

Capítulo 1


Metodologías para la construcción de índices

Doi:


10.25100/peu.685.cap1

Autores:


Jhon James Mora Rodríguez
Universidad Icesi

 0000-0001-5499-5400


Diana Yaneth Herrera Duque
Universidad Icesi

 0000-0001-5110-0683


Juan Tomas Sayago
Universidad Icesi

 0000-0002-7238-124X

Julián Durán Peralta
Universidad Santiago de Cali

 0000-0002-8252-729X

Elizabeth Aponte Jaramillo
U. Autónoma de Occidente

 0000-0003-0820-5679

Paola Andrea Garizado Román
U. Autónoma de Occidente

 0000-0001-6420-262X

Lilian Andrea Carrillo Rodríguez
U. Autónoma de Occidente

 0000-0001-9045-2905

Un índice sintético es un instrumento diseñado con el fin de medir y analizar el avance de un país, una ciudad o una región en un campo determinado. El índice incorpora un conjunto de información que es representativa de la unidad de estudio que se quiere analizar.

La información producida a partir de estos índices constituye una herramienta fundamental en el marco de toma de decisiones para una política que permita el desarrollo y progreso de la región. Uno de sus principales usos consiste en la medición del desarrollo económico y los principales factores que lo condicionan (Mondéjar y Vargas, 2008). Considerando lo anterior, es necesario identificar qué metodologías se adaptan mejor al objeto de estudio.

El objetivo de este Capítulo consiste en mostrar algunas de las metodologías más utilizadas en la construcción de índices, considerando además, aquellas empleadas en la construcción de los índices desarrollados en el presente libro. Dado lo anterior, en el primer apartado se presentan diversas metodologías existentes para la construcción de índices sintéticos, incluyendo la metodología DP2 de índices de distancia, empleada en la construcción del índice sintético de desarrollo sostenible en una economía del conocimiento (ver Capítulos 3 y 6) y el índice sintético de mercado laboral (ver Capítulo 5), y la metodología de modelos factoriales dinámicos, utilizada en la construcción del índice de actividad económica (ver Capítulo 4). Adicionalmente, se especifica la metodología empleada en la construcción de los principales índices de competitividad, ciencia, tecnología e innovación empleados en el país. Los siguientes dos apartados explican la metodología empleada para el cálculo del índice de apropiación digital, y los índices de percepción de la gobernanza, la innovación y la competitividad, índices que servirán como insumo en el desarrollo del índice sintético de desarrollo sostenible en una economía del conocimiento. Finalmente, el último apartado presenta la metodología utilizada en el desarrollo del análisis del comercio interindustrial del Valle del Cauca (ver Capítulo 4).

Metodología para el cálculo de índices sintéticos

La agregación simple

Los indicadores de agregación simple se calculan a partir de medidas ponderadas que se obtienen de subindicadores, a los cuales se les asigna el mismo peso y se suman (Domínguez *et al.*, 2011). También, podrían elegirse diferentes ponderaciones dependiendo de la importancia que le otorga el investigador, sin embargo, lo anterior eleva la posibilidad de que se cometan errores de medición (Mondéjar y Vargas, 2008).

Estos indicadores pueden expresarse de la siguiente forma (Domínguez *et al.*, 2011, p. 44):

$$AG_i = w^* IN_{i1} + \dots + w^* IN_{in} = \sum_{j=1}^n w^* IN_{ij} \quad (1)$$

donde, w es el peso que se le asigna a cada sub indicador e IN_{ij} es el valor normalizado del indicador j para la unidad i .

Los principales problemas del indicador consisten en la complejidad del procedimiento ligados a la forma en la que cada indicador se agrupa. Además, como cada indicador se subdivide por dimensiones, es posible que el valor real del peso que se le asigna a cada indicador no sea igualitario. Es importante mencionar que el método no mide las relaciones causales que existen entre cada subindicador, por lo tanto, si se incluyen variables altamente correlacionadas, se contabilizará doblemente el efecto de estas (Domínguez *et al.*, 2011).

Para solucionar el error de las relaciones causales, el peso que se le asigna a cada variable puede obtenerse de dos formas: la primera, a partir del análisis de correlación entre cada componente; la segunda, a partir de los coeficientes que se obtienen de la regresión entre una variable y los indicadores parciales (Mondéjar y Vargas, 2008).

Uno de los índices más conocidos que utiliza la metodología de agregación simple es el IDH (Índice de Desarrollo Humano), el cual está dividido en tres

dimensiones: vida larga y saludable; conocimientos, que a su vez se divide en tasa de alfabetismo y asistencia escolar; y nivel de vida decente (Schuschny y Soto, 2009). También, se ha utilizado en la coyuntura (Mondéjar y Vargas, 2008). Por su parte, Farné (2003) y Mora (2016) utilizan dicha metodología para analizar la calidad del empleo en Colombia. Este índice sintético de calidad del empleo está compuesto por cuatro variables o componentes simples, los cuales son ingresos, modalidad de contratación, afiliación a la seguridad social y el horario de trabajo. Los valores se asignan de manera horizontal y vertical. La valoración horizontal es un puntaje que va entre 0 y 100 que busca definir las diferentes categorías de las variables de forma cualitativa. Por su parte, la valoración vertical corresponde al peso y/o ponderación que se le asigna a cada variable de acuerdo con su importancia relativa. Finalmente, esta metodología también ha sido empleada en la construcción de índices medioambientales como el índice de Planeta Vivo, el cual mide las variaciones de la biodiversidad mundial. Este índice está compuesto por tres variables que monitorean el número de especies de los bosques, aguas dulces y mares, las cuales se ponderan de manera igualitaria (Schuschny y Soto, 2009).

Análisis multivariante

El objetivo de esta metodología consiste en facilitar el entendimiento de un conjunto de variables recogidas en un estudio para explicar o resolver problemas de interés analítico. Este análisis puede llevarse a cabo utilizando el análisis de componentes principales, el análisis factorial, el escalamiento óptimo y el análisis conjunto.

Análisis de Componentes Principales-ACP

El ACP (Análisis de Componentes Principales) es un análisis estadístico multivariante de interdependencia, en el cual cada variable tiene una misma importancia equivalente. Este análisis reduce el número de variables iniciales y, por tanto, explica la variabilidad de los datos usando un bajo número de variables, las cuales se conocen como componentes principales (Domínguez *et al.*, 2011). Estos factores son combinaciones lineales de las variables iniciales y, además, son independientes entre sí (Gurrea, 2000).

La interpretación de los componentes principales viene dada por las correlaciones con el conjunto de variables inicial, lo que quiere decir que se debe observar el signo y la magnitud de la correlación del conjunto de datos inicial (Gurrea, 2000). La aplicación del análisis estadístico se realiza a partir de los datos normalizados, pues están en una misma unidad de medida (Domínguez *et al.*, 2011).

De esta forma "la elección de los factores se realiza de tal forma que el primero recoja la mayor proporción posible de la variabilidad original; el segundo factor debe recoger la máxima variabilidad posible no recogida por el primero, y así sucesivamente" (Gurrea, 2000, p.2), y se eligen las que tengan la suficiente variabilidad. Eventualmente, esas que se eligen son las que se denominan componentes principales, los cuales se representan en una matriz (Gurrea, 2000).

Entonces, el ACP podría expresarse así (Domínguez *et al.*, 2011, p. 47):

$$Z_h = \sum_{j=1}^n \omega_{hj} * IN_j \quad (2)$$

donde, ω_{hj} son las ponderaciones que determinan la componente principal h.

De esta forma, los componentes principales son una nueva agrupación de variables ortogonales que no están correlacionadas y que se caracterizan por tener una media aritmética de cero, una varianza máxima y una combinación lineal a partir de los indicadores iniciales (Domínguez *et al.*, 2011). Ahora bien, para facilitar la interpretación de los factores, cada uno debe de cumplir con lo siguiente: que los coeficientes factoriales sean cercanos a 1, que una variable tenga coeficientes elevados solo con un factor y no deben existir factores con valores similares en los coeficientes (Gurrea, 2000).

En este caso, el peso que se le da a cada variable puede variar y se puede asignar por medio de diversos métodos como la formulación de una escala aditiva, en el cual se establecen indicadores suplentes que son los que revelan mayor correlación y a partir

de esta se le asigna el peso. También, está el método de los valores obtenidos de cada componente principal seleccionado, el cual se divide en: valores de la primera componente principal, que se refiere a interpretar a partir de las correlaciones de los indicadores iniciales; y agregación de valores de todos los componentes principales, la cual se realiza a través de la suma ponderada (Domínguez *et al.*, 2011).

Dentro de los autores que han utilizado esta metodología para calcular indicadores sintéticos están González *et al.* (1994), quienes analizaron, para el área educativa en la Universidad de los Andes de Mérida, la influencia de la metodología y preparación del estudiante en el aprendizaje. Para este estudio eligieron ocho variables, de las cuales algunas mostraron tener alta correlación entre ellas. Se realizaron dos análisis, el primero medía la inteligencia y el segundo el rendimiento con las mismas variables, pero agrupadas en conjuntos diferentes. Los hallazgos de esta investigación arrojaron que este tipo de análisis permite detectar interrelaciones, construcción de variables sintéticas y establecer ecuaciones de regresión a partir de la variable dependiente aprendizaje.

Este tipo de análisis también ha sido implementado por Almenara *et al.* (2002) para construir índices de salud pública en México, específicamente en gestión hospitalaria. Para este estudio se hizo el análisis con la matriz de correlaciones y se pudieron establecer indicadores relacionados al número de personas atendidas y a niveles de dificultad de cada caso atendido. Otros autores que han implementado esta técnica son Marquina *et al.* (2015), quienes realizaron un estudio en México que buscaba establecer indicadores sintéticos para medir el bienestar social. Se establecieron seis variables y se eligieron dos componentes principales. A partir de la metodología aplicada se pudo obtener un índice que medía, de manera ordinal, el bienestar social en el estado de Guerrero, a partir de su posición relativa frente a las demás ciudades de ese estado.

Análisis Factorial

El análisis factorial permite encontrar relaciones matemáticas entre las variables iniciales y los factores específicos de cada variable (Domínguez *et al.*, 2011).

A diferencia del análisis de componentes principales “el análisis factorial permite reducir el elevado número de variables que describen un fenómeno, de difícil interpretación, a un número menor de factores en común que expliquen básicamente lo mismo que las variables de partida” (Domínguez *et al.*, 2011, p.51).

De esta forma, los factores específicos agrupan un conjunto de variables que están intercorrelacionadas y son independientes (Pérez y Medrano, 2010). Este tipo de análisis busca variables sintéticas, inobservables y no medidas hasta el momento. Además, para este método en particular, una parte de la varianza de las variables iniciales es explicada totalmente por los factores, lo cual determina la comunalidad (Domínguez *et al.*, 2011).

Para la construcción de un índice sintético, a partir de este método de análisis, se ha de tener una serie de subindicadores que se obtienen a partir de la reducción de factores, los cuales deben estar altamente correlacionados (Domínguez *et al.*, 2011). Después de que se tienen los resultados de la matriz de correlaciones es necesario obtener la matriz de factores rotados, ya que las rotaciones hacen que los factores expliquen el conjunto inicial de variables pues la varianza de estos se concentra en las variables reducidas. Finalmente, se interpretan los resultados según el nivel de correlación (Pérez y Medrano, 2010).

El análisis factorial ha sido utilizado en diversas áreas de estudio, ejemplo de ello es el análisis sobre educación realizado por Fernández (2015), quien realiza una comparación entre este método y técnicas estadísticas de regresiones de probabilidad lineal, con el fin de encontrar resultados en rendimientos académicos en lectura en Costa Rica. Igualmente, Garmendia (2007) emplea este método para el área de la salud en Chile, examinando, en una población de usuarios que egresaron de programas de tratamiento y rehabilitación por consumo de drogas, la estructura factorial del Cuestionario de Salud General de Goldberg, instrumento elaborado por el autor en el Hospital Universitario de Manchester-Inglaterra, cuyo fin es evaluar el grado de salud general. Adicionalmente, el análisis factorial es usado

frecuentemente en el área de la psiquiatría y psicología (Martínez y Rondón, 2012).

Escalamiento óptimo

El escalamiento óptimo es relevante cuando las variables son categóricas, dado que esta forma de análisis multivariado incluye en su tratamiento las características cualitativas que poseen algunas variables y permite establecer relaciones entre diferentes categorías.

Una de las técnicas de escalamiento óptimo es el CATPCA (Análisis de Componentes Principales Categórico, por sus siglas en inglés). El objetivo principal de esta técnica es reducir un grupo de variables a uno más pequeño en donde se resume la mayor parte de información encontrada en un estudio determinado, limitando en lo máximo posible la pérdida de información relevante. De esta manera, resulta más fácil hacer una interpretación correcta entre las variables, dada la reducción. Una de las diferencias más notorias entre la técnica ACP y el CATPCA es que la primera asume relaciones lineales entre variables numéricas, mientras que el CATPCA permite establecer relaciones lineales o no lineales si es una variable cuantitativa o cualitativa.

Las técnicas de Escalamiento Óptimo brindan un conjunto de cuantificaciones para la categoría de cada variable y para conocer el valor final de esa variable categórica cuantificada es necesario minimizar las distancias entre las categorías relacionadas y maximizar la distancia de las categorías no relacionadas (Domínguez *et al.*, 2011).

Análisis Conjunto

El análisis conjunto permite analizar la forma que los individuos definen sus preferencias acerca de un producto o servicio. Wilkie y Pessemier (1973) usan un modelo multi-atributo en donde a una variable se le asocia un número de atributos para estudiar el proceso de elección de una persona. Específicamente, el análisis conjunto determina qué atributos o cualidades de un producto o servicio son importantes cuando un individuo toma la decisión de adquirirlo. La idea detrás del análisis consiste en aislar la utilidad por producto en utilidades por atributo, es decir,

el nivel de satisfacción que le pueda ofrecer el producto al consumidor considerando sus atributos, los cuales pueden ser calidad, precio, sustituto, etc.

Mediante este análisis no solamente se puede establecer la importancia de cada atributo sino también, los niveles de mayor preferencia de cada atributo. Pérez (2014) afirma que “la ventaja del análisis conjunto reside en que solicita al encuestado que elija del mismo modo que se supone que lo hará el consumidor al comparar las características”(pp. 595-598). Los pasos para realizar un análisis conjunto son:

- Identificar y seleccionar los atributos relevantes.
- Definir niveles para cada atributo.
- Definir la combinación de atributos a estimar, para que de esta forma sea posible determinar las combinaciones preferidas por los consumidores.
- Recolectar la información.
- Elegir el mecanismo para medir la utilidad de cada combinación de atributos.

Una de las desventajas de esta técnica resulta del número de características asociadas a los atributos, entre más características, mayor sería el número de combinaciones, lo que dificultaría el análisis. También, la recolección de información presentaría un problema dado los altos costos en que se incurren al llevarla a cabo, además de que la muestra debe ser representativa y que las preferencias o gustos de los individuos son muy variables (Domínguez *et al.*, 2011).

Métodos participativos

Los métodos participativos tienen como característica principal que permiten la creación de un índice sintético cuando resulta complicado construir un sistema de índices cuantitativos adecuado (Domínguez *et al.*, 2011). Su objetivo consiste, en que, a través de diferentes opiniones expresadas por un grupo poblacional sobre determinado tema de estudio, sea posible ponderar dichas opiniones para la construcción de un índice sintético.

Los métodos participativos más conocidos son el método de opinión pública (Cottrell *et al.*, 2004)

y el método de panel de expertos (Tsaour *et al.*, 2006). El primero consiste en la realización de encuestas para conocer la opinión pública sobre un tema en específico, la medición se da por medio de muestras que son representativas dentro de la población de estudio. El segundo, por su parte, enfatiza en la consulta a personas que son expertas o que son especialistas sobre un tema, estas exponen sus ideas y posteriormente se redacta un informe en donde se resume o concluye la consulta. La forma en que se pondera la información recogida es por medio de una asignación de puntos que realiza cada individuo a los aspectos que se evalúan, ellos atribuyen un puntaje a cada aspecto evaluado dependiendo de la importancia que le den (Jesinghaus, 1997). La asignación se hace individualmente para que no haya una alteración en los resultados obtenidos (Hermans *et al.*, 2007). De esta manera y dadas las puntuaciones a los aspectos evaluados, se promedia el valor de las asignaciones en cada aspecto como base para el consenso entre los individuos.

En este caso, el índice sintético se construye a través de una suma ponderada de los valores normalizados de los diferentes aspectos considerados, si dichos aspectos son de tipo cualitativo, el índice se obtiene sumando los pesos de las asignaciones de cada aspecto evaluado. El cálculo del peso de la asignación sobre el aspecto A_i es (Domínguez *et al.*, 2011, p. 46):

$$W_i = \frac{q_i}{\sum_{s=1}^m q_s} \quad (3)$$

donde,

W_i es el peso final asignado al aspecto A_i ;

q_i es la calificación media del aspecto A_i ;

q_s es la calificación media del aspecto A_s de la dimensión s .

Es decir, sea n el número de expertos, $f_i(\theta)$ la distribución de probabilidad asignada por el experto a la cantidad de interés desconocida $\theta \in \Theta$ y w_i la ponderación asignada a cada experto. Entonces la distribución combinada probabilística se puede expresarse de la siguiente forma:

$$T(f_1, \dots, f_n) = \sum_{i=1}^n w_i f_i ; \sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (4)$$

Un punto crucial en (4) consiste en como asignar w_i ya que este representa la calidad relativa del experto (Mora y Caicedo, 2018). Por otro lado, la asignación de w_i es subjetiva y podría dar lugar a numerosas interpretaciones (Genest y McConway, 1990). Seaver (1978) encuentra que el desempeño obtenido a partir de ponderaciones diferentes es muy similar y que un procedimiento simple como el de asignar igual peso a cada experto da resultados similares a aquellos en los cuales se utilizaron métodos complejos de agregación. Y, como bien lo plantean Clemen y Winkler (2006), “los métodos de agregación simples se desempeñan mejor que los métodos más complejos” (Mora y Caicedo, 2018, p. 45). Adicionalmente, como concluyen Genest y McConway (1990):

If the DM does not have enough information to make this initial assessment, he might invoke some kind of ‘principle of insufficient reason’ to assign all opinions an equal weight. In his review paper, Hogarth (1975) reports that equal weighting generally performs well compared to other schemes which attempt to weigh the assessors according to their expertise (citado en Mora, 2021, p. 57).

La técnica anteriormente mencionada ha sido utilizada para agregar las opiniones en torno a brechas de Capital Humano (Mora y Caicedo, 2018) y opiniones sobre el efecto del Covid-19 en el empleo en Cali (Mora, 2021).

Técnicas de análisis multicriterio

Las técnicas de análisis multicriterio ayudan a la toma de decisiones durante un proceso, permitiendo integrar diferentes objetivos y criterios que se plantea un analista, sobre los que un individuo pueda expresar sus gustos o preferencias, para que de esta forma sea posible interpretar de manera eficaz los resultados obtenidos. A continuación, se presentan las técnicas más usadas.

Teoría de la utilidad multiatributo

Keeney y Raiffa (1976) parten de considerar las preferencias y gustos de un individuo en términos

de la utilidad o satisfacción que le genera, con el fin de que la toma de decisiones se realice de manera racional. A cada atributo se le asigna una función de utilidad que será parcial, y luego se añadirá a una función de utilidad con todos los atributos evaluados —función multiatributo— de forma aditiva o multiplicativa.

A partir de la función de utilidad para cada atributo es posible la formulación de un modelo de utilidad (Domínguez *et al.*, 2011, p. 58):

$$U_1(X), \dots, U_j(X), \dots, U_n(X) \quad (5)$$

De lo anterior surge la función de utilidad multiatributo²:

$$U[U_1(X), \dots, U_j(X), \dots, U_n(X)] \quad (6)$$

Así, se le asigna un valor cuantitativo a la utilidad de cada producto o servicio con base a los atributos elegidos.

Los usos de esta técnica han permitido analizar información acerca de variables demográficas, sanitarias o epidemiológicas, de accesibilidad y movilidad, de utilización de servicios e incluso lo han usado como instrumento de medida de la calidad de vida (Abellán *et al.*, 2010).

Proceso de Análisis Jerárquico-AHP

El AHP (Proceso de Análisis Jerárquico, por sus siglas en inglés) fue diseñado por Saaty (1980) con el fin de solucionar problemas complejos de criterios múltiples. Esta técnica requiere que el individuo que toma una elección realice evaluaciones subjetivas respecto a los criterios que eligió para decidir sobre su alternativa de preferencia. Mediante el AHP se puede organizar la información recogida de un estudio de manera eficiente, permitiendo analizar los datos por partes, visualizar los efectos en cada nivel y finalmente, sintetizar la información; en otras palabras, el AHP busca examinar en detalle un problema y luego unir todas las soluciones en una conclusión (Saaty, 1980).

² La construcción de la función de utilidad multiatributo puede seguir un esquema aditivo o multiplicativo.

Esta metodología se basa en cuatro principios básicos: estructurar el modelo jerárquico en donde se haga la presentación de problemas, se identifique la meta a lograr y los criterios a evaluar; comparar los elementos del problema de acuerdo con la priorización de estos; establecer el nivel de importancia de cada índice; y luego, a través de la suma de los pesos de los índices, obtener el índice sintético (Domínguez *et al.*, 2011). Algunas de las ventajas de esta técnica radican precisamente en el desglosamiento de la información que permite analizar el problema por partes, es de fácil uso, la solución se puede complementar con un sustento matemático, además, hace posible medir tanto criterios cuantitativos como cualitativos.

Modelo factorial dinámico-DFM

Los DFM (Modelos Factoriales Dinámicos, por sus siglas en inglés) permiten modelar de manera simultánea y consistente conjuntos de datos en los cuales el número de series excede el número de observaciones de series de tiempo. Estos modelos fueron propuestos por Geweke (1977) como una extensión de series de tiempo de modelos de factores desarrollados previamente para datos de corte transversal (Stock y Watson, 2011).

La principal característica de un modelo factorial dinámico es que pocos factores latentes dinámicos, f_t , impulsan los co-movimientos de un vector de variables de series de tiempo de alta dimensión, X_t , el cual es afectado también por un vector de perturbaciones idiosincrásicas con media cero, e_t . (Stock y Watson, 2011). Estas perturbaciones se originan por errores de medición y por aquellas características únicas que son específicas de una determinada serie. Por otro lado, los factores latentes siguen un proceso de series de tiempo, comúnmente son VAR (Estructuras Autorregresivas Vectoriales). Un modelo factorial dinámico sigue la siguiente estructura (Stock y Watson, 2011):

$$X_t = \lambda(L)f_t + e_t \quad (7)$$

$$f_t = \psi(L)f_{t-1} + \eta_t \quad (8)$$

Donde, L es el operador de rezagos y, $\lambda(L)$ y $\psi(L)$ las matrices polinomiales de rezago. Adicionalmente, se asume que los procesos en (7) y (8) son estacionarios.

Las técnicas más utilizadas para estimar f_t son: estimación a través de componentes principales; estimación mediante el filtro de Kalman; y técnicas híbridas que contemplan la utilización de componentes principales y filtro de Kalman.

Indicadores sintéticos de distancia

Esta clase de indicadores miden la distancia entre un punto de referencia y un valor actual siendo el valor de referencia un máximo, un mínimo o un promedio (Domínguez *et al.*, 2011). Este tipo de comparación puede realizarse en valores absolutos o cuadráticos en relación con el punto de referencia (Pena, 2009). Además, pueden ser calculados por medio de diferentes metodologías como distancia DP2, distancia CRL, distancia Stone, entre otros, según plantea Pena (1977).

El indicador más utilizado de este tipo es el de distancia DP2 formulado por Pena (1978) para medir el nivel de bienestar social. Este indicador es un indicador sintético que agrega la información contenida en un conjunto de indicadores sociales y que está diseñado para realizar comparaciones interespaciales e intertemporales. El indicador DP2 de Pena (1977), indicará las distancias de cada unidad respecto a una unidad ficticia de referencia. Dicho indicador se puede expresar de la siguiente manera (Domínguez *et al.*, 2011):

$$\text{Indicador DP2} = \sum_{j=1}^n \frac{d_{ij}}{\sigma_j} * (1 - R_{(j,j-1,j-2,\dots,1)}^2) \quad (9)$$

$$R_1^2 = 0$$

donde,

d_{ij} es la distancia entre la unidad i y la unidad de referencia fijada para cada indicador j ; σ_j es la desviación típica del valor del indicador j ; y $R_{j,j-1,j-2,\dots,1}^2$ es el coeficiente de determinación múltiple de la regresión lineal del indicador I_j respecto a los indicadores I_s con $S \in \{j-1, j-2, \dots, 1\}$, siendo $R_1^2 = 0$.

La distancia d_{ij} se define por medio de las distancias p-métrica y son estas las que cumplen los supuestos de no negatividad, conmutatividad y condición triangular que se requiere para la distancia en un espacio métrico (Pena, 2009).

La medida sintética obtenida utilizando la metodología DP2 presenta las siguientes ventajas.

En primer lugar, no requiere de un procedimiento de normalización de los indicadores, puesto que al dividir la distancia d_{ij} por la desviación típica de cada indicador se consigue expresar los valores de los indicadores en una escala adimensional, de forma que la contribución de cada distancia al valor del índice es inversamente proporcional a su dispersión.

En segundo lugar, el término $(1 - R_{j,j-1,\dots,1}^2)$, denominado factor de corrección, "pondera las diferencias entre los indicadores y sus valores de referencia por el porcentaje de información nueva que proporciona cada indicador al incluirse en la medida global" (Domínguez *et al.*, 2011, p. 57). El factor de corrección es importante ya que a partir de éste se elimina la información duplicada de tipo lineal (Zarzosa *et al.*, 2005).

En tercer lugar, la metodología DP2 elimina la necesidad de establecer *a priori* un conjunto de pesos para agregar los indicadores y, la discusión posterior sobre la validez del índice construido a partir de pesos *a priori*.

En cuarto lugar, la metodología de distancias DP2 es invariante frente a la situación de referencia, siempre y cuando se cumpla que sea la misma para las unidades comparadas y tome el valor máximo (o superior a éste) o el valor mínimo (o inferior a éste) para cada indicador (Pena, 2009; Somarriba y Pena, 2009; Zarzosa *et al.*, 2005). De esta forma, no se hace necesario establecer un valor para los pesos de los indicadores, lo cual puede determinar en gran medida los resultados obtenidos.

Finalmente, una última ventaja a destacar es la fácil interpretación de los resultados, ya que la agregación basada en distancias permite valorar la situación

de cada unidad en función de su grado de ajuste a la situación de referencia.

Ahora bien, múltiples autores han utilizado el indicador DP2 para realizar diversos análisis. Entre ellos se encuentra Zarzosa (1996), quien plantea una aproximación de la medición de bienestar social a través del indicador sintético de distancia DP2, el cual halla apto e idóneo y establece que es un buen método para indicadores sociales por las propiedades que posee.

Por su parte, Montero *et al.* (2008) utilizan este indicador para analizar la calidad del medio ambiente para las grandes ciudades. Para la construcción de este índice, se tuvieron en cuenta variables como el ruido, la contaminación del aire y datos subjetivos para obtener un índice ambiental mixto a través del índice de distancia de Pena (DP2).

Adicionalmente, Zarzosa (2009) analiza la pobreza multidimensional desde variables como salud, educación, ingresos, empleo y vivienda. El resultado de esta investigación mostró que existe un alto nivel de disparidad en las comunidades de la población de estudio (Zarzosa, 2009).

Por otra parte, Rodríguez (2012), utiliza el índice sintético de distancia DP2 para evaluar el alcance de los objetivos del milenio respecto a la pobreza y salud infantil en África.

Cities in Motion Strategies (2014) emplea el índice de distancia DP2 para calcular el índice sintético Cities in Motion (ICIM) que mide el nivel de sostenibilidad de las grandes urbes (IESE Business School-Universidad de Navarra, 2014).

Marquina *et al.* (2015) emplean este tipo de indicador sintético para medir el bienestar social, en el cual se utilizó la ciudad de Acapulco como punto de referencia y a partir de esta ciudad obtener las distancias de las otras ciudades que participaron del estudio.

Mora *et al.* (2016) analizan la calidad del empleo para una población específica, afrodescendientes en la ciudad de Cali. Para lograr este objetivo tienen

en cuenta factores que inciden en el bienestar social y hacen uso del índice sintético de distancia DP2 ya que permite realizar comparaciones espaciales y temporales. En este caso, los autores realizan un análisis para las diferentes comunas de la ciudad.

Juárez *et al.* (2017) buscan establecer un índice sintético ideal para medir la percepción de la calidad de vida de las personas, para esto calcularon tres índices y el que mejores resultados mostró fue el DP2 pues tuvo mayores coincidencias en las categorías de calidad de vida.

Indicadores de Competitividad, Ciencia, Tecnología e innovación

Dado que el proyecto “Fortalecimiento del Sistema de C&CTI del Valle del Cauca: hacia una Economía del conocimiento” tiene como objetivo consolidar un ecosistema de innovación que apunte al desarrollo investigativo y científico del sector académico, empresarial, social y gubernamental mediante el fortalecimiento del Sistema de C&CTI (Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación) del Valle del Cauca, se hace importante señalar la metodología empleada en la construcción de los principales índices de competitividad, ciencia, tecnología e innovación empleados en el país. A continuación, se presentan estos indicadores con su respectiva metodología.

Índice Departamental de Competitividad-IDC

El IDC (Índice Departamental de Competitividad) corresponde a la adaptación del Índice Global de Competitividad del Foro Económico Mundial para el caso colombiano. Para la construcción de este índice se recolectan 103 indicadores procedentes de fuentes oficiales de cada uno de los departamentos del país. Estos indicadores conforman los 13 pilares, los cuales a su vez se dividen en subpilares, analizados en el índice: instituciones; infraestructura; adopción TIC; sostenibilidad ambiental; salud; educación básica y media; educación superior y formación para el trabajo; entorno para los negocios; mercado laboral; sistema financiero; tamaño del mercado; sofisticación y diversificación; e Innovación y dinámica empresarial (CPC y Universidad del Rosario, 2020a).

Con el fin de garantizar la idoneidad y representatividad de los resultados, el IDC 2020 utiliza la metodología de ACP (Análisis de Componentes Principales) para medir la consistencia interna de los pilares y subpilares que lo conforman. Específicamente, el ACP permite identificar la existencia de redundancia en los indicadores utilizados o la falta de relación entre los mismos, lo cual establece, junto con las bases conceptuales, la permanencia o no de estos en el índice (CPC y Universidad del Rosario, 2020a).

Adicionalmente, el IDC 2020 identifica y trata la presencia de valores atípicos en los indicadores, lo anterior considerando los posibles sesgos que ello puede traer en los resultados del índice. En primer lugar, la identificación se realiza mediante la utilización del método gráfico *boxplot*, el cual permite establecer de manera visual los valores atípicos presentes en la distribución del indicador. En segundo lugar, se realiza el proceso de *winsorización* con el fin de suavizar la distribución de los indicadores identificados con valores atípicos, acotando los valores extremos al percentil 95 de la distribución del indicador (CPC y Universidad del Rosario, 2020a).

Por otro lado, considerando la limitación en la cobertura de los datos para la totalidad de los departamentos, el IDC 2020 realiza un procedimiento de IM (Imputación Múltiple) con el objetivo de estimar la información en aquellos departamentos que no la poseen.

Finalmente, la construcción del IDC se efectúa en cuatro pasos. Primero, se realiza una transformación máx.-min. con el objetivo de normalizar los datos, manteniendo el orden de los departamentos y la distancia relativa entre estos, donde los puntajes de los indicadores se encontrarán entre 0 y 10. En segundo lugar, se calculan los puntajes para cada subpilar mediante la aplicación de un promedio simple de los indicadores que los componen. Tercero, se obtiene el puntaje para cada pilar como promedio de los puntajes de los subpilares que los conforman. Por último, a través de un promedio simple de los 13 pilares, se obtiene el puntaje del IDC 2020 (CPC y Universidad del Rosario, 2020a).

Índice Departamental de Innovación para Colombia-IDIC

El IDIC (Índice Departamental de Innovación para Colombia) corresponde a la adaptación del Índice Global de Innovación de la OMPI (Organización Mundial de Propiedad Intelectual) para el caso colombiano.

El IDIC se consolida como un instrumento medición de innovación robusto y confiable a partir de la recopilación de indicadores clave para el desempeño de los sistemas de innovación regional y permite seguir identificando las brechas regionales en materia de capacidades de innovación de los departamentos de Colombia, así como retos y fortalezas (DNP, 2020, p. 15).

El IDIC se encuentra compuesto por dos subíndices: insumos y resultados, los cuales se dividen en cinco y dos pilares, respectivamente. Estos pilares se encuentran conformados por subpilares, y estos a su vez comprenden una serie de indicadores, simples o compuestos (DNP, 2020). Específicamente, el IDIC se construye a partir de un proceso de agregación de los constructos anteriormente mencionados, sin asignar pesos diferenciales, donde estos últimos se calculan a través de un promedio simple de los diversos elementos que lo conforman (DNP, 2020).

Por otro lado, el IDIC identifica y trata la presencia de valores atípicos en los indicadores. En primer lugar, la identificación se realiza utilizando el método gráfico *boxplot*, el cual permite identificar los valores atípicos que se encuentran dentro de la distribución del indicador. En segundo lugar, se efectúa el proceso de *winzorización* con el objetivo de suavizar la distribución de los indicadores identificados con valores atípicos, acotando los valores extremos al percentil 90 de la distribución del indicador (DNP, 2020).

Finalmente, en cuanto a la estandarización y normalización de los datos, el IDIC utiliza el método min.-máx., manteniendo el orden de los departamentos y la distancia relativa entre estos, donde los puntajes de los indicadores se encontrarán entre 0 y 100 (DNP, 2020).

Metodología de Evaluación del Conocimiento-KAM

Ahora bien, considerando la importancia que el concepto “economía del conocimiento”³ tendrá en el desarrollo del presente libro, se expone a continuación el KAM (Metodología de Evaluación del Conocimiento, por sus siglas en inglés).

El KAM es una herramienta que permite medir y comparar el grado de avance de los diversos países en su camino hacia la economía del conocimiento. Concretamente, permite a los países identificar sus fortalezas y debilidades y, por tanto, definir focos de política pública o inversión que permitan la transición de estos países hacia una economía del conocimiento (Chen y Dahlman, 2006).

El KAM proporciona una evaluación sobre la posición de un país o región en términos de economía del conocimiento. La economía del conocimiento presenta cuatro pilares: incentivo económico y régimen institucional; educación y recursos humanos; sistema de innovación; e infraestructura de información (Chen y Dahlman, 2006). Estos cuatro pilares se complementan con indicadores que reflejan el desempeño general de la economía: económico, social y equidad de género. Chen y Dahlman (2006) establecen como base para las comparaciones entre países 80 variables que sirven como *proxy* de los cuatro pilares de la economía del conocimiento.

Por otro lado, la aplicación del KAM permite determinar el Índice de KEI (Economía del Conocimiento, por sus siglas en inglés), el cual ayuda a establecer el nivel de desarrollo en cuanto a economía del conocimiento de un país o región. El KEI se enfoca en el análisis de los cuatro pilares de la economía del conocimiento, y se construye como el promedio simple de los valores normalizados de 12 indicadores, tres por cada pilar. El KEI normaliza los valores de sus indicadores en una escala de 0 a 10, donde 10 representa el puntaje más alto y 0 el más bajo (Chen y Dahlman, 2006).

³ En el Capítulo 3 se definirá el concepto “economía del conocimiento”.

Finalmente, es importante considerar que, dada su facilidad de uso, transparencia y accesibilidad, el KAM ha sido ampliamente utilizado por hacedores de política pública, investigadores, academia y sector privado. Los diferentes países otorgan diferente importancia a los pilares de la economía del conocimiento, lo que permite al KAM evaluar debilidades particulares de un determinado país (Chen y Dahman, 2006).

Metodología para el cálculo del índice de apropiación digital

Como insumo para la elaboración del índice de desarrollo sostenible en una economía del conocimiento, se construirá un índice de apropiación digital tanto para el Valle del Cauca como para los tres municipios objeto de estudio: Cali, Buenaventura y Tuluá. En este apartado se describe la metodología empleada para la construcción de dicho índice.

El objetivo del índice de apropiación digital, desarrollado por el CNC (Centro Nacional de Consultoría), consiste en encontrar una medida de la capacidad de las personas de cambiar y agilizar sus vidas a través del uso del mundo digital.⁴

Cabe observar que, a nivel mundial, se han desarrollado otros índices para tal fin, pero estos índices solo toman en cuenta acceso y usos. El índice de apropiación del CNC incluye la variable de intenciones, es decir para qué se usa la herramienta. El índice se calcula a través de una encuesta donde se le pregunta al individuo las actividades en Internet que realiza varias veces a la semana, y para cada una de estas actividades se le solicita que explique con qué fin la realiza. Para la construcción de este índice se utilizaron datos provenientes de la encuesta multipropósito aplicada a los municipios de Cali, Buenaventura y Tuluá (ver Capítulo 2).

Una vez se ha identificado el número de actividades que realiza y las intenciones con que las hace, se utiliza el AED (Análisis Envoltante de Datos)⁵ para calcular el índice. (Cooper, *et al.*, 2007)

La metodología AED establece una frontera con los individuos que más tienen usos e intenciones con respecto a la apropiación digital. Por ejemplo, en la medición realizada por el CNC en el 2016 los máximos fueron 8 intenciones y 35 usos; y 13 intenciones y 33 usos. Una vez se tiene la frontera se establece de 0 a 1 la distancia a ella (Ver Figura 1.1).

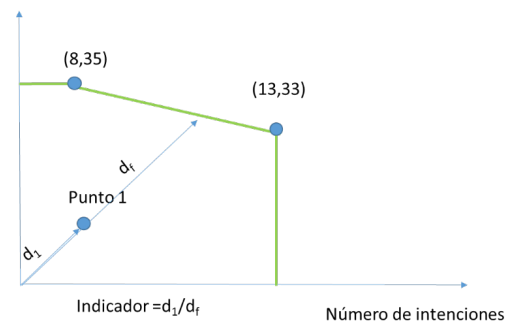


Figura 1.1 Frontera y cálculo del índice de apropiación digital

Fuente: CNC (2018).

De esta forma, el índice para θ la persona θ se obtiene resolviendo el siguiente problema de optimización:

$$Max \theta_0 = u y_0 + v x_0 \quad (10)$$

s.a.

$$u y_i + v x_i \leq 1 \quad (i = 0, 1, \dots, n) \quad (11)$$

$$u \geq 0; v \geq 0$$

Donde y_0 es el número de usos que tiene la persona θ , x_0 el número de intenciones de la persona θ , u es el peso que tienen los usos en el cálculo del índice y v es el peso que tienen las intenciones.

De la ecuación (11) se puede observar que el número de restricciones n es igual al tamaño de personas evaluadas. De esta forma, se maximiza el índice de la persona sujeto a que con esa misma

⁴ Agradecemos al Centro Nacional de Consultoría por facilitarnos su metodología, así como su aplicación a los datos que se desarrollaron en el marco del Contrato Univalle-CNC-.

⁵ Data Envelopment Analysis. William W Cooper, Lawrence M. Seiford and Kaoru Tone.

ponderación nadie más de la muestra pueda tener un índice mayor a 1.

Cabe observar, que en la ecuación (11) es necesario definir un valor para u , es decir un peso. Una forma simple de asignar el valor de u consiste en asignar el mismo peso a los usos (u) y las intenciones (v) (ambas toman el valor de 1).

Posteriormente, para el cálculo del índice se construye una variable con el total de usos (U_{usos}) y otra con el total de intenciones ($Intención$) registradas por cada representante del hogar al momento de la encuesta. Al analizar estas dos variables se identificó que la frontera del índice estaba entre 49 usos y 16 intenciones (49;16). A partir de la frontera y teniendo en cuenta los pesos asignados, el índice que se reportará más adelante (ver Capítulo 3), se construyó como una ponderación de la suma de usos e intenciones reportados en cada registro sobre el total reportado en la frontera (65).

Implicaciones del índice de Apropiación Digital

Los supuestos que respaldan la construcción del índice de apropiación digital son:

- *Comparación con los mejores.* El índice, debido a la metodología escogida, se basa en una comparación contra los mejores de la población de estudio, aquellos que más usos e intenciones tienen. La medición y los resultados de un diagnóstico podrían ser muy diferentes si se hicieran a través de un promedio y las desviaciones por encima o por debajo del promedio.
- *Todos los usos y todas las intenciones valen igual.* A pesar de que algunos usos e intenciones tienen mayor valor transformacional para la persona —educación, generación de ingresos, transacciones— no se le ha dado más valor, ya que se tiene evidencia de que aquellas personas que llevan a cabo usos e intenciones transformacionales también llevan a cabo usos e intenciones más comunes —comunicación y diversión—.
- *Todos los caminos llevan a la frontera.* Como se puede observar en la formulación matemática,

el índice es la maximización de los usos e intenciones por unos ponderadores, sujeto a que con esa ponderación nadie esté por encima de 1. Esto lo que quiere decir es que es igualmente válido acercarse a la frontera por un número alto de usos a pesar de tener pocas intenciones, un número alto de intenciones a pesar de tener pocos usos o por una mezcla de los dos. Esto resuelve el problema de tener que establecer pesos arbitrarios entre usos e intenciones.

Metodología para el cálculo de índices de percepción: Gobernanza, Innovación y Competitividad

Este apartado presenta la metodología utilizada para calcular los índices de percepción de gobernanza, innovación y competitividad, los cuales servirán de insumo para la construcción del índice sintético de desarrollo sostenible en una economía del conocimiento.

Ahora bien, con el objetivo de obtener información relevante para la construcción del índice sintético de desarrollo sostenible en una economía del conocimiento aplicable para el Valle del Cauca, se realizó el taller “Inventario de información disponible a nivel económico, social y laboral, en el Valle del Cauca”, el cual tenía por objetivo presentar la situación actual en materia de indicadores económicos, sociales y laborales del Valle del Cauca, sus municipios y, en algunos casos, su comparación con Colombia. Este taller se realizó el 3 de diciembre de 2020 en el marco del diplomado “Formación de líderes para el desarrollo local basado en ciencia, tecnología e innovación transformativa. Énfasis 1: Sistema Nacional de Regalías y enfoque diferencial étnico” ofrecido por la Universidad del Valle en el periodo septiembre–diciembre de 2020. Al taller asistieron más de 700 personas, a los cuales se les realizó una encuesta, a partir de la cual y con la metodología aquí presentada, se procedió a calcular tres índices de percepción: el Índice de percepción de la gobernanza, el Índice de innovación y el Índice de competitividad. Los tres índices se calcularon tanto para

el Valle del Cauca como para los tres municipios objeto de estudio.

El tamaño de muestra considerado es 706 para todo el departamento del Valle del Cauca, donde 353 corresponden a Cali, 73 a Buenaventura y 37 a Tuluá. Dicho tamaño de muestra se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Np(1-p)deff}{(N(Esrel^2)p^2 + p(1-p)deff)} \quad (12)$$

Donde N es el tamaño de la población, p es la proporción de interés en el estudio, $deff$ es el efecto de diseño, y $Esrel$ es el error estándar relativo. El error estándar relativo máximo admitido es de 2,19% para el Valle del Cauca, 2,28% para Cali, 5,83% para Buenaventura y 7,97% para Tuluá, con una confiabilidad del 95% y un efecto de diseño de 1,2. En cuanto al tamaño de la población, este corresponde al número de individuos certificados en el diplomado al momento de la realización de la encuesta: 984 en el departamento del Valle del Cauca, donde 417 corresponden a Cali, 92 a Buenaventura y 46 a Tuluá.

Con el fin de analizar la gobernanza, articulación de los investigadores y grupos de investigación con la empresa, el Estado y la sociedad civil, al igual que la innovación y la competitividad en la región, se preguntó a los encuestados sobre la percepción que estos poseen sobre los temas en cuestión (gobernanza, innovación y competitividad)⁶ utilizando una escala ordinal de Likert (1932). Se utilizaron cinco categorías con el fin de comparar los resultados con aquellos del índice departamental de innovación del DNP (2020), cuyos valores se encuentran de 0 a 100 puntos y se clasifican en bajo, medio-bajo, medio, medio-alto y alto de acuerdo con su posición.

A continuación, se procedió a generar un puntaje de uno (1) a cinco (5) de la siguiente forma:

- Se preguntó a los entrevistados sobre su percepción de la gobernanza/innovación/competitividad en una escala tipo Likert cuyas

categorías, i , fueron: Baja, Media-Baja, Media, Media-Alta y Alta.

- A las categorías se les asignó un puntaje, p_i , de uno a cinco de la siguiente forma: Baja=1; Media-Baja=2; Media=3; Media-Alta=4; y Alta=5.
- Se calculó el índice de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Percepción_j = \frac{[\sum_{i=1}^n p_i * v_i]}{N} \quad j \quad (13)$$

Donde j es el municipio, v el número de respuestas en la categoría i y p el puntaje para cada categoría. De acuerdo con esta construcción se puede observar que a mayor valor en el índice mayor percepción existirá de la articulación entre los investigadores y grupos de investigación con la empresa, el estado y la sociedad civil, gobernanza, de la innovación o la competitividad de la región.

Finalmente, con el fin de analizar la fiabilidad del instrumento aquí utilizado, se calculó el Coeficiente Alfa de Cronbach, propuesto por Cronbach (1951), el cual permite medir la consistencia interna de un instrumento con más de dos opciones de respuestas posibles. El cálculo de este coeficiente se puede realizar a través de la varianza de los ítems del instrumento, específicamente (Fabila *et al.*, 2013):

$$\alpha = \left[\frac{K}{(K-1)} \right] \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^K S_i^2}{S_t^2} \right] \quad (14)$$

Donde K es el número de ítems o preguntas, S_i^2 es la varianza del ítem i , y S_t^2 es la varianza de la suma de todos los ítems. El coeficiente Alfa de Cronbach presenta valores entre 0 y 1, entre más cercano a la unidad mayor es la consistencia interna del instrumento (Oviedo y Campo, 2005). En cuanto a la consistencia interna de la encuesta aquí presentada, el Alfa de Cronbach arroja un valor de 0,84, esto indica que el instrumento es fiable y, por ende, sus mediciones son estables y consistentes.

⁶ En el Capítulo 3 se definen los conceptos de gobernanza, innovación y competitividad.

Metodología de análisis de producción y empleo inter industrial

Con el fin de realizar un análisis del comercio inter industrial para el Valle del Cauca⁷, se hace necesario utilizar como herramienta la matriz insumo producto del departamento, a partir de la cual se calcula el empleo inter industrial y, los multiplicadores de producción y empleo, los cuales permiten clasificar los sectores y los eslabonamientos como una medida del comercio inter industrial del Valle del Cauca, determinando así el aporte de este al desarrollo sostenible en una economía del conocimiento. Considerando lo anterior, partimos de definir la matriz insumo producto.

La MIP (Matriz Insumo-Producto) se define como un

Cuadro de doble entrada que describe el funcionamiento de una economía, cuantificando como input los flujos de bienes y servicios utilizados en su proceso productivo por cada rama de actividad, y como outputs los que se venden a otras ramas productoras y/o se reflejan en los usos finales; todo ello, viene referido a un concreto espacio regional, nacional, supranacional, etc. (SADEI, 1999, p. 19).

Por lo tanto, se debe entender que toda matriz insumo producto es una representación estadística que muestra las relaciones cruzadas entre las distintas ramas de una economía, medidas por los flujos que se producen entre los bienes y servicios, durante un determinado periodo de tiempo que generalmente es un año (Soza, 2007).

El estudio de modelos multisectoriales o interindustriales constituye un eslabón entre el análisis parcial, microeconómico de tipo neoclásico, y el análisis macroeconómico de corte keynesiano. El objetivo principal del modelo de Keynes es investigar los cambios en el nivel de la actividad económica —medido en el PNB— como resultado de cambio

en los gastos autónomos, por medio del multiplicador del gasto (Kosikowski, 1970).

El modelo de insumo producto está soportado en tres matrices:

1. Matriz de transacciones
2. Matriz o cuadro de coeficientes técnicos
3. Matriz o cuadro de coeficientes de interdependencia, multiplicadores o matriz recíproca (Duque *et al.*, 2006; Banguero *et al.*, 2008; Duque *et al.*, 2013).

Matriz de transacciones

En la matriz de transacciones se recoge la información sobre los flujos interindustriales y los flujos entre el aparato productivo y los utilizadores finales. Cada fila de la matriz representa el papel de un sector como vendedor de bienes y servicios a compradores intermedios y finales; cada columna representa al sector en su papel de comprador de insumos producidos e insumos primarios. Los insumos comprados de otros sectores se llaman producción secundaria y los demás insumos se llaman producción primaria —no producidos—. Los insumos primarios corresponden a los pagos por los servicios de los factores de producción tales como trabajo, capital y recursos naturales, que conforman el valor agregado. Se compone de tres cuadros o submatrices: el cuadrante de consumo intermedio, el cuadrante de valor agregado y el cuadrante de demanda final.

En la aplicación de la teoría de insumo producto, la hipótesis básica es que para toda rama j la relación entre el consumo intermedio x_{ij} y la producción es constante. Por tanto, un coeficiente técnico es una razón que indica cuáles son las necesidades del insumo i por peso de producción bruta del sector j . El supuesto fundamental necesario para el análisis inter industrial es que la actividad económica de un país puede repartirse entre un número finito de sectores productivos, de tal forma que cada sector tenga una sola función de producción.

Matriz de coeficientes técnicos

La matriz de coeficientes técnicos se basa en dos hipótesis: la de homogeneidad y proporcionalidad. La primera indica que cada rama de actividad

⁷ No es posible realizar el análisis de manera individual para los municipios de Cali, Buenaventura y Tuluá, debido al nivel de agregación de la información y la inexistencia de información municipal.

económica produce una sola mercancía o producto, originado mediante una sola estructura de insumos que no pueden sustituirse entre sí. Para efectos del cálculo las unidades de observación son el establecimiento y las mercancías, donde todas las transacciones de insumos y productos se consideran valoradas en los mismos precios. En tanto, la hipótesis de proporcionalidad establece que la cantidad utilizada de cada insumo varía proporcionalmente con la producción total del sector. Existe proporcionalidad entre la cantidad de producto de cada sector y las cantidades de insumos utilizados; esto implica funciones lineales de producción que son homogéneas de grado I y no existen externalidades. En otras palabras, se suponen rendimientos constantes a escala y se excluyen explícitamente economías o diseconomías externas. Los coeficientes técnicos se calculan como la razón entre los elementos de los cuadrantes de consumo intermedio y de valor agregado, y el VBP (Valor Bruto de la Producción) de la respectiva columna, de la siguiente manera:

$$A_{ij} = \frac{CI_{ij}}{VBP_j} \quad (15)$$

donde A_{ij} es el coeficiente técnico ij ; CI_{ij} es el consumo intermedio ij ; VBP_j es el valor bruto de la producción del sector j .

Matriz de interdependencias

La matriz de interdependencias —recíproca, inversa de Leontief o de multiplicadores— explica la interdependencia tecnológica del sistema productivo y, permite calcular los niveles de producción que se requieren para satisfacer diversos niveles de demanda final neta y, por ende, los requisitos de insumos intermedios necesarios para alcanzar la producción que se genera. Esta matriz resulta de restar a una matriz idéntica "I" la matriz de coeficientes técnicos de producción "A". De ahí resulta la matriz (I-A) o matriz de Leontief y, su inversa es la denominada matriz de interdependencias.

El modelo de insumo-producto permite el análisis de impactos mediante el uso de multiplicadores de producción, multiplicadores de renta (Tipo I y II) y multiplicadores de empleo (Tipo I y II).

Multiplicadores de producción y empleo

El análisis de interdependencia sectorial, además de tipificar el conocimiento de las secuencias del proceso productivo, es decir, de cuantificar las relaciones entre los diferentes sectores productivos como oferentes o demandantes mutuos de insumos intermedios, permite el mejor conocimiento del aparato productivo y por consiguiente la posibilidad de incidir, a través de la política económica, en el comportamiento de los sectores en particular y del sistema económico en general. La interdependencia sectorial ha sido ampliamente tratada en la literatura económica; existe un buen número de indicadores de interdependencia sectorial que van desde los más clásicos como los índices de Chenery-Watanabe (1958), los coeficientes de Rasmussen (1963), los índices de Yan-Ames (1965), y los de Streit (1969) hasta los más recientes como son los de Sonis, Hewings y Martins (1995) y, Dietzenbacher y Van Der Linden (1997) (Fuentes y Brugués, 2001; Tarancón, 2003; y Soza, 2004); entre otros.

Un multiplicador es un coeficiente numérico que indica la magnitud del cambio de una variable —generalmente endógena— producida por la variación de una variable que se ha "pulsado" o modificado. El multiplicador refleja la "magnitud" de la variación de la variable endógena ante cambios en la variable modificada. Los multiplicadores vienen ligados al concepto de sector clave, cuyas tipologías del sistema productivo, con base en el análisis insumo producto, pueden ayudar a establecer objetivos de política económica con proyección sectorial (Duque, *et al.*, 2013).

Los multiplicadores de producción son los elementos r_{ij} , r_j y r_i . Un elemento r_{ij} indica cuál es la cantidad de valor bruto de la producción necesaria directa e indirectamente del sector i para producir una unidad de demanda final del sector j . La sumatoria de la columna j de la matriz, r_j se interpreta como la cantidad de producción de todos los sectores —la economía en conjunto—, necesaria directa e indirectamente para generar una unidad de demanda final del sector j . La sumatoria de las filas i , r_i , se interpreta como la cantidad de producción del sector i necesaria

directa e indirectamente para generar un vector unitario de demanda final —de la economía en conjunto—.

Coeficientes de Rasmussen

Los coeficientes de Rasmussen cuantifican los efectos hacia atrás (BL^R) y adelante (FL^R) que puede experimentar un sector, a partir de la matriz inversa de Leontief, de esta manera se puede calcular el aporte que hace un sector a la economía y la interrelación que éste tiene con el resto de los sectores, observando cómo el cambio de una unidad monetaria en la demanda final de cada sector afecta al producto total de todas las ramas en conjunto (Schuschny, 2005).

Rasmussen introduce los conceptos de “Poder de Dispersión” y “Sensibilidad de Dispersión” de un sector. Interpretándose el primero como la expansión que provoca un sector o industria, en el sistema total, es decir, la capacidad que posee un sector de requerir demanda final de otros, arrastrando de esta manera a otras industrias. El segundo, muestra cómo se ve afectado un sector cuando aumenta la demanda final de todas las ramas en una unidad, es decir, cuantifica el impacto que se genera en dicho sector cuando se produce una expansión en la economía global.

Los coeficientes de Rasmussen presentan mejoras y modificaciones a los planteados por Chenery-Watanabe (1958), y al igual que ellos diferencian los distintos tipos de sectores que se pueden encontrar en una economía (ver Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Clasificación de los sectores según los Coeficientes de Rasmussen

	$BL^R < 1$	$FL^R > 1$
$BL^R > 1$	Sectores base o estratégicos	Sectores claves
$FL^R < 1$	Sectores independientes	Sectores impulsores de economía

Fuente: Rasmussen (1963).

Los *sectores claves* son aquellos que cuando se produce un incremento en la demanda final de algún otro sector requieren, en términos relativos, de más insumos que el resto, pues son insumos intermedios de los primeros.

Los *sectores base o estratégicos* son sectores donde el poder de dispersión es menor a 1 y el de sensibilidad de absorción es mayor que 1, si son comparados con la media de la economía.

Los *sectores independientes o islas* son sectores, en general, poco atractivos en términos de provocar un mayor impacto en la economía, pues su desarrollo no afecta a los sectores que son insumo de éstos ni a los que emplean a éstos como productos intermedios.

Los *sectores con fuerte arrastre o impulsores de la economía* son aquellos que demandan insumos de otros sectores intermedios y se destacan, por el estímulo que generan en la producción de bienes intermedios.

En términos del empleo, a través de los multiplicadores de empleo es posible conocer el número de trabajadores necesario para generar una unidad de producción del sector ; relación denominada coeficiente técnico de empleo, o coeficiente directo de empleo.

Los multiplicadores de empleo se subdividen en dos clases, aquellos que sólo toman en consideración los efectos directos e indirectos generados por cambios en la demanda final de cualquier sector y, los que además incluyen los efectos sobre ingresos y empleo inducidos por cambios en el consumo; estos últimos permiten conocer el impacto, directo, indirecto e inducido, a partir de un aumento en la demanda final —excluyendo el consumo como parte de la demanda final— de cualquier sector incluido en el cuadro de insumo-producto (Ruiz, 1980; Duque *et al.*, 2013).

El cálculo del multiplicador de empleo se expresa de la siguiente forma:

$$E = L * (I - A)^{-1} * D = M * D \quad (16)$$

donde E es el empleo, L es el vector de coeficientes sectoriales de empleo —con elemento i siendo $I_i = \frac{e_i}{x_i}$ de empleo dividido entre la producción efectiva sectorial—.

El producto de la matriz diagonal de coeficientes de empleo y la inversa de Leontief es lo que se denomina multiplicadores totales de empleo, M , que tienen la siguiente estructura:

$$M = [m_{11} m_{12} \dots m_{1n} m_{21} m_{22} \dots m_{2n} \dots \dots m_{n1} m_{n1} \dots m_{nn}] \quad (17)$$

donde el elemento $m_{ij} = I_i * b_{ij}$ indica el empleo total requerido en el sector i para que el sector j produzca una unidad de *output* para la demanda final. Así, la fila i señala la forma en que el empleo es generado en el sector i por la actividad requerida en el resto de sectores y, su suma —multiplicador fila— el aumento total del empleo de ese sector i ante aumentos unitarios de la demanda final de todos los sectores. Las columnas muestran las formas en que la actividad generada por el sector j crea empleo entre todos los sectores de la economía. De esta forma, la suma por columnas de los multiplicadores de empleo —multiplicador columna— indica el empleo total generado en la economía ante aumentos unitarios de la demanda final de ese sector. Por tanto, la matriz M describe la forma en que el empleo se genera tanto por el impulso de cada uno de los sectores como su distribución en el interior de cada sector de la economía. A los elementos del vector L , se les denomina multiplicadores directos de empleo, al medir el impacto inicial sobre el empleo de un sector de aumentos exógenos en la demanda de ese sector. La diferencia entre M y L mide por tanto los efectos indirectos.

Los Multiplicadores de empleo tipo I, se estiman usando el “modelo abierto” —se excluye el sector de “familias” de la matriz— y se define como el cociente del coeficiente de empleo directos e indirectos sobre el coeficiente de empleos directos. Se toma el empleo de cada uno de los sectores y se dividen por la producción correspondiente del sector —VBP— De esta forma se obtienen los coeficientes directos de empleo por sector.

Luego de obtener los coeficientes directos de empleo, se premultiplican los coeficientes directos (E) por la matriz de requisitos directos e indirectos (matriz inversa). El resultado obtenido de la multiplicación del vector fila por la matriz inversa es el vector de coeficientes directos e indirectos de empleo por unidad de demanda final (L).

$$L = E(I - A)^{-1} \quad (18)$$

$$K_{E1} = \frac{\text{Vector}L}{\text{Vector}E} \quad (19)$$

donde K_{E1} es el multiplicador tipo I.

El multiplicador tipo I, ignora los efectos inducidos por los gastos de consumo que a su vez fueron inducidos por cambios en la demanda final y la producción. Esto tiende a subestimar los multiplicadores especialmente para sectores industriales intensivos en mano de obra y/o sectores que pagan altos salarios y jornales. Debido a esto los multiplicadores tipo II ofrecen un cuadro más real de los impactos sobre el ingreso y empleo de cambios en la demanda final de los sectores incluidos en las matrices insumo producto.

Los multiplicadores tipo II, se estima usando el “modelo cerrado” —incluye “familias” como un sector industrial— de insumo producto y se define como el cociente del coeficiente de requisitos directos, indirectos e inducidos sobre el coeficiente directo de empleo. El consumo de bienes duraderos, no duraderos y servicios se incluye como una columna adicional en la matriz y los salarios y jornales como una fila adicional. En este caso, las familias suplen servicios laborales y sus insumos se consideran bienes de consumo. Posteriormente se multiplican los requisitos directos de empleo por la inversa aumentada de la matriz y se obtienen los coeficientes de requisitos directos, indirectos e inducidos; estos coeficientes divididos por los coeficientes de requisitos directos equivalen al multiplicador de empleo tipo II.

$$N = E(I - A)^{-1} \quad (20)$$

donde N son los requisitos directos, indirectos e inducidos por unidad de demanda final —excluyendo de la demanda final el consumo personal—, E son los coeficientes de requisitos directos, $(I - A)^{-1}$ es la inversa de la matriz aumentada en un sector adicional. La relación N/E da como resultado los multiplicadores tipo II:

$$K_2 = \frac{N}{E} \quad (21)$$

donde K_2 es el multiplicador tipo II.

El modelo clásico insumo producto de Leontief se utiliza para efectuar simulaciones que midan los impactos de diferentes choques externos en una economía, sobre la base de distintos escenarios. Para las simulaciones se utilizan dos modelos: el de *demanda* (y) con el que se mide el impacto ante cambios en el consumo privado y del gobierno, la inversión o las exportaciones. A su vez, el modelo de *oferta* (v) se aplica para medir los impactos que pueden generar la variación de los costos de los productos importados, las remuneraciones a los factores productivos y las tasas impositivas (impuestos indirectos); en los dos casos, los impactos se pueden medir en la producción bruta (x) y en el PIB principalmente, aun cuando se puede hacer sobre otras variables del modelo.

Especial relevancia tiene la medición de impactos sobre el empleo dado que además de utilizar la matriz recíproca se necesita obtener un vector de empleo; la conjunción de esta información permite medir —para analizar— los impactos que diferentes shocks de demanda generan sobre la ocupación de la mano de obra. El propósito de este proceso es identificar qué sectores provocan mayor crecimiento productivo para el conjunto de la economía, así como qué tipo de acciones son las más eficientes de cara a un desarrollo de la producción y , por consiguiente, en la generación de empleo.

La forma de cálculo de los impactos se puede hacer cuantificando en unidades monetarias los componentes de y ó v que se pretenden proyectar o, utilizando tasas de variación de los componentes. En particular, con las tasas de variación se logra mayor

uniformidad en la realización y presentación de los cálculos.

Las proyecciones de demanda sobre la base de la matriz inversa en un modelo clásico o de $(I - A)$ deben tener en cuenta todos los efectos posibles en un impulso inicial de demanda. Por tanto, la matriz $(I - A)^{-1}$ de coeficientes de requisitos directos e indirectos por unidad de demanda final de mercancía, es la que permite medir los efectos en la producción x de aumentos en la demanda final y , de tal forma que:

$$(I - A)^{-1} y = x \quad (22)$$

Para proyectar, se debe incorporar al análisis la desagregación de la demanda final y de insumos primarios, ya que en la práctica se proyectan los componentes de demanda (y). Como lo que se pretende proyectar son tasas de variación (Δ) de componentes de y , dichas tasas deben ser ponderadas por su participación en la demanda final o costos primarios, antes de ser aplicadas a las matrices inversas. Tales ponderaciones están implícitas en los respectivos cuadrantes de demanda final y valor agregado, de tal manera que la suma de elementos y , es 1 en cada fila, (Venegas, 1994; Duque *et al.*, 2013).

Conclusiones

En el presente Capítulo se describen las diversas metodologías que se utilizarán en el desarrollo de los índices y mediciones que se realizarán a lo largo del libro. Particularmente, se especificó la metodología que se empleará para la construcción del índice sintético de desarrollo sostenible en una economía del conocimiento y el índice sintético de mercado laboral, índice de distancia DP2, desarrollada por Pena (1977).

Asimismo, se describen las metodologías implementadas en el cálculo del índice de apropiación digital y los índices de percepción de gobernanza, innovación y competitividad, cuyos resultados serán utilizados como insumos en la construcción

del índice de desarrollo sostenible en una economía del conocimiento.

Por último, se especificó la metodología utilizada en la construcción del índice de actividad económica y aquella empleada en el análisis del comercio interindustrial para la producción y el empleo en el departamento del Valle del Cauca.