



# Metodología basada en proceso de jerarquía analítica (AHP) para seleccionar cadenas productivas que buscan soluciones de automatización a bajo costo

Diego Gómez Montoya<sup>1</sup>

Germán Méndez Giraldo<sup>2</sup>

Edgar Méndez Morales<sup>3</sup>

Giovanni Ortiz Chavarro<sup>4</sup>

Álvaro Turriago Hoyos<sup>5</sup>

## Resumen

Este documento presenta la metodología utilizada para la identificación, ordenamiento y selección de tres cadenas productivas dentro de un conjunto de 20 posibles candidatas (17 de ellas denominados prioritarias y las 3 restantes promisorias), sugeridas por la Agenda Interna para la Productividad y Competitividad de Bogotá-Cundinamarca, enmarcado dentro del proyecto de investigación titulado "Mediante metodologías de inteligencia competitiva y esquemas de asociatividad, desarrollar una oferta de bienes y servicios de automatización de bajo costo que satisfaga las necesidades de modernización de tres cadenas productivas, clientes potenciales del Clúster de la industria electro electrónica de Bogotá y Cundinamarca"; este proyecto fue financiado por Colciencias y desarrollado por el CIDEI (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Industria Electro Electrónica e Informática) y la Universidad de Cundinamarca.

Dichas cadenas se abordaran en el futuro cercano con el objeto de seleccionar algunas empresas en las cuales se realizará un proceso destinado a generar soluciones de automatización de bajo costo que redundaran en mayores niveles de productividad.

Se definieron por parte del grupo de Investigadores los conjuntos de variables que sirvieron de criterio para la selección de las cadenas, posteriormente se determinó la importancia relativa de cada criterio, utilizando el Proceso de Jerarquía Analítica o AHP (acrónimo de las palabras Analytic Hierarchy Process), mediante las calificaciones asignadas por parte de un grupo ampliado y conformado por expertos invitados, investigadores y los empresarios del Clúster de la Industria Electro Electrónica, que serán los beneficiarios directos del proyecto de investigación.

Se tuvo en cuenta el peso relativo de cada criterio, y la metodología para realizar su cuantificación ya que estos pueden ser calificados de forma cualitativa o cuantitativa, según su naturaleza y de acuerdo a la escala definida, por parte de los investigadores.

Al final de dicho estudio se seleccionaron las cadenas de Alimentos con Valor Agregado, Textiles y Confecciones y Flores.

**Palabras clave:** Cadenas productivas, Proceso de Jerarquía Analítica, AHP, criterios de selección.

**Methodology based in Analytic Hierarchy Process (AHP) to select production chains looking for low cost automation solutions.**

## Abstract

This paper presents the methodology used in order to identify and select three production chains, based in a set of 20 possible chains (17 of them so called "Priority" and the rest of them called "promissory Chains"). The document is framed into the project called "By means of Competitive Intelligence methodologies and asociativeness schemas, to develop a supply in assets and services of low cost automation which satisfy the requirements of modernization on three productive chains, potentially clients of the Electro Electronic Industry Cluster of Bogotá and Cundinamarca"; the project has been financed by Colciencias and developed by CIDEI (Center of Investigation and Technological Development of the Electro Electronic and Informatics Industry, for his Spanish abbreviation) and the Cundinamarca University.

<sup>1</sup> Miembro IIE y Grupo de Investigación Sistemas Expertos y Simulación.

<sup>2</sup> Co-Director Grupo de Investigación Sistemas Expertos y Simulación. Investigador del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Industria Electro Electrónica e Informática CIDEI.

<sup>3</sup> Investigador del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Industria Electro Electrónica e Informática CIDEI.

<sup>4</sup> Investigador del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Industria Electro Electrónica e Informática CIDEI.

<sup>5</sup> Director de Investigación de la Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas.

La toma de decisiones de acuerdo a múltiples criterios donde a cada uno de ellos se le puede asignar un peso y a cada alternativa de selección se puede asociar una calificación por criterio, fue abordada por Saaty quien propone el Método AH.

These chains will be boarded in the close future in order to select companies in which will be made a process destined to generate low cost automation solutions whose will generate highest productivity levels.

The set of variables that served like as criteria for the selection was defined by the group of researchers and to determine the relative importance of each criterion in the weighted average was used the Analytical Hierarchy Process or AHP, by using the qualifications assigned in several rounds on the part of a group formed by experts, researchers and industrialists of the Electronic sector.

Having the relative weight of each criterion, those will be described as qualitative or quantitative form, by their nature and according to researchers' scale, presenting the priority order in which the chains had to be boarded according to the defined criteria to fulfill the project objective.

At the end of the investigation, the productive chains of Foods with added value, Textiles and Dressmaking and Flowers were selected.

**Key word:** Productive chains, Analytic Hierarchy Process (AHP), selection criteria.

## 1. Introducción

El presente documento establece la metodología con la cual se realizó la selección de tres (3) cadenas productivas para el proyecto "Mediante metodologías de Inteligencia Competitiva y Esquemas de Asociatividad, desarrollar una oferta de bienes y servicios de automatización de bajo costo, que satisfaga las necesidades de modernización de tres cadenas productivas, clientes potenciales del Clúster de la industria electro electrónica de Bogotá y Cundinamarca", desarrollado por el CIDEI (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Industria Electro Electrónica e Informática) y la Universidad de Cundinamarca, con la colaboración de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y la Universidad de la Sabana.

Para cumplir con los objetivos de dicho proyecto se desea diagnosticar un conjunto de cinco (5) empresas por cada cadena seleccionada y definir los procesos críticos que permitan la elaboración de soluciones de automatización transversales a bajo costo y que

sean atractivas para el Clúster de la Industria Electro Electrónica de Bogotá y Cundinamarca.

Es claro que a partir del diseño de los paquetes de automatización, control e instrumentación de bajo costo se promoverá la iniciación de procesos de incorporación de tecnologías de la información (eléctrica, electrónica, informática y telecomunicaciones) en las pequeñas y medianas empresas de las cadenas prioritarias, pero para ello es indispensable realizar un adecuado proceso de selección de las cadenas productivas.

## 2. Marco Teórico

La toma de decisiones de acuerdo a múltiples criterios donde a cada uno de ellos se le puede asignar un peso y a cada alternativa de selección se le asocia una calificación por criterio, fue abordada por Saaty quien propone el Método AHP (Analytic Hierarchy Process) [1]. Debido a que se dispone de una gran cantidad de variables a tener en cuenta para la selección de las cadenas, y que adicionalmente no se sabe con certeza cuál es el más importante, dado que el proceso de estudio resulta novedoso y no hay información disponible, se decide recurrir al método de Saaty, es decir el AHP.

A partir de esta herramienta se han realizado algunos análisis y aportes tendientes a analizar la forma en pueden analizarse las calificaciones de importancias relativas y la manera en que se evalúa consistencia para un número de criterios limitado [2] y [3]. Algunos autores han combinado AHP con otras técnicas como DEA (Data Envelopment Analysis) para tomar decisiones basadas en argumentos más sólidos [4]

También se han realizado trabajos puramente aplicativos del Proceso de Jerarquía Analítica propuesto por Saaty, orientados a escoger una alternativa de acuerdo a un objetivo específico en un ámbito específico [5] y [6].

### 2.1. AHP

Un aspecto teórico de interés para diseñar una metodología de selección y en general de cualquier proceso de decisión donde existen múltiples objetivos es el análisis jerárquico.

Este proceso se basa en que los elementos que afectan la decisión (es decir los criterios

utilizados para tomar las decisiones y las alternativas de selección), son representados en niveles, el nivel más bajo comprende las alternativas de selección. Una vez se construye la jerarquía el procedimiento consiste en priorizar: que consiste en dar una importancia relativa a cada elemento en cada nivel de dicha jerarquía.

El grupo de decisión puede expresar sus preferencias entre cada dos elementos en relaciones como "igualmente preferidos", "moderadamente preferido", "fuertemente preferido", "muy fuertemente preferido" ó "extremadamente preferido"; estas relaciones cualitativas pueden ser calificadas con valores "1", "3", "5", "7" ó "9" y se pueden dejar los valores pares para valores intermedios en el juicio de calificación entre alternativas que presentan dificultad en su valoración. Por ejemplo, si tenemos tres Criterios de decisión, habrá tres comparaciones: el primero con el segundo, este con el tercero y el primero con el último. Así se asignan las importancias relativas o pesos.

Cuando se tiene la matriz de comparación se deben obtener los pesos relativos para cada elemento, lo cual no es otra cosa que un auto vector normalizado que se asocia a aquel mejor juicio o el de mayor auto valor.

Para corroborar que las calificaciones que se asignaron presentan consistencia se realiza el siguiente procedimiento:

El peso compuesto de cada criterio se calcula mediante la multiplicación vectorial de cada calificación del criterio frente a los demás y los pesos obtenidos luego de la Normalización (es decir el vector fila calificación del criterio frente al vector columna de pesos de todos los criterios).

El resultado del paso anterior por criterio se divide entre el peso del criterio, para obtener la proporción de consistencia de cada Criterio; enseguida se obtiene un promedio con las proporciones de consistencia de todos los criterios (Promedio de Consistencia). Luego se halla el índice de consistencia aplicando la siguiente ecuación:

$$IC = \frac{PC - n}{n - 1} \quad (1)$$

Donde,

IC = índice de Consistencia

PC = Promedio Consistencia

n = Número de criterios

También se halla el índice de consistencia aleatorio dado por:

$$ICA = \frac{1,98 * (n - 2)}{n} \quad (2)$$

y la razón de consistencia que está dada por:

$$RC = \frac{IC}{ICA} \quad (3)$$

Esta razón es en realidad el estadígrafo de aceptación, si es menor que 0,1, el nivel de inconsistencia no es elevado y por tanto la calificación es aceptable [1] y [7].

## 2.2. Método de Expertos

El método de expertos es un conjunto de pasos en los que aplica y participan un grupo de expertos con un adecuado conocimiento de las particularidades de un problema específico. La determinación depende de la experiencia acumulada y la calificación de los especialistas que realizan la evaluación. Su empleo persigue la selección y evaluación de todas o algunas características de un proceso. Se aplican cuando no sea posible técnica o económicamente emplear métodos experimentales o de cálculo para evaluar las características propias del proceso. Han resultado especialmente exitosos para los procesos de calidad con la aplicación general en la evaluación de característica de calidad organoléptica, ergonómica, etc.

Por otro lado, se considera que un experto es un especialista con determinadas características que le permitan trabajar en la evaluación de los procesos objeto de estudio por parte de un grupo de expertos.

El grupo de expertos es un conjunto de investigadores organizados en un grupo de trabajo cuya tarea fundamental es evaluar un proceso. Este grupo es el encargado de emitir los criterios para evaluar la calidad del producto.

Este grupo debe estar conformado entre 7 y 15 personas para mantener un nivel de confianza y calificación elevado. La determi-

La determinación depende de la experiencia acumulada y la calificación de los especialistas que realizan la evaluación.

Para identificar los criterios se concluyó que se pueden seleccionar cadenas y/o empresas de mucho interés para el desarrollo de la región de Bogotá - Cundinamarca

nación del número de expertos se realiza utilizando criterios basados en la distribución binomial de probabilidad. En la medida en que se aumenta la cantidad de expertos en un grupo aumentará la cantidad de estos con menos calificación y en la medida en que se disminuya, disminuye el nivel de confianza de los resultados.

En el trabajo creativo basado en un grupo de expertos los métodos más utilizados son los siguientes:

1. **Lluvia de ideas** (Brain Storming): Es una herramienta de trabajo grupal que facilita el surgimiento de nuevas ideas sobre un tema o problema determinado. La lluvia de ideas es una técnica de grupo para generar ideas originales en un ambiente relajado. Esta herramienta fue creada en el año 1941, por Alex F. Osborne, cuando su búsqueda de ideas creativas resultó en un proceso interactivo de grupo no estructurado que generaba más y mejores ideas que las que los individuos podían producir trabajando de forma independiente; dando oportunidad de sugerir sobre un determinado asunto y aprovechando la capacidad creativa de los participantes [8].
2. **Valoración de factores:** Es un procedimiento de puntuación para incorporar los juicios basados en un número de criterios, se pueden utilizar diferentes factores como lo pueden ser los de carácter económico o financiero. La puntuación de los criterios o factores se suele complementar con la asignación de pesos para distinguir la importancia de cada criterio.
3. **Método Delphi:** Pretende extraer y maximizar las ventajas que presentan los métodos basados en grupos de expertos y minimizar sus inconvenientes. Para ello se aprovecha la sinergia del debate en el grupo y se eliminan las interacciones sociales indeseables que existen dentro de todo grupo. De esta forma se espera obtener un consenso lo más fiable posible del grupo de expertos. En la realización de un Delphi aparece una terminología específica: La Circulación, es cada uno de los sucesivos cuestionarios que se presenta al grupo de expertos; el Cuestionario es el documento que se envía a los expertos. No es sólo un documento que contiene una lista de preguntas, sino que es el documento con el

que se consigue que los expertos interactúen, ya que en él se presentarán los resultados de anteriores circulaciones. El Panel es el conjunto de expertos que toma parte en el Delphi y el Moderador es la persona responsable de recoger las respuestas del panel y preparar los cuestionarios [9].

El desarrollo de la metodología que a continuación se expondrá parte del criterio de Expertos que facilitaron la definición de las variables o criterios a utilizar su calificación y los criterios para la ponderación final.

### 3. Metodología de Selección de Cadenas

Puesto que se pretende por parte de las empresas de la industria eléctrica y electrónica llegar a ofertar bienes y servicios que den una respuesta integral a diferentes cadenas productivas (Ver Tabla I), se requiere de un análisis estratégico de éstas con base en información de fuentes secundarias (diagnósticos, estudios, análisis de brechas, caracterizaciones, etc.); con estos se logra un análisis que mide el grado de competitividad de las cadenas y sus necesidades de automatización, contemplando las potencialidades para exportación. Este enfoque permite tener una visión integral de cada una de las cadenas en sus aspectos fundamentales y en sus necesidades. Para ello se lleva a cabo la identificación de las variables que inciden en el comportamiento de las cadenas productivas y se usan herramientas como la construcción de una matriz para la calificación y selección de dichas cadenas mientras el peso ponderado de cada variable se halla utilizando AHP.

#### 3.1. Identificación de criterios

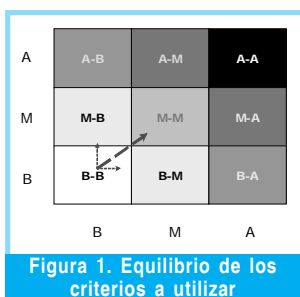
Para identificar los criterios se concluyó que se pueden seleccionar cadenas y/o empresas de mucho interés para el desarrollo de la región de Bogotá - Cundinamarca pero que no estén interesadas en servir de objeto de diagnóstico para esta investigación; o que por el contrario sintiéndose motivadas a colaborar no sean proclives a mejorar los niveles de utilización de automatización de bajo costo, estos son extremos que deberían evitarse para garantizar un equilibrio y éxito final de la investigación ver figura 1.



**Tabla I. Cadenas productivas a evaluar \***

Sector	Cadena	Código
Agro-industria	Flores	CP1
	Frutales exportables + Hortalizas	CP2
	Hierbas aromáticas y medicinales	CP3
	Lácteos con valor agregado	CP4
	Productos alimenticios con valor agregado	CP5
Industria	Textiles y confecciones	CP6
	Productos químicos y plásticos	CP7
	Otros productos químicos: cosméticos, productos de aseo, farmacéuticos y agroquímicos	CP8
	Papel, imprenta, editoriales y artes gráficas	CP9
	Automotor y autopartes	CP10
	Bebidas	CP11
	Material de construcción, cerámica y vidrio	CP12
Servicios	Turismo	CP13
	Salud de alta complejidad	CP14
	Informática, telecomunicaciones y desarrollo de software	CP15
	Empresariales y profesionales	CP16
Sectores Promisorios	Coques y semicoques de hulla	CP17
	Biocombustibles	CP18
	Artículos de cuero, calzado y marroquinería	CP19

\*Las veinte (20) cadenas iniciales, se reducen a diecinueve (19), Frutales Exportables y Hortalizas se agruparon debido a que la información está presentada de forma agrupada.



Como se observa en la figura, se tiene dos características básicas a considerar, el impacto y la oportunidad de éxito, en últimas se refiere a la eficiencia y a la

efectividad de la investigación, ya que con el impacto se quiere que este estudio permita escoger aquellas cadenas y a aquellas empresas que realmente se beneficien de los procesos de automatización de bajo costo y que por ende fortalezcan el desarrollo del Clúster de la Industria Electro Electrónica, esto se considera como alcanzar la meta de la investigación (medida de efectividad).

Por otro lado, se busca que los esfuerzos económicos, científicos y humanos que se inviertan en esta investigación se usen de la mejor manera y que no se vean truncados por una mala escogencia de la cadena y posterior-

mente de las empresas, esto es, que estos actores no se interesen demasiado por el estudio y por lo tanto dificulten los logros de los objetivos; es por ello que se habla del uso racional del recurso (medida de eficiencia).

Mediante una técnica grupal se listan la mayor cantidad de posibles criterios de impacto y de posibilidad de éxito (viabilidad) para la selección de cadenas/empresas, para ello se utilizaron estudios previos y la técnica de lluvia de ideas (brain storming). A continuación se listan algunos de los posibles criterios a utilizar en la selección de cadenas y/o empresas, en estricto orden alfabético:

- Acceso a canales de distribución y ventas
- Acceso al crédito
- Afectación de las leyes y normas
- Afectación del mercado laboral
- Aporte a la productividad de Bogotá
- Aporte al PIB
- Apoyo de servicios existentes
- Apoyo del gobierno
- Apoyo de comunidad científica
- Apoyo extranjero
- Calidad de proveedores de materiales e insumos
- Capacidad de endeudamiento
- Capacidad de incorporar tecnología y/o automatización de bajo costo
- Capacidad de captar recursos de financiación
- Centros de Investigación Asociados
- Conocimiento del mercado
- Conocimiento de las asociaciones gremiales
- Conocimiento de los eslabones productivos
- Conocimiento de la cadena
- Coordinación de la cadena productiva hacia adelante
- Coordinación de la cadena productiva hacia atrás
- Disponibilidad de capital
- Documentos de diagnóstico
- Energía consumida
- Existencia de estudios de Brecha Tecnológica
- Evolución de la estructura organizativa
- Experiencia del cadena en el mercado
- Exportación
- Generación de empleo
- Impacto del y hacia el medio ambiente
- Indicadores de productividad
- Información de mercado

Existe pluralidad de enfoques entre las diferentes profesiones y sectores profesionales a la hora de definir la importancia de algunos criterios. La metodología AHP puede ayudar a subsanar estas diferencias.

- Interés en automatizar
- Interés en vincularse al proyecto
- Interés por este tipo de cadenas productiva por parte de las empresas del Clúster
- Inversión neta hecha por la cadena
- Número de establecimientos
- Organización Gremial
- Personal ocupado
- Presupuesto para investigación y desarrollo
- Realización de todos los procesos productivos
- Tecnología utilizada en el proceso productivo
- Tecnología utilizada en maquinaria y equipo
- Trabajos con instituciones de I&D
- Valor activos fijos
- Valor agregado por la cadena

### 3.2. Criterios de Impacto y Viabilidad

Se seleccionaron aquellos que fueron considerados por los investigadores como los más relevantes - en total doce (12) - y se agruparon en función de la afinidad de unos con otros dentro de las dos grandes clases de impacto y viabilidad. En la Tabla II se presentan los criterios como fueron clasificados: En Impacto (a) y Viabilidad (b).

Tabla II. Agrupación de criterios	
<b>(a) CRITERIOS DE IMPACTO</b>	
Aporte a la productividad de Bogotá	
Aporte al PIB	
Número de Establecimientos	
Personal Ocupado	
Experiencia de la cadena en el mercado	
Capacidad de incorporar tecnología y/o automatización de bajo costo	
Apoyo del Gobierno	
Valor de las Exportaciones	
<b>(b) CRITERIOS DE VIABILIDAD</b>	
Interés en vincularse al proyecto	
Interés por este tipo de cadenas productiva por parte de las empresas del Clúster	
Documentos de diagnóstico	
Organización Gremial o Centro de Investigación	

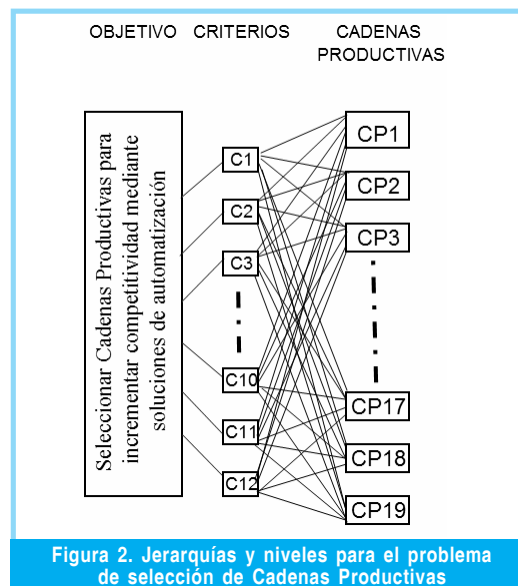
### 3.3. Codificación de Criterios para AHP

Los criterios para ser utilizados en una matriz de comparaciones, fueron denotados mediante la letra C, como se muestra a continuación:

- Aporte al PIB (C1)
- Aporte a la productividad de Bogotá (C2)
- Número de establecimientos (C3)
- Personal ocupado (C4)
- Documentos de diagnóstico (C5)
- Organización Gremial (C6)

- Valor de las Exportaciones (C7)
- Interés en vincularse al proyecto (C8)
- Experiencia en el mercado (C9)
- Capacidad de incorporar tecnología y/o automatización de bajo costo (C10)
- Apoyo del gobierno (C11)
- Interés por este tipo de cadenas productiva por parte de las empresas del Clúster (C12)

Con la codificación asignada a los criterios y a las cadenas se puede representar la selección de Cadenas Productivas Mediante la Figura 2.



### 3.4. Calificación de importancias relativas y evaluación de consistencia

Se procede a calificar entre pares de criterios la preferencia relativa, esto es la importancia que tiene cada criterio con respecto a los otros (Según el método de análisis jerárquico presentado en el marco teórico), mediante el diligenciamiento de un formato diseñado para tal fin. En total veintiún (21) encuestas fueron procesadas por parte de los ingenieros adjuntos, ingenieros investigadores vinculados al proyecto, representantes de empresas de la industria eléctrica y electrónica y otros profesionales vinculados al CIDEI; este grupo estaba compuesto por personas con diferentes profesiones como: ingenieros electrónicos, de sistemas e industriales, economistas, agrónomos y sociólogos; haciendo que existiera una pluralidad de criterios y visiones diferentes sobre la importancia de cada variable, incluso dentro de los profesionales de la misma área.

A continuación se presenta a manera de ejemplo el desarrollo de la metodología AHP, de acuerdo a las calificaciones asigna-

das por parte de uno de los investigadores, ver Tabla III.

Posteriormente y según lo que se indica en la metodología del AHP se normaliza la matriz de calificación de criterios. Esto se obtiene ponderando por columna las calificaciones de tal suerte que su suma sea 1. Esto se muestra en la tabla IV. Luego a partir de esta matriz normalizada, se debe promediar los pesos por cada criterio, desde luego se cumple que la suma de los pesos de los criterios sea igual a 100.

Es necesario verificar la consistencia de la comparación de criterios y que compone esta calificación, para ello se debe calcular el valor de la matriz de comparación por el valor de los pesos. Esto es  $CxP^t$  donde C es la matriz de comparación y P es el vector de pesos normalizados de los criterios. Esto se da en la tabla V. Estos valores permiten obtener el valor promedio de la suma de la proporción de consistencia (PC) que hace cada criterio en la evaluación total. Este valor se obtiene de la siguiente expresión:

$$PC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{CxP^t}{P^t} \quad (4)$$

Este valor PC es igual a 12,858 y permite calcular el Índice de consistencia IC, según la ecuación (1). Este valor es igual a 0,078 y permite compararlo con el Índice aleatorio ICA (2) que permite entender variaciones de la consistencia por efectos no predecibles; En este caso con  $n=12$ , ICA arroja un valor de 1,65.

Si la RC (3)  $< 0,1$  el grado de consistencia es satisfactorio para los pesos asignados a los diferentes criterios. Para este caso  $RC = 0,047$  que demuestra la consistencia de los pesos asignados a los criterios.

Una vez se recibieron las diferentes encuestas para determinar el peso de los criterios, se encontró que si el agente encuestado pertenecía a una de las empresas beneficiarias del proyecto (Clúster), o al sector académico, su visión sobre los pesos relativos era diferente; es así como los representantes de las empresas daban mayor peso a exportaciones y apoyo del gobierno, mientras que los ingenieros vinculados al proyecto calificaban con más alto valor al interés de trabajar con la cadena y al interés de vincularse al proyecto.

Tabla III. Calificación de importancias relativas para un investigador

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	1	2	5	6	6	8	0,5	4	7	0,5	3	5
C2	0,5	1	4	5	5	7	0,3	3	6	0,3	2	4
C3	0,2	0,3	1	1	1	4	0,2	0,5	2	0,2	0,5	1
C4	0,2	0,2	1	1	1	3	0,1	0,5	2	0,1	0,5	1
C5	0,2	0,2	1	1	1	3	0,1	0,5	2	0,1	0,5	1
C6	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	1	0,1	0,2	1	0,1	0,2	0,3
C7	2	3	6	7	7	9	1	5	8	1	4	6
C8	0,3	0,3	2	2	2	5	0,2	1	3	0,2	6	2
C9	0,1	0,2	0,5	0,5	0,5	2	0,1	0,3	1	0,1	2	0,5
C10	2	3	6	7	7	9	1	5	8	1	4	6
C11	0,3	0,5	2	2	2	6	0,3	0,2	1	0,3	1	2
C12	0,2	0,3	1	1	1	4	0,2	0,5	2	0,2	0,5	1

Tabla IV. Normalización de la calificación importancias relativas de los criterios

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	0,14	0,18	0,17	0,18	0,18	0,13	0,12	0,19	0,17	0,12	0,12	0,17
C2	0,07	0,09	0,13	0,15	0,15	0,11	0,08	0,14	0,14	0,08	0,08	0,13
C3	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,07	0,04	0,02	0,05	0,04	0,02	0,03
C4	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,02	0,05	0,03	0,02	0,03
C5	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,02	0,05	0,03	0,02	0,03
C6	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
C7	0,28	0,27	0,2	0,21	0,21	0,15	0,24	0,24	0,19	0,24	0,17	0,2
C8	0,04	0,03	0,07	0,06	0,06	0,08	0,05	0,05	0,07	0,05	0,25	0,07
C9	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,08	0,02
C10	0,28	0,27	0,2	0,21	0,21	0,15	0,24	0,24	0,19	0,24	0,17	0,2
C11	0,05	0,05	0,07	0,06	0,06	0,1	0,06	0,01	0,01	0,06	0,04	0,07
C12	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,07	0,04	0,02	0,05	0,04	0,02	0,03

Tabla V. Ejemplo de peso de los criterios para uno de los investigadores según las calificaciones asignadas

Criterio	Peso
C1	15,6%
C2	11,4%
C3	3,5%
C4	3,2%
C5	3,2%
C6	1,4%
C7	21,7%
C8	7,2%
C9	2,6%
C10	21,7%
C11	5,2%
C12	3,5%

### 3.5. Peso final de los criterios. Porcentaje de importancia

El peso final de cada criterio se determina promediando los pesos específicos normalizados para cada investigador.

A continuación se presenta el peso de cada criterio para cada uno de los grupos en que se tipificaron (Criterios de Impacto Tabla VII y Criterios de Viabilidad, Tabla VIII).

Tabla VI. Peso compuesto de cada criterio

Criterio	Peso
C1	2,064
C2	1,503
C3	0,434
C4	0,399
C5	0,399
C6	0,172
C7	2,848
C8	0,960
C9	0,343
C10	2,848
C11	0,642
C12	0,434

### 3.6. Límites de tolerancia

Se calcula el intervalo de tolerancia para cada uno de los criterios con la ecuación:

$$LT = \mu \pm KS \quad (5)$$

Donde LT se refiere a los límites de tolerancia (mínimo y máximo), K es el índice de cobertura,  $\mu$  la media y S la desviación estándar de la muestra [10].

Se buscaron los límites de tolerancia al 95% que contengan el 95% de los datos, para estos valores y con  $n = 15$  muestras (cuyo grado de consistencia es satisfactorio), se obtiene un  $K = 2,954$  según la tabla "Factores de tolerancia para distribuciones Normales". Todos los pesos

consolidados de los criterios se ubican entre el mínimo y el máximo factor de tolerancia asociado.

**Tabla VII. Peso criterios de impacto**

CRITERIOS DE IMPACTO	PESO
Aporte a la productividad de Bogotá	8.00 %
Aporte al PIB	4.57 %
Número de Establecimientos	5.70 %
Personal Ocupado	4.49 %
Experiencia de la cadena en el mercado	6.19 %
Capacidad de incorporar tecnología y/o automatización de bajo costo	13.18 %
Apoyo del Gobierno	7.71 %
Valor de las Exportaciones	6.98 %
Total Indicador Criterios de impacto	56.82 %

**Tabla VIII. Peso criterios de viabilidad**

CRITERIOS DE VIABILIDAD	PESO
Interés en vincularse al proyecto	17.83%
Interés por este tipo de cadenas productiva por parte de las empresas del Clúster	12.26%
Documentos de diagnóstico sobre la cadena productiva	6.57%
La cadena cuenta con una Organización Gremial o Centro de Investigación	6.52%
Total indicador Variables de viabilidad	43,18%

### 3.7. Base de calificación para cada uno de los criterios

Se asignó una escala de calificación de 1 a 10 para todos los criterios con el ánimo de convertir la totalidad de criterios en un indicador comparable entre cadenas. El único criterio que tuvo valoración diferente fue Interés de vincularse al proyecto debido a que el interés existe o no, por tanto se utiliza una calificación de 10 cuando el interés existe por parte de la cadena y de 1 cuando se percibe un interés muy bajo o nulo.

Los siguientes Criterios fueron definidos como a mayor valor, mejor calificación siendo esta calificación linealizada por una sola fuente cuando esta pudo ser obtenida. La razón de por qué se escoge esta forma de calificación para cada uno de los criterios se explica a continuación:

- **Aporte al PIB:** Si tiene un mayor aporte al Producto Interno Bruto de Bogotá-Cundinamarca, tiene mayor importancia dentro de la región. La información fue tomada de la Encuesta Anual Manufacturera y Encuesta Anual de Servicios del DANE.
- **Número de establecimientos:** Si el número de establecimientos es mayor, indicará que se tiene un mayor mercado para ofrecer las soluciones de automatización. La

información fue tomada de la Encuesta Anual Manufacturera y Encuesta Anual de Servicios.

- **Personal ocupado:** Si el número de personas empleadas en la cadena es muy alto es posible que tenga un alta cantidad de procesos de tipo manual y permitirá incluir procesos de automatización. La información fue tomada de la Encuesta Anual Manufacturera y Encuesta Anual de Servicios.
- **Valor de las exportaciones:** Si tiene una mayor cantidad exportaciones, representa que es una cadena altamente interesada en mejorar su productividad y la calidad de sus productos implementando automatización. La información fue tomada del Sistema Estadístico de Comercio Exterior de la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN) y Proexport Colombia.

El siguiente Criterio fue definido como: a mayor valor del criterio, menor calificación; A continuación la justificación a este supuesto:

- **Productividad de la cadena:** Si la cadena es altamente productiva, indica que es muy eficiente es sus procesos con los equipos y el personal que labora en ellos, haciendo menos viable y/o necesaria la implementación de automatización. La información fue tomada de la Encuesta Anual Manufacturera y Encuesta Anual de Servicios. El cálculo de la productividad se realizó por medio de la ecuación (6).

$$P / tividad = \frac{\text{producción bruta}}{\text{consumo intermedio} + \text{gastos de personal}} \quad (6)^1$$

Los siguientes Criterios fueron calificados subjetivamente según la valoración del investigador que caracterizó la cadena:

- **Experiencia de la cadena en el mercado:** Si tiene una larga trayectoria, demuestra una mayor estabilidad.
- **Apoyo del gobierno:** Si cuenta con un mayor apoyo del gobierno, indica que a la cadena se le facilita la adquisición de recursos, para proyectos futuros.
- **Documentos de diagnóstico:** Si existe una mayor cantidad y calidad en los documentos hallados de la cadena, tendrá una mejor calificación.
- **Organización Gremial:** Tiene mejor califica-

<sup>1</sup> La fórmula se aproxima al concepto de productividad Resultados Logrados / Recursos Empleados, formulado por Bain [11].



ción una cadena que cuente con gremio o centro de investigación asociado, debido que la labor de convocar las empresas se puede realizar de una manera más sencilla.

- Interés de trabajar con esta cadena: Este criterio lo calificaron las empresas de la Cadena Electro Electrónico e indica que mercados ven más propicios para que sus productos o soluciones tengan cabida.

El criterio Capacidad de Incorporar Tecnología, fue caracterizada dentro de los documentos, sin embargo la información recolectada fue muy ambigua y dispersa, así que se decidió convocar a un equipo de expertos para calificar este criterio. La calificación se estableció como más alto si tiene mayores posibilidades de incorporar automatización de bajo costo y del promedio de la calificación de los expertos se obtuvo el valor de este criterio para cada cadena.

El criterio Interés en Vincularse al Proyecto se evaluó con el contacto previo para determinar el interés y la disposición para poder ejecutar el proyecto en esas cadenas preseleccionadas. Al final del ejercicio se tomó la determinación por parte de los expertos de calificar este criterio con la nota más baja para la totalidad de las cadenas, esto se debe a diversos factores entre los cuales se encuentra la inexistencia de un ente representativo en todas y cada una de las cadenas que pudiese responder esta pregunta de manera específica.

### 3.8. Cálculo de los Indicadores

Una vez definidos tanto el peso de los criterios como la escala de calificación de los mismos es necesario determinar la forma en la que se va a realizar el cálculo de los indicadores de impacto y viabilidad; estos se presentan en las Ecuaciones 7 y 8.

$$\begin{aligned} \text{impacto} = & \frac{\text{Tecnología}}{10} * 13,8\% + \frac{\text{Productividad}}{10} * \\ & 8,0\% + \frac{\text{A.Gobierno}}{10} * 7,7\% + \frac{\text{Exportaciones}}{10} * 6,9\% + \\ & \frac{\text{Exp.Mercado}}{10} * 6,2\% + \frac{\text{No.Emresas}}{10} * 5,7\% + \frac{\text{PIB}}{10} * \\ & 4,6\% + \frac{\text{Personal}}{10} * 4,5\% \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{Viabilidad} = & \frac{\text{int eres}}{10} = 17,83\% + \frac{\text{Atractivo}}{10} * \\ & 12,3\% + \frac{\text{D.Diagnost}}{10} * 6,6\% + \frac{\text{Grenio}}{10} * 6,5\% \end{aligned} \quad (8)$$

## 4. Resultados

Las calificaciones finales otorgadas por el grupo de expertos para cada una de las cadenas se muestran en el Anexo 1 (Matriz con Calificaciones).

Para los criterios de viabilidad, cuya calificación global es de 43% (ver anexo 1), se encontró que las cadenas con mejor calificación fueron 1) Alimentos con Valor Agregado, 2) Automotor y Autopartes y 3) Flores (ver Tabla IX).

Tabla IX. Resultado de los criterios de viabilidad

Criterios de viabilidad	
Productos alimenticios con valor agregado	38%
Automotor y autopartes	37%
Flores	37%
Lácteos con valor agregado	35%
Textiles y confecciones	35%
Material de construcción, cerámica y vidrio	35%
Frutales exportables + Hortalizas	34%
Hierbas aromáticas y medicinales	33%
Bebidas	31%
Otros productos químicos: cosméticos, productos de aseo, farmacéuticos y agroquímicos	31%
Salud de alta complejidad	31%
Turismo	30%
Papel, imprenta, editoriales y artes gráficas	29%
Informática, telecomunicaciones y desarrollo de software	29%
Coques y semicoques de hulla	29%
Productos químicos y plásticos	29%
Artículos de cuero, calzado y marroquinería	28%
Empresariales y profesionales	26%
Biocombustibles	26%

Para los criterios de impacto, cuya máxima calificación global es de 57% (ver anexo 1), las cadenas mejor calificadas fueron: 1) Textiles y Confecciones, 2) Alimentos con Valor Agregado y 3) Flores (ver tabla X).

De tal manera, la calificación agregada y por lo tanto la selección de las cadenas productivas está dada por la suma de la calificación de los criterios de viabilidad e impacto para cada una de las cadenas, la selección puede verse en la Tabla XI. Las cadenas a intervenir para escoger 5 (cinco) empresas y realizar diagnósticos para determinar soluciones de automatización transversales serán: 1) Alimentos con Valor Agregado, 2) Textiles y confecciones y 3) Flores.

**Tabla X. Resultado de los criterios de impacto**

Criterios de Impacto	
Textiles y confecciones	47%
Productos alimenticios con valor agregado	45%
Flores	43%
Productos químicos y plásticos	42%
Automotor y autopartes	41%
Otros productos químicos: cosméticos, productos de aseo, farmacéuticos y agroquímicos	40%
Frutales exportables + Hortalizas	38%
Turismo	37%
Papel, imprenta, editoriales y artes gráficas	36%
Artículos de cuero, calzado y marroquinería	34%
Material de construcción, cerámica y vidrio	33%
Lácteos con valor agregado	32%
Hierbas aromáticas y medicinales	29%
Biocombustibles	28%
Coques y semicoques de hulla	27%
Salud de alta complejidad	27%
Bebidas	26%
Empresariales y profesionales	26%
Informática, telecomunicaciones y desarrollo de software	19%

**Tabla XI. Resultado del total de los criterios**

Calificación final de las cadenas productivas	
Productos alimenticios con valor agregado	83%
Textiles y confecciones	82%
Flores	80%
Automotor y autopartes	77%
Otros productos químicos: cosméticos, productos de aseo, farmacéuticos y agroquímicos	72%
Frutales exportables + Hortalizas	71%
Productos químicos y plásticos	70%
Material de construcción, cerámica y vidrio	68%
Lácteos con valor agregado	67%
Turismo	67%
Papel, imprenta, editoriales y artes gráficas	66%
Artículos de cuero, calzado y marroquinería	63%
Hierbas aromáticas y medicinales	62%
Salud de alta complejidad	58%
Bebidas	58%
Coques y semicoques de hulla	56%
Biocombustibles	54%
Empresariales y profesionales	52%
Informática, telecomunicaciones y desarrollo de software	48%

## 5. Conclusiones

El Proceso de Jerarquía Analítica ofrece una excelente alternativa para resolver problemas en los que existen múltiples criterios para tomar las decisiones finales, en este caso permitió tomar un determinado número de variables comparándolas entre sí, y determinando la importancia de cada una con respecto a las otras, arrojando un resultado porcentual. Este resultado es promediado con los resultados de los otros calificadores, obteniendo un valor final para esta variable. El método permite

homogenizar criterios y realzar los que son realmente pertinentes a la investigación o la selección que se esté realizando según la visión de las personas participantes en él.

El ejercicio resulta interesante al observar las diferentes visiones de los individuos participantes en la calificación de los criterios, referentes a un mismo tema en común. Es así como los ingenieros adjuntos, ingenieros investigadores vinculados al proyecto, representantes de empresas de la industria eléctrica y electrónica y otros profesionales vinculados al CIDEI que calificaron las encuestas otorgaban mayor valor a unos criterios con respecto a otros dependiendo de sus intereses e ideas preconcebidas; los representantes de las empresas daban mayor peso a exportaciones y apoyo del gobierno, mientras que los ingenieros vinculados al proyecto calificaban con más alto valor al interés de trabajar con la cadena y al interés de vincularse al proyecto. El Método de Análisis Jerárquico permitió equilibrar los criterios de un grupo tan heterogéneo de personas e instituciones.

Se muestra que el AHP es útil para la selección de cadenas productivas en función del objetivo que se persiga y por tanto de los criterios que se establezcan. Además ofrece un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo) que puede ser útil para combinar la consulta a expertos, la simplificación de criterios y el establecimiento de los pesos de los mismos, y aplica diversas herramientas estadísticas en la validación de la consistencia.

El grupo de expertos calificó las cadenas productivas en cuanto a la viabilidad e impacto en el contexto del proyecto de automatización de bajo costo; para el primer grupo de variables, Alimentos con valor agregado, Automotor y Autopartes y Flores, fueron las cadenas con mayor calificación. Para el segundo grupo de variables, Textiles y Confecciones, Alimentos con valor agregado y Flores presentaron los rangos más altos de calificación. Al calificar los dos grupos de variables conjuntamente las cadenas productivas favorecidas son 1) Alimentos con valor agregado, 2) Textiles y Confecciones y 3) Flores. Estas cadenas serán abordadas para escoger cinco (5) empresas en cada una y realizar diagnósticos para determinar soluciones de automatización a bajo costo transversales a cada cadena productiva.

## Referencias bibliográficas

- [1] Saaty, The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [2] Chung-Yu Su, Shi-Jie (Gary) Chen y Li Lin, "Explore the Pairwise Comparison Consistency in AHP: A survey and the Consistent Comparison Scale Assignment Algorithm", Department of Industrial Engineering, State University of New York at Buffalo, USA
- [3] Andrés E. Reyes Polanco, Consideraciones teóricas y praxis del Proceso de Jerarquía Analítica en la toma de decisiones, UCV.
- [4] Loren Trigo y Sabatino Constanzo, "DEA- AHP Como combinar dos metodologías de toma de decisiones", IESA, Caracas, 2006.
- [5] Jorge Luis García<sup>1</sup>, Salvador A. Noriega, Juan José Díaz y Jorge de la Riva. Aplicación del proceso de jerarquía analítica en la selección de tecnología agrícola, Agronomía Costarricense, 2006.
- [6] Ge Wang, Samuel H. Huang y John P. Dismukes, "An Analytic Hierarchy Process Model-based Framework for Manufacturing Supply Chain Design", The University of Toledo, Toledo, USA.
- [7] Díaz, Proceso de jerarquización analítica, Venezuela, 1998.
- [8] Kume, Hitoshi. Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad. Santafé de Bogotá, Grupo Editorial Norma, 1992.
- [9] The Delphi method: techniques and applications / edited by Harold A. Linstone, Murray Turoff ; with a foreword by Olaf Helmer. Reading, Mass. : Addison-Wesley, 1975.
- [10] Ronald E. Walpole, Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias. Prentice Hall. Página 283
- [11] David Bain, Productividad. La Solución a los problemas e las empresas. Mc Graw Hill, 1993.
- [12] Cámara de Comercio de Bogotá, Balance tecnológico cadena productiva desarrollo de software en Bogotá y Cundinamarca.
- [13] Cámara de Comercio de Bogotá, Balance tecnológico cadena productiva Hortofrutícola en Bogotá y Cundinamarca.
- [14] Cámara de Comercio de Bogotá, Balance tecnológico cadena productiva ropa interior femenina en Bogotá y Cundinamarca.
- [15] Cámara de Comercio de Bogotá, Balance tecnológico cadena productiva salud de alta complejidad en Bogotá y Cundinamarca.
- [16] Departamento administrativo nacional de Estadística DANE. Encuesta Anual Manufacturera 2005. Disponible en Línea [www.dane.gov.co/files/comunicados/cp\\_eam\\_2005c.pdf](http://www.dane.gov.co/files/comunicados/cp_eam_2005c.pdf)
- [17] Departamento administrativo nacional de Estadística DANE. Encuesta Anual de Servicios 2004 Disponible en Línea [www.dane.gov.co/files/prensa/comunicados/cp\\_eas\\_telecom\\_2004.pdf](http://www.dane.gov.co/files/prensa/comunicados/cp_eas_telecom_2004.pdf)
- [18] Departamento administrativo nacional de Estadística DANE. Encuesta Anual Agropecuaria 2004. Disponible en Línea [www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/ena/ENA\\_2004.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/ena/ENA_2004.pdf)
- [19] Departamento Nacional de Planeación. Página Web [www.dnp.gov.co](http://www.dnp.gov.co)
- [20] Dirección de Impuestos y Aduanas nacionales DIAN. Página Web [www.dian.gov.co](http://www.dian.gov.co)
- [21] Proexport Colombia. Página Web [www.proexport.com.co](http://www.proexport.com.co)

---

### Diego Gómez Montoya

Estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Miembro IIE y Grupo de Investigación Sistemas Expertos y Simulación. [jfvegas@unal.edu.co](mailto:jfvegas@unal.edu.co)

---

### Germán Méndez Giraldo

Doctor en Ciencias Técnicas de la UCLV, Santa Clara, Cuba. Profesor Titular Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Co-Director Grupo de Investigación Sistemas Expertos y Simulación. Investigador del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Industria Electro Electrónica e Informática CIDEI.

---

### Edgar Méndez Morales

Especialista en evaluación social de proyectos de la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Profesor de cátedra de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá, Colombia. Investigador del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Industria Electro Electrónica e Informática CIDEI.

---

### Giovanny Ortiz Chavarro

Ingeniero Electrónico de la Fundación Universidad Central Bogotá, Colombia. Investigador del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Industria Electro Electrónica e Informática CIDEI.

---

### Álvaro Turriago Hoyos

Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Navarra, España. Profesor Titular Universidad de La Sabana, Chía, Colombia. Director de Investigación de la Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas. Fue Subdirector de Programas de Innovación y Desarrollo Empresarial de Colciencias de 2003 a 2005 y trabajó en la Corporación Financiera Suramericana, hoy Banco Corfinsura como Tesorero y Director Nacional de Captaciones de 1980 a 1986.

# Anexo 1

Cadena	Matriz de Selección de Cadenas Productivas											Calificación Lineal			
	Viabilidad					Impacto									
	Interés en vincularse al proyecto	Interés por este tipo de cadenas	Documentos de diagnóstico	Organización Gremial	Calificación total	Capacidad de implementar Tecnología	Número de Empresas	Experiencia de la cadena de en mercado	Apoyo del gobierno	Exportación	Personal Ocupado		Aporte a la productividad de Bogotá	Aporte al PIB	Calificación total
Peso	18%	12%	7%	7%	43%	13%	6%	6%	8%	7%	4%	8%	5%	57%	100%
Flores	1	10	3	7	37%	8	7	6	6	10	10	7	7	43%	80%
Frutales exportables + Hortalizas	1	6	6	7	34%	8	8	10	10	7	1	9	3	38%	71%
Hierbas aromáticas y medicinales	1	8	3	5	33%	8	4	5	5	4	1	10	1	29%	65%
Lácteos con valor agregado	1	6	7	8	35%	8	7	6	6	6	1	7	3	32%	67%
Productos alimenticios con valor agregado	1	8	8	8	38%	10	8	5	5	9	3	8	10	45%	83%
Textiles y confecciones	1	4	9	9	35%	10	9	6	6	10	6	8	5	47%	82%
Productos químicos y plásticos	1	4	6	3	29%	8	9	8	8	9	4	8	2	42%	70%
Otros productos químicos: cosméticos, productos de aseo, farmacéuticos y agroquímicos	1	5	6	5	31%	10	5	4	4	10	4	7	6	40%	72%
Papel, imprenta, editoriales y artes gráficas	1	2	6	8	29%	9	5	3	3	9	3	6	3	36%	66%
Automóvil y autopartes	1	6	9	9	37%	7	10	9	9	10	2	9	3	41%	77%
Bebidas	1	4	6	7	31%	7	9	4	4	7	1	1	4	26%	58%
Materia de construcción, cerámica y vidrio	1	4	9	9	35%	5	9	9	9	9	1	6	2	33%	68%
Turismo	1	2	8	7	30%	4	8	8	8	10	2	10	5	37%	67%
Salud de alta complejidad	1	6	7	2	31%	5	6	4	4	7	1	5	5	27%	58%
Informática, telecomunicaciones y desarrollo de software	1	4	4	6	29%	1	6	4	4	5	2	5	1	19%	48%
Empresariales y profesionales	1	2	4	5	26%	1	5	6	6	1	10	10	1	26%	52%
Coques y semicoques de hulla	1	1	6	9	29%	5	8	9	9	8	1	2	1	27%	56%
Biocombustibles	1	1	3	7	26%	4	5	8	8	6	1	10	1	28%	54%
Artículos de cuero, caizado y marroquinería	1	6	2	3	28%	9	7	3	3	8	2	8	1	34%	63%