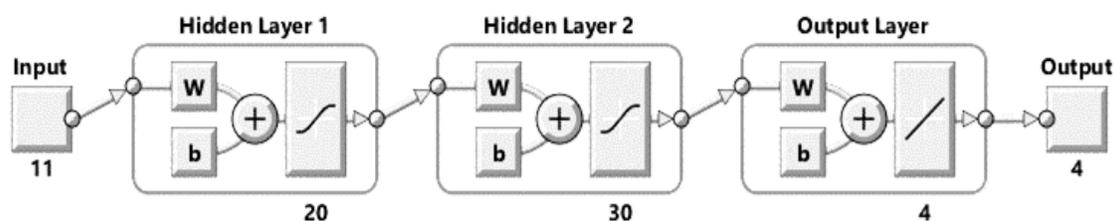


Figura 2.22 Configuración del mejor modelo de RNA planteados. Fuente: *Elaboración propia*

Los análisis de regresiones de esta red evidencian su buena capacidad de generalización con índices superiores a 0.99 para los distintos casos (tanto de entrenamiento, validación, como de prueba); es decir, la red reproduce fielmente el comportamiento del objeto o proceso que está simulando. Los estudios de

regresión de las restantes redes diseñadas se pueden observar en el **anexo 2.6** (*Estudios de regresión de las RNA diseñadas*).

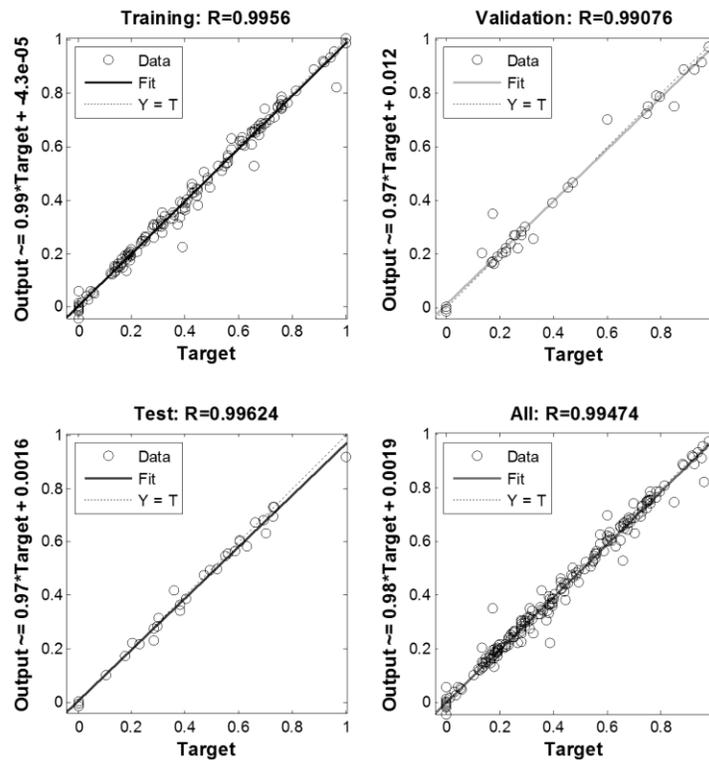


Figura 2.23 Correlación entre las salidas del proceso y objetivos a alcanzar por la RNA.

Fuente: Elaboración propia

Para la obtención de estos índices fue necesario reinicializar los pesos que MATLAB supone por defecto y luego realizar varios entrenamientos a la red hasta lograr los mejores índices posibles, tal y como plantea la literatura.

2.4 – Comparación de Modelos

En este punto se pretende definir el modelo de forma general que mejor ajusta los valores de entrada y salida del proceso, para ello se cuenta con el de Regresión Lineal Múltiple y con la RNA. La comparación entre ambos se realiza de acuerdo a las medidas de exactitud planteadas en el epígrafe 2.2. Estas medidas son: el coeficiente de determinación múltiple o correlación y el error de porcentaje de la media absoluta (**ecuaciones 2.1 y 2.2**).

Tabla 2.6 Comparación de errores de los modelos obtenidos. Fuente:
Elaboración propia

Ajuste	R²	MAPE
Modelo Lineal	0.9874	0.0715
RNA	0.9956	0.0629

La RNA define mejores comportamientos en la salida que la Regresión, o sea la red simula con mayor exactitud el proceso descrito y por lo tanto es el modelo con el que se trabajará en posteriores análisis. Para tener una mejor idea al respecto, sobre qué tan bueno son los ajustes, se muestra un gráfico para el caso de los Artículos Publicados; el resto de los estudios con otras variables se detallan en el **anexo 2.7** (*Comprobación entre los ajustes de la RNA y la Regresión Lineal con respecto al Real*)

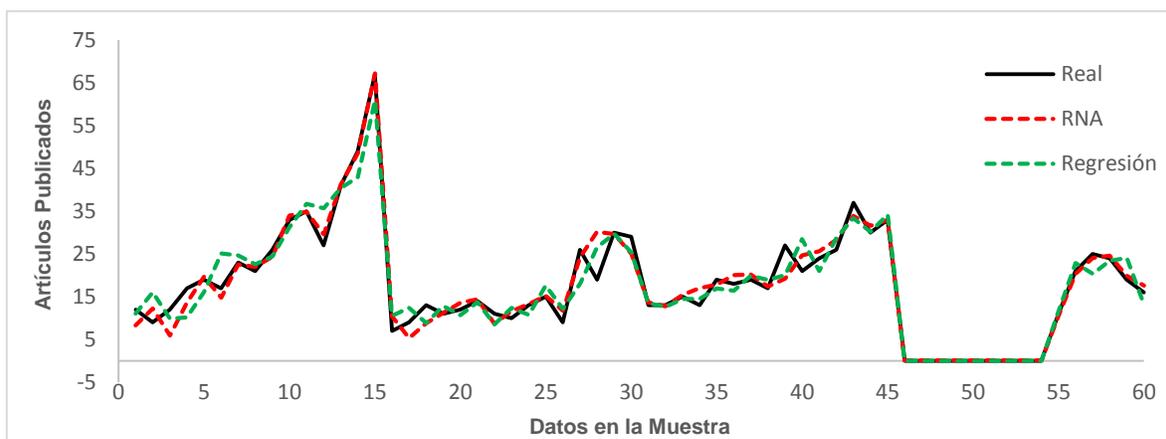
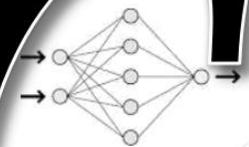


Figura 2.24 Comparación entre las respuestas obtenidas por los modelos. Fuente:
Elaboración propia

La aplicación del modelo artificial obtenido constituye una herramienta adicional para la planificación en el centro referida a la cantidad de artículos a publicar, estudiantes que se graduarán, impactos a obtener en ciencia y estudiantes que promoverán hacia otro curso.

C *apítulo 3*





Capítulo 3. Determinación de Indicadores de Gestión en la UCF a través de un diseño de experimentos

En este capítulo se lleva a cabo la elaboración de un Diseño de Experimentos con el propósito de analizar el comportamiento de cada una de las variables identificadas en la universidad como proceso, ya sean de entrada o salida, y a su vez poder identificar los indicadores a proponer.

3.1 – Diseño de experimentos

El diseño estadístico de experimentos permite optimizar la información generada acerca del proceso en relación con los objetivos planteados, es por lo tanto una aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un proceso o sistema **(Rodríguez Pérez, 2010)**.

El modelo estadístico en el que se basa un diseño de experimento expresa la variable respuesta Y como una función lineal de los factores experimentales. Para el caso, una función lineal con interacciones entre los factores, términos cuadráticos y término del error.

3.1.1 – Descripción del experimento

El software utilizado es STATGRAPHICS CENTURION. La clase del diseño base es de *Superficie de Respuesta* en donde se tiene, como es conocido con anterioridad, 7 variables de respuesta y 8 factores experimentales. El nombre del diseño seleccionado es *Compuesto Reducido de Draper-Lin*. Este se escoge por ser en el que menor número de corridas se deben realizar (54 corridas) con respecto a los demás propuestos por el software. La característica fundamental del diseño base es que es *ortogonal*. Los diseños ortogonales garantizan que se cumplan los presupuestos de un análisis de regresión (de la manera que realiza el muestreo), porque aseguran que la muestra para el diseño provenga de una población normal y que las varianzas entre las variables dependientes sean iguales; para verificar el diseño base creado véase *anexo 3.1 Diseño generado según criterio de Draper-Lin*



3.1.2 – Procesamiento estadístico

Después de haber generado el diseño base se procede a decodificar los valores de este según la **ecuación 3.1**. Para el software el 0 mostrado significa la media; -1 y 1 se determinan en función del máximo, el mínimo y la media en los datos según la ecuación descrita; -2.44949 es el mínimo de la población y 2.44949 es el máximo.

$$X = X_S - \left[\frac{V_S - V_X}{V_S - V_I} \right] (X_S - X_I) \quad (3.1)$$

Donde: X es el valor codificado; V_S y V_I , son los máximos y mínimos en la muestra de cada variable; X_S y X_I representan el máximo y mínimo en el diseño (-2.44949; 2.44949); y V_X es el valor decodificado.

Luego de aplicar la ecuación de decodificación se ha generado una muestra de las variables independientes que se asocian lógicamente a las dependientes (según el modelo) y el objetivo entonces radica en conocer numéricamente la salida para estas condiciones de entrada. Para esto se introducen los valores normalizados y decodificados, según el análisis base, en la RNA diseñada en el capítulo anterior. Es necesario resaltar que incongruencias en las respuestas de la red se deben a que el diseño base elaborado, en ocasiones no se encuentra en los intervalos de entrenamiento. Al poder establecer una relación entre las diferentes entradas y cada salida del modelo planteado se procede a realizar el diseño de experimentos.

3.1.2.1 – Estudiantes Graduados

Al evaluar los estudiantes graduados para las diferentes condiciones de entrada se obtuvo que el modelo así ajustado, explica en un 94.41 % la variabilidad de esta. El factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande fue igual a 1.11941. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos. El diagrama de Pareto que se observa a continuación muestra los efectos estimados más influyentes sobre la variable, en orden decreciente de magnitud. La longitud de cada barra es proporcional al efecto

estandarizado, el cual es el efecto estimado dividido entre su error estándar. Esto es equivalente a calcular un estadístico-t para cada efecto. La línea vertical puede utilizarse para juzgar cuales efectos son estadísticamente significativos y cuales no en la variable respuesta. Cualquier barra que se extienda más allá de la línea corresponde a efectos que son estadísticamente significativos con un 95.0 % de nivel de confianza.

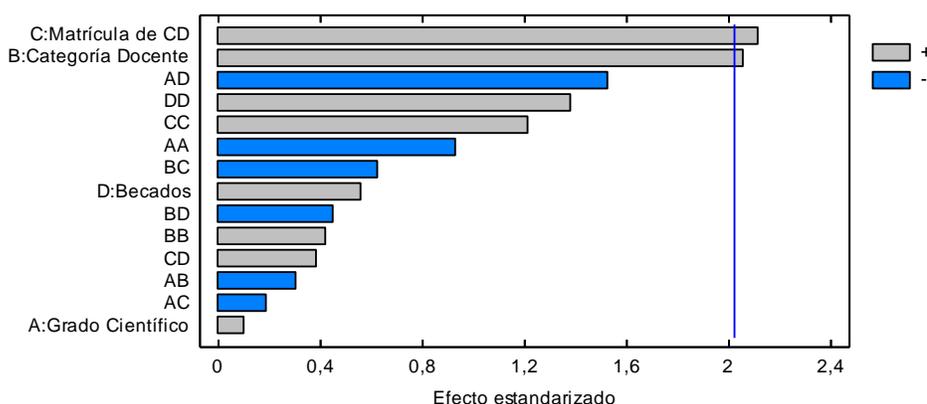


Figura 3.1 Pareto Estandarizado para Graduados de CD. Fuente: Elaboración propia

El color de las barras en el gráfico muestra si el efecto causa impacto negativo o positivo sobre la respuesta. Las variables que producen impactos sobre Estudiantes Graduados son: Matrícula de CD y Categoría Docente; y ambas impactan positivamente sobre esta. Para tener una idea más clara de la influencia, a continuación se observa la una Superficie de Respuesta Estimada que contiene las variables señaladas y la respuesta.

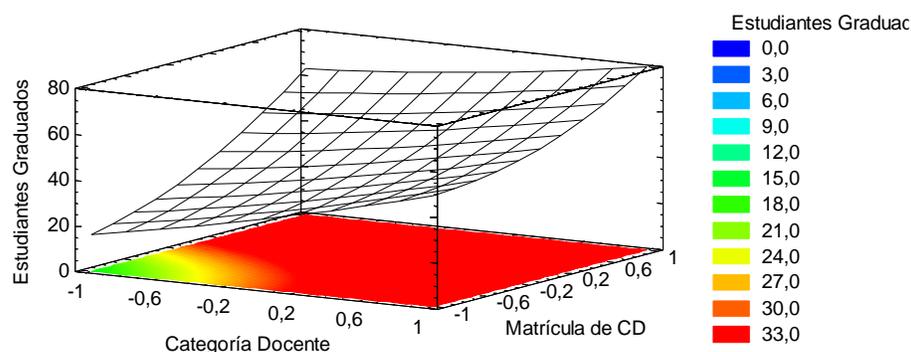


Figura 3.2 Superficie de Respuesta Estimada para Graduados de CD. Fuente: Elaboración propia



La altura de la superficie en el gráfico (desde 0 hasta 80) representa los valores de Estudiantes Graduados. Cabe señalar que en este análisis los demás factores se mantienen constantes. El Gráfico de Contorno dibujado debajo de la superficie de respuesta estimada muestra regiones coloreadas basándose en los valores predichos de esta variable. A medida que la tendencia es a coloración roja la respuesta numérica de la variable es mayor, o lo que es lo mismo visualmente, a medida que aumentan los factores influyentes (con mayor peso Matrícula de CD) aumenta la variable Estudiantes Graduados.

Un resumen del análisis efectuado, se detalla en la tabla de resultados ANOVA. Nótese que los valores de probabilidad para las variables influyentes son de 0.0465 y 0.0408 (menores que 0.05) por lo que se ratifica la elevada confiabilidad en el diseño.

Tabla 3.1 Análisis de Varianza para Estudiantes Graduados. Fuente: Elaboración propia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Grado Científico	11.2198	1	11.2198	0.01	0.9200
B:Categoría Docente	4635.58	1	4635.58	4.23	0.0465
C:Matrícula de CD	4912.87	1	4912.87	4.48	0.0408
D:Becados	346.188	1	346.188	0.32	0.5775
AA	947.148	1	947.148	0.86	0.3585
AB	104.587	1	104.587	0.10	0.7591
AC	38.2196	1	38.2196	0.03	0.8529
AD	2569.69	1	2569.69	2.34	0.1340
BB	193.374	1	193.374	0.18	0.6769
BC	433.927	1	433.927	0.40	0.5330
BD	223.745	1	223.745	0.20	0.6540
CC	1612.97	1	1612.97	1.47	0.2326
CD	160.916	1	160.916	0.15	0.7038
DD	2101.79	1	2101.79	1.92	0.1742



La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Estudiantes Graduados en piezas separadas para cada uno de los efectos y prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental.

3.1.2.2 – Promoción

El coeficiente de determinación para el caso de la variable Promoción es de 88.77 %, por lo que se puede inferir el buen ajuste obtenido por el software.

Tabla 3.2 Análisis de Varianza para Promoción. Fuente: Elaboración propia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Grado Científico	6482.46	1	6482.46	0.85	0.3620
B:Categoría Docente	48886.0	1	48886.0	6.43	0.0158
C:Matrícula de CD	143707.	1	143707.	18.91	0.0001
D:Becados	3684.12	1	3684.12	0.48	0.4909
AA	11573.3	1	11573.3	1.52	0.2254
AB	2455.08	1	2455.08	0.32	0.5734
AC	16663.4	1	16663.4	2.19	0.1476
AD	1270.32	1	1270.32	0.17	0.6851
AE	2508.64	1	2508.64	0.33	0.5693
AF	757.831	1	757.831	0.10	0.7540
AG	5025.5	1	5025.5	0.66	0.4216
AH	47.3642	1	47.3642	0.01	0.9375
BB	629.298	1	629.298	0.08	0.7752
BC	49758.1	1	49758.1	6.55	0.0150
BD	25472.6	1	25472.6	3.35	0.0757
CC	1861.36	1	1861.36	0.24	0.6238
CD	66.026	1	66.026	0.01	0.9263
DD	257.204	1	257.204	0.03	0.8551

La tabla resumen ANOVA, muestra la dependencia probabilística de las demás variables con respecto a Promoción con un nivel de confianza del 95 % (al igual que en el caso anterior). Las variables más influyentes son: Categoría Docente y Matrícula de CD. Luego, una vez que se ha estimado y comprobado un modelo, los resultados se deben presentar de una manera que sea lo más comprensible posible. Puesto que a menudo es difícil ganar aciertos observando una tabla o una ecuación matemática; varios gráficos se proporcionan para presentar la estimación del modelo. El Diagrama de Pareto Estandarizado es uno de los más importantes:

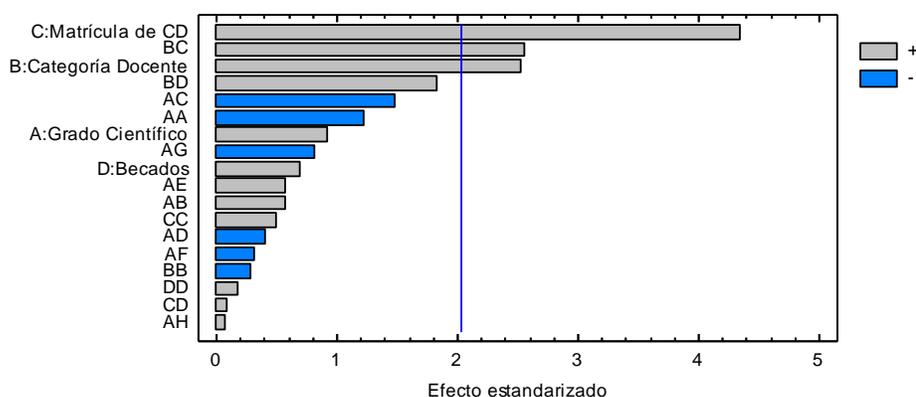


Figura 3.3 Pareto Estandarizado para Promoción. Fuente: Elaboración propia

Posee mayor representatividad la variable Matrícula de CD que Categoría Docente, puesto que la barra en el Pareto es más prolongada para la primera. Estas inciden positivamente sobre la respuesta. Nótese además que una combinación entre ambas (BC) sobrepasa la significancia estadística.

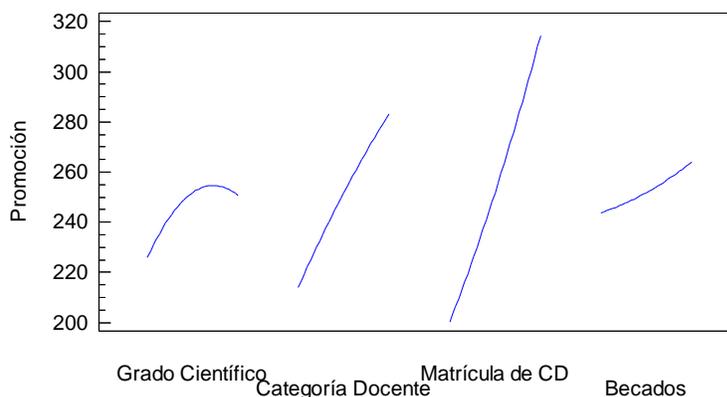


Figura 3.4 Efectos Principales para Promoción. Fuente: Elaboración propia

La respuesta predicha varía cuando cada uno de los factores del modelo cambia del nivel bajo al alto, con todos los demás factores fijados en el centro de la región experimental (un punto medio entre el nivel bajo y alto).

Cuando todos los factores se dibujan en el grafico anterior, es más fácil juzgar cuales factores tienen el más alto impacto.

En este análisis se muestra que para el caso de Becados y Grado Científico, aunque no impactan con el mismo peso sobre la salida, puesto que el nivel de significación es mayor que 0.05, poseen una influencia positiva sobre Promoción. Esto lógicamente está dado porque Becados responde a la Matrícula de CD y Grado Científico se corresponde con Categoría Docente; según los análisis realizados en el capítulo anterior.

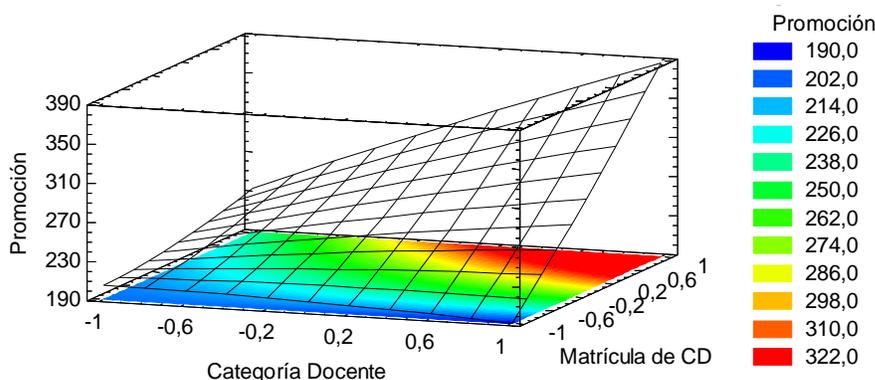


Figura 3.5 Superficie de Respuesta estimada para Promoción. Fuente: Elaboración propia

La curva estimada posee su punto máximo en 390 y esto se corresponde con FING, FCSH o con FCEE por ser las que más número de estudiantes poseen, por el contrario de FCA. La variable ajustada crece a medida que crecen las influyentes.

3.1.2.3 – Artículos Publicados

El ANOVA de resultados para esta variable se muestra posteriormente, en el que se logró un coeficiente de correlación del modelo cuadrático ajustado de 83.83 %. En este caso como en los anteriores solo se tienen los efectos que causan mayor impacto sobre la salida.



Tabla 3.3 Análisis de Varianza para Artículos Publicados. Fuente: Elaboración propia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Grado Científico	1828.08	1	1828.08	8.87	0.0155
C:Matrícula de CD	5.42761	1	5.42761	0.03	0.8747
F:Climatización	175.098	1	175.098	0.85	0.3808
H:Cómputo	1247.12	1	1247.12	6.05	0.0362
AA	382.569	1	382.569	1.86	0.2063
AC	4.01069	1	4.01069	0.02	0.8922
AF	214.827	1	214.827	1.04	0.3340
AG	216.019	1	216.019	1.05	0.3328
AH	959.247	1	959.247	4.65	0.0594
CC	8.87876	1	8.87876	0.04	0.8402
CF	665.367	1	665.367	3.23	0.1060
CH	5.31917	1	5.31917	0.03	0.8759
FF	108.239	1	108.239	0.52	0.4872
FH	279.465	1	279.465	1.36	0.2743
HH	361.971	1	361.971	1.76	0.2178

Las variables que provocan el impacto principal sobre Artículos Publicados son: Grado Científico y Equipos de Cómputo, con un nivel de significación menor a 0.05.

Otras cuestiones se pueden notar en el Pareto que sigue como por ejemplo que la Matrícula de CD no influye positivamente en la creación de artículos (además posee un nivel de significación superior al 5 % y por ende no se tomará en cuenta). Esto se debe a que el número de artículos ha aumentado notablemente en los últimos 5 cursos y sin embargo la matrícula de las facultades involucradas se ha mantenido constante. También existieron cursos anteriores con un mayor número de estudiantes y sin embargo las publicaciones fueron mínimas.

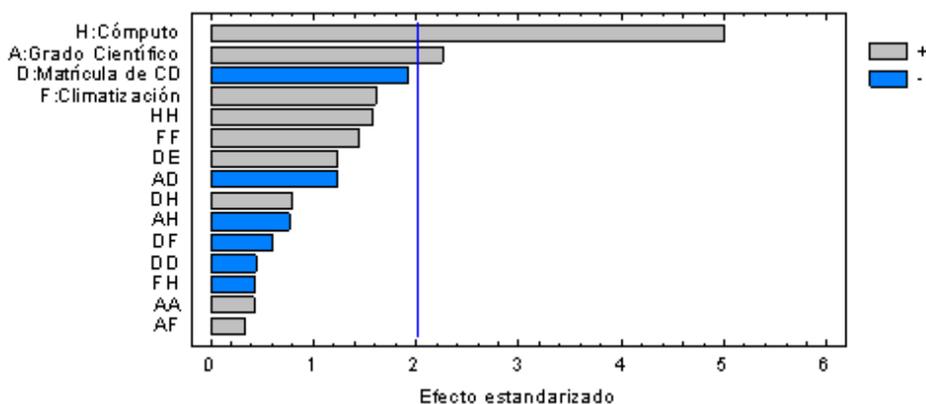


Figura 3.6 Pareto Estandarizado para Artículos Publicados. Fuente: Elaboración propia

La variación de los efectos desde su punto inferior hasta el superior y el comportamiento que describen las influentes, se observa en las próximas figuras.

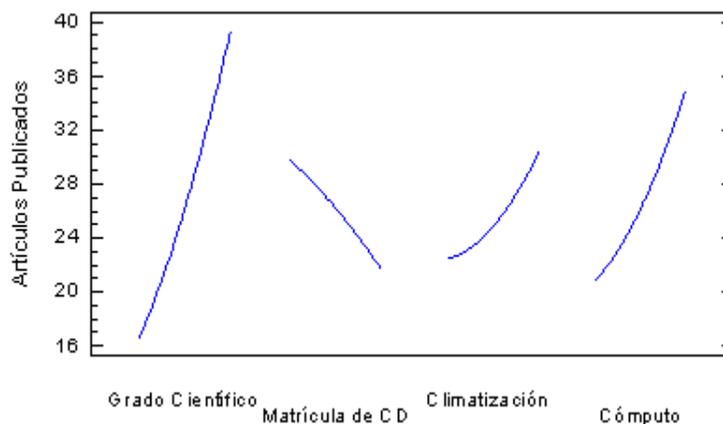


Figura 3.7 Efectos Principales para Artículos Publicados. Fuente: Elaboración propia

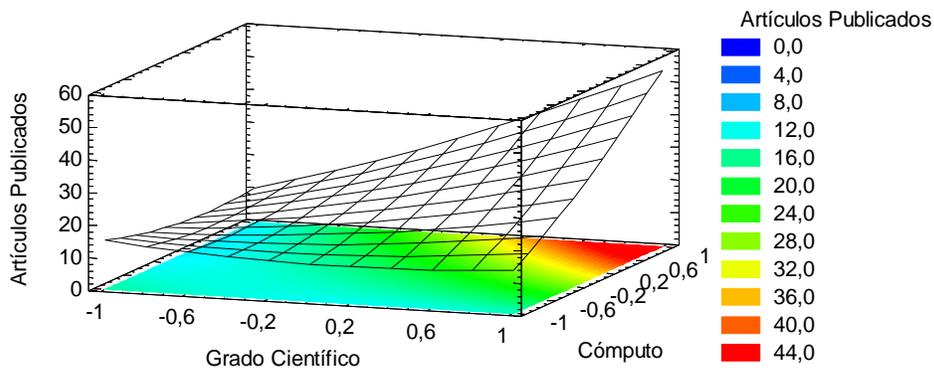


Figura 3.8 Superficie de Respuesta Estimada para Artículos Publicados. Fuente: Elaboración propia



La superficie descrita muestra que el máximo de publicaciones se logra tras el aumento progresivo de los Equipos de Cómputo y de Grado Científico.

3.1.2.4 – Impactos en Ciencia

El ajuste lineal que obtuvo el software posee un coeficiente de correlación de 94.62 % (muy bueno). Las variables de más influencia son: Grado Científico y Equipos de Cómputo. Un resumen de este análisis se muestra a continuación:

Tabla 3.4 Análisis de Varianza para Impactos en Ciencia. Fuente: Elaboración propia

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Grado Científico	2332.69	1	2332.69	7.97	0.0199
C:Matrícula de CD	204.579	1	204.579	0.70	0.4246
F:Climatización	1378.25	1	1378.25	4.71	0.0581
H:Cómputo	6830.26	1	6830.26	23.35	0.0009
AA	1.76266	1	1.76266	0.01	0.9398
AC	1357.19	1	1357.19	4.64	0.0596
AF	285.312	1	285.312	0.98	0.3492
AH	357.178	1	357.178	1.22	0.2978
CC	143.485	1	143.485	0.49	0.5014
CF	167.155	1	167.155	0.57	0.4690
CH	214.738	1	214.738	0.73	0.4138
FF	437.904	1	437.904	1.50	0.2522
FH	2835.89	1	2835.89	9.69	0.0124
HH	1561.62	1	1561.62	5.34	0.0462

Como el modelo lineal en que se basa el diseño es un modelo cuadrático se tiene además que influyen sobre la salida la combinación de Equipos de Cómputo con Aires Acondicionados (influencia negativa) y Equipos de Cómputo al cuadrado (influencia positiva). Estas influencias no se tendrán en cuenta para posteriores análisis debido a la complejidad a la hora de manejarlas.

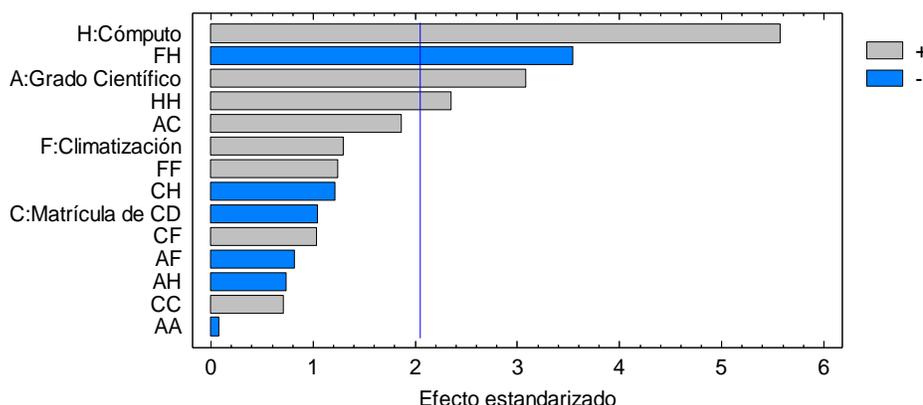


Figura 3.9 Pareto Estandarizado para Impactos en Ciencia. Fuente: Elaboración propia

En el Pareto se observa con claridad que Equipos de Cómputo produce mayor efecto en la variable respuesta que Grado Científico de Profesores. La causa se debe al incremento sustancial de la primera en los años de muestra y la relación con el aumento elevado de Impactos en Ciencia. Además una combinación de Cómputo y Climatización también provocan cambio, pero por la complejidad asociada a esta interacción no se tendrán en cuenta.

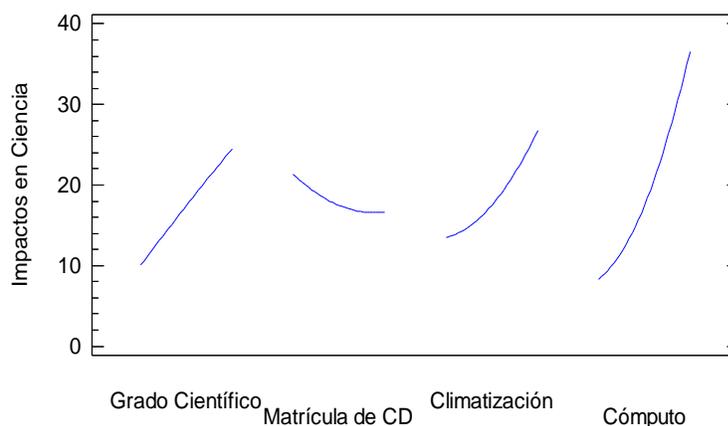


Figura 3.10 Efectos Principales para Impactos en Ciencia. Fuente: Elaboración propia

La Matrícula de CD por su parte, al igual que en el estudio de la variable Artículos Publicados, no proporciona un cambio positivo en Impactos en Ciencia.

Para determinar numéricamente los impactos producidos por la variable más influyente, se dibuja de forma individual y se obtendrá la respuesta predicha en los extremos de la curva; tal y como se observa a continuación.

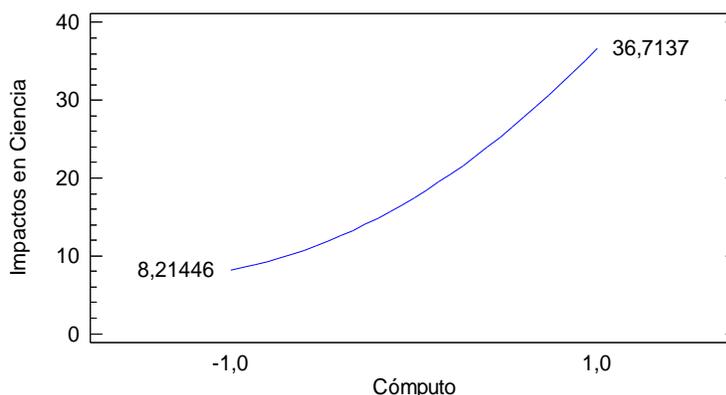


Figura 3.11 Mínimo y máximo Impactos en Ciencia según aumento de Cómputo. Fuente: *Elaboración propia*

La gráfica muestra que para el nivel bajo de Equipos de Cómputo ($Eq\ Cómputo \neq 0$) se producen alrededor de 8 impactos y para nivel alto se obtienen aproximadamente 36. Los valores mostrados en los puntos finales de la línea del gráfico anterior son iguales a la respuesta promedio en el nivel bajo y alto del factor graficado. Es importante notar que *STATGRAPHICS describe la respuesta predicha del modelo actual, no de los datos observados.*

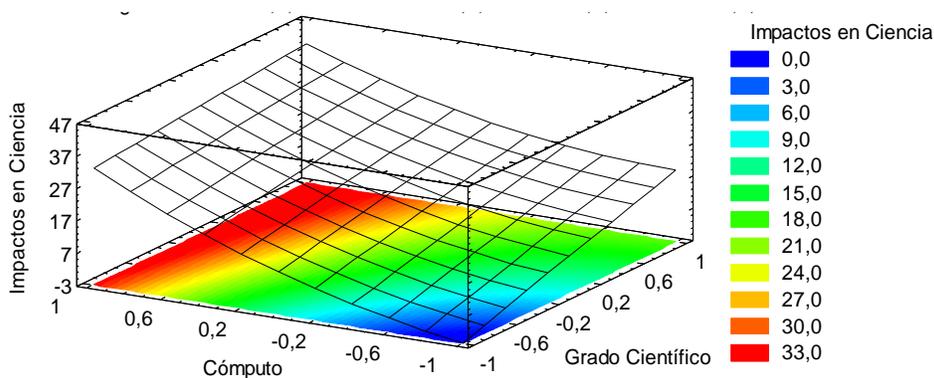


Figura 3.12 Superficie de Respuesta Estimada para Impactos en Ciencia. Fuente: *Elaboración propia*

Al igual que en otros casos la superficie que se observa describe la trayectoria de la variable respuesta con respecto a las influyentes (Cómputo y Grado Científico). Una tendencia al aumento de las últimas marca un ascenso simultáneo de la respuesta.

3.1.2.5 – Electricidad

En el presente caso se toma un nivel de significación igual a 0.1, de ahí que existen 5 efectos que son significativamente influyentes con un nivel de confianza del 90.0 % sobre la variable Electricidad. El coeficiente de determinación múltiple es de 92.48 %, por lo que se garantiza un buen ajuste. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.5 Análisis de Varianza para Electricidad. Fuente: Elaboración propia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Grado Científico	2088.65	1	2088.65	0.50	0.4815
B:Categoría Docente	1652.45	1	1652.45	0.40	0.5311
C:Matrícula de CD	12388.1	1	12388.1	2.99	0.0908
D:Becados	12224.5	1	12224.5	2.95	0.0929
E:Iluminación	13874.5	1	13874.5	3.35	0.0740
F:Climatización	13029.9	1	13029.9	3.14	0.0831
G:Refrigeración	380.591	1	380.591	0.09	0.7633
H:Cómputo	25772.9	1	25772.9	6.22	0.0164

El diagrama de Pareto correspondiente, muestra como todos los efectos detectados influyen positivamente en la variable expuesta.

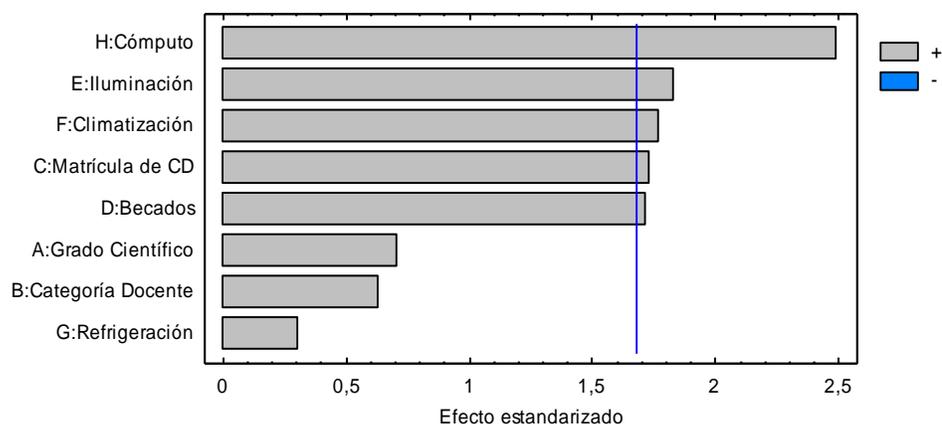


Figura 3.13 Pareto Estandarizado para Electricidad. Fuente: Elaboración propia

Los equipos de Cómputo son los más influyentes y luego la Iluminación, Climatización, Matrícula de CD y Becados por ese orden. Una muestra más clara del comentario anterior se tiene en la siguiente figura:

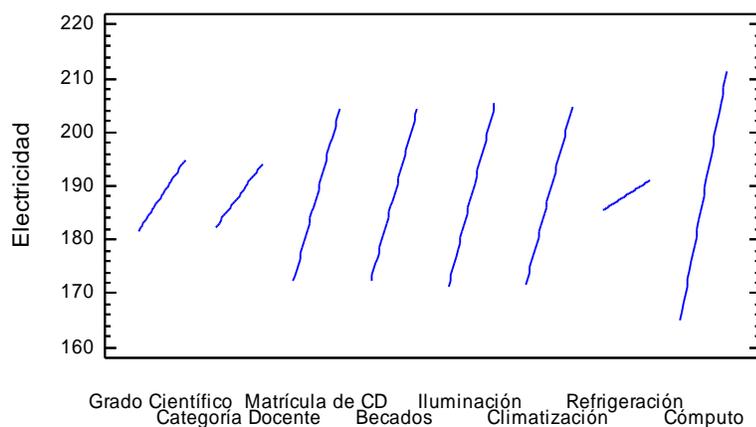


Figura 3.14 Efectos Principales para Electricidad. Fuente: Elaboración propia

Como Equipos de Cómputo es la que mayor impacto provoca a la variable Electricidad se dibuja de forma individual para obtener la respuesta predicha. Estos valores son 165 MW-h y 211 MW-h para el menor y el mayor número de equipos de este tipo, por la facultad más consumidora (FING).

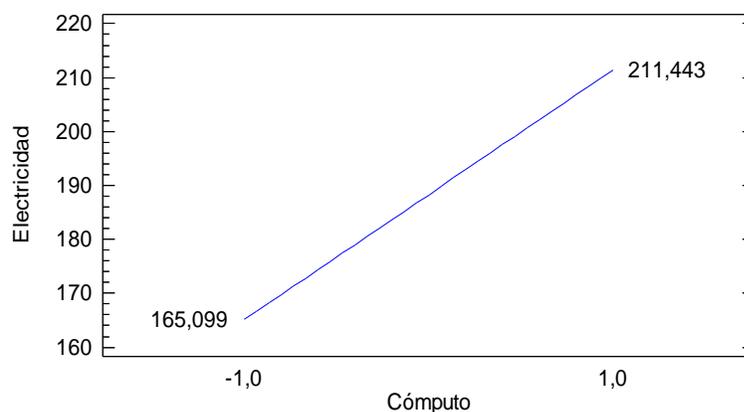


Figura 3.15 Mínimo y máximo Electricidad según aumento de Cómputo. Fuente: Elaboración propia

Para determinar cómo se comporta la variable examinada cuando se combinan dos influyentes se tienen las superficies de respuesta estimada que se muestran

con posterioridad (**figura 3.16 y 3.17**), por solo citar dos ejemplos. Estas combinaciones están representadas por: Matrícula de CD con Becados y Equipos de Cómputo con Climatización, respectivamente.

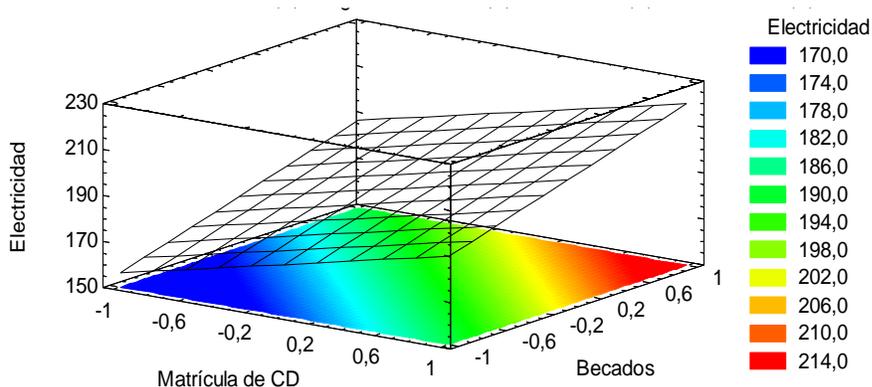


Figura 3.16 Superficie de Respuesta Estimada para Electricidad (considerando Matrícula de CD y Becados). Fuente: Elaboración propia

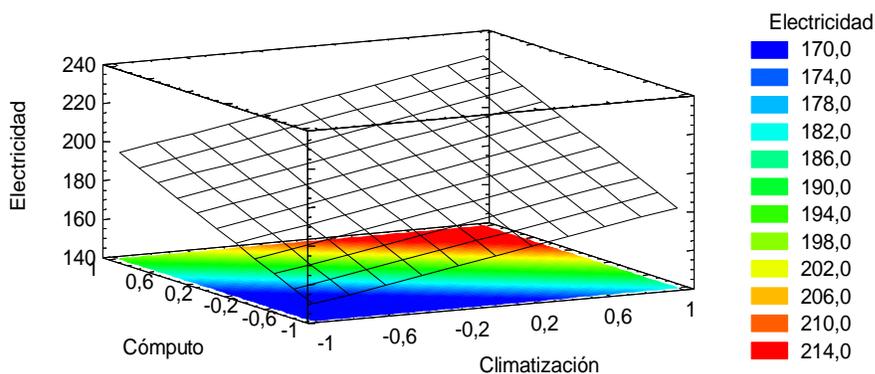


Figura 3.17 Superficie de Respuesta Estimada para Electricidad (considerando Equipos de Cómputo y Climatización). Fuente: Elaboración propia

En ambas instancias se demuestra que a medida que las dos variables influyentes crecen se produce un aumento progresivo de Electricidad. Los mayores gastos de esta se originan tras la segunda estructura con un valor máximo sobre 230 MW-h.

3.1.2.6 – Agua y Diesel de Calderas

En este apartado se explican al unísono las variables Agua y Diesel de Calderas debido a que los resultados de los análisis efectuados a cada una de manera independiente no son los esperados. La causa que da lugar a esta situación está



dada fundamentalmente por la distorsión existente en los datos de la muestra. ¿Cómo se explica esto? Para el Agua la notable disminución del consumo se presenta a partir de los cursos 06- 07 y 07- 08, pues fue cuando se comenzó a implementar el Sistema de Gestión del Agua y de ahí los cambios mencionados. Por tanto la solución radica en eliminar los valores correspondientes a cursos anteriores a los plasmados. Sin embargo no se puede aplicar esta alternativa en el estudio ya que para poder aplicar una RNA se debe contar con una población adecuada que garantice el buen funcionamiento de la misma. Lo ideal sería tomar en consideración años venideros, pero esto no es algo posible.

En el tema de Diesel de Calderas ocurre algo muy similar. La diferencia consiste en que los datos distorsionados en esta variable se observan hasta 08-09 aproximadamente, puesto a que en esta etapa todos los estudiantes (tanto internos como externos) de CD almorzaban en la Universidad; como se explicó en el epígrafe 2.2.2.

3.2 – Indicadores propuestos

Una vez determinadas las variables independientes más influyentes con respecto a las dependientes se procede a identificar los indicadores de gestión que con mayor efectividad describen la universidad como un proceso. Seguidamente se especifica cada uno de ellos, teniendo en consideración su comportamiento en los años muestreados y analizados de manera generalizada a nivel de centro.

Cabe señalar que de manera general la similitud de todos los gráficos consiste en que en los últimos cinco cursos transitan hacia una estabilización. Esto da la medida de la distorsión (por diferentes causas) existente en la población muestreada.

3.2.1 – Indicadores de Estudiantes Graduados

Según lo obtenido a partir del experimento realizado sobre los estudiantes graduados, las variables que más impactan son: la Matrícula CD y los Profesores con Categoría Docente. Por tanto los indicadores (Estudiantes Graduados/ Matrícula de CD; Estudiantes Graduados/ Profesores con Categoría Docente) que



se proponen están asociados a dichas variables. En la figura que prosigue se detalla el comportamiento de estos.

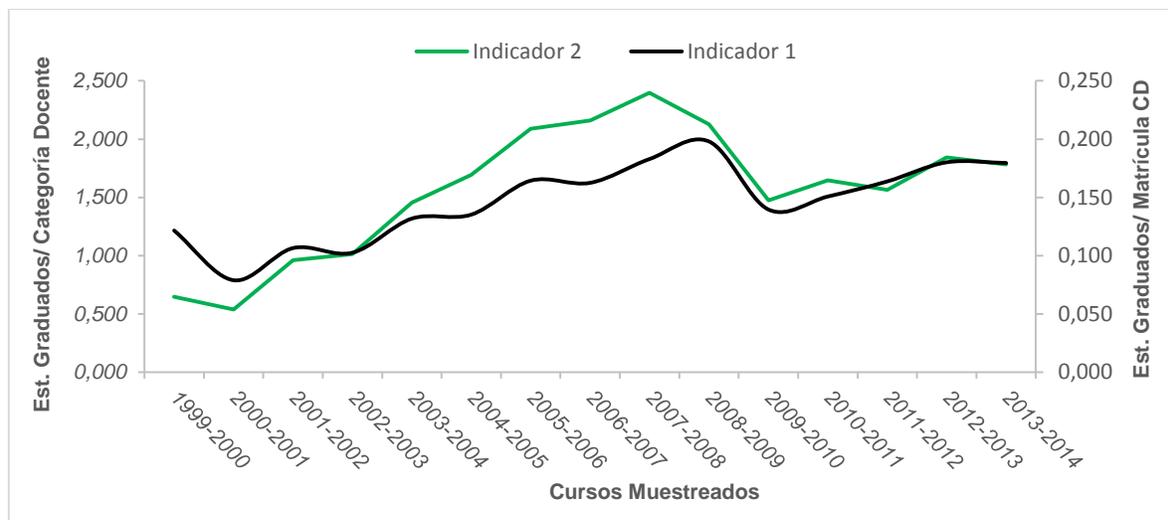


Figura 3.18 Tendencia de indicadores referidos a Estudiantes Graduados. Fuente: Elaboración propia

Las variables relacionadas presentan un ascenso gradual de manera independiente. Ahora bien, la tendencia al aumento de los indicadores se produce a raíz de un mayor ascenso proporcional (en *Estudiantes Graduados*) de un año a otro, con respecto a las demás variables.

El máximo punto para el indicador 1 se observa en el 08-09 donde se graduaron un total de 236 estudiantes (máximo de graduados) para una matrícula de 1 192. Mientras que para el indicador 2 el máximo se alcanza en 07-08 con un valor de 223 egresados con 93 profesores que poseen categoría docente de titulares o auxiliares en sus respectivas facultades.

El inconveniente principal para su aplicación es que se tiene en cuenta toda la Matrícula de CD, sin embargo solo pueden alcanzar la condición de graduados los que están en quinto año de sus carreras.

3.2.2 – Indicadores de Promoción

Los indicadores asociados a la Promoción (Promoción CD/ Matrícula de CD; Promoción CD/ Profesores con Categoría Docente), desde el punto de vista de

efectividad son superiores con respecto a los anteriores (a pesar de no medir lo mismo). Su principal ventaja radica en que promoción tiene en cuenta los cinco años de cada carrera.

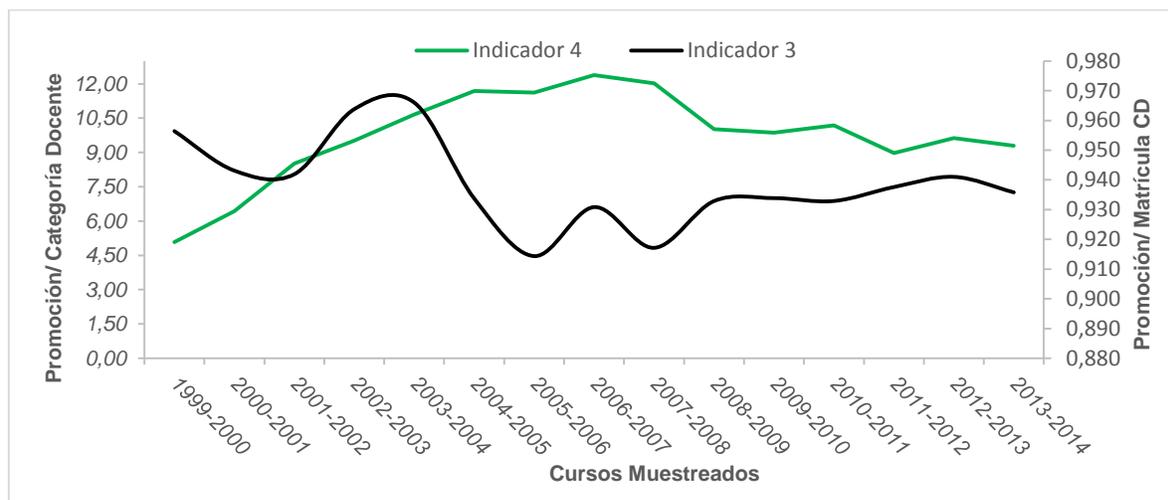


Figura 3.19 Tendencia de indicadores referidos a Promoción. Fuente: Elaboración propia

El mayor punto en el indicador 3 (0.966) se logra en 03-04 con 938 promovidos para una matrícula de 971; y en el indicador 4 (12.379) en el curso 06-07 con 1077 que promovieron y 87 profesores con categoría docente adecuada.

3.2.3 – Indicadores de Artículos Publicados

En cuanto a indicadores vinculados con Artículos Publicados se pueden proponer los siguientes: Artículos Publicados/ Profesores con Grado Científico y Artículos Publicados/ Equipos de Cómputo.

Posteriormente se muestra su comportamiento de forma gráfica, en la que se puede destacar que ambos indicadores presentan un comportamiento ascendente (de manera moderada) en los últimos años, destacándose para el indicador 5 un valor máximo (0.674) con 145 artículos y 215 profesores que presentan grado científico de másteres o doctores; manifestado en el último curso referenciado. Aquí también se logra el máximo en el 6 (0.243), donde se alcanza igual cantidad de artículos y 597 equipos de cómputo. Además el aumento de ambos se debe fundamentalmente al incremento notable en las publicaciones realizadas.

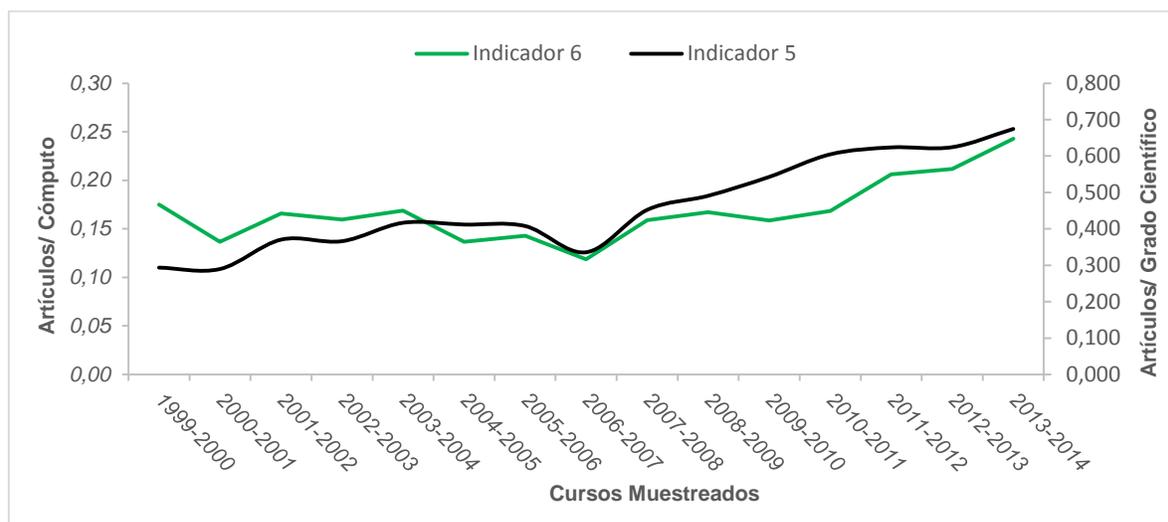


Figura 3.20 Tendencia de indicadores referidos a Artículos. Fuente: Elaboración propia

3.2.4 – Indicadores de Impactos en Ciencia

Referidos a este indicador se plantea: Impactos en Ciencia/ Equipos de Cómputo e Impactos en Ciencia/ Profesores con Grado Científico. Su comportamiento respectivo está presentado de la siguiente manera.

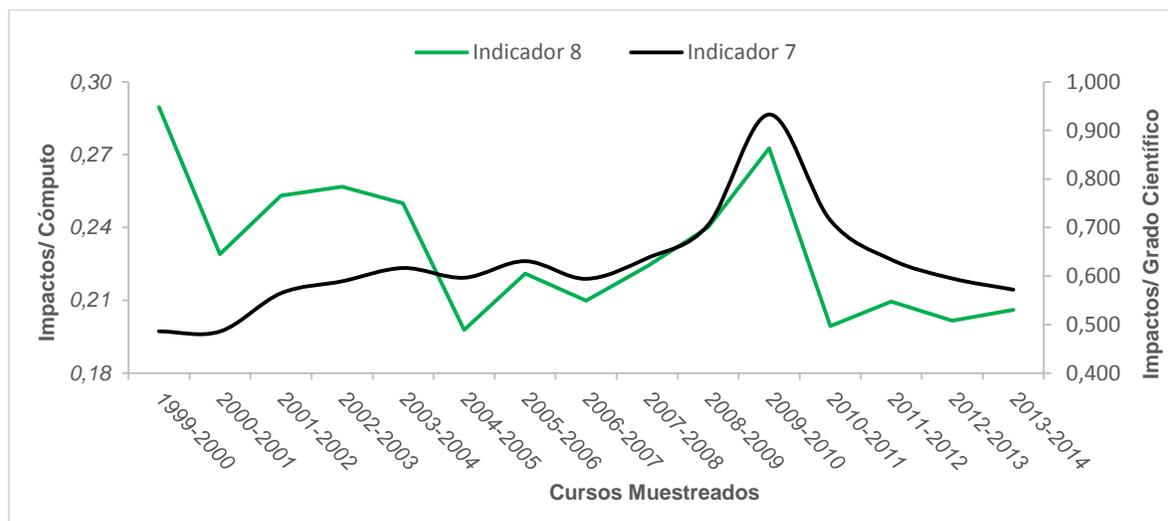


Figura 3.21 Tendencia de los indicadores referidos a Impactos. Fuente: Elaboración propia

En el Indicador 7 se muestra bastante estabilidad, excepto en 09-10 que ocurre un incremento notable de impactos, alcanzándose el máximo con 0.933 (algo



provechoso para el centro). Sin embargo el 8 muestra su máximo (0.29) en el primer valor de la muestra, donde a pesar de existir un grupo de equipos de cómputo reducido (183) se generó un número aceptable de impactos (53).

3.2.5 – Indicadores de Consumo de Electricidad

A diferencia de lo anterior, donde lo importante representa el aumento de los indicadores de forma general, en estos casos de consumo lo significativo consiste en disminuir dichas razones.

Teniendo en cuenta las variables influyentes para la Electricidad los indicadores a plantear son: MW-h/ Equipos de Cómputo, MW-h/ Equipos de Iluminación, MW-h/ Equipos de Climatización, MW-h/ Matrícula de CD, MW-h/ Becados

Algunos de ellos ya se habían propuesto en otros estudios. No obstante, como el resultado de la investigación converge a la misma respuesta, quedan plasmados en este documento.

Debido a que la variable que mayor influencia provoca respecto a la Electricidad resultó ser los Equipos de Cómputo, el análisis central en este apartado se enfoca en explicar esta razón. El resto de los comportamientos por indicador se muestran en el **anexo 3.2** (*Comportamiento de Indicadores propuestos para la UCF*).

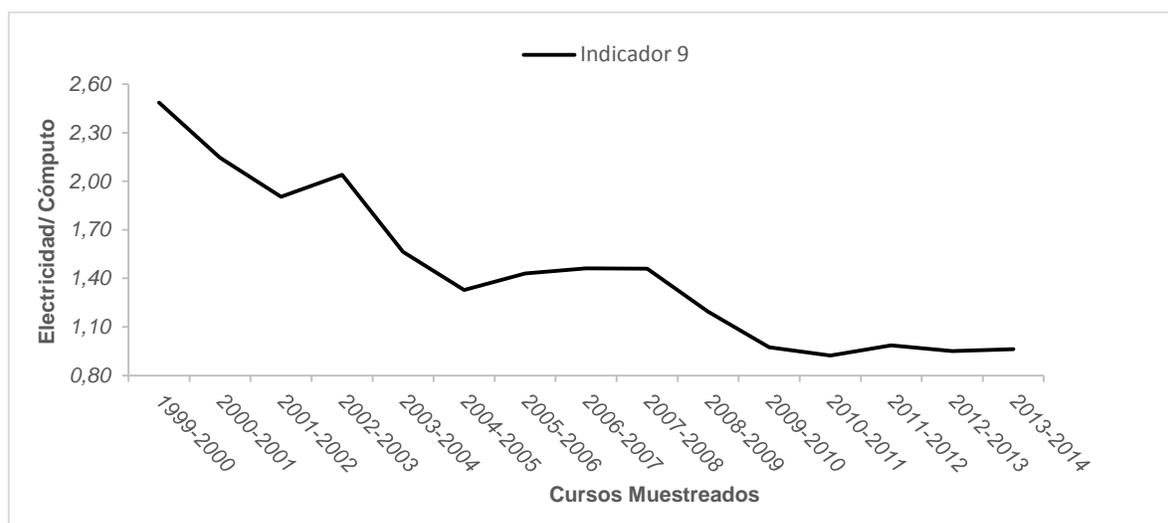


Figura 3.22 Tendencia de Electricidad/ Equipos de Cómputo. Fuente: Elaboración propia



De manera general este indicador tiende a disminuir (de 2.486 a 0.963). Lo que indica un comportamiento favorable; dado por el incremento en cuanto al número de equipos de cómputo con características más eficientes, y la implementación de un grupo de gestiones referidas al tema.



Conclusiones

1. El estudio bibliográfico desarrollado permitió identificar diferentes indicadores de gestión implementados en universidades del mundo; enfatizando que pueden ser tomados como referencia para otra institución, pero adecuándolos a sus características particulares.
2. Se diseñó un modelo que describe la Universidad de Cienfuegos como un proceso, y que a su vez distingue las diferentes variables de entrada con respecto a las de salida.
3. Basado en las RNA y las Regresiones Lineales Múltiples se seleccionó un ajuste teniendo en cuenta un grupo de mediciones de precisión y que simula el comportamiento de la Universidad.
4. A partir de la RNA se creó un diseño de experimentos que identificó las variables independientes más influyentes con respecto a las dependientes.
5. Se propusieron indicadores de gestión energética- ambiental y universitaria para la UCF; desechando las variables Diesel de Calderas y Consumo de Agua, debido a la distorsión existente en la muestra.



Recomendaciones

1. Tener en cuenta para estudios posteriores el resto de las variables que describen el proceso y no fueron analizadas dada la falta de datos correspondientes a las mismas.
2. Se debe aumentar el número de datos en la muestra y desechar las distorsiones existentes, con el propósito de obtener una Red que propicie resultados más confiables.
3. Divulgar los resultados obtenidos en algunas publicaciones de revistas científicas, de forma tal que sea del conocimiento de todos y apoye la idea de que las personas tomen cultura sobre temas referidos a la gestión energética y universitaria.



Bibliografía

- Abad, D. (2001). *Control de Gestión: Metodología para diseñar, validar e implantar sistemas de control de gestión en entidades del sector público*. Bogotá.
- Abadie, P. (2010). *Estudio Sobre Indicadores y Costos en la Educación Superior*. Uruguay, Universidad de la República. Recuperado a partir de http://www.rau.edu.uy/sui/publicaciones/algunosTemas/doc_tr11.pdf.
- Armijo, M. (2011). *Planificación estratégica e indicadores de desempeño*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
- Armijo, M., & Bonnefoy, J. C. (2005). *Indicadores de desempeño en el Sector Público*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
- Bahamón, L., & José Hernando. (s.f.). *Construcción de Indicadores de Gestión bajo el Enfoque de Sistemas*. Universidad ICESI.
- Beltrán, J. (2002). *Indicadores de Gestión: Herramientas para lograr la competitividad*. Bogotá.
- Boroto Nordelo, A., & Monteagudo Yanes, P. (2010). *Gestión y economía energética*.
- Brunner, J. (2007). *Educación superior en América Latina: Coordinación, financiamiento y evaluación*.
- Carlos, G. (2010). *Indicadores de la gestión universitaria. Herramientas para la gestión estratégica y la mejora de la calidad*. Universidad Nacional de Quilmes, Argentina.
- Charry, J. (2003). *Los Indicadores de Gestión y de Resultados en las Entidades del Estado: Diseño, Elaboración, Aplicación, Monitoreo y Evaluación*. Biblioteca Jurídica Diké, Medellín, Colombia.
- Corredor, J. (2000). *Manual de datos e indicadores de gestión*. Vice-Rectorado Administrativo de la Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.



David, F., R. (2005). *La gerencia estratégica*. Santa Fé, Bogotá.

Departamento Administrativo de la Función Pública. (2002). *Guía para el Diseño de un Sistema de Evaluación y Control de Gestión*.

Departamento Administrativo de la Función Pública. (2007). *Guía de Diseño para Implementar el Sistema de Gestión de Calidad en la Gestión Pública*.

Departamento Administrativo de la función Pública. (2012). *Guía para la construcción de Indicadores de Gestión*. Bogotá, Colombia.

Departamento Nacional de Planeación –DNP. (2009). *Guía Metodológica para la formulación de indicadores*. Bogotá, Colombia.

Díaz Rodríguez, A. M. (2012). *Propuesta de Norma para la implementación de la NC ISO 50001:2011 a partir de su integración con el Sistema de Gestión Total y Eficiente de la Energía*. Universidad de Cienfuegos: Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.

Domíngos, M. (2014, junio). *Determinación del indicador de consumo de energía eléctrica Kwh/estudiante equivalente en la Universidad de Cienfuegos*. Universidad de Cienfuegos: Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.

Domínguez, G. G. (2010). *Indicadores de Gestión y Resultados Biblioteca Jurídica Diké. Medellín*. DOMINGUEZ, Giraldo Gerardo. *Indicadores de Gestión y Resultados*. Biblioteca Jurídica Diké, Medellín.

Escudero, T. (2001). *Indicadores: Información Estratégica para el Sistema Universitario Español*. España. Recuperado a partir de <http://www.crue.org/>

Fernández Melcón, C. D. (2011). *Superficies de Respuesta. Métodos y Diseños*.

Fernández Pérez, R. (2012). *Experiencias y resultados de la implantación del SGTEE en la UCF*. Universidad de Cienfuegos, Cuba.

Freeman, J., & Skapura, D. (1993). *Redes Neuronales. Algoritmos, aplicaciones y técnicas de propagación*. México.



- Gareta, R., Romero, L. M., Gil, A., & Monzón, A. (2007). Las Redes Neuronales Artificiales como herramienta para predecir el precio de la energía eléctrica, 11.
- Gaymer, M., Arévalo, S., & Dascal, G. (2013). *Informe Final: Programa Agencia Chilena de Eficiencia Energética*. Subsecretaría de Energía, Chile.
- Giraldo Ricardo Mauricio, R. (2008). Seguimiento, Medición, Análisis y Mejora en los sistemas de gestión.
- Gómez Dorta, R. L., Rodríguez Pérez, B., & Estrada Varela, A. (2004). *Diseño de Experimentos y Control de la Calidad*. Universidad de Cienfuegos, Cuba.
- Gómez Sarduy, J. R., Monteagudo Yanes, J. P., & Granado Rodríguez, M. E. (2009). Redes Neuronales y Algoritmo Genético para la modelación y optimización energética en Molinos de Cemento, 12.
- González, O. (2006). *El Control y la Gestión Estratégica de las Organizaciones*. Centro de Estudios de Dirección Empresarial y Territorial, La Habana, Cuba.
- Granados, A. (2004). *Propuesta para la construcción de indicadores de gestión de la universidad pública a partir de la experiencia de la Universidad Nacional de Colombia*. Oficina Nacional de Planeación, Universidad Nacional de Colombia.
- Gutiérrez González, P., Díaz Caldera, L., & Guzmán Sánchez, M. de J. (2009). *Elementos de Diseño de Experimentos* (Astra Ediciones.). Zapopan, Jalisco, México.
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2004). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma* (Segunda.). México.
- Hilera González, J., & Martínez Hernández, V. (1995). *Redes neuronales artificiales: fundamentos, modelos y aplicaciones*. Madrid.
- León, O. G., & Montero, I. (2001). Cómo explicar el concepto de interacción sin estadística: análisis gráfico de todos los casos posibles en un diseño 2 x 2 (Vol. 13, pp. 159-165). Universidad Autónoma de Madrid, España.



- Martín del Brío, B., & Sanz Molina, A. (2003). *Redes neuronales y sistemas difusos*.
- Martín, W. F., López Bastida, E. J., & Monteagudo Yanes, J. P. (2009). *Gestión y uso racional del agua*. La Habana, Cuba: Félix Varela.
- Ministerio de vivienda. (2009). *Escala de calificación energética. Edificios de nueva construcción*. España.
- Montelíer Hernández, S., Gómez Sarduy, J., & Nordelo Borroto, A. (2006). Estimación de las cargas térmicas de climatización en hoteles turísticos que utilizan sistemas de climatización por agua helada a partir del uso combinado de simuladores térmicos y Redes Neuronales Artificiales, 9.
- Pacheco, J., Castañeda, W., & Caicedo, C. (2002). *Indicadores Integrales de Gestión*. Bogotá, Colombia.
- Pardo, M. C. I. (2007). Evaluación del Desempeño Integral del Sector Transporte. *Revista de Investigación de la Universidad de la Salle*, 7.
- Peña Acción, J. A. (2012). *Modelo de Gestión del desempeño Energético y de Sostenibilidad Ambiental en Universidades Cubanas*. Cienfuegos, Cuba.
- Rodríguez Pérez, B. (2010). Experimentos con dos niveles. Diseños factoriales fraccionados. Universidad de Cienfuegos, Cuba.
- Rojas Rentería, J. L. (2013, mayo). *Modelación del consumo de energía eléctrica mediante métodos heurísticos*. Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Rojo Abuín, J. M. (2007). *Regresión Lineal Múltiple*. Madrid, España: Instituto de Geografía y Economía.
- Rojo Abuín, J. M. (2010). *Regresión Lineal Múltiple*. Instituto de Geografía y Economía, Madrid.
- Rojo Abuín, J. M. (2011). *Análisis de Regresión Lineal: El procedimiento Regresión Lineal*. Madrid, España.



Salcedo Galvis, H. (2006). Indicadores de gestión para las universidades venezolanas: un proyecto de alcance nacional.

Salcedo G, H. (2013). *Definición de conceptos básicos utilizados en investigación social: Validación, validez y confiabilidad*. Facultad de Humanidades y Educación, Universidad Central de Venezuela.

Salcedo G, H., Ruzza, A., T., & Zerpa, A. (2011). Estado actual de los estudios de postgrado en Venezuela: Caracterización y clasificación.

Serna, H. (2001). *Índices de Gestión*. Bogotá, Colombia. Recuperado a partir de http://www.rau.edu.uy/suipublicaciones/Informe_Final_CPP.pdf

Sotolongo, G., & Guzmán, M. (2001). *Aplicaciones de las redes neuronales. El caso de la Bibliometría*. La Habana, Cuba.

Universidad Nacional de Colombia. (2002). Estadísticas e Indicadores de la Universidad Nacional de Colombia. *Revista de la Oficina Nacional de Planeación No. 7 y 8*.

Vandad, H., Furong, L., & Robinson, R. (2009). Demand response in the UK' domestic sector.

Walpole, R. E., Myers, R. H., & Myers, S. L. (2008). *Probabilidad y Estadística para ingenieros* (Sexta., Vol. II). La Habana: Félix Varela.

Yepes, H., & Cols. (2000). *Ministerio de trabajo y seguridad social: Medición y Estrategias para el mejoramiento de la productividad en la empresa*. Guadalupe, Bogotá.



Anexos

Anexo 1.1 Gestión de los recursos

El área de recursos, está constituida por recursos humanos y financieros.

Recursos humanos

Perfil institucional docente por escalafón (PIE): Está dado por la distribución porcentual de los profesores activos por categoría del escalafón con relación al total de profesores activos.

$$PIE(i)(t) = (PAE(i)(t)/TPA(t)) * 100$$

Donde $PAE(i)$ - Profesores activos por categoría del escalafón (i); TPA - Total presupuesto asignado; (i)- Titular, asociado, agregado, asistente e instructor; y t - Año fiscal de referencia.

Perfil institucional docente por dedicación (PID): Distribución porcentual de los profesores activos por dedicación con relación al total de profesores activos.

$$PID(i)(t) = (PAD(i)(t)/TPA(t)) * 100$$

En este caso $PAD(i)$ - Profesores activos por dedicación (i); TPA - Total de profesores activos; (i)- Dedicación exclusiva, tiempo completo, medio tiempo y tiempo convencional; y t - Año fiscal de referencia

Relación personal docente y no docente (RPDND): Número de profesores por personal no docente (administrativo, técnico y obrero) de la institución.

$$RPDND(t) = PDA(t)/PNDA(i)(t)$$

Para lo cual PDA - Personal docente activo; $PNDA$ - Personal no docente activo; (i)- Tipo de personal (Administrativo, Técnico y Obrero); y t - Año fiscal de referencia.

Tasa de población pasiva (TPP): Porcentaje de personal jubilado y pensionado, clasificado por tipo con relación al total de personal de la institución.

$$TPPG(i)(t) = (PP(i)(t)/TP(t)) * 100$$



Para lo que $PP(i)$ - Personal pasivo (jubilado y pensionado) (i); TP - Total de personal institución; i - Docente, administrativo y obrero; y t - Año fiscal de referencia.

Recursos financieros

Tasa de independencia financiera ($TINDF$): Porcentaje de ingresos propios generados por la universidad respecto al total del presupuesto asignado.

$$TINDF(t) = (IPE(t)/TPA(t)) * 100$$

Para lo cual IPE - Ingresos propios generados; TPA - Total presupuesto asignado; t - Año fiscal de referencia.

Tasa de incertidumbre financiera ($TINCF$): Porcentaje que representa el crédito adicional aprobado respecto al presupuesto total asignado.

$$TINCF(t) = (CAA(t)/TPA(t)) * 100$$

Donde CAA - Monto del crédito adicional aprobado; TPA - Total presupuesto asignado; y t - Año fiscal de referencia.

Presupuesto asignado por estudiante (PAE): Cantidad promedio de bolívares asignado a la universidad por estudiante.

$$PAE(t) = TPA(t)/Mpg(t)$$

En este caso TPA - Total presupuesto asignado; Mpg - Matrícula de pregrado; y t - Año fiscal de referencia.

Tasa de gastos en población pasiva ($TGPP$): Porcentaje del gasto en personal pasivo respecto al gasto total de personal.

$$TGPP(t) = GPP(t)/TGP(t)$$

Reconociendo como GPP - Gastos en personal pasivo; TGP - Total de gastos de personal; y t - Año fiscal de referencia.

Tasa de protección socioeconómica ($TPSE$): Porcentaje presupuestario asignado al programa de protección socioeconómica.



$$TPSE(t) = (PAPS(t)/TPA(t)) * 100$$

Definiendo como *PAPS*- Presupuesto asignado al programa de protección socioeconómica; *TPA*- Total presupuesto asignado; y *t*- Año fiscal de referencia.



Anexo 2.1 Cálculos de distribución del consumo de agua por facultades, ejemplo: curso 2013-2014

Actividad	U/M	Cantidad	Días	Índice/Cons	m3/mes	m3/año	% ()
Alumnos CPE	alumno	646	4	0,04	103,36	1033,6	0,0158
Alumnos Externos	alumno	639	24	0,04	613,44	6134,4	0,0936
Alumnos Internos	alumno	617	31	0,13	2486,51	24865,1	0,3795
Alumnos Seminternos	alumno	0	24	0,06	0	0	0,0000
Cafetería	usuarios	100	24	0,006	14,4	172,8	0,0022
Comedor	trabajador	900	24	0,012	259,2	2592	0,0396
Hotel de Posgrado	habitaciones	26	31	0,6	483,6	5803,2	0,0738
Limpieza	área	42000	24	0,0015	1512	15120	0,2308
Trabajadores (de uso social)	trabajador	900	24	0,05	1080	12960	0,1648
				0,9395		68681,1	1
m3 mensuales planificados					6552,51		
m3 diarios planificados					252,02		
Actividad	U/M	Cantidad	Días	Índice/Cons	m3/mes	m3/año	
Alumnos CPE	alumno	646	4	0,0386	99,66	997	
Alumnos Externos	alumno	614	24	0,0401	591,49	5915	
Alumnos Internos	alumno	617	31	0,1253	2397,52	23975	
Alumnos Seminternos	alumno	0	24	0,0000	0,00	0	
Cafetería	usuarios	100	24	0,0058	13,88	167	
Comedor	trabajador	900	24	0,0116	249,92	2499	
Hotel de Posgrado	habitaciones	26	31	0,5785	466,29	5596	
Limpieza	área	42000	24	0,0014	1457,89	14579	
Trabajadores (uso social)	trabajador	900	24	0,0482	1041,35	12496	
				0,8496		66223	
m3 mensuales reales					6318		
m3 diarios reales					243		
<p>Nota: Para este caso se planificó un consumo superior al que se efectuó realmente; por tanto los índices de consumo tienden a disminuir.</p>							



						Tot Facultad	11426,59	12353,22	15727,87	4275,72	
Actividad	m3 anuales/ actividad	Cantidad				Consumo				Total	
		FCSH	FCEE	FING	FCA	FCSH	FCEE	FING	FCA		
Alumnos CPE	1,543	162	323	63	98	249,92	498,30	97,19	151,19	996,61	
Alumnos Externos	9,633	158	209	214	33	1522,06	2013,36	2061,53	317,90	5914,85	
Alumnos Internos	38,858	166	177	221	53	6450,38	6877,81	8587,55	2059,46	23975,19	
Alumnos Seminternos	0,000	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Cafetería	1,666	25	29	33	13	41,65	48,32	54,98	21,66	166,62	
Comedor	2,777	125	102	132	41	347,12	283,25	366,55	113,85	1110,77	
Hotel de Posgrado	215,212	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	5595,51	
Limpieza	0,347	3111	3503	7857	3003	1079,88	1215,95	2727,29	1042,39	6065,50	
Trabajadores (uso social)	13,885	125	102	132	41	1735,58	1416,23	1832,77	569,27	5553,85	
										49378,31	
										Limpieza	8513,36
										Otros comedor	1388,46
										Otros uso social	6942,32
										Total General	66223



Anexo 2.2 Cálculos de distribución de diesel de calderas por facultades, ejemplo: curso 09-10 hasta 13-14

CONSUMO TOTAL DE TRABAJADORES DE FACULTADES						CONSUMO TOTAL DE ESTUDIANTES BECADOS					
	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014		2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
	7147	7891	6005	7219	6652		31920,00	35245,00	26820,78	32241,20	29709,54
CONSUMO DE DEMÁS TRABAJADORES											
Total	8933	9864	7506	9023	8315						
CANTIDAD DE TRABAJADORES POR FACULTAD						CANTIDAD DE ESTUDIANTES BECADOS POR FACULTAD					
	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014		2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
FING	132	132	132	132	132	FING	182	197	211	208	221
FCEE	102	102	102	102	102	FCEE	195	179	175	181	177
FCSH	125	125	125	125	125	FCSH	175	188	186	173	166
FCA	41	41	41	41	41	FCA	17	18	23	37	53
CONSUMO DE TRABAJADORES POR FACULTAD						CONSUMO DE ESTUDIANTES BECADOS POR FACULTAD					
	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014		2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
FING	2358,51	2604,03	1981,65	2382,27	2195,16	FING	10209,91	11930,01	9511,23	11195,61	10641,50
FCEE	1822,49	2012,21	1531,28	1840,85	1696,26	FCEE	10939,19	10839,96	7888,46	9742,33	8522,83
FCSH	2233,44	2465,94	1876,56	2255,94	2078,75	FCSH	9817,22	11384,98	8384,31	9311,73	7993,17
FCA	732,57	808,83	615,51	739,95	681,83	FCA	953,67	1090,05	1036,77	1991,53	2552,04
Total	7147,00	7891,00	6005,00	7219,00	6652,00	Total	31920,00	35245,00	26820,78	32241,20	29709,54

CONSUMO TOTAL POR FACULTAD						
	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	
FING	12568	14534	11493	13578	12837	
FCEE	12762	12852	9420	11583	10219	
FCSH	12051	13851	10261	11568	10072	
FCA	1686	1899	1652	2731	3234	
Total por Facultades	39067	43136	32826	39460	36362	
Total General	48000	53000	40332	48483	44676	



Anexo 2.3 Equipamiento por Facultades

Facultad de Ingeniería			
<i>Iluminación</i>	<i>Climatización</i>	<i>Refrigeración</i>	<i>Cómputo</i>
91	15	17	95
90	17	17	118
91	19	17	129
96	20	17	133
96	24	17	161
101	27	18	209
105	29	18	225
103	33	19	251
105	36	19	262
110	37	19	283
115	39	18	317
110	41	18	355
103	37	18	323
105	38	18	338
112	38	18	342

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales			
<i>Iluminación</i>	<i>Climatización</i>	<i>Refrigeración</i>	<i>Cómputo</i>
29	0	0	29
30	0	0	37
28	0	0	41
29	1	0	45
31	1	0	43
29	0	0	47
29	0	0	45
31	0	1	42
33	1	1	42
31	1	1	46
33	0	1	45
34	1	1	57
30	2	1	58
35	2	1	60
32	2	1	62



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

<i>Iluminación</i>	<i>Climatización</i>	<i>Refrigeración</i>	<i>Cómputo</i>
67	8	1	59
73	9	3	72
74	11	3	71
70	14	4	79
71	13	4	92
69	13	6	103
74	14	6	101
71	14	6	112
78	16	6	111
80	19	5	117
84	20	5	123
81	20	5	112
80	20	5	113
80	20	5	114
83	20	5	116

Facultad de Ciencias Agrarias

<i>Iluminación</i>	<i>Climatización</i>	<i>Refrigeración</i>	<i>Cómputo</i>
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
69	3	1	33
79	7	1	76
74	7	1	93
77	7	1	93
75	7	1	93
82	7	1	77

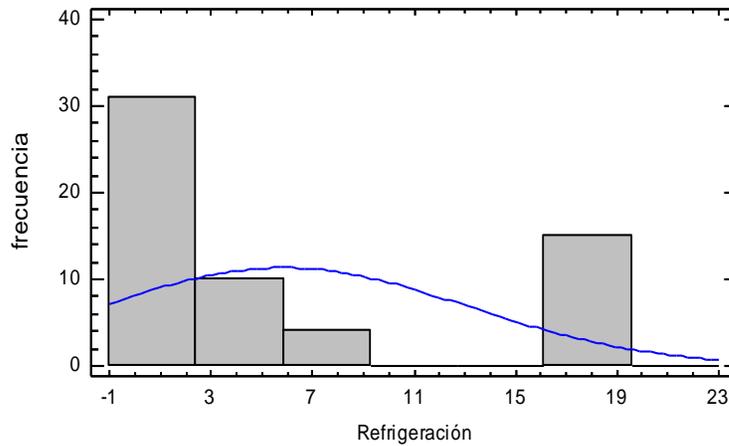


Anexo 2.4 Pruebas de normalidad a las variables de entrada del proceso

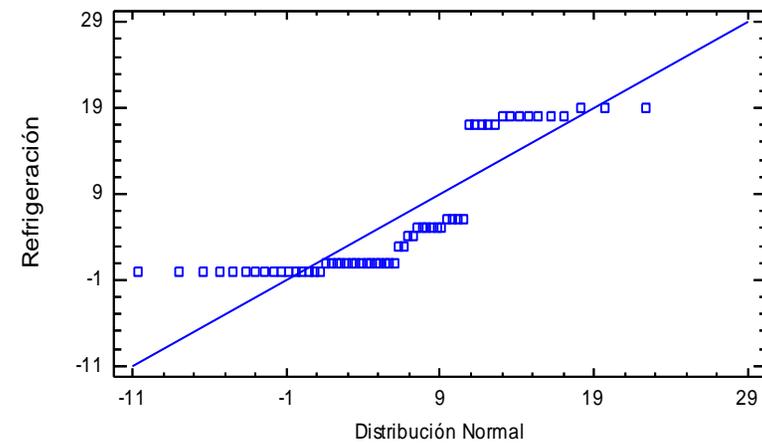
Equipos de Refrigeración

Prueba de normalidad	Estadístico	Valor-P
<i>Chi – Cuadrado</i>	162.0	$2.931 \cdot 10^{-10}$

Histograma para Refrigeración



Gráfica Cuantil-Cuantil

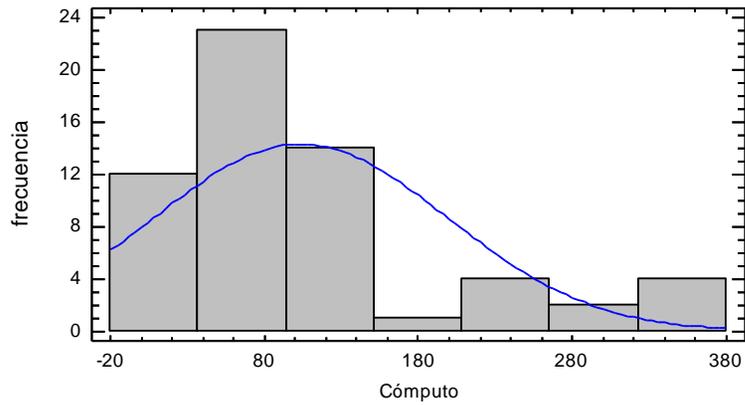


Equipos de Cómputo

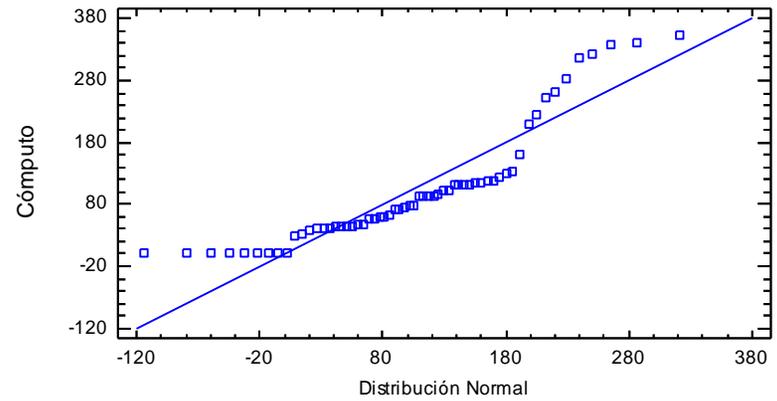
Prueba de normalidad	Estadístico	Valor-P
<i>Chi – Cuadrado</i>	63.3333	$2.937 \cdot 10^{-7}$



Histograma para Cómputo



Gráfica Cuantil-Cuantil

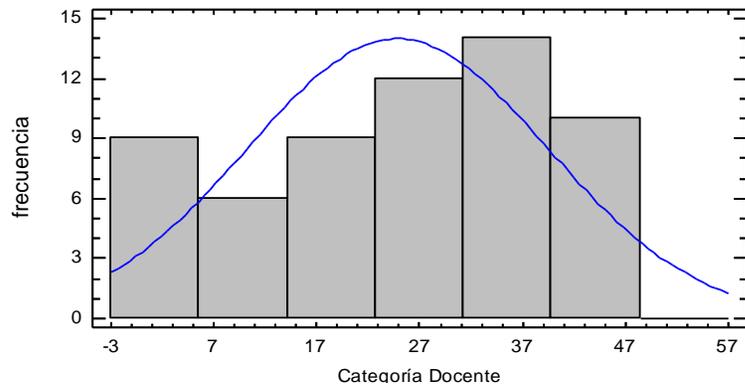


Categoría Docente

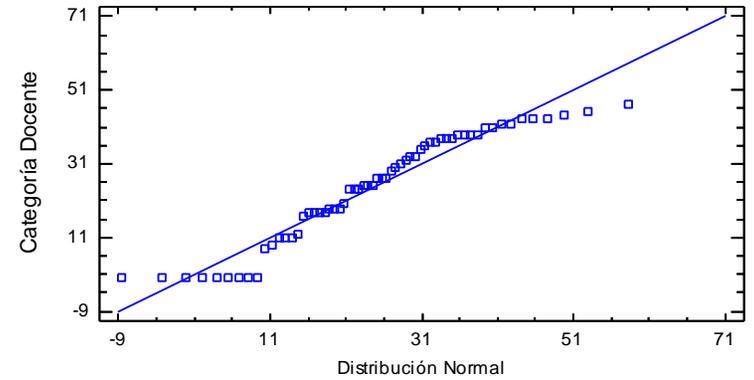
Prueba de normalidad	Estadístico	Valor-P
-----------------------------	--------------------	----------------

<i>Chi – Cuadrado</i>	44.6667	$0.273 \cdot 10^{-3}$
-----------------------	---------	-----------------------

Histograma para Categoría Docente



Gráfica Cuantil-Cuantil

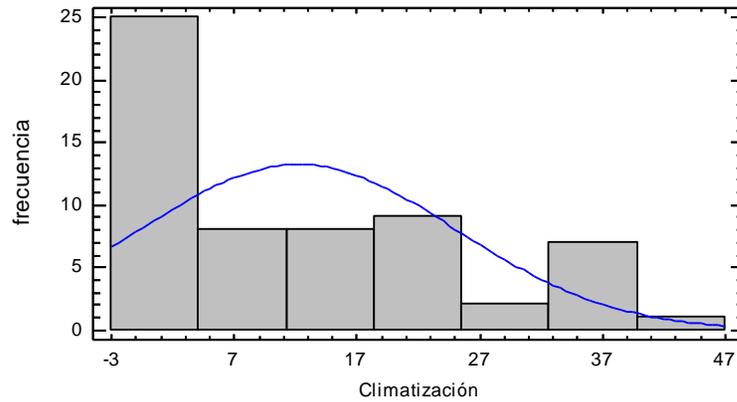




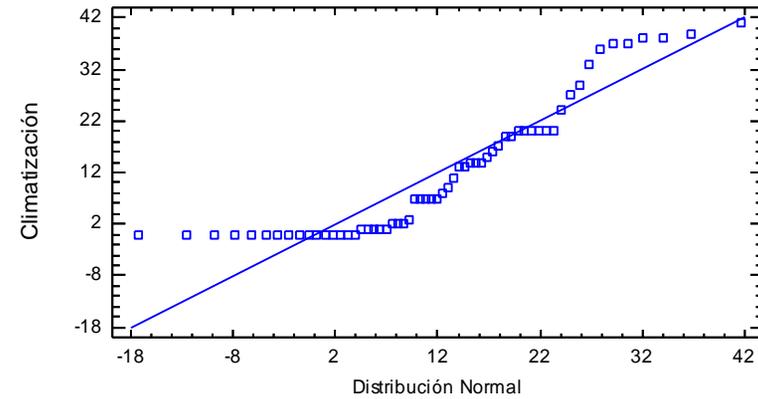
Equipos de Climatización

Prueba de normalidad	Estadístico	Valor-P
<i>Chi – Cuadrado</i>	149.333	$4.952 \cdot 10^{-7}$

Histograma para Climatización



Gráfica Cuantil-Cuantil

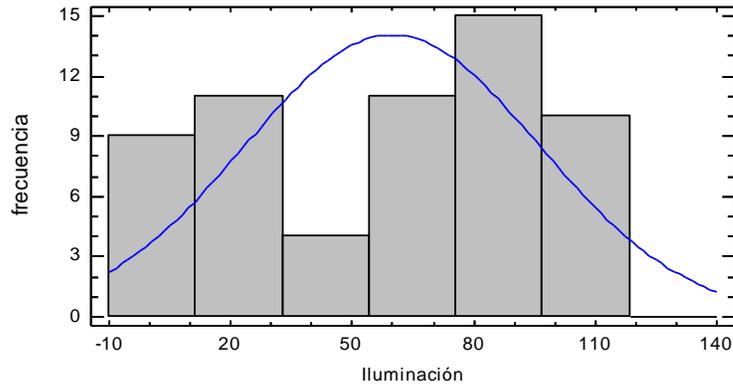


Iluminación

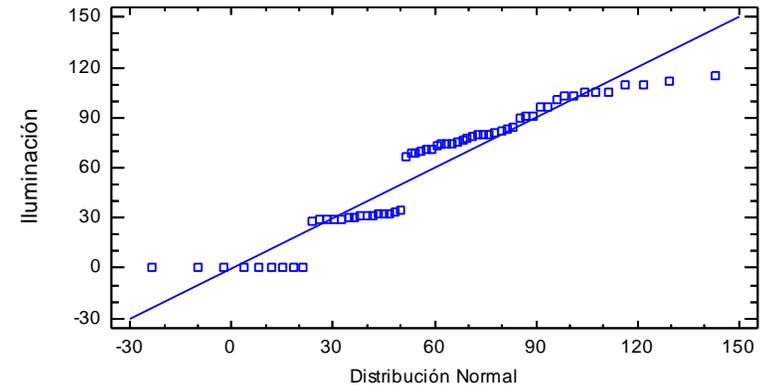
Prueba de normalidad	Estadístico	Valor-P
<i>Chi – Cuadrado</i>	73.3333	$5.709 \cdot 10^{-9}$



Histograma para Iluminación



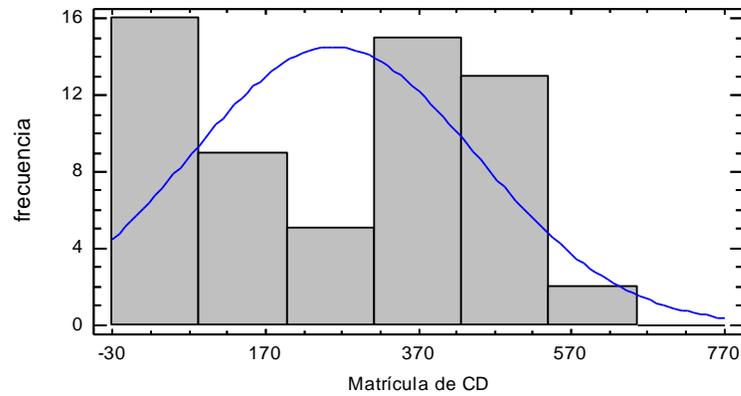
Gráfica Cuantil-Cuantil



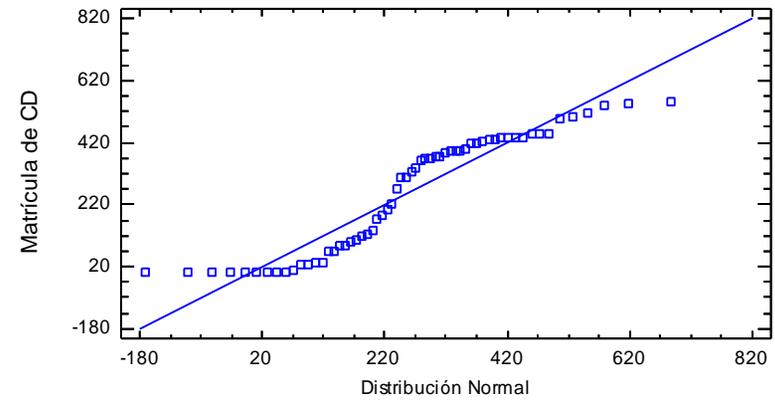
Matrícula de CD

Prueba de normalidad	Estadístico	Valor-P
Chi – Cuadrado	64.0	$2.265 \cdot 10^{-7}$

Histograma para Matrícula de CD



Gráfica Cuantil-Cuantil

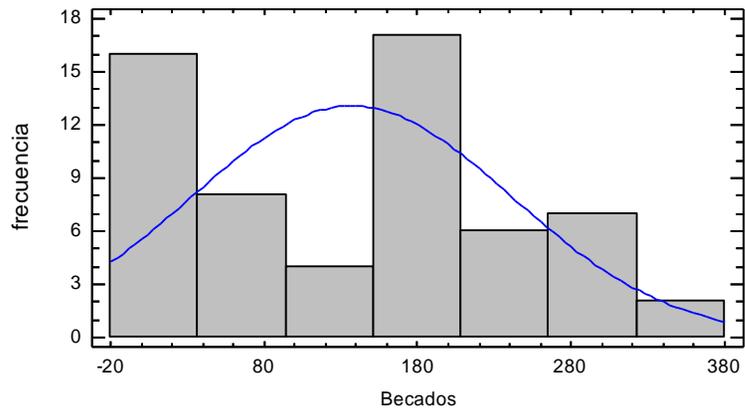




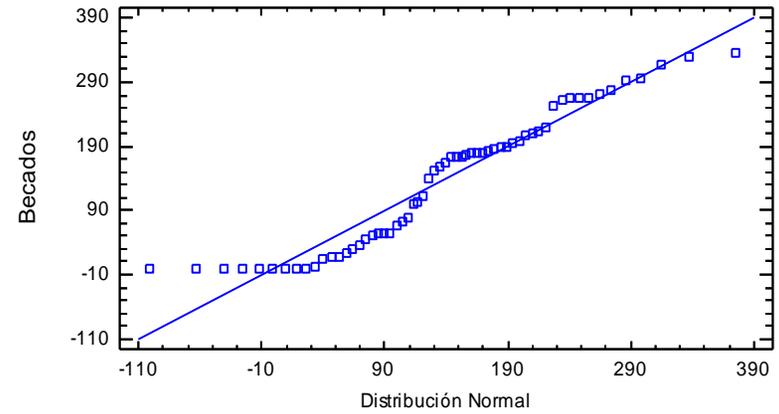
Estudiantes Becados

Prueba de normalidad	Estadístico	Valor-P
<i>Chi – Cuadrado</i>	39.3333	$0.161 \cdot 10^{-2}$

Histograma para Becados



Gráfica Cuantil-Cuantil





Anexo 2.5 Modelos de Regresiones Lineales Múltiples

$$y = \text{Consumo de Agua}$$

Linear regression model:
 $y \sim 1 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8$

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	3092.7	4144.2	0.74627	0.45893
x1	-876.77	363.92	-2.4092	0.019635
x2	1381.2	761.14	1.8146	0.075472
x3	-21.868	58.795	-0.37193	0.71148
x4	172.05	93.406	1.842	0.071296
x5	207.16	124.36	1.6657	0.1019
x6	-1871.2	631.21	-2.9644	0.0046019
x7	2382	781.27	3.0489	0.0036357
x8	-18.798	83.203	-0.22593	0.82216

Number of observations: 60, Error degrees of freedom: 51
 Root Mean Squared Error: 1.27e+04
 R-squared: 0.705, Adjusted R-Squared 0.658
 F-statistic vs. constant model: 15.2, p-value = 3.95e-11

$$y = \text{Consumo de Diesel de Calderas}$$

Linear regression model:
 $y \sim 1 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8$

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	912.34	2210.4	0.41275	0.68152
x1	-421.41	194.1	-2.1711	0.034603
x2	655.61	405.97	1.6149	0.1125
x3	45.315	31.359	1.445	0.15457
x4	-15.85	49.82	-0.31815	0.75167
x5	98.86	66.332	1.4904	0.14228
x6	-511.08	336.67	-1.518	0.13518
x7	697.81	416.7	1.6746	0.10014
x8	-19.108	44.378	-0.43057	0.66859

Number of observations: 60, Error degrees of freedom: 51
 Root Mean Squared Error: 6.76e+03
 R-squared: 0.652, Adjusted R-Squared 0.598
 F-statistic vs. constant model: 12, p-value = 2.06e-09

$$y = \text{Consumo de Electricidad}$$

Linear regression model:
 $y \sim 1 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8$

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	6.562	6.4205	1.022	0.31158
x1	1.0546	0.56381	1.8705	0.067164
x2	1.4624	1.1792	1.2402	0.22059
x3	0.031899	0.091089	0.35019	0.72764
x4	0.036792	0.14471	0.25425	0.80033
x5	-0.0098776	0.19267	-0.051266	0.95931
x6	-4.9774	0.97792	-5.0898	5.2298e-06
x7	9.89	1.2104	8.1709	7.8611e-11
x8	0.40499	0.1289	3.1418	0.0027953

Number of observations: 60, Error degrees of freedom: 51
 Root Mean Squared Error: 19.6
 R-squared: 0.963, Adjusted R-Squared 0.957
 F-statistic vs. constant model: 164, p-value = 1.23e-33

$$y = \text{Estudiantes Graduados de CD}$$

Linear regression model:
 $y \sim 1 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8$

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	-1.3118	4.3335	-0.30272	0.76333
x1	0.12026	0.38054	0.31603	0.75327
x2	0.72715	0.79591	0.91362	0.36522
x3	-0.040749	0.06148	-0.6628	0.51044
x4	0.32078	0.097672	3.2842	0.0018523
x5	-0.31023	0.13004	-2.3856	0.020805
x6	2.1417	0.66004	3.2448	0.0020776
x7	-2.9359	0.81695	-3.5938	0.00073355
x8	-0.050408	0.087004	-0.57938	0.56488

Number of observations: 60, Error degrees of freedom: 51
 Root Mean Squared Error: 13.3
 R-squared: 0.883, Adjusted R-Squared 0.865
 F-statistic vs. constant model: 48.2, p-value = 3.98e-21



$y = \text{Promoción de CD}$

Linear regression model:
 $y \sim 1 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8$

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	-0.27024	2.0527	-0.13165	0.89578
x1	-0.06443	0.18026	-0.35743	0.72224
x2	0.35416	0.37701	0.93939	0.35196
x3	0.95537	0.029123	32.805	5.9293e-36
x4	-0.02992	0.046267	-0.64668	0.52074
x5	-0.042081	0.061601	-0.68312	0.49762
x6	-0.41446	0.31266	-1.3256	0.19088
x7	0.02067	0.38698	0.053412	0.95761
x8	0.005263	0.041213	0.1277	0.89889

Number of observations: 60, Error degrees of freedom: 51
 Root Mean Squared Error: 6.28
 R-squared: 0.999, Adjusted R-Squared 0.999
 F-statistic vs. constant model: 5.81e+03, p-value = 1.11e-72

$y = \text{Impactos en Ciencia}$

Linear regression model:
 $y \sim 1 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8$

Estimated Coefficients:

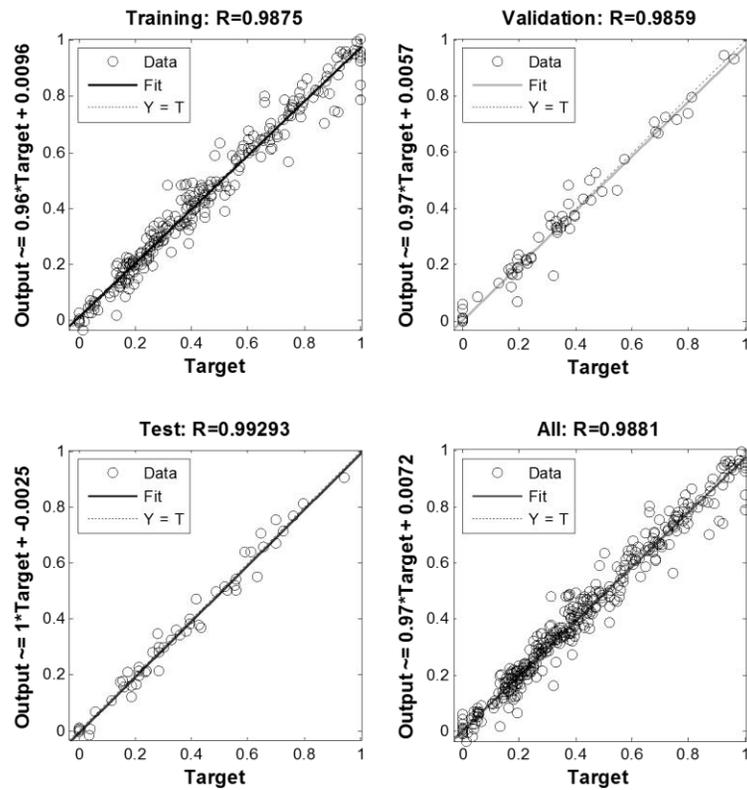
	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	0.41939	2.1288	0.19701	0.8446
x1	0.82305	0.18693	4.4029	5.4799e-05
x2	-0.42976	0.39098	-1.0992	0.27684
x3	0.037523	0.030201	1.2424	0.21976
x4	-0.047846	0.04798	-0.9972	0.32338
x5	0.1301	0.063882	2.0366	0.046896
x6	-2.335	0.32424	-7.2016	2.6145e-09
x7	0.12616	0.40131	0.31436	0.75453
x8	0.19334	0.042739	4.5236	3.6561e-05

Number of observations: 60, Error degrees of freedom: 51
 Root Mean Squared Error: 6.51
 R-squared: 0.831, Adjusted R-Squared 0.805
 F-statistic vs. constant model: 31.4, p-value = 3.95e-17

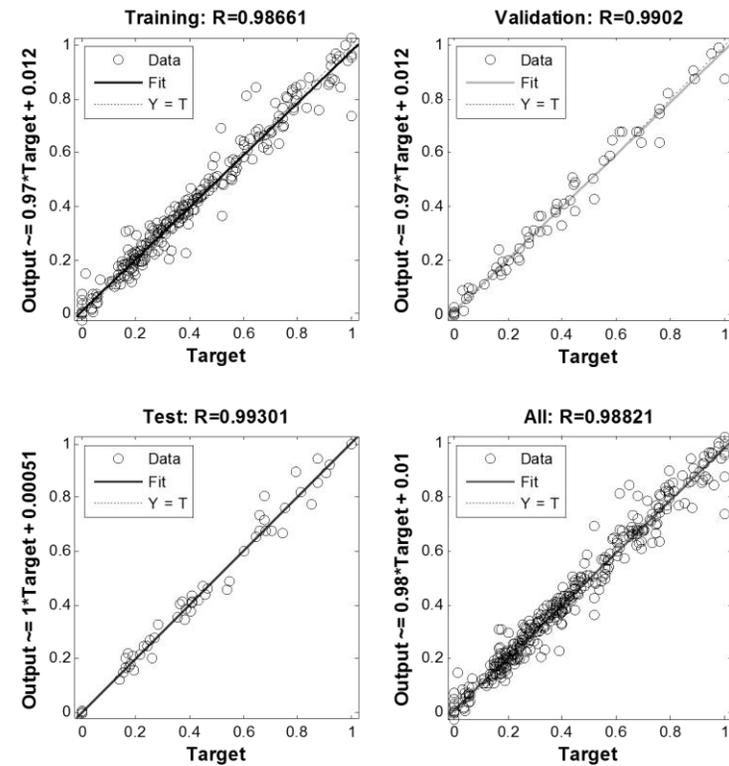


Anexo 2.6 Estudios de regresión de las RNA diseñadas

Red 10-10-4

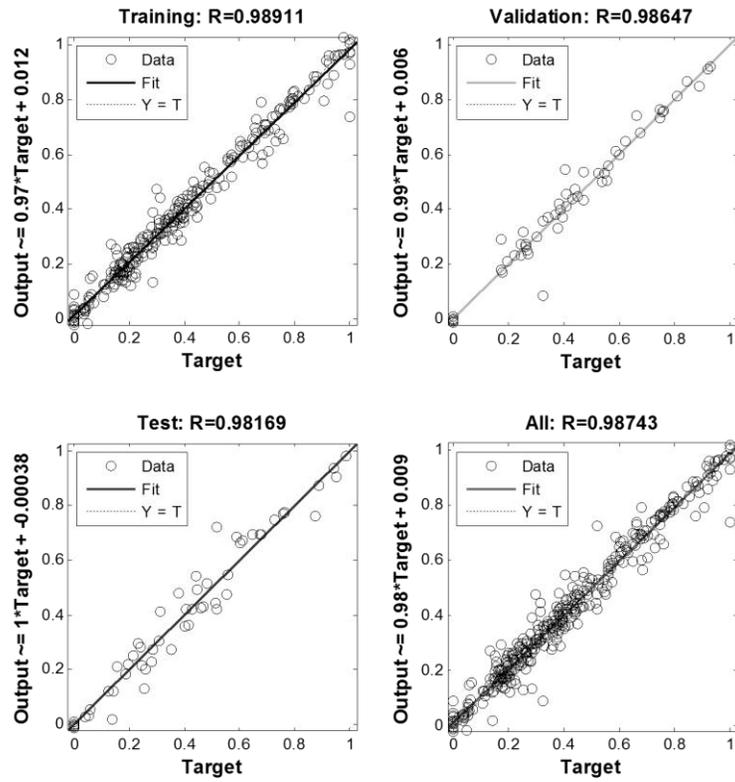


Red 10-20-4

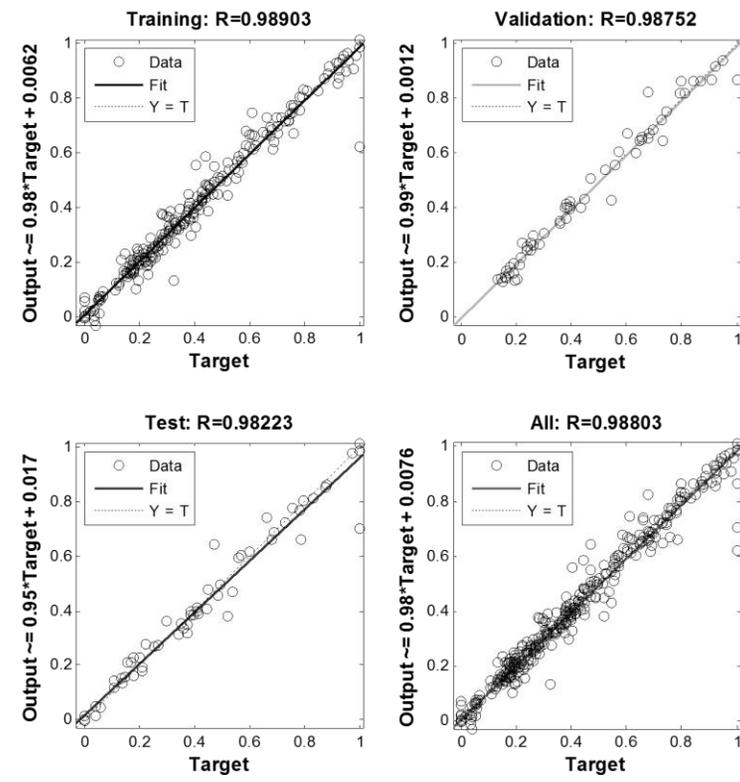




Red 10-30-4

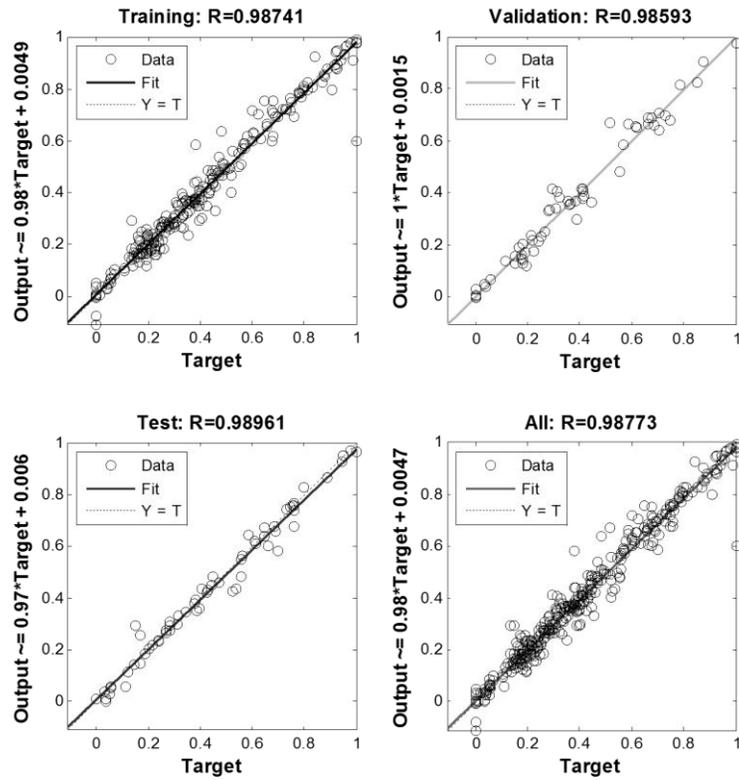


Red 10-40-4

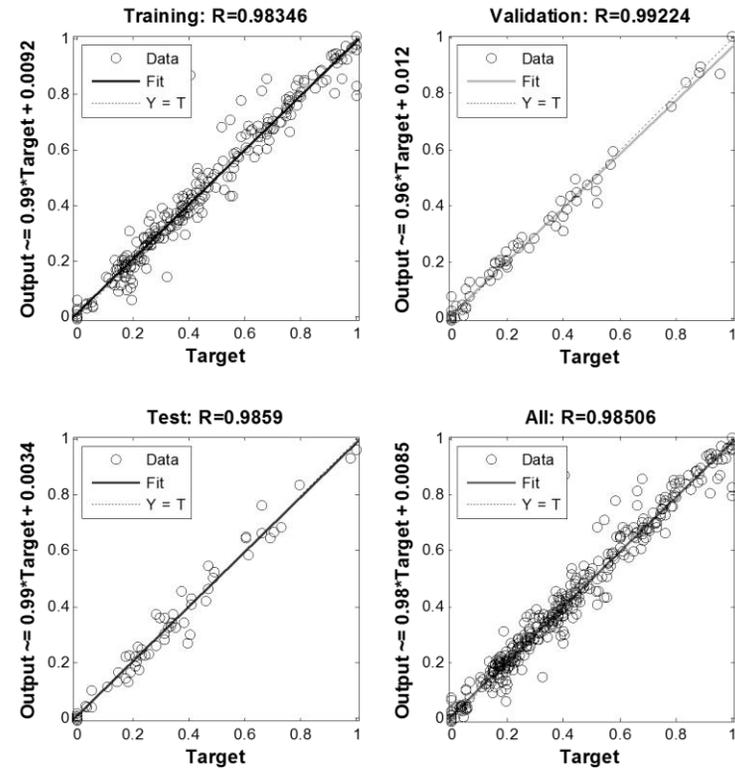




Red 10-50-4

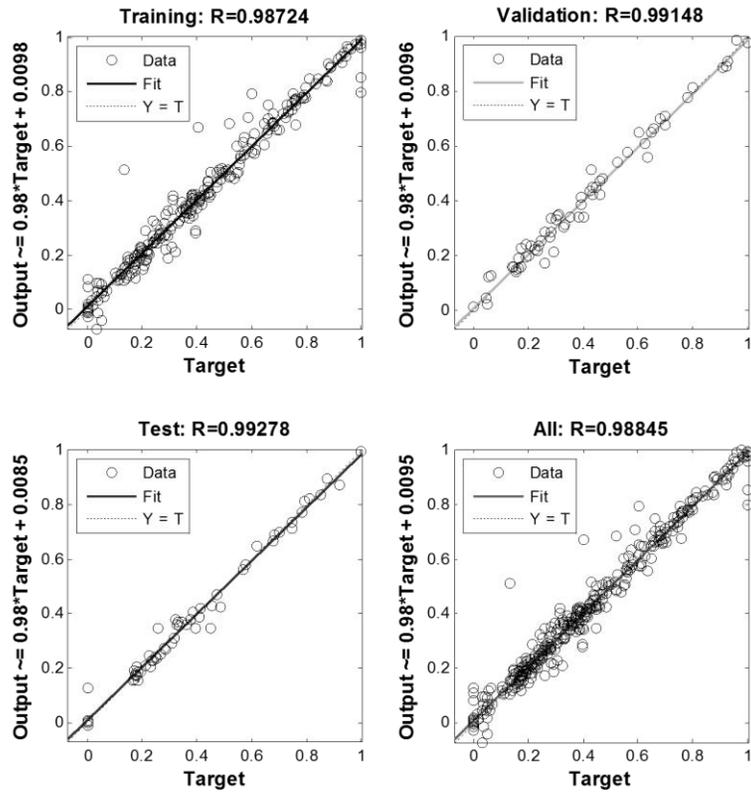


Red 20-10-4

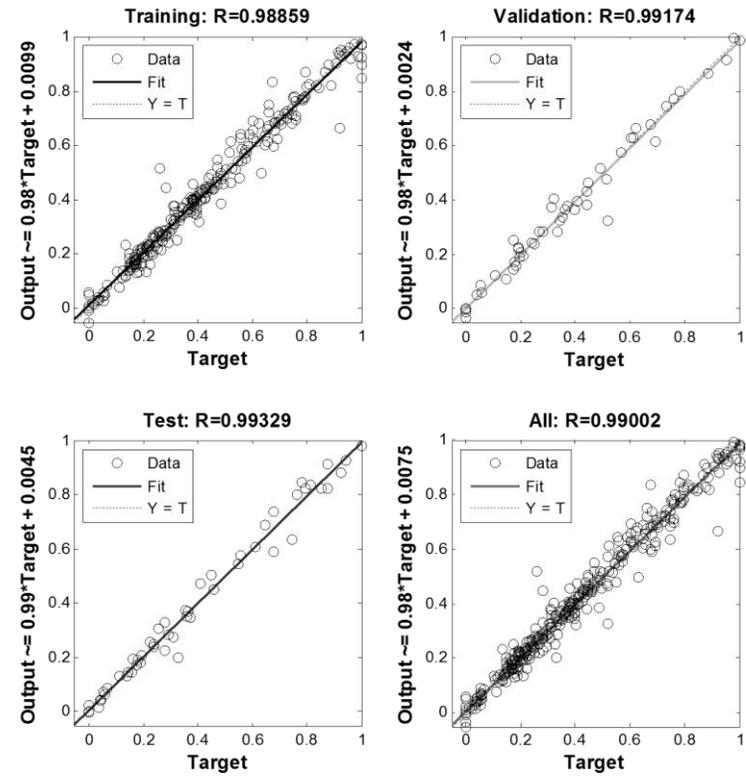




Red 20-20-4

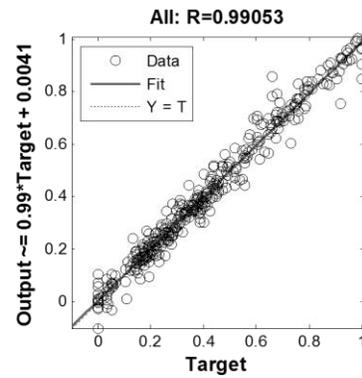
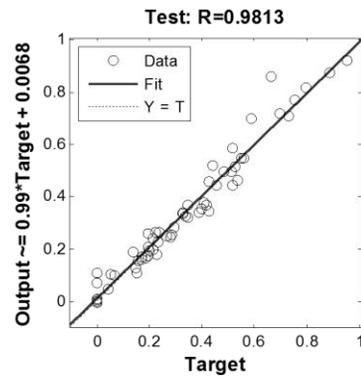
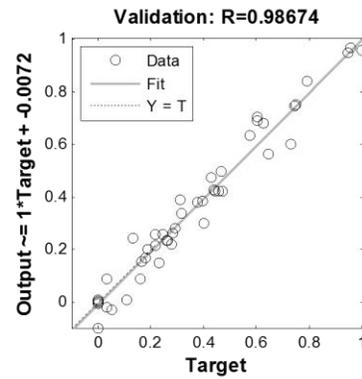
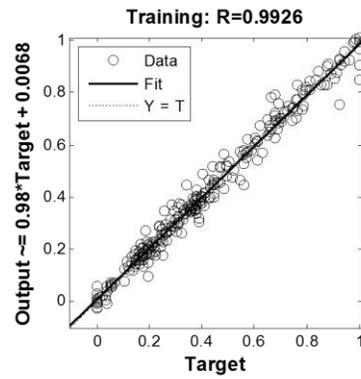


Red 20-40-4



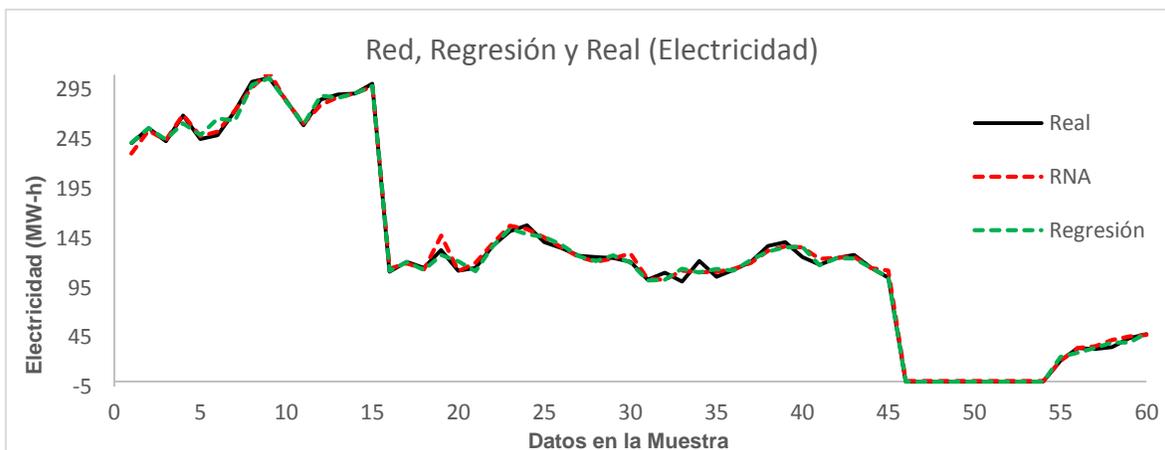
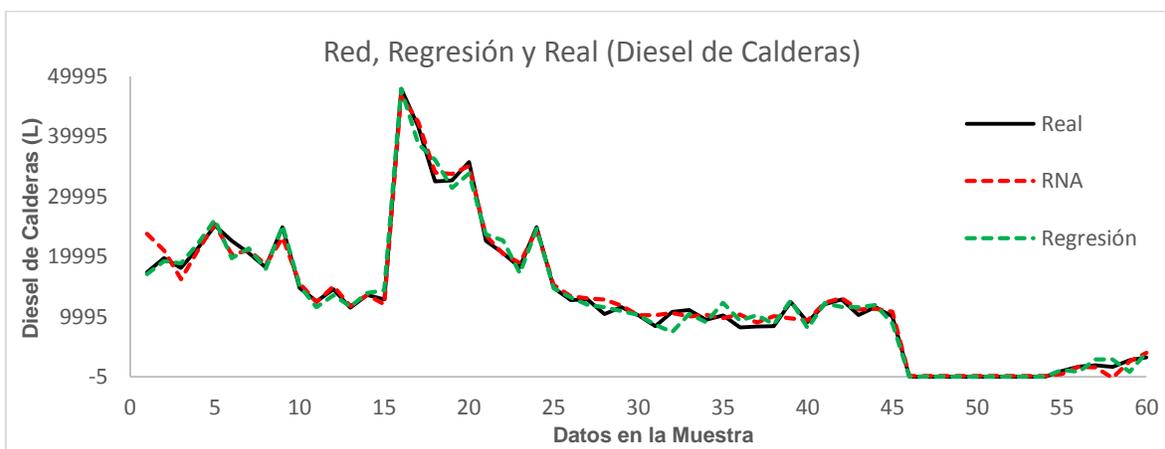
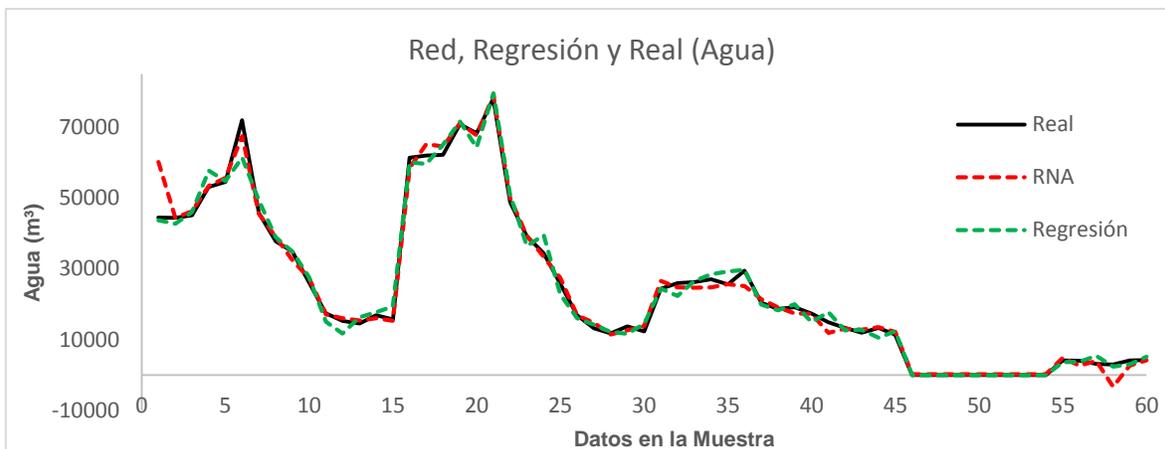


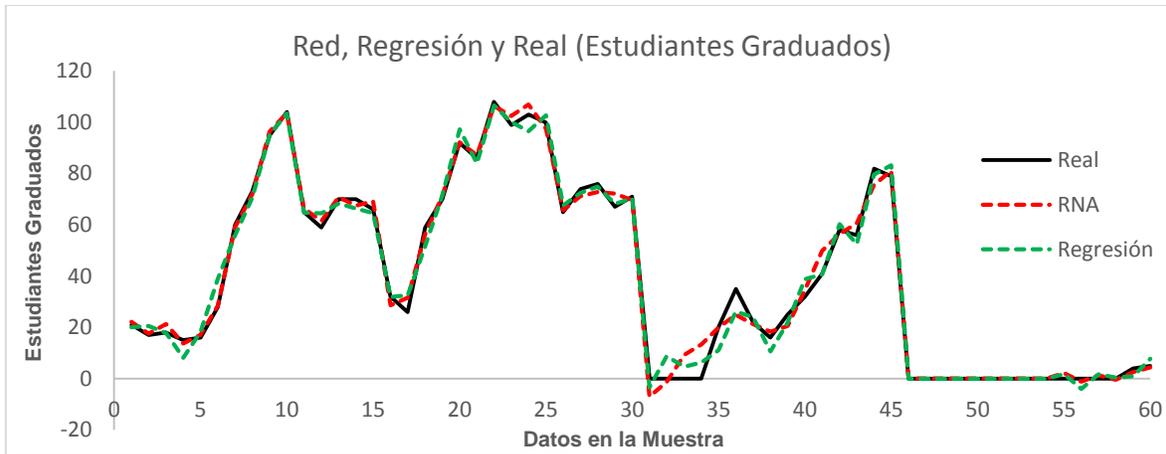
Red 20-50-4





Anexo 2.7 Comprobación entre los ajustes de la RNA y la Regresión Lineal con respecto al Real







Anexo 3.1 Diseño generado según criterio de Draper-Lin

Grado Científico	Categoría Docente	Matrícula de CD	Becados	Iluminación	Climatización	Refrigeración	Cómputo
1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1
1	-1	-1	1	-1	1	1	1
2,44949	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	-1	-1	1	-1	-1
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1
1	1	1	-1	-1	-1	1	1
-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1
1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1
0	0	0	0	2,44949	0	0	0
0	0	-2,44949	0	0	0	0	0
-2,44949	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	2,44949
-1	1	1	1	-1	-1	-1	1
1	-1	1	1	1	-1	-1	1
1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1
0	0	0	0	0	0	2,44949	0
-1	-1	1	-1	1	1	1	-1
-1	1	1	1	1	1	-1	1
-1	1	-1	1	1	-1	-1	1
0	0	0	0	0	0	-2,44949	0



-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1
0	0	0	-2,44949	0	0	0	0	0
1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1
1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	-2,44949	0	0	0	0
-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
0	0	0	0	0	0	0	0	-2,44949
-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1
0	0	2,44949	0	0	0	0	0	0
-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1
-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1
0	0	0	2,44949	0	0	0	0	0
1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
1	1	1	1	1	-1	-1	1	1
0	-2,44949	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	2,44949	0	0	0
-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1
-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1
0	0	0	0	0	-2,44949	0	0	0
-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
1	1	1	1	-1	1	1	1	1
-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1



-1	1	-1	1	1	1	-1	-1
0	2,44949	0	0	0	0	0	0
1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
1	1	-1	-1	1	-1	-1	1
1	1	1	-1	1	1	1	-1



Anexo 3.2 Comportamiento de Indicadores propuestos para la UCF

