

**CLASIFICACIÓN DE LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA, MEDIANTE LA ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA  
TÉCNICA UTILIZANDO ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS**

**MARLON HUMBERTO ROJAS LUNA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**BOGOTÁ**

**2010**

**CLASIFICACIÓN DE LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA, MEDIANTE LA ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA  
TÉCNICA UTILIZANDO ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS**

**MARLON HUMBERTO ROJAS LUNA  
CÓDIGO No. 02-822021**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO  
DE MAGISTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**SONIA ESPERANZA MONROY VARELA  
DIRECTORA DE TESIS**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E  
INDUSTRIAL**

**BOGOTÁ**

**2010**

---

**Firma del Presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

Bogotá, 19 de octubre de 2010

A Dios, a mis padres,  
a mi esposa  
Carolina, y a mis  
hijos Valentina y  
Juan Martín: Motores  
fundamentales de mi  
vida.

## CONTENIDO

|                                                                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN .....</b>                                                                                                                     | <b>1</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>                                                                                                                | <b>2</b>  |
| <b>1. EL CONOCIMIENTO COMO FUENTE DE DESARROLLO E INSERCIÓN<br/>EN UN MUNDO GLOBALIZADO .....</b>                                        | <b>4</b>  |
| 1.2. LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN COMO MOTORES DE<br>DESARROLLO DE LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN ...                          | 5         |
| 1.3. ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL DEL DESARROLLO DE LA CyT<br>Y SU RELACIÓN CON EL SURGIMIENTO DE LOS GRUPOS DE<br>INVESTIGACIÓN..... | 7         |
| 1.3.1. El caso colombiano.....                                                                                                           | 7         |
| 1.3.2. La Universidad Nacional de Colombia.....                                                                                          | 13        |
| 1.3.3. La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia Sede<br>Bogotá .....                                             | 17        |
| <b>2. MODELO DE MEDICIÓN DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN,<br/>TECNOLÓGICA O DE INNOVACIÓN DE COLCIENCIAS.....</b>                             | <b>19</b> |
| 2.2. ANTECEDENTES.....                                                                                                                   | 19        |
| 2.3. EL MODELO APLICADO EN LA CONVOCATORIA DE GRUPOS DEL AÑO<br>2008.....                                                                | 22        |
| 2.4. DEFICIENCIAS DEL MODELO APLICADO EN LA CONVOCATORIA DE<br>GRUPOS DEL AÑO 2008.....                                                  | 23        |
| <b>3. ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS Y MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA..</b>                                                                     | <b>25</b> |
| 3.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....                                                                                                          | 25        |
| 3.2. EL MODELO DEA BÁSICO - CCR .....                                                                                                    | 26        |
| 3.2.1. Conjunto de referencia.....                                                                                                       | 29        |
| 3.2.2. Otros Modelos DEA .....                                                                                                           | 30        |

|           |                                                                                            |           |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.      | MODELOS DEA PARA LA CLASIFICACIÓN DE DMUS POR MEDIO DE LA MEDICIÓN DE SU EFICIENCIA.....   | 30        |
| 3.3.1.    | Método de las frecuencias de los referentes: .....                                         | 31        |
| 3.3.2.    | Matriz de eficiencias cruzadas:.....                                                       | 31        |
| 3.3.3.    | Supereficiencia .....                                                                      | 31        |
| 3.3.4.    | Correlación canónica. ....                                                                 | 32        |
| 3.3.5.    | Ratio discriminante: .....                                                                 | 32        |
| 3.4.      | VENTAJAS DEL DEA.....                                                                      | 33        |
| 3.5.      | DESVENTAJAS DEL DEA.....                                                                   | 33        |
| 3.6.      | APLICACIÓN DE DEA PARA LA VALORACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN ..... | 35        |
| <b>4.</b> | <b>METODOLOGÍA .....</b>                                                                   | <b>37</b> |
| 4.1.      | VARIABLES DEL MODELO (INPUTS Y OUTPUTS).....                                               | 38        |
| 4.1.1.    | Variables de entrada (inputs):.....                                                        | 38        |
| 4.1.2.    | Variables de Salida (outputs):.....                                                        | 41        |
| 4.1.3.    | Variables del modelo seleccionadas:.....                                                   | 41        |
| 4.2.      | ORIENTACIÓN DEL MODELO .....                                                               | 43        |
| 4.2.1.    | El Modelo DEA Orientado a las Salidas (CCR-O): .....                                       | 43        |
| 4.3.      | TIPO DE RENDIMIENTOS A ESCALA.....                                                         | 44        |
| 4.4.      | MODELO PARA LA CLASIFICACIÓN DE LA EFICIENCIA .....                                        | 45        |
| 4.4.1.    | Eficiencia cruzada.....                                                                    | 46        |
| 4.5.      | ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS (CLUSTER ANALYSIS).....                                          | 48        |
| 4.6.      | HERRAMIENTA.....                                                                           | 49        |
| <b>5.</b> | <b>RESULTADOS.....</b>                                                                     | <b>49</b> |
| 5.1.      | ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA UTILIZANDO EL MODELO CCR-O ....                                | 50        |

|           |                                                                                      |           |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2.      | VALORACIÓN DE LA EFICIENCIA BAJO CON LA METODOLOGÍA DE EFICIENCIA CRUZADA .....      | 54        |
| 5.3.      | CLASIFICACIÓN DE LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN MEDIANTE DEA Y ANÁLISIS DE CLUSTER..... | 56        |
| <b>6.</b> | <b>DISCUSIÓN .....</b>                                                               | <b>60</b> |
| <b>7.</b> | <b>CONCLUSIONES .....</b>                                                            | <b>62</b> |
|           | <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                                                            | <b>66</b> |
|           | <b>ANEXOS .....</b>                                                                  | <b>69</b> |
|           | ANEXO No. 1 .....                                                                    | 69        |





## RESUMEN

El principal objetivo de este estudio, es hacer una clasificación de los grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, utilizando la metodología de frontera eficiente Data Envelopment Analysis (DEA) y otros agregados estadísticos, para comparar los resultados obtenidos con la clasificación hecha por Colciencias en la convocatoria de grupos del año 2008.

Dado que el DEA utiliza pesos evaluativos óptimos obtenidos tras la solución de modelos fraccionales de programación lineal para la estimación de la productividad, se espera utilizar un modelo alternativo al propuesto por Colciencias, para calcular la productividad de grupos de investigación. Los resultados fueron comparados con los publicados por Colciencias dentro de la Convocatoria de Grupos de Investigación del año 2008. Para ello se tuvo como referencia la misma ventana de observación, esto es, la producción académica de los grupos durante el período comprendido entre el 01 de enero de 2004 y el 31 de diciembre de 2008.

Los resultados permiten sugerir a DEA como un método alternativo para evaluar la eficiencia de los grupos de investigación colombianos, a través de la sistemática propuesta en la medición de los grupos de investigación e la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia; ya que al cuantificar las eficiencias y las ineficiencias de cada grupo, es posible establecer un ranking para su clasificación, al tiempo que se sugieren posibles lineamientos para mejorar su eficiencia.

**Palabras Clave:** Análisis envolvente de datos, DEA, productividad, eficiencia, medición del desempeño, grupos de investigación.

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio busca utilizar la metodología de análisis envolvente de datos (DEA por sus siglas en inglés) como herramienta para la medición de la productividad de los grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia.

La metodología DEA orientada a las salidas, las extensiones de clasificación y la integración con otras herramientas de estadística multivariada, presentan oportunidades en la construcción de modelos de medición que clasifiquen y evalúen los grupos de investigación (Restrepo – Villegas, 2007). Esta herramienta conforma una metodología sólida y sencilla, para la medición de la productividad académica de los grupos. Investigaciones recientes, han demostrado que el DEA puede aliviar algunos de los problemas del índice ScientiCol; por ejemplo, ofrece ventajas como la libre escogencia de los pesos para los productos, la inclusión en la evaluación de entradas tan importantes como el tamaño del grupo y la experiencia; al tiempo, permite realizar una evaluación comparativa de los demás grupos que participan sin utilizar umbrales fijos.

Esta metodología, también ofrece la posibilidad de identificar los factores críticos que pueden mejorar el desempeño del grupo, para de esta manera fortalecer aquellos factores de mayor relevancia. Su flexibilidad, permite implementar modelos que en conjunto con otras herramientas estadísticas, incorporen ponderaciones que reflejen la importancia relativa de los diferentes productos en cada disciplina de conocimiento.

En la primera etapa de la investigación se realizó una breve descripción que presenta de manera sucinta la importancia del conocimiento como motor fundamental en el desarrollo socio – económico de las sociedades, para terminar realizando un análisis preliminar de los grupos de investigación en Colombia. Se

realizó una reseña de los hechos que a juicio del autor tuvieron un impacto relevante en el fortalecimiento del concepto de grupos de investigación en Colombia, en la Universidad Nacional y en la Facultad de Ingeniería. Posteriormente, se muestra la situación actual de los grupos de acuerdo con los resultados de la convocatoria hecha por Colciencias en el año 2008.

La segunda etapa de la investigación, presenta la metodología utilizada por Colciencias para medir la productividad de los grupos de investigación, al tiempo que se exponen las principales críticas presentadas por el modelo, conforme a los estudios realizados por la Universidad de los Andes y la Universidad Nacional de Colombia.

Se presenta la metodología no paramétrica DEA desde la perspectiva histórica, con el fin de capturar el concepto que respalda la técnica para la medición de la productividad académica, entender la formulación matemática que hace operativa la herramienta y reconocer las ventajas y falencias del instrumento analítico.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la construcción del marco teórico, se aplicará el modelo definido con el fin de medir y clasificar los grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia con base en la estimación de la eficiencia.

Finalmente se hará una comparación entre los resultados obtenidos con la metodología DEA y los resultados obtenidos con la clasificación hecha por Colciencias en la convocatoria de grupos del año 2008. En este aparte, se pretende señalar las falencias y virtudes de ambos modelos, se indicarán cuáles fueron las conclusiones, posibles extensiones y oportunidades de investigación futura.

## **1. EL CONOCIMIENTO COMO FUENTE DE DESARROLLO E INSERCIÓN EN UN MUNDO GLOBALIZADO**

Actualmente persiste un intenso debate sobre los beneficios y perjuicios de la globalización y acerca de cómo insertarse en ella de manera exitosa. Un análisis mundial de sus efectos demuestra que sus potenciales beneficios no se han materializado en numerosas regiones del mundo, incluidos la gran mayoría de los países de América Latina, lo cual ha provocado un malestar creciente (PNUD, 2005). Uno de los rasgos distintivos asociados con la globalización es la creciente desigualdad, no sólo en los países en desarrollo sino también en los industrializados, habiéndose convertido en uno de los problemas más graves de nuestra época, con una tendencia progresiva en los últimos veinticinco años. Sin embargo, pese a que hay sobrados motivos para la inconformidad – desigualdad, generación de pobreza e inestabilidad-, la globalización bajo directrices claras de administración, puede convertirse en una fuerza benigna. (Stiglitz, 2006).

La globalización por si misma, no tiene un carácter ni bueno ni malo. El problema, como señala Stiglitz, no es la globalización sino la forma en que se ejerce. La experiencia comparada prueba que, manejada correctamente, la globalización puede traducirse en hechos positivos. Para los países del sudeste asiático, por ejemplo, ha representado un beneficio gigantesco, como lo demuestran los casos de China e India. Pero en gran parte del resto del mundo en desarrollo, incluida Colombia, la globalización no ha mostrado resultados satisfactorios.

La globalización es una realidad económica, no ideológica, que llegó para quedarse (Lacaris, 2007), por lo que resulta perentorio buscar una nueva ecuación de poder dentro del actual proceso globalizador, a fin de que la mayoría de la población obtenga beneficios de esta. Es urgente e imprescindible concretar una

inserción de Colombia en la globalización de manera inteligente y estratégica pues, de lo contrario, quedará ampliamente marginada.

Para reducir la pobreza es indispensable acelerar el crecimiento económico, que a su vez está asociado a la capacidad que tiene un país de interactuar económica, cultural y socialmente con el resto del mundo. En este sentido, las exportaciones juegan un rol importante como determinantes del crecimiento. Esta apuesta al comercio internacional debe ser alta, y para ello, es condición irremplazable el aumentar la competitividad de manera sustancial, lo que presupone apostar a la ciencia, la tecnología y la innovación; priorizar la mejora en la educación y en la apropiación humana de la información, el conocimiento y la creatividad, nueva fuente de ventaja competitiva de los países para un uso inteligente del capital, la mano de obra y los recursos naturales y para una drástica reducción de la pobreza.

Colombia, al igual que la mayoría de países latinoamericanos, enfrenta serios retos en materia económica, social y educativa. A este desafío debe dar respuesta desde la perspectiva del logro de mayores niveles de desarrollo humano sostenible, social y económico, que hagan del conocimiento científico y tecnológico un elemento fundamental de la cultura, del valor agregado de la producción de bienes y de la prestación de servicios a la sociedad. En este sentido, la educación, la ciencia y la tecnología deberán constituir un renovado impulso para la consolidación del desarrollo humano sostenible.

## **1.2. LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN COMO MOTORES DE DESARROLLO DE LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN**

El papel de la Investigación como herramienta de desarrollo de una sociedad es indiscutible en la actualidad, de ahí la importancia de crear espacios

donde se promueva el fortalecimiento de una cultura investigativa desde la educación básica, la secundaria, la universidad hasta llegar al nivel de postgrado.

En el marco del desarrollo de la sociedad del conocimiento se inscribe la investigación y el emprendimiento como ejes transversales que convocan las acciones de los investigadores en formación para la generación de competencias que permitan la reflexión, la disertación, el debate, la argumentación, el diálogo y la presentación de nuevo conocimiento; grupos sociales alrededor de los cuales se produzcan semilleros de investigación y emprendimiento que contribuyan al desarrollo de los nodos productivos de la sociedad.

Esta libre confrontación de ideas de los actores involucrados en el marco de la sociedad del conocimiento, da lugar a la conformación de grupos de pares académicos que intercambian información específica frente a un mismo interés temático. Los resultados de sus investigaciones son generalmente plasmados en productos académicos, que buscan diseminar el conocimiento específico extraído en los niveles productivos de la sociedad<sup>1</sup>.

La divulgación del conocimiento y su medición, a través de “productos” académicos, juega un papel esencial en la consolidación de la estructura de ciencia y la tecnología (CyT) en una sociedad; por esto, la conformación de grupos de investigación ha suscitado un creciente interés, particularmente por la expectativa de los desarrollos económicos derivados.

---

<sup>1</sup> Según es definido por Prat A. (2007), tradicionalmente, y en todo el mundo, esta creación de nuevo conocimiento se mide a través de los “productos” (outputs) y de los “efectos” (outcomes). El “producto” (output) de la actividad, adquiere diferentes formas y varía según cada disciplina, desde los artículos en revistas científicas, libros, presentaciones a congresos, y todo tipo de publicaciones en general; patentes y otros productos relacionados con la posibilidad de aplicación y transferencia del conocimiento y, según las áreas, diseños, desarrollo de software, material multimedia, y otros. Además de los productos cuantificables, existen lo que se denomina “resultados” o “efectos” (outcomes) de la investigación, tales como producción de graduados de alta calidad, innovaciones tecnológicas, ampliación de la capacidad de servicios de consultoría, servicios de investigación a contrata, etc.; relaciones internacionales con potencialidad de intercambio, acceso a resultados, participación en redes, etc.

### **1.3. ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL DEL DESARROLLO DE LA CyT Y SU RELACIÓN CON EL SURGIMIENTO DE LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. El caso colombiano**

La CyT ha tenido como protagonista principal en Colombia a los grupos de investigación. A diferencia de otros países que centraron su atención en la formación de programas de investigación, de los que surgieron especialmente centros de investigación y parques tecnológicos, en Colombia se propuso la noción de grupo de investigación como un concepto organizacional que busca orientar su acción e interacción para promover el desarrollo de la ciencia y generar un impacto económico significativo (Villaveces y otros, 2001). Para ello se tuvo a la Universidad como principal medio de difusión. Estas estructuras organizadas y socialmente reconocidas en Colombia, fueron de a poco consolidadas a través una articulación social y normativa de mucho tiempo atrás.

##### **1.3.1.1. Antecedentes**

Los cambios más significativos pueden ser claramente identificados a partir de la década de los años 60, y aunque en ese tiempo no se podía hablar de una organización institucional de la ciencia y la tecnología como tal, la aparición en el escenario de nuevos actores dio un impulso relevante al ambiente científico de la época. Algunos de estos hechos son mencionados a continuación.

Años 60's: A mediados de la Década de 1960, se impulsa la profesionalización de las actividades científicas en el país con la aparición del

profesorado de tiempo completo en la universidad pública<sup>2</sup>. En el año de 1968, se funda Colciencias y el Icfes. Estos cambios promueven con mucha fuerza la CyT, ya que propician en gran medida los medios para que la cultura investigativa que hasta entonces se encontraba a cargo principalmente de individuos aislados en algunas universidades, comience a adoptar una forma de investigación colectiva. Estos fueron los comienzos de los grupos de investigación en Colombia.

En esta misma década, las universidades colombianas hicieron un importante avance hacia la creación de maestrías, dando relevancia a los esfuerzos para enviar colombianos a cursar estudios de postgrado fuera del país, lo que permitió que las instituciones universitarias fueran provistas de capital humano mejor capacitado, al tiempo que se promovían las prácticas en la vida del laboratorio. Este aspecto resulta particularmente relevante, ya que estas prácticas son las que en esencia impulsan la labor de grupo en el que surgen las primeras divisiones del trabajo, el surgimiento de líderes, los procesos de traducción de las ideas y enunciados para avanzar en la ciencia (Latour, 1987). Como era de esperarse, estos primeros esfuerzos, tuvieron resultados escasos y muy restringidos al ámbito nacional; las publicaciones de relevancia internacional fueron prácticamente inexistentes.

Años 80's: Se expide el Decreto 080/1980, que reformó a las universidades y colocó a la investigación como uno de sus pilares fundamentales. Este aspecto fue particularmente relevante para el fortalecimiento del concepto de grupo de investigación, puesto que produjo la introducción de nuevos enfoques, metodologías de gestión y negociación de tecnología incorporadas a plantas, equipos y procesos en el sector productivo. Para ese entonces, se inician los programas doctorales, con la creación de los primeros cuatro en la Universidad

---

<sup>2</sup> La aparición de la modalidad de vinculación de profesores en dedicación de tiempo completo, surgió principalmente por los resultados de las iniciativas del Plan Básico para la Educación Superior y la Reforma Patiño de la Universidad Nacional en la década de 1960.



Nacional (1986), y se contratan los empréstitos con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), para el apoyo financiero de la investigación en el país.

A finales de la década de 1980, se desarrolló la Misión de Ciencia y Tecnología con el fin de revisar el estado del arte en la materia, proponer una reorganización institucional y proporcionar un marco normativo para el desarrollo de estos tópicos<sup>3</sup>. En ella, se reconoce en la noción de grupo de investigación una forma conceptual para contribuir en la forma de entender la actividad científica, confiriéndole capacidades y competencias para realizar los trabajos de investigación, en escala individual y colectiva, por la generación y apropiación de habilidades para las prácticas sobre las acumulaciones socio-cognitivas que son fruto del trabajo y sus resultados (Charum, 1989; Charum y otros, 1999).

Años 90's: La última década del siglo XX, comenzó con varios cambios estructurales que propiciaron el desarrollo de la investigación en nuestro país. La Constitución del año 1991 definió la obligación del estado de apoyar el desarrollo científico; lo que trajo consigo una serie de cambios que permitieron al gobierno colombiano crear un sistema orientado a la innovación, capaz de tejer y estrechar lazos de intercambio y asociación entre los distintos actores ya existentes<sup>4</sup>. Estos cambios fueron propicios si se tiene en cuenta el contexto de apertura, la liberación de los mercados y las tendencias globalizantes que pululaban con gran entusiasmo en el esquema económico internacional. En este contexto, fueron expedidas tres normas fundamentales: La Ley 29 de 1990 de Ciencia y Tecnología, el Decreto 585 de 1991 y el Decreto 1444 de 1992.

---

<sup>3</sup> Los resultados arrojados por la Misión de Ciencia y Tecnología, fueron el sustento que promovió la expedición de la Ley 29 de 1990, por medio de la cual se establecieron las directrices para coordinar la inversión nacional en CyT. También sirvió como soporte para el desarrollo del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología - SNCyT.

<sup>4</sup> Para ese entonces, ya figuraban en Colombia varios actores dedicados a la investigación; principalmente los denominados grupos y centros, universidades, centros de desarrollo tecnológico, institutos del Estado, sectores productivos y la comunidad en general, algunos de ellos con importante reconocimiento internacional.

Con la Ley 29 de 1990, Colciencias creó la política de “Apoyo al fortalecimiento y consolidación de los grupos y centros de investigación del país”. Este hecho fue fundamental para el fortalecimiento de los grupos de investigación, pues dio pie para que los investigadores, académicos, empresarios y funcionarios del estado, comenzaran a trabajar en la definición de conceptos como “grupo de investigación”, “centros de investigación”, “investigador”, “línea de investigación”, “personas que participan en los procesos de investigación”. Colciencias es elevado a la categoría de Departamento Administrativo (Colciencias, 2008).

El Decreto 585 de 1991, crea el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología – SNCyT; con él, se estructuraron los consejos de programas encargados de trazar líneas de trabajo, que mediante convocatorias presentaban año tras año temas consensualmente relevantes, que movilizaban actores que se comprometían en un trabajo de investigación y desarrollo para alcanzar un objetivo común.

Por su parte, el Decreto 1444 de 1992, modificó de manera radical las disposiciones en materia salarial de los empleados docentes de las universidades públicas. La remuneración mensual en tiempo completo se establecería sumando todos los puntos correspondientes a la productividad académica de cada docente, multiplicado por un unidad salarial fija. Este aliciente provocó que un número considerable de profesores fueran al exterior a cursar programas de maestría y doctorado; al tiempo que se esforzaban por aumentar la capacidad de publicación en revistas científicas internacionales, lo que por su puesto, motivo de forma excepcional el desarrollo y conformación de grupos de investigación. En 1995 se crean los programas Nacionales de Ciencia y Tecnología – PNCyT.

Años 2000's: En 2002 se expide el Decreto 1279, el cual tenía como principal fin modificar las condiciones normativas referidas en el Decreto 1444 de 1992 en materia salarial para los docentes de las universidades públicas. A través de la Ley 1286 de 2009, se otorga la calidad de Departamento Administrativo a

Colcienicas y se constituye el Fondo Francisco José de Caldas para la financiación de actividades de ciencias y tecnología. En este mismo año, se publica el documento Compes 3852, mediante el cual se define la política nacional de fomento a la investigación y la innovación. Los lineamientos expresados en dichos documentos tienen como propósito “producir, difundir, usar e integrar el conocimiento para contribuir a la transformación productiva y social del país”<sup>5</sup>.

### **1.3.1.2. Principales aportes del proceso a la conformación de grupos de investigación:**

Entre los muchos resultados causados por los cambios implementados, podemos destacar los siguientes:

a) Se produjo una institucionalización de las acciones que orientan la investigación, hacia el desarrollo del concepto emergente de las prácticas en las que se organiza la actividad investigativa (Orozco y otros, 2001). En el ámbito universitario el proceso de aparición y consolidación de la investigación modificó su concepto organizativo. Se abrió paso entonces, a la conformación de institutos y centros, direcciones de investigación y vicerrectorías, comités, comisiones y consejos; cobra relevancia la discusión sobre las disciplinas y las profesiones, la interdisciplinariedad y la trasndisciplinariedad.

b) Se crean bonificaciones y estímulos para motivar la investigación, y se comienza a replantear el tema de las cargas académicas en docencia de los profesores, para dar lugar a una mayor carga en la investigación. Las "áreas" o "líneas" de investigación pierden relevancia y dan paso al fortalecimiento de los grupos de investigación, lo cual ayudó a orientar su trabajo, desde la discusión de las prácticas de laboratorio, hacia la de verdaderos centros de promoción de la investigación científica y el desarrollo tecnológico (Villaveces, 2001).

---

<sup>5</sup> Aparte contemplado en Colombia Visión 2019 de Ciencia, Tecnología e Innovación, año 2007.

c) En la política científica de Colciencias comienza a tomar forma la definición de los Objetos Tecnológicos Informativos – OTI. Con ellos, se dio inicio a las primeras convocatorias de grupos de investigación y se logró tener una representación de la actividad científica y tecnológica y su organización. Esto permitió reconstruir informáticamente el concepto “grupo de investigación” e impulsó la construcción de modelos de medición de sus resultados. Se identifica el Grupo de Investigación como el Núcleo o Unidad Básica del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología para la generación de conocimiento a través de la investigación. Para 1998 estaban dadas todas las condiciones para el reconocimiento de los grupos y centros de investigación por parte de Colciencias.

d) Se acoge la figura de par evaluador, con el fin de acreditar la calidad de los productos académicos publicados; se logra que los reconocimientos salariales para las publicaciones en artículos de revista, se realice previa clasificación por parte de Colciencias<sup>6</sup>. Este último aspecto, crea una importante conexión entre las Universidades Públicas, el Sistema Nacional de Indexación de Publicaciones Especializadas de Ciencia, Tecnología e innovación, CT+I y el Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de Iberoamérica, lo que permite dar visibilidad a la producción científica y tecnológica colombiana a través de los países que lo conforma desde hace 10 años

### **1.3.1.3. Situación actual de los grupos de investigación en Colombia:**

De acuerdo a los resultados de la convocatoria de grupos de investigación de Colciencias (2008), actualmente existen en el país 9.104 grupos registrados en

---

<sup>6</sup> El Decreto 1279 de 2010, establece las categorías A1, A2, B y C, para los trabajos, ensayos y artículos de carácter científico, técnico, artístico, humanístico o pedagógico según el índice de Colciencias.

GrupLAC, de los cuales, 5.218 se inscribieron para el proceso de clasificación y 3.489 cumplieron con el requisito para ser clasificados.

Los resultados a nivel nacional muestran que hubo un incremento cercano al 70% de grupos registrados en la plataforma ScienTI – Colombia, con relación a la cifra presentada para el año 2006. Esto por supuesto, no significa que el proceso investigativo colombiano haya tenido un incremento porcentual de iguales proporciones en tan solo dos años, sino que más bien deja entrever, que muchos de estos grupos no se encontraban inscritos ante Colciencias, y que para la última convocatoria hicieron su inscripción formal. Un análisis similar, puede hacerse al revisar el incremento de inscritos que cumplieron con la condición de “grupo de investigación”, la cual pasó de 2.456 a 3.489 en el mismo lapso<sup>7</sup>.

Los resultados de la medición de los 3.489 grupos, fueron los siguientes: 135 grupos en categoría A1, 206 en categoría A, 628 en categoría B, 813 en categoría C y 1.707 en categoría D. Estas cifras corresponden al 38.3% del total de los grupos registrados; el porcentaje restante, se distribuye entre los grupos que no se inscribieron en la convocatoria y los grupos que se inscribieron en la convocatoria pero que no cumplen con la condición de “grupo de investigación”.

## **1.3.2. La Universidad Nacional de Colombia**

### **1.3.2.1. Antecedentes**

Un buen punto de partida para identificar los hechos que fortalecieron el proceso investigativo en la Universidad Nacional, son las reformas que se llevaron a cabo en la administración del profesor José Félix Patiño, durante los años 1964 a 1966. Con la administración Patiño, se presentó al gobierno de la época, un plan

---

<sup>7</sup> Resolución No. 707 de 2009, del Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación – Colciencias.

de desarrollo con planteamientos muy objetivos y bien definidos, basados en estudios sólidos, que permitió realizar una reforma estructural de la Universidad Nacional: 34 facultades dispersas fueron transformadas en 11; con la participación y el apoyo de docentes y estudiantes, se logró que el gobierno incrementara en tres veces el presupuesto, además de los préstamos internacionales que permitieron modernizar la Universidad<sup>8</sup>. Se crearon departamentos, se fundaron los primeros institutos, y se dio importancia al fortalecimiento del capital intelectual.

Con estos fundamentos, en el año 1968, fue fundado el Centro de Investigación para el Desarrollo - CID, bajo la dirección del profesor Lauchlin Currie. Su objetivo era crear un espacio para debatir las preocupaciones cotidianas del devenir económico de la sociedad colombiana y las inquietudes intelectuales de académicos e investigadores de las ciencias económicas, particularmente en las causas básicas, primarias y fundamentales del subdesarrollo.

Paralelamente a estos hechos, los programas de postgrados iniciaban su camino. Con el regreso de los primeros grupos de profesores que fueron enviados por la Universidad para capacitarse en el exterior, en los años 1967 y 1968, se organizaron los primeros cursos de actualización; sin embargo, solo hasta el año 1973, con la expedición del Acuerdo 165, se reglamentaron los estudios de postgrado y los programas de investigación.

En 1977 se establece por primera vez una política clara para el desarrollo de la investigación. Mediante el Acuerdo No. 80, se da origen a los Comités de Investigación y Desarrollo Científico – CINDEC y al Fondo Especial de Investigaciones Científicas, cuyo objetivo principal era promover la ejecución de

---

<sup>8</sup> Con la Reforma Patiño, se adelantaron 12 proyectos de ampliación física, entre los que se destacan la Biblioteca Central; el edificio de la administración, que hoy ocupa la Facultad de Enfermería; el Auditorio, hoy llamado León de Greiff; los laboratorios, los museos, el Centro Estudiantil con una amplia cafetería y las residencias estudiantiles (hoy cerrados), todas esas fueron construcciones que se hicieron como parte de la reforma.

las políticas, planes y programas de investigación de carácter nacional; como también de la dirección, administración presupuestal, planeación y coordinación de actividades investigativas<sup>9</sup>. Para entonces, entidades externas como Colciencias, el ICFES y el Banco de la República ofrecían importantes fuentes de financiación de proyectos de investigación.

Con la expedición del Decreto 080 (año 1980) se definen como objetivos de la Universidad Nacional de Colombia aspectos relativos con actividades de investigación, tales como la generación de conocimiento, la investigación como patrimonio cultural colombiano, la formación de investigadores, el desarrollo de la capacidad de investigación y la difusión de los avances científicos (CINDEC, 1994). Para 1985, la estrategia utilizada por la Institución, carecía de recursos y orientación permanente y le hacía falta un mayor acoplamiento con la actividad docente; la investigación en la Universidad era a un incipiente (Mejía, 2009).

A partir de 1990, la Universidad tuvo un fuerte impulso tanto en los postgrados como en la investigación. La expedición del Decreto 1444 de 1992, dio un fuerte incentivo a los profesores que investigaran y publicaran los resultados de sus investigaciones, lo que ayudó a visualizar esta labor como una actividad de considerable aprecio tanto en el ámbito académico como en el económico.

En 1998, la Universidad adelantó un proceso de reestructuración en donde el CINDEC se transforma en la DINAIN (con adscripción a la Vicerrectoría Académica) y se crean las Divisiones de Investigación en las diferentes sedes. A partir de los Acuerdos del Consejo Superior Universitario N° 011, y 032 de 2005, se crean el Fondo de Investigación y la Vicerrectoría de Investigación. Desde entonces la Universidad cuenta con una infraestructura administrativa para la investigación y realiza una importante inversión de recursos directamente

---

<sup>9</sup> Para el año 1977, la Universidad Nacional contaba con 190 proyectos de investigación en ejecución, lo que representaba el cerca del 32% de los proyectos desarrollados por las universidades en el país. (Catalogo UN 1991 – 1992).

orientados a su financiamiento, que se ha reflejado en un importante incremento de los programas de postgrado<sup>10</sup>. Al tiempo, se reconoció un mayor estatus a la actividad investigativa dentro de la escala burocrática de la Universidad en todos sus niveles, desde el nivel jerárquico de una Vicerrectoría, pasando por Direcciones de Investigación en las Sedes, hasta llegar a las Facultades, en donde se cuenta con Vicedecanaturas de Investigación. Esto ha permitido, que la actividad investigativa pueda ser promovida, organizada y monitoreada con mayor efectividad.

En la actualidad (año 2010), la Universidad cuenta con el Sistema Nacional de Investigación – SNIUN, del cual hacen parte la Vicerrectoría de investigación (con sus oficinas adjuntas Dirección Nacional de Extensión y Dirección Nacional de Laboratorios); las Direcciones de Investigación de las Sedes, el Comité Nacional de Investigación, el Comité de Propiedad Intelectual, el Comité de ética, los profesores y los Grupos de Investigación.

#### **1.3.2.2. Situación Actual:**

Dentro de la convocatoria de grupos del año 2008, la Universidad Nacional, registró ante Colciencias un total de 479 grupos, lo que representa un incremento de 13.73% con respecto al total de grupos clasificados a nivel país. De estos, 8.56% fue clasificado en categoría A1, 10,44% fue clasificado en nivel A, el 24,63% fue clasificado como B, el 24,22% en categoría C y el 32, 15% en categoría D. Con relación al número total de grupos a nivel nacional en las principales categorías, 20% de los grupos clasificados en categoría A1 y 37% clasificados en categoría A, pertenecen a la Universidad Nacional, lo que la convierte en la primera institución del país, en desarrollar grupos de calidad superior.

---

<sup>10</sup> Tan solo en la Sede Bogotá, el número de postgrado pasó de 70 programas en el año 1989 a 187 en el año 2007 (Recurso Docente Antecedentes y Situación Actual 1989 – 2007. Documento para discusión. Consejo de la Sede Bogotá. Año 2008)



### **1.3.3. La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá**

#### **1.3.3.1. Antecedentes**

La investigación en la Facultad de Ingeniería, tuvo un auge definitivo en el año 1962, cuando se promovieron los primeros cursos de postgrados que consistían en el adiestramiento en Ingeniería Sanitaria con la Universidad de Akron y el Apoyo de la Organización panamericana de la Salud y la Agencia para el Desarrollo Internacional. Posteriormente (año 1966) se crearon los primeros programas de maestrías en Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Civil con áreas de énfasis en Ambiental y Sanitaria, Estructuras, Geotécnicas, Recursos Hidráulicos y Transporte.<sup>11</sup>

En la década de 1970, se dio el surgimiento de los primeros grupos de investigación en la Facultad de Ingeniería. El apoyo financiero ofrecido por instituciones nacionales e internacionales fue fundamental para consolidar el derrotero investigativo que seguiría los incipientes grupos de investigación de la época. En 1972 se dio inicio al Programa de Investigación en Transporte (PIT), con el cual se buscaba desarrollar proyectos en áreas tales como la Ingeniería de Transporte y en las ciencias del Medio ambiente y Hábitat. Posteriormente, aparecieron en la escena otros grupos de investigación tales como, el Grupo de Investigación en Alta Tensión y el grupo de Investigación en Sistema de Potencia, quienes fueron los pioneros del desarrollo investigativo en esta área a nivel nacional. El fortalecimiento de los grupos de investigación, dio un impulso muy grande a los postgrado en la Facultad, con tal suerte, que en las siguientes dos

---

<sup>11</sup> Antonio José Mejía Umaña. La investigación en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional en Bogotá (FIUNB, en Gestión del Conocimiento. Grupos de Investigación. Universidad Nacional de Colombia. 2009.

décadas se fundaron cerca de 20 programas entre especializaciones y maestrías. A partir del año 1997, se fundan los primeros programas de doctorado.

### **1.3.3.2. Situación actual**

Los grupos de investigación en la Facultad de Ingeniería, son generalmente conformados por iniciativa de profesores y estudiantes de los diferentes departamentos, en desarrollo de su trabajo investigativo en las áreas de su competencia. En principio, estos grupos buscan enmarcar su estructura dentro los objetivos misionales de la Universidad Nacional de Colombia, mediante la generación de conocimiento producto del trabajo investigativo de personas de diferentes grados de escolaridad y diferentes disciplinas.

Su nacimiento ocurre sin mayores percances, pues no requiere contar con una estructura administrativa, ni se requiere demostrar el cumplimiento de ningún otro requisito; basta únicamente con hacer la solicitud de reconocimiento ante la Vicedecanatura de Investigación<sup>12</sup>. Tal facilidad se ajusta a las dinámicas que ocurren al interior del proceso académico y que son las que finalmente, propician la conformación, subdivisión y desaparición de los mismos<sup>13</sup>.

Actualmente, la Facultad de Ingeniería cuenta con cerca de 48 grupos de investigación, de los cuales fueron avalados por Colciencias 34, en la convocatoria de grupos de investigación del año 2008, los cuales fueron clasificados así: (3) en categoría A1, (2) en categoría A, (10) en categoría B, (8) en categoría C, (11) en categoría D.

---

<sup>12</sup> Los grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería, se encuentran a su vez convalidados y acreditados por la División de Investigación de la Sede Bogotá y la Vicerrectoría de Investigación; estos organismos de control promueven y orientan la investigación, propician el trabajo de los grupos mediante el apoyo económico de sus proyectos y propenden las relaciones con otros grupos nacionales e internacionales.

<sup>13</sup> Grupos de Investigación en la Facultad de Ingeniería; en Gestión del Conocimiento Grupos de Investigación, Grupo Complexus, año 2009.

## **2. MODELO DE MEDICIÓN DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN, TECNOLÓGICA O DE INNOVACIÓN DE COLCIENCIAS.**

Con el propósito de identificar los grupos de investigación que trabajaban en el país<sup>14</sup> y definir el otorgamiento de apoyos de tipo económico para su fortalecimiento, Colciencias comenzó a realizar convocatorias de grupos y centros de investigación desde el año 1991. Con el pasar del tiempo y a medida que el proceso se hacía más robusto se vio la necesidad de construir herramientas que ayudaran a los expertos de los comités de evaluación en la selección de grupos, fue así como se diseñó el Modelo de medición de Grupos de Investigación, Tecnológica o de Innovación de Colciencias. A continuación se señalan los principales hechos que fortalecieron el desarrollo del modelo, las características de la versión aplicada en la medición de grupos del año 2008 y las críticas que los expertos han hecho sobre el mismo.

### **2.2. ANTECEDENTES**

Antes del año 1998 no se podía hablar de un modelo para la medición de los grupos de investigación propiamente dicho; hasta entonces solo se podía hablar de una herramienta mediante la cual los Comités de Expertos se apoyaban para llevar a cabo su tarea clasificatoria. A continuación se describirá brevemente los principales cambios que ha tenido el modelo desde entonces<sup>15</sup>:

Año 1998: Se crea el primer modelo de medición, basado

---

<sup>14</sup> El ejercicio registró cerca de 160 grupos con producción en todas las áreas del conocimiento y en todo el país, se confirmó así que hacer CyT ya era, en ese momento, una actividad real.

<sup>15</sup> Los siguientes apartes fueron extraídos del documento conceptual “Modelo de medición de Grupos de Investigación, Tecnológica o de Innovación Año 2008” Pag. 6 – 8. Colciencias. Bogotá, Colombia.

fundamentalmente en un escalafón con los mismos elementos de los criterios de clasificación utilizados en años anteriores, pero con la adición de la información de financiación y de equipos e instrumentos disponibles. Los dos últimos tipos de datos se omitieron posteriormente debido a la dificultad para recoger la información.

Año 2000: Se introdujeron dos cambios importantes. Primero, no se convocó a comités de expertos para hacer la selección y clasificación de los grupos y segundo, las categorías de los grupos se obtuvieron mediante deciles del índice de medición construido. La categoría A correspondió al primer decil del índice.

Año 2002: Se redefinieron los marcos conceptuales y se desarrollaron estrategias e instrumentos tecnológicos para llevar a cabo, de manera reproducible y estadísticamente confiable, es así como se adquiere por transferencia de tecnología la plataforma ScienTI-Colombia, que sirvió para modernizar la gestión del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCyTI), con sus subsistemas de acumulación y procesamiento de información: GrupLAC y CvLAC; con ello se dispuso de una base de datos con información provista directamente por los investigadores.

En este mismo año se implementó una modificación estructural en la construcción del índice de medición, en el se tuvo una participación importante del Observatorio de Ciencia y Tecnología. Los conceptos más importantes introducidos fueron las nociones de existencia, calidad y visibilidad, circulación y uso. Se obtuvo una diferenciación en los grupos entre reconocido y registrados (los no reconocidos). También se anunció, aunque no se llevó a cabo, la selección de grupos de referencia, los cuales tendrían el estatus de los actuales grupos A.

Año 2004: Se creó el índice ScientiCol, con el cual se establece formalmente la categorización de los grupos en categorías A, B, y C, con una

vigencia determinada.

Año 2006: Se hizo una actualización del escalafón y se introdujeron cambios, con la inclusión de nuevos productos (los artísticos) y se cambió el uso de la productividad por producción anual, utilizando umbrales.

Año 2008: Se crean dos nuevas categorías dentro del índice ScientiCol: A1 y D, y se crean y se eliminan algunos criterios para la evaluación de los grupos. Adicionalmente se establecen las bases para la generación de estadísticas más precisas y confiables sobre las capacidades disponibles para el Sistema Nacional de Ciencias y Tecnología del país (nuevas versiones de las plataformas GrupLAC y CvLAC)

Para esta última convocatoria, se estableció como ventana de observación para la medición, los últimos cinco años contados hasta el 31 de diciembre del año anterior a la realización de la convocatoria, esto es, enero 1 de 2003 a diciembre 31 de 2007.

Los principales requisitos que tuvieron que haber cumplido los grupos de investigación dentro de la ventana de observación referida, fueron los siguientes:

- Estar registrado en el sistema GrupLAC de la Plataforma ScienTI.
- Tener uno o más años de existencia.
- Estar al menos avalado por una (1) institución registrada en el sistema InstituLAC.
- Tener al menos un proyecto de investigación en marcha.
- Que por lo menos una (1) de las personas vinculadas al grupo como investigador, posea una formación de pregrado, maestría, o doctorado concluida.

- Tener registrado al menos un (1) producto de nuevo conocimiento desarrollado por el grupo de investigación obtenido dentro de la ventana de observación.
- Reportar al menos dos (2) productos resultantes de actividades de investigación relacionadas con la formación y la apropiación social del conocimiento, divulgación, extensión, o una combinación de éstas.

### **2.3. EL MODELO APLICADO EN LA CONVOCATORIA DE GRUPOS DEL AÑO 2008**

El índice Scienticol es una función de la *producción* de un grupo que se forma a partir de 4 indicadores que intentan sintetizar la actividad investigativa de cualquier unidad: el *indicador de nuevo conocimiento* (formado por artículos de investigación, libros, capítulos de libro, producción artística, producción patentada o registrada, producción técnica no patentable), el *indicador de nuevo conocimiento tipo A* (formados por los mismos tipos de producto del indicador de nuevo conocimiento, pero sólo aquellos que cuentan con indicios de alta calidad, como los artículos publicados en revistas indexadas en ISI, por ejemplo), el *indicador de divulgación* (que involucra participación en congresos, literatura gris y capítulos en memorias) y el *indicador de formación* (que es básicamente las tesis dirigidas por el grupo y los cursos académicos resultado de su investigación).

Los grupos A1 son aquellos que tienen por lo menos 5 años de existencia y tienen un índice Scienticol mayor o igual a 9. Los A tienen por lo menos 5 años de existencia y 7 o más puntos en el índice Scienticol. Los B tienen por lo menos 3 años de existencia y 4 o más puntos en el índice Scienticol. Los C son aquellos grupos que tienen por lo menos 2 años y un puntaje mayor o igual a 2 en el índice Scienticol; y los D que son grupos con al menos un año e existencia, sin importar el puntaje obtenido en el índice Scienticol.

Cada uno de los indicadores mencionados está formado por los pesos de los productos, que son una función de “R” (peso relativo de cada producto), “Ic” (indicador de calidad del producto), “Ie” (indicador de existencia del producto) y “Ivcu” (indicador de visibilidad, circulación y uso). El cálculo general del índice Scienticol se resume en la siguiente fórmula:

$$\text{ScientiCol} = 5,0 \times \text{NC} + 3,5 \times \text{NCA} + 1,0 \times \text{F} + 0,5 \times \text{D}$$

Donde NC es Indicador de Nuevo Conocimiento, NCA es Indicador de Nuevo Conocimiento A, F es Indicador de Formación y D es Indicador de Divulgación. El índice Scienticol tiene en cuenta exclusivamente la *producción* de un grupo y que el índice utilizado tiene un umbral, lo que quiere decir que llegado cierto valor los grupos no pueden seguir acumulando puntaje. Ese umbral se calcula a partir de la información de los grupos de investigación inscritos para el proceso de convocatoria, usando la fórmula:

$$\text{Umbral} = \text{Q3} + 1,5 \times (\text{Q3} - \text{Q1})$$

Donde Q1 y Q3 son el primer y cuarto cuartil, de los datos, con el fin de identificar los valores extremos, en relación con los demás datos.

#### **2.4. DEFICIENCIAS DEL MODELO APLICADO EN LA CONVOCATORIA DE GRUPOS DEL AÑO 2008**

De acuerdo con los estudios realizados por la Universidad Nacional<sup>16</sup>, y la Universidad de los Andes (Villaveces y otros, 2007), (Villaveces, 2009), al analizar el índice utilizado en la convocatoria de grupos del año 2008, se presentan principalmente las siguientes objeciones al modelo:

---

<sup>16</sup> *Medición de la Ciencia y la Tecnología En Colombia. Modelo que pierde vigencia y urge de Cambios Fundamentales.* En Claves para el Debate Público. Unimedios, Universidad nacional de Colombia, número 31. Bogotá, Colombia, octubre de 2009.

a. Los pesos de los indicadores son fijos, y no tienen en cuenta las características individuales de cada grupo. Por ejemplo, las funciones de formación de investigadores que tienen un mismo peso para todos los grupos, deberían diferir conforme a la antigüedad del grupo, de manera tal que este aspecto no sea tan relevante para los grupos están comenzando. Esta clasificación sería más útil si es dinámica y ofrece la posibilidad al grupo joven de ir subiendo posiciones dentro del escalafón y se le exige al grupo consolidado mostrar resultados para mantenerse en esta condición de liderazgo.

b. El modelo está muy sesgado frente a los intereses de la producción escrita. Se da prelación a la “clasificación de producción de papel” por encima de los procesos de extensión de la investigación que son los que finalmente hacen que el conocimiento pueda finalizar en un proceso de apropiación social. En este punto es importante no perder de vista el fin último de la generación del conocimiento, que no es otro que proveer de herramientas para el bienestar a la sociedad. El modelo actual de Colciencias, privilegia los medios (publicaciones) por encima de los fines (bienestar social).

c. No existe una diferencia en pesos evaluativos para revistas nacionales y revistas internacionales, y más aun, entre las revistas publicadas dentro de la misma institución avaladora. Así, las revistas de alta trayectoria y renombre a nivel mundial son equiparadas con revistas de carácter nacional que no poseen la misma trayectoria, o que fueron creadas dentro del nicho académico de dónde se originan los grupos.

d. La orientación a la producción del índice ScientiCol no tiene en cuenta que cada grupo utiliza ciertos recursos con los que debe poder producir. Esa relación entre los recursos de un grupo y su producción (entradas – salidas) no es visible en este método.



e. Como el índice ScientiCol se ha estandarizado para la medición de todos los grupos, se ha perdido la manera de diferenciar y valorar a los grupos de acuerdo con la disciplina que practican, que es al fin y al cabo la que caracteriza a cada comunidad académica. Es decir, un grupo de ciencias sociales es visto de la misma forma que un grupo de ciencias exactas.

f. La sinergia que tanto se debe buscar entre los grupos, es castigada. Los productos publicados en coautoría entre dos grupos nacionales, tiene menor peso que los productos publicados con autores del mismo grupos o con un grupo internacional.

### **3. ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS Y MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA**

#### **3.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

La metodología de Análisis Envolverte de Datos (Data Envelopment Analysis –DEA), es una técnica no paramétrica soportada en herramientas de programación lineal, mediante la cual es posible comparar entidades de producción que utilizan iguales recursos (pero en diferentes cantidades) y producen iguales productos, a través de la construcción de una frontera eficiente, de forma tal, que las entidades que determinan la frontera son denominadas eficientes y aquellas que no permanecen a la misma son consideradas ineficientes<sup>17</sup>. Cada entidad ineficiente es comparada con aquellas que son eficientes, con el fin de establecer la cuantía, en términos absolutos o relativos, de

---

<sup>17</sup> Una unidad será eficiente si, y solo si, no es posible incrementar las cantidades de producto manteniendo fijas las cantidades de insumos utilizadas, ni es posible disminuir las cantidades de insumos empleadas sin alterar las cantidades de producto obtenidas (Cooper, Seiford y Zhu, 2004, 3).

la reducción de entradas y/o incremento de las salidas, que la unidad ineficiente debería tratar de mejorar para convertirse en eficiente.

Las entidades que son evaluadas con DEA se conocen como unidades de decisión (Decision Making Units - DMU), término que permite referirse a un grupo amplio de unidades organizacionales que pueden ser divisiones de una organización, empresas, entes territoriales e incluso países. Si los grupos de investigación son vistos como un departamento de producción que transforma insumos en productos, cada uno de ellos puede ser tratado como DMU. Existen dos maneras de medir la eficiencia de una DMU:

- **Orientada a la Entrada:** Cuando se minimiza la cantidad de recursos usados para obtener el mejor nivel de producción.
- **Orientada a la Salida:** Cuando se maximiza la cantidad de productos elaborados usando un nivel fijo de insumo.

Escoger la orientación para medir la eficiencia de las DMU depende de las características del problema analizado. Bajo esta expectativa, el presente trabajo utiliza el DEA para medir la productividad de los grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia.

### **3.2. EL MODELO DEA BÁSICO - CCR**

El análisis envolvente de datos, desarrollado por E. Rhodes y W. Cooper y modificado posteriormente por A. Charnes, proporciona un método para encontrar este conjunto de pesos, bajo el supuesto que los datos observados son homogéneos. La idea inicial fue maximizar la función de eficiencia relativa de la DMU, sujeto a que el radio de eficiencia no supere la unidad. Su formulación inicial fue:

$$\max_{u,v} h_o = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \quad (01)$$

Sujeto a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n \quad (02)$$

Donde:

$u_r$ : Peso asociado a la  $r$ -ésima salida.

$v_i$ : Peso asociado a la  $i$ -ésima entrada.

$y_{rj}$ : Cantidad de la  $r$ -ésima salida en la  $j$ -ésima DMU.

$x_{ij}$ : Cantidad de la  $i$ -ésima entrada en la  $j$ -ésima DMU.

Éste modelo, es fraccional y tiene infinitas soluciones. Se considera la eficiencia de una DMU como la razón entre la producción ponderada total y el consumo ponderado total. El valor de estas ponderaciones las proporciona el modelo sin necesidad de conocer los precios de las entradas o las salidas. Al programa fraccional (01) y (02) se puede linealizar transformándose en uno de programa lineal resultando el siguiente modelo:

$$\max h_o \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} \quad (03)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1 \quad (04)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \quad j = 1, \dots, n$$

(05)

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, \dots, s \quad (06)$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (07)$$

Este segundo modelo se le conoce como CCR en el espacio de los multiplicadores, donde las variables de decisión son los valores de  $u$  y  $v$  que serán utilizados para ponderar cada una de las entradas y salidas en la construcción de la entrada y la salida virtual de la expresión 1. El programa lineal formulado en 03-07 tiene un problema dual asociado:

$$\min \theta_0 = \theta \quad (08)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{io}, \quad i = 1, \dots, m \quad (09)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{ro}, \quad r = 1, \dots, s \quad (10)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (11)$$

$$\theta \text{ Libre} \quad (12)$$

Este último modelo de DEA es conocido como CCR en el espacio de la envolvente. En este caso, la  $j$ -ésima DMU es eficiente si  $1 = \theta x$  ya que el programa busca aquella DMU que, bajo un nivel fijo de recursos, tenga el mejor nivel de producción ó dado un nivel de producción, utilice la menor cantidad de recursos. Si al realizar la búsqueda, no encuentra una mejor DMU, le asigna el valor uno a la  $j$ -ésima DMU, y al resto de las ponderaciones le asigna el valor cero. Si  $1 >$  la  $j$ -ésima DMU es ineficiente, porque es posible hallar otra DMU que genere mejores niveles de productividad. Es imposible que  $1 < \theta x$ , porque siempre se puede asignar el valor de  $1 = \theta x$  y al resto de ponderaciones el valor de cero.

### 3.2.1. Conjunto de referencia

El conjunto de índices correspondiente a positivos es llamado el conjunto de referencia para  $\lambda^*$   $S_j$  positivos es llamado el conjunto de referencia para  $(x_0, y_0)$ .

Cuando hay múltiple soluciones óptimas el conjunto de referencia no es único. Podemos, sin embargo, elegir uno cualquiera para nuestros propósitos.

Designamos el conjunto de referencia por

$$R_0 = (j \mid \lambda_j^* > 0) \quad (j \in (1, \dots, n)) \quad (13)$$

Usando  $R_0$  podemos expresar  $(x_0, y_0)$ .

$$\begin{aligned} x_0 &= \sum_{j \in R_0} x_j \lambda_j^* \\ y_0 &= \sum_{j \in R_0} y_j \lambda_j^* \end{aligned} \quad (14)$$

Esto significa que  $(x_0, y_0)$ , un punto en la frontera eficiente, es expresado como una combinación positiva de los miembros del conjunto de referencia,  $R_0$ , los cuales son también eficientes.

### **3.2.2. Otros Modelos DEA**

Los modelos DEA básicos se clasifican, principalmente, en cuatro clases: Los CCR (Siglas de A. Charnes, W. Cooper y E. Rhodes), los BCC (Siglas de R. Banker, A. Charnes y W. Cooper), los FG (Siglas de R. Färe y S. Grosskopf) y los ST (Siglas de L. Seiford y R. Thrall). De la misma manera, existen otras aplicaciones avanzadas de los modelos de DEA originales, los cuales exploran rendimientos variables a escala, entradas no discrecionales, salidas no deseables, clasificación de la eficiencia entre muchas otras alternativas. Como es de esperarse, la presente investigación no profundizará en cada uno de estos modelos, sino que se soportará en las experiencias obtenidas en investigaciones anteriores, para determinar los temas del DEA que ameriten una mayor explicación.

### **3.3. MODELOS DEA PARA LA CLASIFICACIÓN DE DMUS POR MEDIO DE LA MEDICIÓN DE SU EFICIENCIA**

Básicamente, los modelos clásicos de DEA diferencia entre DMUs eficientes e ineficientes, localizando ineficiencias allí donde los modelos de regresión las ocultan, pero no permiten obtener un orden total de los puntajes de eficiencia, dado que a todas las unidades eficientes les asignan un índice igual a uno sin que sean necesariamente equivalentes desde el punto de vista de su productividad. En la última década han sido publicados más de 60 trabajos (Ruiz,

2006), que buscan corregir esta situación; los principales procedimientos que buscan ordenar las DMUs eficientes son los siguientes:

**3.3.1. Método de las frecuencias de los referentes:** El procedimiento más simple de todos, propuesto por Smith y Mayston (1987), es el método de las frecuencias, que consiste en caracterizar a las DMUs eficientes como “más o menos eficientes” en función de su frecuencia de aparición como referentes de las DMUs ineficientes y del peso con que lo hacen.

**3.3.2. Matriz de eficiencias cruzadas:** El método fue desarrollado por Sexton et al. (1986), y perfeccionado por Doyle y Green (1994), puede ser considerado como el primero desarrollado específicamente para generar una ordenación completa de las DMUs, tanto eficientes como ineficientes. Este método utiliza todos los multiplicadores obtenidos en el modelo multiplicador del DEA para generar  $n$  ( $n$  es el número de DMUs que se están comparando) puntuaciones de eficiencia, análogas a las originales del DEA, para cada DMUs, calculando para cada una de ellas el valor óptimo

**3.3.3. Supereficiencia:** Formulado por Andersen y Petersen (1993) y perfeccionado por Wilson (1995). Al igual que el procedimiento de eficiencias cruzadas, este está íntimamente relacionado con el DEA, pues consiste en resolver un programa de programación lineal, similar al convencional en el DEA, pero que evita los empates entre las puntuaciones asignadas a las DMUs eficientes y permite, por tanto, establecer una ordenación de los centros eficientes. La particularidad del método consiste en eliminar del programa original la restricción correspondiente a la DMU bajo estudio, con lo que los parámetros que se optimizan dejan de estar acotados inferiormente por 1, y sus valores se alejan inferiormente más de 1 cuanto más eficiente es la DMU en cuestión.

**3.3.4. Correlación canónica.** Propuesto por Friedman y Sinuany-Stern (1997).

Este método se basa en el análisis multivariante y en el DEA. En el entorno del DEA, el análisis de correlación canónica es un procedimiento para determinar vectores únicos de pesos de inputs y outputs, comunes a todas las unidades, para construir con ellos combinaciones lineales de inputs y outputs de componentes. Se utiliza el método de la correlación canónica para definir una puntuación alternativa a partir del radio de la combinación lineal de inputs a la combinación lineal de outputs a partir de los pesos comunes determinados justamente a partir del análisis de correlación canónica.

**3.3.5. Ratio discriminante:** Sinuany-Stern (1994) aplican el análisis discriminante clásico para ordenar las DMUs dada la división del DEA en grupos eficientes e ineficientes mediante la función lineal, con este método se propone la construcción de una función ratio entre las combinaciones lineales de inputs y de outputs

Los métodos de la matriz de eficiencias cruzadas y de la supereficiencia se basan directamente en el DEA, por lo que requieren poco trabajo adicional y sus resultados admiten una interpretación dentro de la filosofía del DEA.

Los métodos de correlaciones canónicas y de ratios discriminantes se basan en el análisis multivariante y en el DEA. Ambos coinciden en utilizar vectores de coeficientes comunes, pero uno se obtiene maximizando el coeficiente de correlación y el otro a partir de la mejor discriminación posible, y se diferencian en que el método de las correlaciones canónicas no utiliza los resultados del DEA original mientras que el método del análisis discriminante sí los utiliza, aspecto en el que coincide con los métodos de las eficiencias cruzadas, de la supereficiencia y de las frecuencias.



Existen algunas otras extensiones de los modelos básicos de DEA que estudian métodos para clasificar las DMU con base a la puntuación de su eficiencia, como el Global Leader (Oral y Yolalan, 1990), y el benchmarking (Torgersen y otros, 1996).

### **3.4. VENTAJAS DEL DEA**

Algunas de las principales ventajas de *DEA* son las siguientes:

- Permite considerar múltiples entradas y salidas, expresadas en diferentes unidades de medida.
- No es necesario establecer a priori una relación funcional entre entradas y salidas para hallar la función de frontera, ni requiere una función de la ineficiencia, ya que DEA es una técnica no paramétrica.
- No es necesaria la homogeneidad en las unidades de medida de los datos.
- La información con la que se construye la frontera eficiente resulta de optimizaciones individuales, lo que permite aceptar comportamientos de selección de tecnologías distintas para cada DMU evaluada.
- No requiere información referente a las ponderaciones de Entradas y Salidas para generar el índice de eficiencia<sup>18</sup>

### **3.5. DESVENTAJAS DEL DEA**

---

<sup>18</sup> Se considera que esta flexibilidad en la elección de los pesos, puede ser tanto una fortaleza como una debilidad de la metodología. De acuerdo con Coll y Blasco (2006), La fortaleza se justifica en que si una unidad resulta ser ineficiente incluso cuando se han incorporado los pesos más favorables en su medida de eficiencia, entonces, el argumento de que los pesos no son apropiados no es justificable. Por otra parte, es una debilidad porque una elección no juiciosa de pesos puede permitir calificar como eficiente una unidad, aunque esto tenga más que ver con la elección de pesos que con cualquier eficiencia inherente.

Las ventajas del modelo y su enorme facilidad de implementación han fomentado que en ocasiones se aplique de manera automática, sin tener en cuenta factores que, aunque no relacionados con la formulación matemática del modelo, pueden influir notablemente en los resultados obtenidos a partir del mismo. Aunque muchos de estos problemas dependen del contexto concreto de su aplicación, es posible identificar una serie de cuestiones que con carácter general es necesario tener en cuenta, y que están relacionadas con:

- La dimensionalidad del modelo, entendida como la diferencia entre el número de unidades y el de variables, de la que depende la capacidad discriminadora de DEA. Si esta dimensionalidad no es suficiente, DEA calificará como eficientes unidades que realmente no lo son. Por esa razón la elección del número de unidades y variables que se introducen en el modelo resulta fundamental.
- La selección de unidades suficientemente homogéneas, para evitar que la existencia de un factor diferencial pueda llevar a comparaciones inadecuadas que se plasmen en unas estimaciones de eficiencia igualmente inadecuadas.
- La selección adecuada de variables, que tenga en cuenta no sólo los factores cuantitativos que intervienen en el proceso productivo sino también factores cualitativos e incluso no controlables cuando así corresponda. La cuestión de las variables de calidad merece una especial atención en la evaluación de la eficiencia relativa de un conjunto de unidades. Si únicamente se tiene en cuenta la cantidad de outputs y no la calidad de los mismos, algunas unidades que sacrifican la calidad de sus productos o servicios para conseguir un mayor nivel de producción podrían ser consideradas eficientes.
- La atención a la presencia de posibles errores de medición en las variables (output). Un único error en una de las variables de una de las unidades puede

afectar a las estimaciones de eficiencia de muchas otras, si provoca que la unidad afectada se considere como eficiente a pesar de no serlo.

### **3.6. APLICACIÓN DE DEA PARA LA VALORACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN**

De acuerdo con lo expuesto por Villaveces y otros (2007), DEA permite hacer un análisis comparativo de los grupos a partir de sus eficiencias relativas, previa caracterización de los actores y recursos para la investigación y de los productos de investigación. Las eficiencias relativas corresponden a la comparación de los valores de productividad (relación entre recursos y producción académica) de un conjunto de grupos de investigación con características similares en cuanto a sus disciplinas.

Varios estudios han realizado ejercicios de valoración relativa de los grupos de investigación utilizando el enfoque DEA, como una alternativa al modelo tradicionalmente aplicado por Colciencias. Las principales aplicaciones son descritas a continuación.

Johnes y Johnes (1993) analizan la eficiencia en investigación de 36 Departamentos de Economía de diferentes universidades Británicas utilizando el modelo DEA, con interesantes resultados en la utilización de conglomerados jerárquicos que daban estabilidad a los resultados obtenidos.

Beasley (1995) propone un modelo que cuantifica la eficiencia en docencia y en investigación, sin perder la visión conjunta característica de los modelos DEA, utilizando una medida de calidad de la investigación a partir de cuatro niveles de excelencia investigadora previamente definidos por Comités universitarios.

García Valderrama y Gómez Aguilar (1999) aplicaron los modelos DEA al análisis de los grupos de investigación de la Universidad de Cádiz. En este estudio se evalúan 21 grupos de las áreas de Química Orgánica, Ingeniería Química, Física o Bioquímica.

Guang y Wang (2004) desarrollaron un nuevo modelo de DEA que permite evaluar la eficiencia de proyectos de investigación en ciencias de la información, el modelo fue utilizado para evaluar 21 proyectos de la República Popular China. Como entradas se utilizaron el tamaño de los grupos y su presupuesto, como salidas se tomaron las publicaciones internacionales indexadas y algunos indicadores de citación de dichas publicaciones. El modelo desarrollado permite evaluar las eficiencias y clasificar los grupos de investigación. También se realizó un estudio de los grupos más eficientes para identificar las prácticas de gestión del conocimiento que utilizan.

Ruiz (2006), desarrolló una aplicación del DEA al estudio de la eficiencia del sector universitario, concretamente se analiza la eficiencia técnica de los Grupos de Investigación del área de Economía de la Universidad de Málaga, a partir de los datos disponibles en el Inventario de Grupos de Investigación de la Junta de Andalucía del año 2001.

En Colombia, Arenas y otros (2004) utilizan la metodología DEA para diseñar un modelo para evaluar la productividad de los grupos de investigación de la Universidad Tecnológica de Pereira. Las entradas fueron el número de investigadores de cada grupo y las salidas los productos de nuevo conocimiento. Los resultados obtenidos se compararon con la clasificación realizada por Colciencias en 2004 con resultados similares. Sin embargo, la metodología aplicada en principio solo evalúa los grupos de investigación, pero no permite clasificarlos, pues para ello se requiere utilizar otros desarrollos del DEA, que permiten hacer ranking y clasificación de las unidades evaluadas.

Restrepo y Villegas (2007) proponen un enfoque del DEA, para diseñar un modelo que midiera la productividad de los grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquía. Este estudio propone la clasificación de los grupos primero evaluándolos, luego clasificándolos por medio de modelos DEA para ranking y finalmente agrupándolos con análisis de conglomerados.

Villaveces y otros (2007) utilizan el enfoque utilizado por Restrepo y Villegas (2007), para diseñar y clasificar índices para comparar el comportamiento del escalafón de los grupos de investigación en seis universidades colombianas, calculando la eficiencia de las otras a partir de la diferencia que tiene cada una de éstas con la frontera eficiente encontrada. Este estudio finaliza con la construcción social del concepto “grupo de investigación” y de los objetos tecnológicos informacionales para su representación.

Finalmente, Ruiz y Otros (2010), proponen un modelo para hacer inferencias sobre la eficiencia de DEA, reconociendo las relaciones subyacentes entre variables de producción y la eficiencia por la disciplina, utilizando la redes bayesianas. En primer lugar se aplica para calcular la eficiencia de los grupos de investigación el modelo CCR – O, luego se realiza un análisis de la eficiencia cruzada, para finalmente aplicar redes bayesianas como método para analizar los resultados obtenidos de la DEA, ya que esta metodología permite reconocer las peculiaridades de cada disciplina en términos de producción científica y de la frontera de eficiencia.

#### **4. METODOLOGÍA**

Para medir la eficiencia de los grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia por medio de DEA, y para

realizar una posterior clasificación con estos resultados, se requiere determinar cuatro características básicas dentro del modelo:

- Los inputs y outputs que se van a tener en cuenta en el modelo.
- La orientación del modelo.
- El tipo de rendimientos a escala.
- El tipo de modelo para su clasificación

En este capítulo también se presentará la herramienta y de la metodología mediante la cual agruparemos las eficiencias obtenidas en DEA, de manera análoga a la clasificación realizada por Colciencias a los grupos de investigación.

#### **4.1. VARIABLES DEL MODELO (INPUTS Y OUTPUTS)**

El presente estudio, recopiló los datos de los (34) grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, clasificados dentro de las categorías A1, A, B, C y D de Colciencias dentro de la convocatoria de grupos de investigación del año 2008; con dicha se realizó el análisis preliminar para la selección de los inputs y los outputs<sup>19</sup>.

**4.1.1. Variables de entrada (inputs):** A diferencia de Colciencias, que solo utiliza los productos de los grupos<sup>20</sup> para su evaluación, varios de los modelos que han sido propuestos en Colombia para la medición de la eficiencia

---

<sup>19</sup> Para que el modelo DEA tenga una mayor efectividad con relación a su capacidad de discriminación se recomienda que el número de DMUs sea por lo menos dos veces el producto del número de entradas y salidas consideradas, de lo contrario, se puede correr el riesgo de que muchas de las DMUs se evalúen como eficientes sin que realmente lo sean, esto se debe a los pocos grados de libertad que tiene el modelo (Dyson y otros, 2001). La presente investigación cumple con dicho criterio, ya que el modelo utilizará 34 DMUs (Una por cada grupo de investigación).

<sup>20</sup> El actual modelo para la clasificación de grupos de investigación utilizado por Colciencias, utiliza la antigüedad del grupo, como un referente condicionante externo al índice ScientiCol.

mediante DEA21, han considerado el tamaño y la experiencia como los “insumos” principales para la generación de los productos. Estos dos aspectos son importantes a la hora de medir la eficiencia de un grupo, si lo que se espera es que el escalafón guarde una relación directa con la productividad.

En principio, nuestra intención fue el tamaño y la experiencia como variables de entrada de nuestro modelo; sin embargo, los resultados arrojados en la matriz de coeficientes de determinación de Pearson ( $R^2$ ), que se presenta en la Tabla No. 1, evidencian que no existe correlación entre la variable de entrada experiencia (Entendida como el número de años desde la creación del grupo) y la producción académica de los grupos de investigación (variables de salida).

De acuerdo con lo definido por Katzenbach y Douglas (1995), se espera que el aprendizaje del grupo y su desempeño crezcan en función del tiempo; por lo tanto, se esperaría que la productividad de los grupos de investigación, se encontrara positivamente relacionada con su experiencia. Sin embargo, y como es señalado por Bernal y Rodríguez “El desempeño del grupo no necesariamente mejora con el tiempo ni es acumulativo; es impredecible y aleatorio; dependiendo de su adaptación al entronocambiante e impredecible, su capacidad de adquirir los recursos vitalea para sobrevivir y crecer y la forma como se enfrenten y resuelvan los conflictos al interior del grupo”<sup>22</sup>

---

<sup>21</sup> Arenas y otros (2004), Restrepo y Villegas (2007), Villaveces y otros (2007) y Ruiz y Otros (2010): Una breve descripción de estos modelos es presentada en la sección 3.6.

<sup>22</sup> Bernal, Gina; Rodríguez, Julio M. “Los Grupos de Investigación como sistemas adaptativos complejos” en “Gestión del Conocimiento. Grupos de Investigación”. Pág. 31. Grupo Complexus, Universidad Nacional de Colombia. Año 2009.

**Tabla 1:** Coeficientes de determinación de Pearson ( $R^2$ ): Entradas y salidas de 34 grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá

| Variabes                    | No. Integrantes (Entrada 1) | Antigüedad (Entrada 2) | INDICE_NC (Salida 1) | INDICE_NCA (Salida 2) | INDICE_F (Salida 3) | INDICE_D (Salida 4) |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| No. Integrantes (Entrada 1) | <b>1</b>                    | <b>0.166</b>           | <b>0.225</b>         | <b>0.138</b>          | <b>0.221</b>        | <b>0.244</b>        |
| Antigüedad (Entrada 2)      | <b>0.166</b>                | <b>1</b>               | 0.202                | 0.316                 | 0.300               | 0.240               |
| INDICE_NC (Salida 1)        | <b>0.225</b>                | 0.002                  | <b>1</b>             | <b>0.952</b>          | <b>0.319</b>        | <b>0.397</b>        |
| INDICE_NCA (Salida 2)       | <b>0.138</b>                | 0.016                  | <b>0.952</b>         | <b>1</b>              | <b>0.266</b>        | <b>0.323</b>        |
| INDICE_F (Salida 3)         | <b>0.221</b>                | 0.000                  | <b>0.319</b>         | <b>0.266</b>          | <b>1</b>            | <b>0.378</b>        |
| INDICE_D (Salida 4)         | <b>0.244</b>                | 0.040                  | <b>0.397</b>         | <b>0.323</b>          | <b>0.378</b>        | <b>1</b>            |

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación  $\alpha=0.05$

Para medir el tamaño se usó el número de integrantes a 31 de diciembre de 2008, los cuales se obtuvieron incluyendo al listado actual los integrantes retirados durante el 2008 y excluyendo a aquellos que ingresaron durante el año 2009. Es importante anotar que el presente trabajo no diferencia entre la calidad de “estudiante”, “auxiliar de investigación” o “Investigador”; ni tampoco entre las personas adscritas al grupo que “tuvieron productos y/o proyectos inscritos en GrupLAC” y las que no, ya que partiremos de la base hipotética de que todos los miembros inscritos tuvieron, en mayor o en menor grado, la capacidad de prestar algún aporte a la producción académica del grupo<sup>23</sup>.

<sup>23</sup> Los términos de la convocatoria para la medición de grupos de investigación del Colciencias correspondiente al año 2008, definen al grupo de investigación como “...las personas que desempeñan alguna tarea relacionada con la actividad científica del grupo. Los integrantes del grupo se clasifican en tres grupos: investigadores, estudiantes y auxiliares de investigación”. *Modelo de medición de Grupos de Investigación, Tecnología e Innovación Año 2008. Pág. 14.*



**4.1.2. Variables de Salida (outputs):** El análisis de correlación presentado en la Tabla No. 1, muestra las relaciones existentes entre las variables de salida. Como era de esperarse, la correlación existente entre el INDICE\_NC y el INDICE\_NCA es bastante alta, porque en esencia miden los mismos tipos de productos pero en niveles clasificatorios diferentes. Se considera pertinente conservar las dos variables, en primera medida porque miden diferentes tipos de producción científica dentro de una misma clasificación (Nuevo conocimiento), y en segundo lugar, porque su discriminación es una parte fundamental del índice ScientiCOL.

Las demás variables de salida muestran una correlación baja o moderadamente baja. En nuestra opinión, cada una de las variables del índice Scienticol, vistas por separado, nos pueden dar una idea de la productividad de los grupos, definida esta, como la cantidad de recursos utilizados para producir algo. Dado que DEA no diferencia entre productos de buena o de mala calidad, se estimo conveniente mantener las ponderaciones por tipo de producto establecida en el índice Scienticol durante la convocatoria de grupos del año 2008. De acuerdo con esto, las variables que utilizaremos son las siguientes:

- Índice de Nuevo Conocimiento (NC)
- Índice de Nuevo Conocimiento A (NCA)
- Índice de Formación (F)
- Índice de Divulgación (D).

**4.1.3. Variables del modelo seleccionadas:** De acuerdo con el análisis presentado en las secciones 4.1.1. y 4.1.2., fueron seleccionadas las variables de entrada y salida que se utilizaron en la medición de la eficiencia de los 34 grupos de investigación de la Facultad de ingeniería de

la Universidad Nacional de Colombia. La información detallada es presentada en la Tabla No. 2.

**Tabla No. 2:** Entradas y salidas de 34 grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá (\*)

| Grupo | No. Integrantes (Entrada 1) | INDICE_NC (Salida 1) | INDICE_NCA (Salida 2) | INDICE_F (Salida 3) | INDICE_D (Salida 4) |
|-------|-----------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| G1    | 12                          | 0.67                 | 0.71                  | 0.87                | 0.24                |
| G2    | 28                          | 0.74                 | 0.86                  | 1.00                | 0.54                |
| G3    | 12                          | 0.56                 | 0.68                  | 0.71                | 0.63                |
| G4    | 15                          | 0.14                 | 0.12                  | 0.49                | 0.33                |
| G5    | 7                           | 0.16                 | 0.22                  | 0.14                | 0.05                |
| G6    | 12                          | 0.67                 | 0.80                  | 0.46                | 0.29                |
| G7    | 4                           | 0.15                 | 0.16                  | 0.51                | 0.41                |
| G8    | 4                           | 0.01                 | 0.00                  | 0.01                | 0.29                |
| G9    | 7                           | 0.15                 | 0.17                  | 0.46                | 0.16                |
| G10   | 26                          | 0.17                 | 0.05                  | 0.40                | 0.29                |
| G11   | 22                          | 0.49                 | 0.56                  | 0.69                | 0.82                |
| G12   | 14                          | 0.38                 | 0.41                  | 0.69                | 1.00                |
| G13   | 15                          | 0.59                 | 0.68                  | 0.39                | 0.60                |
| G14   | 14                          | 0.40                 | 0.35                  | 0.51                | 0.77                |
| G15   | 15                          | 0.48                 | 0.51                  | 0.48                | 1.00                |
| G16   | 21                          | 0.00                 | 0.00                  | 0.95                | 0.41                |
| G17   | 25                          | 0.38                 | 0.26                  | 0.53                | 0.90                |
| G18   | 5                           | 0.39                 | 0.53                  | 0.07                | 0.12                |
| G19   | 14                          | 0.08                 | 0.11                  | 0.13                | 0.11                |
| G20   | 15                          | 0.08                 | 0.11                  | 1.00                | 1.00                |
| G21   | 54                          | 1.00                 | 0.89                  | 1.00                | 1.00                |
| G22   | 39                          | 1.00                 | 1.00                  | 0.92                | 0.96                |
| G23   | 17                          | 1.00                 | 0.90                  | 1.00                | 1.00                |
| G24   | 6                           | 0.28                 | 0.28                  | 0.50                | 0.42                |
| G25   | 5                           | 0.68                 | 0.81                  | 0.63                | 1.00                |
| G26   | 4                           | 0.01                 | 0.00                  | 0.10                | 0.10                |
| G27   | 28                          | 0.57                 | 0.54                  | 1.00                | 0.94                |
| G28   | 29                          | 0.09                 | 0.12                  | 0.37                | 0.34                |
| G29   | 11                          | 0.28                 | 0.25                  | 0.39                | 0.18                |
| G30   | 4                           | 0.22                 | 0.21                  | 0.50                | 0.02                |
| G31   | 7                           | 0.05                 | 0.07                  | 0.58                | 0.06                |
| G32   | 28                          | 0.02                 | 0.02                  | 0.02                | 0.08                |
| G33   | 36                          | 0.56                 | 0.53                  | 1.00                | 1.00                |
| G34   | 11                          | 0.23                 | 0.26                  | 1.00                | 0.16                |

## 4.2. ORIENTACIÓN DEL MODELO

Existen dos tipos de orientación para este modelo: uno orientado a las entradas y otro orientado a las salidas. En el primer caso, el propósito es reducir los valores de las entradas con el fin de mantener al menos el valor de las salidas que cada DMU. En el segundo, se pretende maximizar el valor de las salidas en virtud del nivel máximo de los recursos consumidos. La orientación del modelo, output o input, debe reflejar la endogeneidad o exogeneidad de los inputs y outputs en los procesos productivos. Nuestro modelo se inclinará por la orientación output, puesto que las DMUs ineficientes, no optarían por contraer sus entradas, ya que la dinámica de formación y trabajo de los grupos de investigación hace que se tenga mucho más control sobre los outputs que sobre los inputs, pues lo que buscan es incrementar las salidas. Además, si se trabaja con un modelo CCR el resultado de la eficiencia es el mismo sin importar la orientación.

### 4.2.1. El Modelo DEA Orientado a las Salidas (CCR-O):

Siguiendo a CHARNES, COOPER, LENIN y SEIFORD (1994), un cambio en la orientación de un modelo equivale a invertir el coeficiente entre la salida virtual y la entrada virtual. Una transformación similar a la realizada al modelo 1-2 da lugar al siguiente programa lineal:

$$\min q_o = \sum_{i=1}^m v_{io} x_{io} \quad (15)$$

Sujeto a:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} = 1 \quad (16)$$

$$\sum_{k=1}^K \mu^k \lambda^{k1} \leq \sum_{j=1}^J \mu^j x_{jo} \quad \lambda = \lambda^1 \dots \lambda^M \quad (17)$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, \dots, s \quad (18)$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (19)$$

El programa lineal 15-19 se conoce como CCR orientado a salidas (CCR-O) en el espacio de los multiplicadores. Es interesante ver cómo para orientar la evaluación a salidas no es necesario realizar transformación alguna a los datos. El problema dual asociado con el modelo 15-19 es:

$$\max \quad \eta_0 = \eta \quad (20)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{io}, \quad i = 1, \dots, m \quad (21)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq \eta \cdot y_{ro}, \quad r = 1, \dots, s \quad (22)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (23)$$

$$\eta \text{ Libre} \quad (24)$$

El modelo 20-24 se conoce como CCR orientado a salidas en el espacio de la envolvente, y busca maximizar el aumento proporcional que podría lograr la unidad evaluada en las salidas, dado sus niveles de entrada.

### 4.3. TIPO DE RENDIMIENTOS A ESCALA

De manera complementaria, DEA requiere elegir el tipo de rendimientos que se utilizará con el modelo; estos pueden ser rendimientos constantes a escala

o rendimientos variables a escala. Varias características propias de los grupos de investigación, permiten sugerir la utilización de un modelo con retornos constantes a escala.

De acuerdo con Knorr y otros (1979), los grupos de investigación no cuentan con “factores de producción” que puedan ser relacionados con las características de una economía de escala (rendimientos variables a escala), sino que más bien, la variación en su “producción” depende de factores tales como el grado de formación y experiencia de sus miembros, de la motivación de los investigadores que se desempeñen como líderes de equipo, o la especialización de las líneas de investigación, de extensión y de docencia; lo que equivale a decir, que la “producción académica” aumenta con el aumento de la provisión de alguno de estos “insumos académicos” en forma proporcional.

Por otra parte, se espera que la medición de la eficiencia en DEA, se realice entre grupos de investigación que se encuentran en condiciones académico-ambientales similares y que por lo tanto podrían alcanzar la misma tasa de “producción”.

Las características mencionadas son aplicables a los grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería, por lo que en el presente trabajo se opta por la utilización de un modelo con retornos constantes a escala.

#### **4.4. MODELO PARA LA CLASIFICACIÓN DE LA EFICIENCIA**

El presente trabajo utiliza el método de eficiencia cruzada. Este método calcula “n” veces la eficiencia para cada DMU, empleando los pesos óptimos obtenidos en el método CCR-O (Restrepo y Villegas, 2007). Se prefiere esta metodología en lugar de las otras propuestas en (4.3), en primera medida, porque de los métodos propuestos en (4.3), solo los de la matriz de eficiencias cruzadas y

de la supereficiencia se basan directamente en DEA, por lo que requieren poco trabajo adicional y sus resultados admiten una interpretación dentro de la filosofía del DEA. Sin embargo, se prefiere el método de eficiencia cruzada teniendo en cuenta que recientemente han aparecido reparos en la aplicación de la supereficiencia, que sugieren que su efectividad es restringida a la detección de DMUs atípicas y no en modelos de clasificación (Banker y Chang, 2006).

Adicionalmente, la eficiencia cruzada permite evaluar un grupo de investigación no solo con sus ponderaciones, sino también con las ponderaciones óptimas de otros grupos. Haciendo que grupos que no son eficientes pero que están cerca de serlo obtengan buenas clasificaciones. También permite clasificar mejor grupos que no son representativos al momento de evaluar a los demás pero que cuando se aplican modelos con supereficiencia obtienen puntajes altos.

Finalmente, porque el método de eficiencia cruzada ayuda a corregir la desproporción existente entre el número de salidas y las dimensiones de la actividad del grupo que representan (Villaveces y otros, 2007). De acuerdo con la medida del índice ScientiCol las cuatro salidas propuestas corresponden a tres dimensiones de la actividad de un grupo: producción de conocimiento nuevo, divulgación y formación, lo que en DEA podría repercutir en que cualquier grupo con una salida muy considerable en una de estas dimensiones sea considerado eficiente con respecto a otro que no tenga una salida tan prominente, pero que guarde un mejor equilibrio entre las tres.

#### **4.4.1. Eficiencia cruzada**

A través del modelo de Eficiencias Cruzadas se plantea evaluar el rendimiento de una unidad, utilizando los pesos óptimos de entradas y salidas de las otras unidades. Esta metodología tiene como idea principal utilizar DEA en una evaluación de conjunto. Es decir, cada DMU es evaluada según los esquemas de

ponderaciones óptimos de las otras DMUs, siendo la eficiencia cruzada, la media de todas esas eficiencias. De esta manera, se puede obtener un orden completo de todas las unidades analizadas. Los resultados pueden resumirse usando una matriz de eficiencia cruzada, cuyos elementos se calculan aplicando la expresión:

$$E_{kj} = \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij}}, \quad j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, n \quad (23)$$

Donde los  $u_{rk}$  y los  $v_{ik}$  son los multiplicadores óptimos obtenidos por el DEA para la correspondiente DMU. Así, en la diagonal de la matriz se tienen los valores de eficiencia originales. El puntaje de eficiencia cruzada para la DMU  $j$  se define como:

$$CE_j = \frac{1}{n-1} \sum_{k \neq j} E_{kj}, \quad j = 1, \dots, n \quad (24)$$

Donde  $CE_j$  es el promedio de las eficiencias cruzadas obtenidas por la DMU  $j$  al utilizar los pesos óptimos de las demás DMU. Si el programa lineal básico presenta óptimos alternos, con diferentes valores de  $u$  y  $v$ , lo que hace que puedan tenerse varios valores de eficiencia cruzada. Conforme a Sexton (1986), este problema puede ser resuelto mediante un enfoque agresivo o benevolente. En el contexto agresivo, DMU  $k$  elige entre las soluciones óptimas de manera que maximiza la suma de las eficiencias cruzadas. El enfoque benevolente, por su parte, minimiza la suma de las eficiencias cruzadas.

La matriz de eficiencias cruzadas tiene dos aplicaciones en DEA. En primer lugar, los estadísticos calculados a partir de ella permiten la ordenación directa de todas las DMUs eficientes, y los posibles empates se pueden deshacer con cualquier criterio complementario.

En segundo lugar, las eficiencias cruzadas de una DMU eficiente se puede utilizar para cualificar su eficiencia, de forma que si sus eficiencias cruzadas están alejadas de 1, indicará que su eficiencia se basa en un conjunto de ponderaciones atípicas, distinta de las empleadas por el resto de las DMUs, mientras que si están próximas a 1 pondrá de manifiesto que la eficiencia de la entidad en cuestión se mantiene con la estructura de ponderaciones aplicadas por el resto de entidades, y, por tanto, que sus prácticas son similares a las de las demás, que son fácilmente generalizables y que la unidad productiva es genuinamente eficiente.

#### **4.5. ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS (CLUSTER ANALYSIS)**

Uno de los objetivos del presente trabajo es obtener una clasificación de los grupos en diferentes categorías de manera similar a la propuesta por el índice Scienticol (A1, A, B, C y D). DEA permite el uso de metodologías de estadística univariada y multivariada como herramientas complementarias; en este caso, utilizaremos el análisis de conglomerados.

El análisis de conglomerados es una técnica estadística multivariante cuya finalidad es dividir un conjunto de objetos en grupos de forma tal, que los perfiles de los objetos en un mismo grupo sean muy similares entre sí y los de los objetos de clúster diferentes sean distintos. (Lebart, 1995).

Esta herramienta estadística, cuenta con varios métodos de agrupación que pueden ser clasificados en 2 grandes grupos: (1) los métodos jerárquicos y (2) los métodos no jerárquicos o de partición. El primero, es utilizado para constituir grupos de individuos similares (clases) sobre la base de su descripción por un conjunto de variables cuantitativas, cualitativas binarias, o eventualmente de todos los tipos. El segundo por su parte, forma un número  $K$  de conglomerados, decididos a priori, cuyo objeto principal es formar el número óptimo de



conglomerados hasta obtener una solución óptima. En nuestro caso, conocemos de antemano el número de grupos dentro de los cuales deseamos agrupar la información, por lo que utilizaremos la metodología no jerárquica o de partición. En particular, utilizaremos el algoritmo de las K-medias (K-means), que parte de unas medias arbitrarias y va asignando objetos a los grupos, realizando iteraciones siguiendo un criterio de disminución de la varianza residual o intra-grupo.

#### **4.6. HERRAMIENTA**

Los modelos de optimización mencionados (modelos CCR-O y Eficiencia Cruzada) fueron implementados usando la herramienta para análisis envolvente de datos desarrollada por Restrepo y Villegas (Disponible en <http://industrial.udea.edu.co/jgvillegas/Pagina%20DEA/index.html>). Esta herramienta utiliza el Toolbox de optimización de Matlab®.

Este software fue construido con herramientas en las cuales se llama la función linprog del toolbox de optimización, que resuelve programas lineales usando el método símplex, métodos de punto interior o algoritmos primal-dual según se escoja en sus parámetros, lo que permite ampliar los modelos básicos de DEA, para incluir las extensiones tales como las aplicadas en la presente investigación.

## **5. RESULTADOS**

Para probar las metodologías propuestas, se utilizaron los modelos CCR-O y de eficiencia cruzada descritos anteriormente. En primera medida se presentarán los resultados de la eficiencia obtenidos con el modelo CCR-O y posteriormente se mostrarán los resultados obtenidos mediante la aplicación de la

extensión al modelo DEA con eficiencia cruzada; al tiempo, compararemos las cifras resultantes con la clasificación dada por Colciencias a los grupos de investigación evaluados dentro de la convocatoria del año 2008. Finalmente, realizaremos un ejercicio de clasificación de los grupos dentro de las cinco categorías definidas por Colciencias, mediante análisis de conglomerados.

### 5.1. ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA UTILIZANDO EL MODELO CCR-O

En el modelo se consideraron las variables de entrada y salida propuestas. Los resultados se presentan en la tabla 3, donde la primera columna corresponde al nombre del grupo, la segunda a la eficiencia obtenida, la tercera se presentan los conjuntos de referencia lambda ( $\lambda$ ) para cada DMU ineficiente<sup>24</sup>; por último, se presenta la clasificación hecha por Colciencias a los grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería en la convocatoria de grupos de investigación del año 2008. Puesto que el modelo está orientado a las salidas, las puntuaciones de eficiencia son menores o iguales que 1, siendo 1 para los grupos de investigación eficientes.

Cinco (5) de los 34 grupos evaluados resultaron eficientes (14.7%); de ellos, se destacan como los de mayor desempeño, los grupos “G25” con (25) citas dentro del conjunto de referencia y “G23” con (17). Este comportamiento, obedece a que la eficiencia de estos, es más generalizable por tener más salidas con un aporte proporcionalmente significativo. No así los grupos “G34”, “G30” y “G7” que tienen un factor de eficiencia más especializado gracias a su alta producción en el índice de formación con relación a los valores presentados en las demás variables de salida.<sup>25</sup> Más adelante, con la aplicación de la extensión de

---

<sup>24</sup> Los valores lambda ( $\lambda$ ) indican el coeficiente o por ciento que la unidad ineficiente debe imitar de cada una de las unidades de referencia para llegar a alcanzar su óptimo.

<sup>25</sup> Un valor virtual alto, en un output o en un input, indica que la entidad en cuestión destaca especialmente por exhibir un rendimiento productivo favorable en ese input o en ese output, frente

DEA mediante el modelo de eficiencia cruzada, se espera corregir esta situación. La eficiencia promedio fue del 62.1%.

En principio los resultados arrojados, sugieren que el número de DMU en proporción con el producto de las entradas y salidas utilizadas, son suficientes para garantizar que el modelo contiene un poder adecuado de discriminación (suficientes grados de libertad), ya que no se observa un alto número de DMU, eficientes y el promedio de eficiencia no es significativamente alto.

En comparación con los resultados estimados por Colciencias en la convocatoria del año 2008, se encuentra que varios de los grupos obtuvieron una calificación considerablemente dentro de la escala de valoración de eficiencia de acuerdo con DEA, lo que los ubica en la parte superior de la tabla. Los grupos referencia por encontrarse ubicados sobre la frontera eficiente, son G7 y G25. Sin embargo, es importante tener en cuenta que una desproporción entre las variables de salida, al presentar un valor significativamente alto en comparación con las demás variables, podría sobre valorar el nivel de eficiencia del grupo. Esta desproporción es corregida mediante la aplicación del método de eficiencia cruzada. Por su parte todos los grupos clasificados por Colciencias en categoría A1 resultaron ser ineficientes, principalmente por el alto número de integrantes inscritos, lo cual hace que DEA subvalore su eficiencia, dado que con ese nivel de entradas se esperaría un mayor número de productos. El segundo de los grupos (G25) y los cuatro últimos grupos (G26, G10, G19 y G32), se encuentran catalogados en clasificaciones similares a las de Colciencias (A y D).

**Tabla 3:** Resultados del modelo CCR-O para 34 grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá

---

a las demás. Valores virtuales altos en unas variables y bajos en otras indican una especialización, y la eficiencia alcanzada así no sería tanto el resultado de un buen rendimiento global como el resultado de una actuación atípicamente excelente en alguna variable particular, de forma que al no poder competir con ella ninguna otra DMU, se convierte en eficiente.

| Nombre Grupo | Eficiencia | Conjunto de referencia lambda ( $\lambda$ ) |             | Clasificación Colciencias |
|--------------|------------|---------------------------------------------|-------------|---------------------------|
| G7           | 1          | G7(1)                                       |             | C                         |
| G25          | 1          |                                             | G25(1)      | A                         |
| G30          | 0.993      | G7(0.8204)                                  | G25(0.1436) | C                         |
| G34          | 0.7186     | G7(2.75)                                    |             | C                         |
| G24          | 0.6609     | G7(0.9907)                                  | G25(0.4074) | C                         |
| G18          | 0.6536     |                                             | G25(1)      | C                         |
| G31          | 0.6531     | G7(1.75)                                    |             | D                         |
| G1           | 0.5747     | G7(1.1837)                                  | G25(1.4531) | B                         |
| G20          | 0.5282     | G7(2.8443)                                  | G25(0.7246) | C                         |
| G9           | 0.5173     | G7(1.6487)                                  | G25(0.081)  | D                         |
| G3           | 0.4713     | G7(0.9886)                                  | G25(1.6091) | B                         |
| G23          | 0.469      | G7(0.4297)                                  | G25(3.0562) | A1                        |
| G6           | 0.4143     |                                             | G25(2.4)    | B                         |
| G12          | 0.3908     | G7(0.6158)                                  | G25(2.3074) | B                         |
| G16          | 0.3583     | G7(5.25)                                    |             | D                         |
| G8           | 0.3571     |                                             | G25(0.8)    | D                         |
| G15          | 0.3333     |                                             | G25(3)      | B                         |
| G13          | 0.2895     |                                             | G25(3)      | B                         |
| G14          | 0.2882     | G7(0.3386)                                  | G25(2.5291) | B                         |
| G2           | 0.2839     | G7(3.011)                                   | G25(3.1912) | A                         |
| G27          | 0.2833     | G7(4.5431)                                  | G25(1.9655) | B                         |
| G29          | 0.2785     | G7(1.24)                                    | G25(1.208)  | C                         |
| G4           | 0.2571     | G7(3.75)                                    |             | D                         |
| G11          | 0.248      | G7(2.516)                                   | G25(2.3872) | B                         |
| G33          | 0.2203     | G7(5.8558)                                  | G25(2.5153) | B                         |
| G26          | 0.2028     | G7(0.7579)                                  | G25(0.1937) | D                         |
| G5           | 0.1939     |                                             | G25(1.4)    | D                         |
| G22          | 0.1894     |                                             | G25(7.8)    | A1                        |
| G17          | 0.1792     |                                             | G25(5)      | C                         |
| G21          | 0.1476     | G7(1.3649)                                  | G25(9.7081) | A1                        |
| G10          | 0.1211     | G7(5.3589)                                  | G25(0.9129) | D                         |
| G28          | 0.1015     | G7(6.3537)                                  | G25(0.717)  | D                         |
| G19          | 0.0752     | G7(1.7575)                                  | G25(1.394)  | D                         |
| G32          | 0.0146     |                                             | G25(5.6)    | D                         |

Para los grupos de investigación ineficientes el análisis de las entradas es aún más importante puesto que su puntuación de eficiencia es la suma del

consumo de las entradas, lo que explica como la puntuación de eficiencia refleja un “exceso” en dichas variables. Esto es particularmente cierto, si se observa que los grupos con un menor grado de eficiencia son generalmente los grupos con mayor número de integrantes, los cuales en comparación con los grupos eficientes presentan una mala distribución del “exceso” presentado en esta variable, ya que se espera que su mayor aporte en capital humano se vea reflejado en una mayor cantidad de productos académicos.

DEA también propone una combinación de entradas  $\hat{x}_{r_0}$  y salidas  $\hat{y}_{r_0}$  necesarias para alcanzar la eficiencia (proyección de la frontera eficiente). En el Anexo No. 1 se muestra la proyección de dichos valores. Por tratarse de un modelo con orientación output, se muestran únicamente la proyección para las salidas, ya que son estos valores los más importantes para alcanzar la eficiencia a partir de las salidas virtuales, definidas como el producto del correspondiente valor real del output por el multiplicador asignado al grupo de investigación en la solución óptima del programa (Ruiz, 2006). Los valores virtuales permiten identificar áreas concretas de buenas prácticas productivas, debido a que las ponderaciones asignadas por el modelo a cada una de las salidas se obtienen bajo la condición de maximizar la eficiencia de las DMU. Así por ejemplo, el grupo “G28” debería incrementar de manera tal su producción académica que el INDICE\_NC se incremente en 0.0408, el INDICE\_NCA en 0.0485, el INDICE\_F en 0.0377 y el INDICE\_D en 0.0602.

La composición del grupo de referencia de cada uno de los grupos de investigación ineficientes es muy importante a la hora de implementar estrategias encaminadas a mejorar la eficiencia. Esta es una de las características más atractivas del DEA, ya que las prácticas productivas de cada grupo ineficiente se comparan con las de los eficientes dentro de su grupo de referencia. Este hecho toma particular relevancia cuando se evalúan las posibles medidas encaminadas a alcanzar la eficiencia, las cuales deben prestar mayor atención a los grupos de referencia que tengan más peso.

## **5.2. VALORACIÓN DE LA EFICIENCIA BAJO CON LA METODOLOGÍA DE EFICIENCIA CRUZADA**

De acuerdo con la metodología propuesta, se utilizó un modelo de eficiencia cruzada benevolente orientado a salidas, con el resultado del modelo CCR-O. Dado que la eficiencia cruzada toma valores entre 0 y 1, los valores cercanos a 1 serán los mejores y los cercanos a cero los menos productivos. Los resultados son presentados en la Tabla No. 4.

Al igual que con el modelo CCR-O, los grupos más destacados son “G25”, “G23”, “G34” y “G30” lo que coincide con la información presentada dentro del conjunto de referencias presentados en la tabla 3. El grupo “G7”, que inicialmente aparecía con un nivel de eficiencia igual a 1, con el modelo de eficiencia cruzada, desciende hasta obtener una clasificación por debajo del punto medio de la tabla (0.3239), debido a que la matriz de eficiencia cruzadas presenta la clasificación de productividad con el mismo conjunto de ponderaciones, lo que no ocurre con el modelo original CCR-O, que le otorga un elevado puntaje. Los grupos “G34” y “G30”, a pesar de que tienen una clara desproporción en sus variables de salida, se mantienen en los primeros puestos de la tabla, básicamente porque poseen valores eficientes en sus inputs, particularmente, en el input antigüedad, pues se trata de grupos relativamente jóvenes (5.9 y 4.0 años de antigüedad).

Salvo unos pocos casos (“G3”, “G5”, “G18” y “G31”), la mayoría de grupos conservan una posición similar a la obtenida con el modelo CCR-O, con algunos intercambios, producidos por la aplicación de las ponderaciones óptimas de los demás grupos, que hacen que los grupos que están cerca de ser eficientes obtengan una clasificación superior. Por su parte, los 13 últimos grupos siguen siendo los mismos; siendo los grupos “G19” y “G32”, los últimos de la tabla.

**Tabla No. 4:** Clasificación para 34 grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá utilizando Eficiencia cruzada vs. Clasificación de Colciencias

| Nombre Grupo | Eficiencia cruzada | Clasificación DEA: Eficiencia cruzada | Clasificación Colciencias |
|--------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| G25          | 1                  | 1                                     | A                         |
| G7           | 1                  | 0.9085                                | C                         |
| G30          | 0.993              | 0.8609                                | C                         |
| G24          | 0.6609             | 0.6231                                | C                         |
| G34          | 0.7186             | 0.6124                                | C                         |
| G31          | 0.6531             | 0.5416                                | D                         |
| G1           | 0.5747             | 0.5334                                | B                         |
| G20          | 0.5282             | 0.4715                                | C                         |
| G23          | 0.469              | 0.4708                                | A1                        |
| G3           | 0.4713             | 0.4629                                | B                         |
| G9           | 0.5173             | 0.4547                                | D                         |
| G12          | 0.3908             | 0.3856                                | B                         |
| G6           | 0.4143             | 0.321                                 | B                         |
| G16          | 0.3583             | 0.3009                                | D                         |
| G14          | 0.2882             | 0.2927                                | B                         |
| G15          | 0.3333             | 0.2798                                | B                         |
| G27          | 0.2833             | 0.2692                                | B                         |
| G2           | 0.2839             | 0.269                                 | A                         |
| G29          | 0.2785             | 0.2596                                | C                         |
| G11          | 0.248              | 0.2464                                | B                         |
| G13          | 0.2895             | 0.2343                                | B                         |
| G4           | 0.2571             | 0.2301                                | D                         |
| G33          | 0.2203             | 0.2102                                | B                         |
| G18          | 0.6536             | 0.2003                                | C                         |
| G22          | 0.1894             | 0.1927                                | A1                        |
| G26          | 0.2028             | 0.18                                  | D                         |
| G17          | 0.1792             | 0.1712                                | C                         |
| G5           | 0.1939             | 0.1581                                | D                         |
| G21          | 0.1476             | 0.1482                                | A1                        |
| G10          | 0.1211             | 0.1094                                | D                         |
| G28          | 0.1015             | 0.0924                                | D                         |
| G19          | 0.0752             | 0.0718                                | D                         |
| G8           | 0.3571             | 0.0636                                | D                         |
| G32          | 0.0146             | 0.0079                                | D                         |

De lo observado en la tabla 4 también podemos obtener indicios sobre el aprovechamiento de los recursos por parte de los grupos para producir los resultados mostrados. Al analizar la relación que existe entre la eficiencia y los valores del input, nos damos cuenta de que los 10 primeros grupos presentan en promedio 9.3 integrantes, contra los 23 integrantes que en promedio presentan los 10 últimos grupos. Estos resultados son previsibles, dado que DEA evalúa la productividad del grupo con base a los “insumos consumidos”, lo que nos permite señalar en este punto una crítica al modelo aplicado por Colciencias, el cual no incluye de manera directa dentro del Índice ScientiCol, ninguna variable de entrada.

### **5.3. CLASIFICACIÓN DE LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN MEDIANTE DEA Y ANÁLISIS DE CLUSTER**

Utilizando los resultados de los modelos CCR-O y de eficiencias cruzadas estimados, se agruparon los grupos mediante la técnica de análisis de cluster, método de las k-medidas, teniendo como referencia cinco clases, conforme al número de categorías de grupos definidos por Colciencias (A1, A, B, C y D). Los resultados por clase son presentados en la tabla 5.

La clasificación de las clases de la tabla 5, no representa un nivel jerárquico de acuerdo con la escala numérica que allí se define; sino que más bien, se presentan las clases conforme a la distancia entre ellas y el perfil medio; de esta manera, las clases 3 y 5 corresponden a las clases que presentan un perfil más alejado del perfil medio, mientras que la clase 3, el más cercano al centro. Dicha distribución puede ser apreciada en el gráfico 1, correspondiente al “Biplot” de distancias que permite representar los grupos en un plano de dos dimensiones, e identificar tendencias. Podemos observar que los grupos están bien representados



en los ejes, a partir de las contribuciones y los cosenos cuadrados. Los grupos cercanos presentan distribuciones parecidas en sus eficiencias.

**Tabla 5:** Análisis de conglomerados (K-means): Resultados por clase

| Clase                         | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Objetos                       | 8     | 11    | 11    | 3     | 1     |
| Suma de los pesos             | 8     | 11    | 11    | 3     | 1     |
| Varianza intraclase           | 0.209 | 0.079 | 0.188 | 0.206 | 0.000 |
| Distancia mínima al centroide | 0.049 | 0.085 | 0.105 | 0.159 | 0.000 |
| Distancia media al centroide  | 0.390 | 0.230 | 0.349 | 0.341 | 0.000 |
| Distancia máxima al centroide | 0.674 | 0.528 | 0.796 | 0.512 | 0.000 |
|                               | G1    | G2    | G5    | G7    | G18   |
|                               | G3    | G4    | G8    | G25   |       |
|                               | G9    | G6    | G10   | G30   |       |
|                               | G20   | G11   | G17   |       |       |
|                               | G23   | G12   | G19   |       |       |
|                               | G24   | G13   | G21   |       |       |
|                               | G31   | G14   | G22   |       |       |
|                               | G34   | G15   | G26   |       |       |
|                               |       | G16   | G28   |       |       |
|                               |       | G27   | G32   |       |       |
|                               |       | G29   | G33   |       |       |

Las tablas 6 y 7, muestran las estadísticas descriptivas del modelo y el resumen de la optimización aplicada.

**Tabla 6:** Estadísticas descriptivas

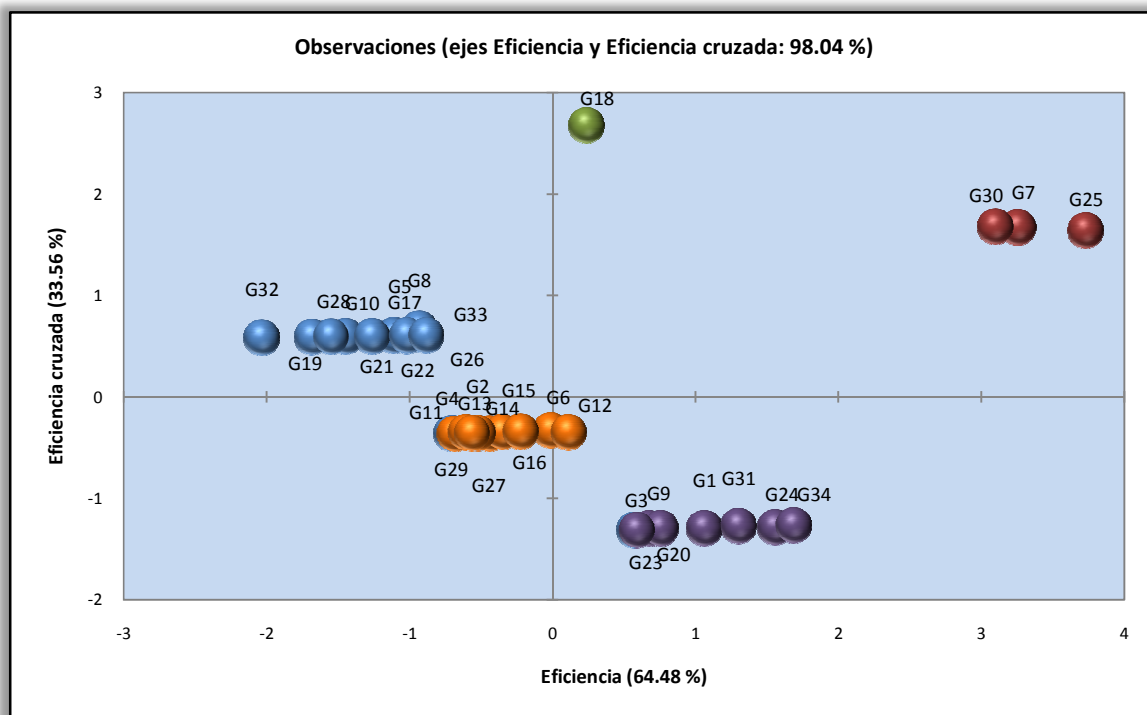
| Variable | Observaciones | Obs. con datos perdidos | Obs. sin datos perdidos | Mínimo | Máximo | Media | Desviación típica |
|----------|---------------|-------------------------|-------------------------|--------|--------|-------|-------------------|
| F1       | 34            | 0                       | 34                      | -2.020 | 3.763  | 0.000 | 1.412             |
| F2       | 34            | 0                       | 34                      | -0.443 | 1.124  | 0.000 | 0.261             |

**Tabla 6:** Resumen de optimización

| Varianza intraclase inicial | Varianza intraclase final |
|-----------------------------|---------------------------|
| 4.543                       | 0.157                     |

Basados en la ubicación de los cluster presentada en Gráfico 1, y conforme a la puntuación de las eficiencias de los modelos de CCR-O y la matriz de eficiencias cruzadas, se establecieron las clasificaciones de las clases de manera homologa a la definida por Colciencias. Los resultados son presentados en la tabla 7.

**Gráfico 1:** Análisis de conglomerados (K-means): Biplot de distancias a partir de contribuciones y cosenos cuadrados



Los resultados muestran como tres grupos (8.8%) con una buena eficiencia CCR-O y también una buena eficiencia cruzada son clasificados en categoría A1

(los grupos de mejor desempeño). De ellos, ninguno coincide con la clasificación de Colciencias para el año 2008.

En la segunda categoría correspondiente a la clase 3, es para los grupos en clasificación A de Colciencias; allí, figuran inscritos 11 grupos inscritos (32.4%); entre los cuales se encuentra un grupo clasificado en categoría A1 de acuerdo al índice ScientiCOL (G23): Los demás grupos se encuentran clasificados dentro del modelo de Colciencias, en categorías inferiores.

**Tabla 7:** Clasificación para 34 grupos de investigación utilizando los modelos CCR-O y de eficiencias cruzadas, agrupados mediante análisis de cluster

| Clase     | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Categoría | D   | B   | A   | A1  | C   |
|           | G1  | G2  | G5  | G7  | G18 |
|           | G3  | G4  | G8  | G25 |     |
|           | G9  | G6  | G10 | G30 |     |
|           | G20 | G11 | G17 |     |     |
|           | G23 | G12 | G19 |     |     |
|           | G24 | G13 | G21 |     |     |
|           | G31 | G14 | G22 |     |     |
|           | G34 | G15 | G26 |     |     |
|           |     | G16 | G28 |     |     |
|           |     | G27 | G32 |     |     |
|           |     | G29 | G33 |     |     |

Los grupos en clasificación B son ubicados en la clase 2. Once grupos figuran allí inscritos (32.4%), uno menos según la clasificación de Colciencias.

Las últimas dos clasificaciones, corresponden a los clusters de las clases 1 y 5, los cuales representan respectivamente las clasificaciones de los grupos C y D de Colciencias. Un solo grupo fue clasificado en C (G18) contra ocho grupos de Colciencias; y ocho en categoría D (23.52%), contra 11 grupos de Colciencias.

## 6. DISCUSIÓN

Varios asuntos registrados durante el desarrollo de la presente investigación requieren ser consignados en este aparte. El primero de ellos, tiene que ver con el alcance del estudio. En principio se tuvo la intención de incluir otros grupos de investigación inscritos en áreas del conocimiento diferentes a la ingeniería, pero dado que la medida de la eficiencia en términos relativos que realiza el DEA exige que las DMU's sean comparables con unidades productivas que compartan una misma tecnología de producción y que estén sujetas a un idéntico marco institucional, para lo cual es de mucha relevancia disponer de una muestra con un alto grado de homogeneidad, decidimos acotar nuestro estudio a la Facultad de Ingeniería de la Sede Bogotá.

Otro factor relevante a la hora de definir el alcance del modelo, fue la disponibilidad para acceder a la información detallada de los resultados de la convocatoria de grupos de investigación realizada por Colciencias para el año 2008. Como es bien conocido, Colciencias publica de manera consolidada la clasificación correspondiente conforme a los resultados del Índice ScientiCOL, pero resultados más discriminados como por ejemplo la puntuación obtenida por los grupos en los diferentes indicadores, no son de público acceso por lo que su consecución no fue un trámite sencillo. El haber acotado el área de estudio facilitó la consolidación y entrega de la información. Incluir una población más amplia hubiera requerido una mayor gestión en su aprobación, lo que habría afectado el cronograma presupuestado para el desarrollo de nuestro estudio. La información entregada por Colciencias, fue entregada previa firma de un acuerdo de confidencialidad, razón por la cual no se hace una referencia explícita al nombre de los grupos.

En segundo lugar, debemos referirnos al hecho de que el índice ScientiCOL, utilice de manera exógena al modelo, la antigüedad del grupo como un factor que condiciona la clasificación entre las categorías de grupos de investigación. Como fue demostrado en la presente investigación, la antigüedad del grupo es una variable que no se encuentra correlacionada de manera positiva con el incremento en la productividad de los grupos de investigación; y muy por el contrario, existen indicios de que puede llegar a afectarla de manera negativa, ya que los factores propios del proceso sociológico (adaptación a un entorno cambiante, capacidad para conseguir recursos permanentes para su gestión, la forma como enfrentan las dificultades, entre otros factores), pueden llegar a ser definitivos en los resultados obtenidos. A esta misma conclusión, llegaron Bernal y Rodríguez (2009), cuando al observar una muestra de grupos de investigación, encontraron que su desempeño no necesariamente mejoraba con el tiempo, ni es acumulativo.

Al dar una mirada a los datos consolidados por Colciencias dentro de la Convocatoria de Grupos del año 2008, encontramos que los de los diez grupos más antiguos de la Facultad de Ingeniería - UNAL, seis (60%) se encuentra en las categorías D y C de Colciencias, mientras que un solo grupo se encuentra en categoría A1.

Finalmente, consideramos importante que se estimen otras variables inputs dentro del modelo. Una variable a tener en cuenta sería los recursos con que operan los grupos de investigación, sin embargo, dicha variable no es fácil de definir, si se tiene en cuenta que los grupos de investigación pueden recibir recursos de entidades externas, de convenios interinstitucionales, de las dependencias promotoras de la investigación dentro de la misma Universidad, además de los salarios y emolumentos con que son remunerados mensualmente, los profesores inscritos como profesores de planta. Algunos de estos datos, no se encuentran disponibles o no son de público acceso.

## 7. CONCLUSIONES

El presente trabajo contribuye a las investigaciones basadas en DEA, que pretenden proponer nuevas metodologías para la evaluación y clasificación de los grupos de investigación, mediante la aproximación al concepto de productividad, que nos da una idea de que tan eficiente es un grupo en la utilización de sus recursos. Por tratarse de una metodología relativa que no tiene en cuenta un ideal sino que toma como referencia elementos existentes dentro del mismo conjunto, se acerca más a la evaluación de la eficiencia. Para esta valoración se utilizaron las tres dimensiones de la investigación definidas por Colciencias dentro del modelo de evaluación de grupos de investigación, esto es, la producción de nuevo conocimiento (discriminado entre nuevo conocimiento y nuevo conocimiento tipo A), la difusión de la investigación y formación de nuevos investigadores.

A pesar de que los resultados mostrados sugieren la eficiencia de los grupos de investigación como una medida para su ranking, desconociendo el proceso sociológico que determina sus dinámicas de producción; en principio, sirve para destacar los grupos que guardan un mejor equilibrio entre sus recursos y sus productos, teniendo presente los hechos observados y no proposiciones exógenas.

Tomando como referencia 34 grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Sede Bogotá, se comprobó que los modelos DEA pueden servir como referencia para solucionar algunas de los problemas que actualmente presenta el índice ScientiCol, principalmente en los siguientes aspectos:

- a. Con DEA no se requiere fijar criterios de ponderación previos<sup>26</sup> para los productos, y por lo tanto no se discrimina, a priori, a los grupos que por sus características (experiencia por ejemplo), no cuentan con suficientes unidades de producción en alguno de los índices de salida. Esto hace que la clasificación sea dinámica y ofrezca la posibilidad al grupo joven de ir subiendo posiciones dentro del escalafón; al mismo tiempo que se exige, a los grupos más consolidados mejores resultados para mantenerse en una condición de liderazgo.

El actual modelo de Colciencias, otorga una alta ponderación a la producción escrita, lo que sesga el modelo favorablemente asía los grupos con una mayor producción en esta categoría. Los grupos con una participación considerable en procesos de extensión de la investigación, no son valorados ecuánimemente, por lo que desestima el hecho de que el conocimiento pueda finalizar en un proceso de apropiación social. Fin último este, de la generación del conocimiento.

- b. Se pueden incluir en la evaluación entradas tan importantes como el tamaño del grupo, los recursos financieros y la experiencia del mismo. El índice ScientiCol, soporta sus resultados exclusivamente con la evaluación de los productos de los grupos; aspectos como la antigüedad, son apenas utilizados como un referente condicionante externo al modelo. Dichas entradas principales pueden ser motores para la generación de los productos, por lo que deben ser considerados a la hora de medir la eficiencia de un grupo, si lo que se espera es que el escalafón guarde una relación directa con la productividad.
- c. Dado que DEA, requiere que las DMUs sean comparadas con otras cuyas características de “producción” sean similares, su aplicación, en diversas áreas

---

<sup>26</sup> Los pesos asignados a los indicadores de producción se asignan por consenso de expertos. Cada uno de los indicadores mencionados está formado por los pesos de los productos, que son una función de R (peso relativo de cada producto), Ic (indicador de calidad del producto), le (indicador de existencia del producto) e Ivcu (indicador de visibilidad, circulación y uso).

exigiría la parametrización de modelos específicos que permitan la clasificación de los grupos entre unidades adscritas a una misma área de conocimiento. En suma, se abriría la posibilidad de establecer diferentes modelos para clasificar los grupos de investigación de acuerdo al tipo de conocimiento.

Este es un aspecto importante, sobre todo si se tiene en cuenta que el índice ScientiCol se ha estandarizado para la medición de todos los grupos, perdiendo de esta manera la posibilidad de diferenciar y valorar a los grupos de acuerdo con la disciplina que practican.

En general, la aplicación de DEA orientados a salidas, las extensiones implementadas para la clasificación (Matriz de eficiencias cruzadas) y la integración con otras herramientas de estadística multivariada (Análisis de clúster), nos ha permitido obtener para cada grupo las correspondientes puntuaciones de eficiencia, referencias, entradas y salidas medias, al igual que las proyecciones de eficiencia, a través de una metodología robusta y sencilla.

Por otra parte, los resultados presentados ofrecen información referente con oportunidades de mejora; a los grupos que no fueron bien evaluados se identifican el aumento necesario en sus salidas, además de los posibles ajustes a la participación que debería tener cada uno de sus integrantes. En cuanto los grupos bien evaluados, podrían identificar áreas que sirvan de referencia de aquellos grupos con una mayor eficiencia.

Dada la flexibilidad de DEA y su potencialización con otras extensiones estadísticas, se presentan futuras oportunidades de investigación, que busquen contrastar la coherencia de los resultados obtenidos, con los que puedan ser arrojados bajo procedimientos tales como el método de las frecuencias, supereficiencia, método de correlaciones canónicas o el de ratio-discriminante. Otras oportunidades de investigación, también pueden ser obtenidas, si se revisa las posibles incorporaciones de ponderaciones que reflejen la importancia relativa



del nivel académico de los integrantes de los grupos; o de los productos específicos de cada disciplina de conocimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- **Adler N. Friedman L. Sinuany-Stern Z.** “Review of ranking methods in the data envelopment analysis context”. *European Journal of Operational Research*. Vol. 140. Pág. 249-265. 2002.
- **Banker R.D. Chang H.** “The super-efficiency procedure for outlier identification, not for ranking efficient units”. *European Journal of Operational Research*. Vol. 175. Pág. 1311-1320. 2006.
- **Beasley, J. E.** “Determining teaching and research efficiencies”. *Journal of Operational Research Society*, 46, Pág. 441 – 452. 1995.
- **Bernal. G. y Rodríguez J.;** Los grupos de Investigación como sistemas adaptativos complejos (FIUNB, en Gestión del Conocimiento. Grupos de Investigación. Universidad Nacional de Colombia. 2009.
- **Charnes, A.; Cooper, W.; Lenin, A. y SEIFORD, L.** *Data Envelopment Analysis: Theory, methodology and applications*. Kluwer Academic Publishers, Boston. 1994.
- **Charum, J.** “Estructura científica y entorno social”. En *Estructura científica, desarrollo tecnológico y entorno social*. Bogotá: Misión de Ciencia y Tecnología. Ministerio de Educación Nacional (MEN), Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo (Fonade), Pág. 155-267. 1989.
- **Charum, J.; Montenegro, A., y Pardo, C. E.** “Sobre la gestión estratégica de la investigación y la tecnología: un modelo de análisis para el seguimiento de las actividades científicas y tecnológicas”. *UN Reportes* (69). Pág. 1-39. 1999.
- **CINDEC** - Comité de Investigaciones y Desarrollo Científico Universidad Nacional de Colombia. *Catálogo de Investigaciones 1994 – 1995*. Bogotá: Ediciones Antropos Ltda. 1994.
- **Colciencias.** Índice para la medición de Grupos de Investigación, Tecnológica de Innovación mayo de 2008. <http://www.colciencias.gov.co/portaicol/downloads/archivosSoporteConvocatorias/2264.pdf>
- **Colombia Visión 2019 de Ciencia, Tecnología e Innovación.** Departamento Administrativo de Planeación Nacional. A 2007.
- **Consejo de la Sede Bogotá.** Universidad Nacional de Colombia “Recurso Docente Antecedentes y Situación Actual 1989 – 2007. Documento para discusión”. 2008.
- **Cooper, W. Seiford, L. M., & Zhu, J.** *Handbook on data envelopment analysis*. Boston: Kluwer Academic. Pág. 1–39. 2004.
- **Cooper W. Seiford L. Tone K.** *Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references*. Ed. Springer. 2006.
- **Díaz Monroy L.** *Estadística multivariada. Inferencia y métodos*. Universidad Nacional de Colombia. Pág. 259-293. 2002.

- **Dyson R. Allen R. Camanho A. Podinovski V. Sarrico C. Shale E.** "Pitfalls and protocols in DEA". *European Journal of Operational Research*, Vol. 132. Pág. 3-17. 2001.
- **García, T y Gómez, M.** "Factores que determinan la eficiencia de los grupos de investigación en la Universidad". Hacienda Pública Española. Pág. 131 – 145. 1999.
- **Guan J. Wang J.** "Evaluation and interpretation of knowledge production efficiency". *Scientometrics*. Vol. 59. Pág. 131-155. 2004.
- **Johnes, G. y Johnes, J.** "Measuring the research performance of UK economics Department: An applications of Data Envelopment Analysis" Oxford Economic Paper, 45. Pág. 332-347. 1993.
- **Katzenbach, J y Douglas, S.;** La sabiduría de los equipos. 1 edición. Ediciones CECOSA. México. 1995.
- **Knorr, K. D. Mittermeir R. Aichholzer G. y Waller G.** Leadership and Group Performance: A Positive Relationship in Academic Research Units, en Andrews (Ed.) Scientific Productivity: The Effectiveness of Research Groups in Six Countries. 1979.
- **Latour, B.** "Science in Action: How to Follow Engineers and Scientists Through Society. Open University" Press, Milton Keynes. 1987.
- **Láscaris-Comneno, T.** "Estructura Organizacional para la Innovación Tecnológica. El caso de América Latina", Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología e Innovación. 2002.
- **Láscaris-Comneno, T.** "Un paradigma de planificación del desarrollo sustentado en indicadores de la sociedad de la información y el conocimiento en Agenda 2008. Indicadores de Ciencia y Tecnología en Iberoamérica". RICYT Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología. Buenos Aires Argentina. 2008.
- **Mejía A. J.** La investigación en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional en Bogotá (FIUNB, en Gestión del Conocimiento. Grupos de Investigación. Universidad Nacional de Colombia. 2009.
- **Oficina Nacional de Planeación,** Universidad Nacional de Colombia. "Catalogo de Estadísticas e Indicadores de la Universidad Nacional de Colombia". Revista No. 14. Issn 0123-8566. 2009.
- **Oral, M. y Yoland, R.** "An empirical study on measuring operating efficiency and profitability of bank branch". *European Journal of Operational Research*. Vol. 46(3). Pág. 282-294. 1990.
- **Orozco L. E.** "Educación superior: desafío global y respuesta nacional, tomo II. Bogotá: Ediciones Uniandes. 2001.
- **PNUD.** "Informe de Desarrollo Humano 2005, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo", Nueva York, Oxford University Press 2005.
- **Prat A.** "La importancia de medir la producción científica. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica". CONICYT, Chile. 2007.
- **Reforma Académica. Documentos,** Universidad Nacional de Colombia. Vicerrectoría Académica. Bogotá. 1995.

- **Restrepo M. y Villegas J.**, Clasificación de grupos de investigación colombianos aplicando análisis envolvente de datos. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia. N.o 42. pp. 105-119. Diciembre, 2007.
- **Ruiz, C.** “La medida de la eficiencia técnica de los grupos de investigación del área de economía de la Universidad de Málaga”. Cuadernos de ciencias económicas y empresariales. Papeles de trabajo, No. 32. 2006.
- **Ruiz, C; Bonilla, R; Chavarro, D; Orozco, L; Zarama, R; Polanco, X.** “Efficiency measurement of research groups using Data Envelopment Analysis and Bayesian networks”. Scientometrics, Volume 83, Number 3. 2010.
- **Steinmuller, W.** “Las economías basadas en el conocimiento y las tecnologías de la información y la comunicación”, Revista Internacional de Ciencias Sociales, No. 171, Marzo. 2002.
- **Stiglitz, J.** Making Globalization Work, WW Norton. 2006.
- **Torgersen A. Forsund F. Kittelsen S.** “Slackadjusted efficiency measures and ranking of efficient units”. *Journal of Productivity Analysis*. Vol. 7. Pág. 379-398. 1996.
- **Unimedios,** Universidad nacional de Colombia “Medición de la Ciencia y la Tecnología En Colombia. Modelo que pierde vigencia y urge de Cambios Fundamentales”. En Claves para el Debate Público, Número 31. 2009.
- **Universidad Nacional de Colombia.** Rectoría. “Serie Documentos de Trabajo N° 2: Las Reformas Académicas en la Universidad Nacional de Colombia. Proyecciones y realizaciones 1935 – 1995”. Bogotá. 2004.
- **Universidad Nacional de Colombia.** Dirección Nacional de Investigación. Investigación en la Universidad Nacional 1990 – 1999. Una década de aciertos, inciertos y desconciertos. Bogotá (2001).
- **Villaveces, J. L.** “Los grupos de investigación en la universidad colombiana año 2000”. 2001. En L. E. Orozco (comp.), *Educación superior: desafío global y respuesta nacional*, tomo II. Bogotá: Ediciones Uniandes
- **Villaveces, J. L.,.** “Por qué es necesario refinar el modelo de medición de grupos de investigación en Colombia”. Disponible en <http://www.colciencias.gov.co/web/guest/scientihome> . 2009.
- **Villaveces, J. L.** “Diseño y cálculo de índices para comparar el comportamiento del escalafón de los grupos de investigación de 6 universidades colombianas”. En “La investigación en Uniandes 2006. Una aproximación desde la cienciometría”, Bogotá, Universidad de los Andes, 2007

## ANEXOS

### ANEXO No. 1

Resultados del modelo CCR-O: Proyección de la frontera de eficiencia para los grupos ineficientes

| Grupo | Proyección Salida1 | Proyección Salida1 | Proyección Salida1 | Proyección Salida1 |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| G25   | 0.677              | 0.8053             | 0.6265             | 1                  |
| G7    | 0.147              | 0.1579             | 0.506              | 0.4082             |
| G30   | 0.5382             | 0.6402             | 0.4981             | 0.795              |
| G24   | 0.3571             | 0.4247             | 0.3304             | 0.5274             |
| G34   | 0.7765             | 0.9237             | 0.7186             | 1.147              |
| G31   | 0.4081             | 0.4854             | 0.3777             | 0.6028             |
| G1    | 0.5387             | 0.6408             | 0.4986             | 0.7958             |
| G20   | 0.5708             | 0.6789             | 0.5282             | 0.8431             |
| G23   | 0.5068             | 0.6028             | 0.469              | 0.7486             |
| G3    | 0.362              | 0.4306             | 0.335              | 0.5347             |
| G9    | 0.2559             | 0.3044             | 0.2368             | 0.378              |
| G12   | 0.29               | 0.345              | 0.2684             | 0.4284             |
| G6    | 0.2789             | 0.3317             | 0.2581             | 0.4119             |
| G16   | 0.3685             | 0.4383             | 0.341              | 0.5443             |
| G14   | 0.1576             | 0.1874             | 0.1458             | 0.2328             |
| G15   | 0.2257             | 0.2684             | 0.2088             | 0.3333             |
| G27   | 0.3061             | 0.3641             | 0.2833             | 0.4521             |
| G2    | 0.3067             | 0.3648             | 0.2839             | 0.4531             |
| G29   | 0.116              | 0.138              | 0.1074             | 0.1714             |
| G11   | 0.1841             | 0.2189             | 0.1703             | 0.2719             |
| G13   | 0.1702             | 0.2025             | 0.1575             | 0.2515             |
| G4    | 0.1356             | 0.1613             | 0.1255             | 0.2003             |
| G33   | 0.2381             | 0.2832             | 0.2203             | 0.3516             |
| G18   | 0.2892             | 0.344              | 0.2676             | 0.4272             |
| G22   | 0.1894             | 0.2253             | 0.1753             | 0.2797             |
| G26   | 0.0224             | 0.0267             | 0.0208             | 0.0332             |
| G17   | 0.1087             | 0.1293             | 0.1006             | 0.1605             |
| G5    | 0.0356             | 0.0424             | 0.033              | 0.0526             |
| G21   | 0.1595             | 0.1898             | 0.1476             | 0.2357             |
| G10   | 0.052              | 0.0619             | 0.0481             | 0.0768             |
| G28   | 0.0408             | 0.0485             | 0.0377             | 0.0602             |

| <b>Grupo</b> | <b>Proyección Salida1</b> | <b>Proyección Salida1</b> | <b>Proyección Salida1</b> | <b>Proyección Salida1</b> |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| G19          | 0.0108                    | 0.0128                    | 0.01                      | 0.0159                    |
| G8           | 0.0691                    | 0.0822                    | 0.0639                    | 0.102                     |
| G32          | 0.0008                    | 0.001                     | 0.0007                    | 0.0012                    |