

METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ÍNDICES DE EQUIPAMIENTOS DE INFRAESTRUCTURAS PRODUCTIVAS

MA. JESÚS DELGADO RODRÍGUEZ* E INMACULADA ALVAREZ AYUSO**

Resumen

Se presenta una metodología para la elaboración de índices de infraestructuras productivas a partir de las características físicas de estos equipamientos y siguiendo la técnica del análisis multivariante, en concreto el análisis de componentes principales. Este método de análisis proporciona un marco adecuado para solucionar los problemas que se plantean a la hora de agregar las distintas medidas utilizadas en la valoración de los equipamientos que se incluyen en el índice (carreteras, ferrocarriles, etc.). La complejidad de la estimación del capital público ha limitado las posibilidades de contar con fuentes de información alternativas que permitan examinar su evolución y distribución en los países. La metodología propuesta permite ofrecer información sobre la capacidad de los equipamientos, que componen este capital lo cual tiene especial interés para el análisis de los factores determinantes del desarrollo económico.

Palabras clave: índices de equipamientos, análisis multivariante, unidades físicas, unidades monetarias.

Clasificación JEL: O47; L90; C19;

Recibido: 6 de julio de 2001.

Enviado a dictamen: 11 de julio de 2001.

Aceptado: 31 de octubre de 2001.

En el numeroso grupo de trabajos que se han realizado en los últimos años con el objetivo de explicar las disparidades en el crecimiento económico de los países se ha puesto de relieve la necesidad de contar con mayor información acerca de la naturaleza de los factores que están favoreciendo u obstaculizando los procesos de convergencia real, destacando como uno de los factores más relevantes las dotaciones de capital, y entre ellas las de infraestructuras productivas. La influencia de la dotación de infraestructuras cuenta con una nutrida base teórica y empírica acumulada desde la publicación de las investigaciones pioneras de Aschauer [1989a y b], Munnell [1992], Mas *et al.* [1994a y b], entre otras, en las que se incluían estas dotaciones, de manera explícita, como un insumo del proceso productivo.

Este interés por conocer los efectos económicos de la creación de estos equipamientos ha hecho que la atención se dirija a su vez hacia el procedimiento de cuantificación tanto del capital público como de las categorías que lo componen, dado que todas las estimaciones empíricas de la contribución de las infraestructuras están condicionadas a la forma en que aquélla se ha valorado. Por ello, en este artículo se propone una metodología para elaborar índices de los equipamientos de infraestructura y que permita realizar análisis precisos de su impacto económico, así como evaluar las bases que sustentan las posibilidades de crecimiento futuro de los países.

El trabajo se estructura de la siguiente manera: en primer término se revisan los métodos de estimación más empleados y se desarrollan algunas consideraciones generales sobre la delimitación del concepto de capital público. El siguiente apartado se centra en el procedimiento de estimación propuesto en este trabajo y se describe el uso de técnicas estadísticas de análisis de datos para ponderar las variables que forman el índice. A continuación se aplica esta metodología para la elaboración de índices de infraestructuras de las regiones españolas y los resultados se comparan con medidas alternativas en términos monetarios. Por último, se presentan algunas consideraciones finales.

* Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, Universidad Rey Juan Carlos, Campus Vicálvaro. Correo electrónico: mdelgado@fcjs.urjc.es.

** Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Complutense de Madrid, Campus de Somosaguas. Correo electrónico: eccuay6@sis.ucm.es. Las autoras agradecen los comentarios y sugerencias de dos árbitros anónimos.



Métodos de estimación empleados

Los análisis realizados sobre el papel del capital público en la economía han empleado valoraciones tanto monetarias como en términos físicos, que se han elaborado utilizando métodos de estimación alternativos. La elección de las unidades de medida puede condicionar el resultado final; por ello, esta decisión debe estar en concordancia con el objetivo del estudio que se pretenda realizar.

La mayoría de las estimaciones del capital público de la economía se han realizado en unidades monetarias y parten, habitualmente, de una definición centrada en el *stock* de capital de las administraciones públicas, excluyendo por tanto las inversiones realizadas por las empresas públicas. Desde esta perspectiva, el método que principalmente se utiliza para valorar el *stock* de capital público es el del inventario permanente, que consiste en la agregación de las inversiones realizadas en cada periodo ajustadas por el deflactor y la tasa de depreciación.

El problema fundamental del método del inventario permanente¹ es que se debe disponer de estimaciones del capital inicial lo más fiables posibles, dado que con el paso del tiempo, dadas unas tasas de depreciación, los capitales acumulados son cada vez más realistas. Además, es necesario usar tasas de depreciación (que requieren el establecimiento de hipótesis sobre la duración de los componentes del capital) y deflatores adecuados para bienes que no se venden en el mercado.

La ecuación de acumulación de capital puede escribirse como:

$$\gamma_{K_{i,t}} = \frac{K_{i,t}}{K_{i,t}} = \frac{i_{it} Y_t}{K_{i,t}} - \delta_i$$

En donde δ_i es la tasa de depreciación, i_{it} es la tasa de inversión, Y_t el nivel de producto y K_{it} el capital que se pretende estimar.

¹ En Ward [1976] se desarrolla la definición precisa del capital bruto y neto. En el cómputo del capital bruto sólo se hace desaparecer un equipo productivo una vez finalizado el período de vida que se le asigna. Sin embargo, en el cálculo del capital neto los equipos se deprecian a lo largo de su vida útil.

Los análisis basados en este planteamiento han estado condicionados por la disponibilidad de información sobre series homogéneas de inversión de las administraciones públicas, lo que ha llevado a utilizar una delimitación muy restringida de este concepto. Este hecho puede reducir sensiblemente la magnitud del impacto estimado, al no incluir en la valoración del capital público equipamientos que también influyen en el desarrollo regional.

El uso alternativo de las unidades monetarias es el empleo de términos físicos. Esta opción permite utilizar un concepto de infraestructuras más amplio que en el enfoque anterior. La elaboración de índices en unidades físicas centra su interés en conocer la capacidad de los equipamientos de infraestructura regionales, con independencia del carácter de su provisión,² incluyendo también dotaciones que cuentan con participación privada, las cuales tienen en común con el resto de las inversiones públicas que suministran las bases requeridas para el desarrollo económico y generan externalidades positivas. Entre éstas se encuentran las redes de transportes y comunicaciones, las redes de distribución de oferta energética, el sistema de abastecimiento de agua, estructuras urbanas, etcétera.

Para llevar a cabo la estimación del capital público en unidades físicas es necesario recoger información sobre las características físicas y técnicas de los equipamientos que determinarán la capacidad del servicio que ofrecen, que generalmente se encuentra en los anuarios estadísticos, los cuales incluyen datos sobre las cantidades y calidades de estas dotaciones.

Desde este planteamiento hay una serie de aspectos importantes que hay que tener en cuenta, como son la selección de las variables que determinarán las dimensiones y características de los equipamientos, el tratamiento de las unidades de medida heterogéneas, así como la asignación de importancia relativa a cada variable y el establecimiento de la forma de agregación para obtener el índice, entre otros, ya que condicionarán el resultado final,

² En algunos casos estos equipamientos los suministran empresas privadas que actúan con arreglo a normativas públicas en sus mercados o presenta algún tipo de diferencia, por ejemplo, en materia de fiscalidad.



como plantea Biehl [1988] y, por lo tanto, las decisiones adoptadas pueden suponer la principal limitación de este enfoque.

Entre los argumentos que frecuentemente se presentan para justificar el empleo de las unidades físicas se encuentra, en primer lugar, que éstas permiten reflejar la capacidad de servicio de estos equipamientos de manera más precisa que en la opción en términos monetarios, dado que no es posible establecer una relación directa entre el costo de determinada infraestructura y el capital o capacidad de servicio que genera [Biehl, 1988]. En esta línea, Pritchett [1996] expone que el costo de la inversión pública no refleja el valor del capital público y en su estudio calcula la relación entre ambas en los países en desarrollo, planteando que con un dólar de inversión se crea aproximadamente la mitad de su valor en capital. Esto implica que la utilización del método del inventario permanente para construir series de capital sobreestima el capital público real. Además, usando unidades físicas se evitan los problemas relacionados con el uso de precios para bienes que no se venden en el mercado y tasas de depreciación en las valoraciones monetarias, permitiendo establecer diferencias en cuanto al tamaño y la calidad de los equipamientos.

No obstante, ambos enfoques son complementarios y ofrecen la posibilidad de contrastar los resultados que se obtienen con cada uno de ellos, lo que permitirá contar con una abundante información sobre estos equipamientos. Las comparaciones realizadas han mostrado, en general, que hay una próxima correspondencia entre las unidades físicas y las medidas monetarias del capital público.

En el cuadro 1 se presentan las opciones empleadas en la literatura para la valoración de los *stocks* de capital público de algunos países. Entre ellas hay no sólo diferencias en los métodos de estimación a partir tanto de unidades monetarias como físicas, sino también el periodo, el ámbito geográfico (provincial, regional o nacional) y el grupo de categorías de equipamientos analizado.

Metodología propuesta para la elaboración de índices

Los equipamientos de infraestructura, también recogidos con el término de capital público, hacen referencia a un concepto cuyos componentes varían, dependiendo del interés del autor. Una de las definiciones más empleadas la ofrece Biehl [1988]: “las infraestructuras se definen como aquella parte del capital global de las economías que debido a su carácter público generalmente no es suministrada por el mercado o éste sólo la suministra de manera ineficiente, por lo que su provisión queda fundamentalmente confiada a las decisiones políticas”.

En este concepto se deja de lado a los servicios públicos, como la defensa, la justicia, etc., y el interés se centra en los componentes más ligados al desarrollo económico regional, los cuales con frecuencia aparecen diferenciados en dos grupos: el capital público económico o productivo y el capital social. Los primeros se orientan principalmente a las empresas, condicionando la capacidad y el funcionamiento del sistema productivo en su conjunto de manera directa. Se trata, entre otras, de las dotaciones de transportes, comunicaciones, etc. Los equipamientos de capital social tienen como objetivo fundamental la formación de capital humano, así como el mantenimiento del bienestar y la protección social. Los equipamientos educativos, sanitarios y de asistencia social forman parte de este capital.

El objetivo de este trabajo es la elaboración de índices para los equipamientos de infraestructura productiva o capital público económico;³ para ello es necesario comenzar con la selección de las características físicas que aporten información sobre estas dotaciones. Este planteamiento es el propuesto por Biehl [1986] en su análisis de las regiones europeas, en el que argumenta que la información sobre las características físicas y técnicas de estos equipamientos refleja su capacidad, a partir de la cual podrá determinarse el potencial de desarrollo re-

³ Las infraestructuras sociales tienen también un papel muy importante en el desarrollo económico regional. Hay numerosos indicadores propuestos en unidades físicas pero no se considerarán en la metodología propuesta al estar muy ligada su medición al capital humano.



Cuadro 1
Estimaciones del stock de infraestructuras productivas

<i>Referencia</i>	<i>Unidad de observación</i>	<i>Periodo</i>	<i>Metodología</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Objetivo del trabajo</i>
BBVA [2001]	Regiones españolas	1955-1997	Método de inventario permanente	Unidades monetarias	Impacto de la productividad privada
Martín y Velázquez [2001]	Países de la UE y EU	1986-1999	Método de inventario permanente	Unidades monetarias	Análisis de convergencia real
Cutanda y Paricio [1992]	Regiones españolas	1987	Media aritmética y geométrica	Unidades físicas	Análisis de desigualdades regionales
Biehl [1986 y 1999]	Regiones europeas	1980 y 1995	Media aritmética y geométrica	Unidades físicas	Potencial de desarrollo regional
Nijkamp [1986]	Provincias holandesas	1970-1980	Media aritmética y geométrica	Unidades físicas	Contribución al desarrollo regional
Canning [1998]	152 países: transporte	1950-1995	Suma ponderada	Unidades físicas	Impacto de la productividad privada
Aschauer [1998]	46 países en desarrollo	1970-1990	Agregación promedios inversión	Unidades monetarias	Impacto del crecimiento económico
Boarnet [1998]	Estados de EU: carreteras	1969-1988	Método de inventario permanente	Unidades monetarias	Efectos desbordamiento
Boscá <i>et al.</i> [2000]	17 países OCDE	1970-1995	Método de inventario permanente	Unidades monetarias	Eficiencia de la provisión de capital público
Otto y Boss [1998]	Australia	1959-1992	Interpolación de datos de inversión	Unidades monetarias	Eficiencia de la provisión de capital público
Fernald [1999]	EU: carreteras	1953-1989	Método de inventario permanente	Unidades monetarias	Impacto de la productividad privada
Seitz [1994]	Estados alemanes	1980-1990	Método de inventario permanente	Unidades monetarias	Impacto de la productividad privada
Feltesstein y Ha [1995]	México	1970-1990	Suma ponderada por categorías	Unidades físicas	Análisis del crecimiento económico
Holtz-Eakin [1993]	Estados de EU	1960-1988	Método de inventario permanente	Unidades monetarias	Impacto de la productividad privada
Munnell [1990]	Estados de EU	1970-1983	Método de inventario permanente	Unidades monetarias	Impacto de la productividad privada
Looney y Frederiksen [1981]	Estados de México	1970	Suma por categorías	Unidades físicas	Análisis de las desigualdades regionales



gional.⁴ De este modo, en el caso de las autopistas, por ejemplo, se discute que sus características físicas permiten estimar la capacidad de flujo de tráfico. Biehl descompone el capital público en subcategorías y centra el interés del análisis en los tres principales grupos de

transportes, comunicaciones y energía. En el cuadro 2 se presentan las categorías económicas propuestas para la estimación del capital público productivo y las características técnicas utilizadas para medir su capacidad de servicio.

Cuadro 2
Indicadores de infraestructuras productivas

<i>Infraestructuras productivas</i>	<i>Indicador propuesto</i>	<i>Tipo de equipamiento</i>
A. Transportes		
A.1. Carreteras		
1.1. Autopistas y autovías	Km de red	Tipo red
1.2. Carreteras nacionales	Km de red	Tipo red
1.3. Resto carreteras	Km de red	Tipo red
A.2. Red ferrocarriles		
2.1. Líneas dobles electrificadas	Km de red	Tipo red
2.2. Líneas dobles sin electrificar	Km de red	Tipo red
2.3. Líneas simples electrificadas	Km de red	Tipo red
2.4. Líneas simples sin electrificar	Km de red	Tipo red
A.3. Aeropuertos		
3.1. Areas de las pistas principales	M ²	Tipo puntual
3.2. Areas de aparcamiento	M ²	Tipo puntual
3.3. Otras áreas de carga y descarga.	M ²	Tipo puntual
A.4. Puertos		
4.1. Longitud de los muelles.	M	Tipo puntual
4.2. Areas de carga y descarga.	M ²	Tipo puntual
B. Comunicaciones		
1.1. Líneas de teléfonos de empresas	Núm. de líneas empresas	Tipo red
1.2. Líneas de teléfonos de hogares	Núm. de usuarios	Tipo red
1.3. Líneas de fax	Núm. de fax	Tipo red
1.4. Líneas de internet	Núm. de conexiones	Tipo red
C. Energía		
1.1. Red eléctrica de 400 Kv	Km de red	Tipo red
1.2. Red eléctrica de 220 Kv	Km de red	Tipo red
1.3. Red eléctrica de 110-132 Kv	Km de red	Tipo red
1.4. Red eléctrica de < 110 Kv	Km de red	Tipo red
1.5. Red de gasoductos	Km de red	Tipo red
1.6. Red de oleoductos	Km de red	Tipo red

Fuente: Biehl [1999].

⁴ El análisis del potencial de desarrollo regional propugna que cada región dispone de una dotación de factores productivos propios o específicos que la hacen distinta de las demás, y que son los que determinan que a largo plazo los agentes económicos se encuentren en puntos concretos del territorio nacional. Entre estos factores figuran las

infraestructuras, que ocupan además un lugar destacado ya que es el único de estos recursos específicos cuya dotación puede modificar a medio plazo la administración pública, y en este sentido se configura como el instrumento más potente a la hora de formular la política de desarrollo regional.



Depuración del efecto tamaño

Una vez seleccionada la información sobre las características técnicas de los equipamientos que se van a incluir en el índice, es necesario depurar el efecto tamaño de los datos originales (W_{ij} , i para cada categoría y j para cada región) y plantear el análisis en términos de áreas homogéneas en cuanto a su dimensión. En general, cuanto mayor sea la región más grande será la dotación de infraestructuras con que cuenta en términos absolutos, y por tanto, mayores serán los valores de las variables observables. Por ello, si el objetivo es analizar la incidencia de estos equipamientos en la actividad económica, lo relevante es la capacidad potencial de servicio o, como lo llama Biehl [1988] su propiedad de estrangulamiento, para cuya medición es necesario depurar el efecto tamaño. La solución habitualmente planteada en la literatura consiste en relativizar los valores observados utilizando como indicador del tamaño de la región su superficie o su población, en función de si la variable observable tiende a tomar un valor mayor a medida que crece el espacio o que aumenta la población. Se diferencian por tanto estos equipamientos en los de tipo red (carreteras, ferrocarriles, comunicaciones y energía), que son relativizados por la superficie regional debido a que su función principal es enlazar espacios, y los de tipo puntual (aeropuertos y puertos), que se relacionan con la población al encontrarse directamente vinculadas a la población a la que prestan sus servicios.

A partir de las magnitudes originales W_{ij} definimos la variable depurada del efecto tamaño d_{ij} como:

$$d_{ij} = (W_{ij}/S_j)*100 \quad d_{ij} = (W_{ij}/P_j)*100$$

Donde: S_j (P_j) es la superficie (población) de la región j y se utiliza una u otra según sea la variable W analizada.

Tratamiento de las unidades de medida

Las unidades en que están expresadas las variables observables relativizadas no son comparables. Sin embargo, y al igual que en el apartado anterior, éste es un aspecto sobre el que hay consenso sobre la forma de proceder. El criterio habitual consiste en convertir las variables en

magnitudes adimensionales mediante la normalización. Es posible utilizar diferentes alternativas para normalizar, pero en este trabajo se desarrollará la normalización más empleada, basada en expresar d_{ij} como porcentaje respecto al máximo valor de esta variable.

De manera que los datos obtenidos en cada categoría se normalizan tomando como referencia, para todos los años, la región mejor equipada en el año inicial del periodo que toma el valor 100. Esto permite construir una serie temporal que recoja la información sobre la dinámica de estas dotaciones y elimine, a su vez, el problema de las distintas unidades en las que están expresadas las variables observables, consiguiendo normalizarlas de manera homogénea. La serie obtenida de este modo, podrá utilizarse para hacer regresiones en el tiempo entre las infraestructuras y otras variables.

$$S_{ij} = (d_{ij}/d_{ij_{\max}})*100$$

Siendo:

d_{ij} = dotación de infraestructura relacionada con la población o superficie para la categoría i y la región j .

$d_{ij_{\max}}$ = dotación de infraestructura relacionada con la población o superficie para la categoría i , correspondiente a la región mejor equipada.

S_{ij} = dato normalizado para la región j y la categoría i .

Ponderación asignada a cada variable en el índice

El último aspecto a tratar en la elaboración del indicador es la elección del procedimiento de agregación de datos que sintetice la información que ofrecen las variables consideradas relevantes, dada su influencia en el resultado final. Este es uno de los aspectos más críticos en la construcción de todo índice.

Una de las propuestas más empleadas es la que presenta Biehl [1986] en el trabajo mencionado; parte de la consideración de que las menores dotaciones de algunos tipos de equipamientos puede compensarse con mayores dotaciones de otras. De ahí que la agregación mediante medias



aritméticas (cuando los equipamientos se consideraban sustitutivos, como las carreteras y los ferrocarriles) y medias geométricas (cuando no lo eran; por ejemplo, equipamientos energéticos y de transporte), utilizando a su vez ponderaciones basadas en información adicional considerada por el investigador. Por ejemplo, para agregar los varios tipos de carreteras se utilizan ponderaciones obtenidas a partir de los anchos de cada una, que aproximarán a sus diferencias de capacidad de servicio.

Aunque esta forma de agregación resulta fácil de llevar a la práctica, su empleo plantea limitaciones ya que sólo se consideran dos posibles relaciones de agregación y, por otra parte, no se considera explícitamente cómo la reducción de la sustituibilidad admisible repercute en los valores finalmente resultantes del índice.⁵ Además, aunque las ponderaciones empleadas sean objetivas, en el sentido de que la mayoría de los analistas pueda estar de acuerdo con ellas, pueden surgir problemas cuando la elaboración del índice se extienda a la comparación entre países, como mayores discrepancias para encontrar estas medidas.

Otra limitación que plantea este enfoque es la dificultad para establecer hasta qué punto cada magnitud observable aporta información relevante sobre lo que se pretende medir, y por tanto cuáles son los indicadores más apropiados para cada categoría, ya que en este enfoque esta selección tiene un elevado componente subjetivo. Así, si comparamos la información que aporta la longitud de los muelles con la de las áreas de estacionamiento de éstos, está claro que tratar igual a todas las variables presenta un problema en el tratamiento del índice.

En este trabajo se propone utilizar el análisis multivariante, que permite que las ponderaciones empleadas para agregar la información se determinen mediante técnicas estadísticas de análisis de datos. Dado que las variables incluidas en la elaboración del índice proporcionan abundante información sobre las características de los equipamientos, este es un método de agregación adecuado ya que explotará toda la base de datos para extraer el

índice y las ponderaciones surgirán de la propia información facilitada. No obstante, esta opción presenta el inconveniente de que no es posible la interpretación económica de estas ponderaciones, lo cual impide el estudio de la aportación de cada uno de los componentes al resultado final del índice obtenido.

La utilización de componentes principales jerarquiza la aportación al índice de cada característica a partir de su varianza. De esta manera, para elaborar el indicador se partirá de las variables S_1, S_2, \dots, S_n (que recogen la información de equipamientos normalizados, como se expuso en el apartado anterior) y se obtendrán los componentes principales Y_1, Y_2, \dots, Y_n , combinación lineal de las primeras, con la propiedad de tener varianza máxima.

Los factores serán:

$$Y_1 = t_{11}Z_1 + t_{21}Z_2 + \dots + t_{N1}Z_N$$

$$Y_2 = t_{12}Z_1 + t_{22}Z_2 + \dots + t_{N2}Z_N$$

$$Y_N = t_{1N}Z_1 + t_{2N}Z_2 + \dots + t_{NN}Z_N$$

Siendo:

Y_i el factor i -ésimo,

Z_j la variable S_j tipificada y

t_{ij} las ponderaciones

Un caso particular del análisis factorial habitualmente utilizado en los análisis empíricos son las componentes principales, en las que los factores se ordenan de mayor a menor varianza. Estas se obtienen diagonalizando la matriz R de correlaciones de las variables.

$$R = TDT' \quad (TT' = T'T = I)$$

En la que:

D es la matriz diagonal $D = \text{diag}(8_1, 8_2, \dots, 8_n)$ que contiene los valores propios de la matriz de correlaciones R .

⁵ En Cancelo y Uriz [1994] se presentan varias técnicas de agregación, resaltando las propiedades y los problemas asociados a su cálculo.



T es la matriz ortogonal de coeficientes de las combinaciones lineales que constituyen las distintas componentes.

De esta forma, obtenemos un conjunto de componentes principales incorrelacionadas dos a dos y con varianzas ordenadas de mayor a menor.

Por su parte, la estructura factorial de las componentes principales se obtiene identificando la matriz de correlaciones entre las componentes Y_i y las variables S_j (que denotamos por A) con la matriz del modelo factorial, considerando, por tanto, las componentes como factores. Entonces, la matriz del modelo factorial es $A = TD^{1/2}$ y los factores vienen determinados por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} Y_1 &= a_{11}Z_1 + a_{21}Z_2 + \dots + a_{N1}Z_N \\ Y_2 &= a_{12}Z_1 + a_{22}Z_2 + \dots + a_{N2}Z_N \\ Y_N &= a_{1N}Z_1 + a_{2N}Z_2 + \dots + a_{NN}Z_N \end{aligned}$$

Donde:

$a_{ij} = t_{ij} \text{VAR}(Y_i)$ representa la correlación entre la variable S_j y las componentes Y_i .

Con el fin de obtener nuevos factores que tengan mayor interpretabilidad llevaremos a cabo una rotación ortogonal de la matriz factorial A siguiendo el método de rotación VARIMAX.⁶ Es decir, dada la matriz factorial A, se calculará

⁶ Para aplicar el método de rotación VARIMAX debemos calcular una matriz B que maximiza la suma de las simplicidades de todos los factores:

$$S^2 = \sum_{i=1}^n S_i^2$$

Kaiser define la simplicidad correspondiente al factor i como la varianza de los valores

$$\frac{a_{1i}^2}{h_1^2} + \dots + \frac{a_{ni}^2}{h_n^2}$$

igual a:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{a_{ji}^2}{h_j^2} \right)^2 - \frac{1}{n^3} \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ji}^2}{h_j^2} \right)^2$$

Donde: a_{ji} son las "saturaciones" del factor i en las variables observables, y

$$h_j = \sum_{i=1}^n a_{ji}^2 \text{ es la "comunalidad" de la variable } S_j.$$

una matriz ortogonal T, de modo que $B = AT$ sea la matriz de nuevos factores.

Al aplicar el ACP para obtener un índice de dotación de infraestructuras existen varios procedimientos alternativos o posibilidades para combinar los factores. En este trabajo se ha construido un indicador basado en todas las componentes principales.⁷ El índice se calcula mediante la suma de los factores ponderados por el porcentaje de varianza total que explica cada uno de los mismos. Así pues:

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{\text{VAR}(Y_i)}{n} Y_i$$

Donde:

Y_i es el factor i-ésimo y

$\frac{\text{VAR}(Y_i)}{n}$ es el porcentaje de varianza total que explica Y_i .

Como se ha mencionado, el ACP ordena los factores de mayor a menor varianza o, lo que es lo mismo, según la información que éstos aportan. Así pues, cuando multiplicamos cada factor por el porcentaje de varianza que representa pretendemos ponderar éste por la cantidad de información inherente al mismo. Definiendo los factores Y_i en función de las variables observables S_1, S_2, \dots, S_N , obtenemos la siguiente expresión:

$$I = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{VAR}(Y_i)}{n} \right) \sum_{j=1}^n t_{ij} Z_j$$

A continuación, consideramos la estructura factorial de las componentes principales. De esta forma, se puede definir la matriz de ponderaciones T en función de la matriz B, que se calcula aplicando una rotación VARIMAX sobre la matriz de correlaciones A entre las componentes Y_i y las variables S_j , como:

$$t_{ij} = \frac{b_{ij}}{\text{VAR}(Y_i)}$$

⁷ Otra alternativa planteada, si bien se emplea menos en los trabajos realizados al ofrecer resultados menos razonables, es la elaboración del indicador basado con base en la primera componente principal.



Entonces:

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} b_{ij} \left(\sum_{j=1}^n Z_j \right) = \frac{1}{n} (b_{11} + b_{21} + \dots + b_{n1}) Z_1 + \frac{1}{n} (b_{12} + b_{22} + \dots + b_{n2}) Z_2 + \dots + \frac{1}{n} (b_{1n} + b_{2n} + \dots + b_{nn}) Z_n \quad [A]$$

Donde:

$\frac{1}{n} (b_{ij})$ representa a cada uno de los elementos que componen la matriz factorial rotada.

Z_i son las variables S_j tipificadas que se presentaron en el apartado anterior, recogiendo cada una la información sobre los distintos equipamientos:

Aplicación de la metodología a la elaboración de un índice de equipamientos de infraestructura para las regiones españolas

A continuación se presentan los resultados obtenidos al aplicar la metodología propuesta a la elaboración de un índice de equipamientos de infraestructura productiva para las regiones españolas. Éstos permitirán ilustrar los aspectos teóricos que acabamos de derivar, así como destacar la utilidad de estos índices al realizar una serie de ejercicios con el objetivo de comprobar su empleabilidad en análisis económicos.

En primer lugar, se han seleccionado las características de los equipamientos que se van a utilizar para recoger su capacidad. Los años para los que se van a elaborar los índices recogen un amplio periodo que abarca de 1985 a 1995, que van a permitir contar con abundante información sobre los equipamientos en escala regional. Las características físicas y técnicas seleccionadas para cada categoría han sido:

Categorías

Z_1 :	km de carreteras de alta capacidad.
Z_2 :	km de carreteras del resto de la red.
Z_3 :	km de ferrocarriles de vía doble electrificada.
Z_4 :	km de ferrocarriles de vía simple electrificada.
Z_5 :	Número de líneas telefónicas instaladas.
Z_6 :	km de red de oleoductos.
Z_7 :	km de red de gasoductos.
Z_8 :	km de red de 400 Kv.
Z_9 :	km de red de 220 Kv.
Z_{10} :	km de red de 110-132 Kv.
Z_{11} :	km de red de < 110 Kv.
Z_{12} :	área de las pistas de aeropuertos.
Z_{13} :	dimensiones de los muelles mayores de 4 m.

Para el año 1985 los resultados obtenidos en la aplicación de la ecuación anterior [A] son los siguientes.⁸

$$I_{85} = 0.145 * Z_1 + 0.098 * Z_2 + 0.112 * Z_3 + 0.091 * Z_4 + 0.09 * Z_5 + 0.032 * Z_6 + 0.09 * Z_7 + 0.105 * Z_8 + 0.069 * Z_9 + 0.099 * Z_{10} + 0.060 * Z_{11} + 0.058 * Z_{12} + 0.122 * Z_{13}$$

Los índices para las 17 regiones españolas y para los 10 años para los que se han elaborado se presentan en el cuadro 3.

La comparación de los resultados entre las regiones españolas permite comprobar que Madrid, el País Vasco y Cataluña son las regiones con mayores equipamientos, a gran distancia de Extremadura, Castilla La Mancha y Castilla León que cuentan con las menores dotaciones. Además, el interés de esta serie de indicadores sintéticos de infraestructuras calculados radica, en gran parte, en que puede utilizarse en análisis temporales, además de que permite comparar la situación regional de estos equipamientos para cada año. Por este motivo, se han planteado

⁸ Los términos que acompañan a las Z_i en el índice no tienen una interpretación económica; éstos proceden de ponderar los factores por el porcentaje de varianza que representan.



Cuadro 3
Índices de infraestructuras productivas

<i>Región</i>	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Andalucía	22.80	24.35	24.97	25.85	27.60	29.42	29.54	32.53	33.08	32.85	35.14
Aragón	17.52	19.24	20.54	21.46	22.70	23.69	23.13	24.14	25.61	25.98	25.91
Asturias	34.50	32.95	35.55	38.50	39.07	40.27	40.18	40.53	45.81	46.13	49.41
Baleares	38.81	39.90	42.24	42.68	45.63	46.54	49.22	51.08	49.84	50.27	52.99
Canarias	38.18	37.72	40.92	42.04	43.55	47.31	46.69	47.97	47.78	47.29	52.83
Cantabria	37.95	37.52	38.23	47.17	52.61	54.60	55.29	56.12	55.97	60.16	65.43
Castilla León	21.26	20.64	21.38	22.18	23.01	24.40	24.97	25.04	25.24	25.65	26.19
Castilla-La mancha	14.84	14.33	14.68	16.36	17.16	18.98	18.30	19.20	19.11	20.48	21.64
Cataluña	52.19	53.54	54.74	56.40	60.28	64.59	66.37	68.70	69.47	70.22	73.95
Extremadura	10.12	10.28	11.69	12.44	13.14	13.30	13.47	14.34	14.58	14.54	15.32
Galicia	24.89	26.45	26.85	27.29	28.62	29.20	30.07	33.46	33.71	36.35	37.71
Madrid	71.92	73.32	83.88	84.33	85.44	96.83	98.93	104.70	107.10	111.90	117.60
Murcia	18.15	17.97	18.64	19.14	20.47	21.71	21.61	23.42	29.22	29.46	32.43
Navarra	27.69	26.34	26.56	26.52	28.30	31.82	30.16	32.03	36.83	36.55	37.82
Rioja	39.20	37.42	39.81	41.16	42.18	45.61	42.93	43.24	42.35	43.84	46.94
Valencia	36.26	36.55	37.61	37.94	39.45	42.91	41.27	42.59	44.59	48.21	53.48
País Vasco	79.50	73.21	75.77	76.75	74.79	84.31	83.62	81.69	82.50	86.44	95.15
Media	34.46	34.224	36.127	37.547	39.06	42.09	42.1	43.57	44.87	46.25	49.41



una serie de cuestiones para confirmar su empleo en este tipo de estudios.

En primer lugar, y dada la relevancia de la obtención del indicador de las ponderaciones, se comprobó que la suma de éstas no cambiase en el tiempo, ya que si esto ocurriese habría un efecto general de nivel que podría sesgar las comparaciones interanuales. Una vez comprobado que la variación de la suma total es mínima en los años de estudio y que por tanto no representa un problema en este análisis, se consideró comparar la evolución de las ponderaciones de cada una de las categorías del indicador. Para facilitar el análisis se ha hecho la suma total, a partir de la cual se han calculado los porcentajes que representan cada uno de los coeficientes correspondientes a las Z_j . Los resultados permiten confirmar el reducido desplazamiento a lo largo del tiempo del peso relativo de las distintas manifestaciones de infraestructuras en la composición del índice general. Por su parte, la variación media de los mismos es escasa (véase el cuadro 4).

Este análisis nos ha permitido comprobar la consistencia de las ponderaciones, y verificar que ninguna de las variables consideradas sesgará las comparaciones interanuales en el índice calculado.

En segundo lugar, se consideró comparar la serie obtenida en unidades físicas con alguna serie alternativa para las regiones españolas en términos monetarios. La dificultad de contar con series que abarquen el mismo periodo y la misma distribución funcional que se recogió con el indicador elaborado, limita las posibilidades de extraer relaciones económicas entre las unidades físicas y las monetarias. A pesar de estas diferencias merece la pena examinar los resultados obtenidos con los procedentes de la valoración del capital económico⁹ de las administraciones públicas, realizada por el Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas (IVIE) y publicada por la Fundación BBVA, al ser ésta la fuente de datos más utilizada

⁹ Para realizar las comparaciones entre ambas estimaciones se ha utilizado la información sobre el *stock* de capital económico del IVIE (carreteras, ferrocarriles, puertos, aeropuertos, obras hidráulicas y estructuras de las corporaciones locales) excluyendo, por tanto, los datos del *stock* de capital social (educación y sanidad).

en los trabajos sobre estos equipamientos en la economía española. La estimación del IVIE está en términos absolutos (millones de pesetas), por ello para hacer comparativos los resultados de ambas estimaciones, dado que el indicador de infraestructuras en unidades físicas está relativizado por las dimensiones de la región, se ha relacionado la estimación del IVIE con la superficie regional; de esta forma conseguimos que los datos estén expresados en pesetas de 1990 por km².

Con esta información resulta interesante comprobar, en primer lugar, si ambas estimaciones conducen a la misma ordenación (*ranking*) de regiones y segundo, si muestran las mismas pautas de crecimiento. En el cuadro 5 se comparan las posiciones de las regiones obtenidas en 1985 y 1995. Se observa una gran similitud en el *ranking* (las diferencias no superan cuatro posiciones y en general son dos). Destacan las regiones de Canarias (en unidades físicas su posición es superior a la obtenida en unidades monetarias) y Cantabria (donde ocurre lo contrario). Estas discrepancias, no obstante, son justificables. Así, por ejemplo, en el caso de Cantabria no es extraño que la valoración en unidades físicas sea inferior a la monetaria, puesto que la orografía justifica que construir una carretera allí sea más costoso que hacerlo en regiones menos accidentadas, lo cual, a su vez, vuelve a poner de relieve que las estimaciones monetarias no reflejan de manera exacta la capacidad de servicio, ya que ese mayor costo no implica que se tenga un mayor capital público.

En la tercera columna del cuadro 5 se presentan las pautas de evolución del capital en términos monetarios. La distancia entre la tasa media regional del periodo 1985-1994 y la media nacional obtenida (7.52%), muestra, en general, resultados bastante análogos a los que se han obtenido en unidades físicas. Sorprende el dato de Madrid, cuyo crecimiento es inferior a la media en unidades monetarias, frente a los resultados extraídos del indicador, en el que era una de las comunidades de mayor crecimiento. En este caso las discrepancias se deban probablemente, a las diferencias de equipamientos considerados en ambas estimaciones. En concreto, la inclusión de las dotaciones de comunicaciones y energía deben ser las responsables de las mayores dotaciones de esta comunidad.



Cuadro 4
Cuadro de ponderaciones

	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	V.M. %
Z ₁	0.123	0.115	0.126	0.116	0.082	0.118	0.080	0.080	0.082	0.0739	0.123	3.61
Z ₂	0.083	0.081	0.077	0.077	0.076	0.075	0.074	0.075	0.074	0.076	0.078	-0.51
Z ₃	0.096	0.085	0.064	0.061	0.054	0.062	0.056	0.048	0.055	0.049	0.052	-5.15
Z ₄	0.077	0.073	0.062	0.060	0.067	0.071	0.068	0.069	0.070	0.067	0.067	-1.24
Z ₅	0.076	0.082	0.091	0.092	0.093	0.083	0.092	0.098	0.101	0.101	0.100	2.87
Z ₆	0.027	0.027	0.032	0.030	0.032	0.043	0.033	0.050	0.038	0.039	0.010	-1.16
Z ₇	0.077	0.080	0.088	0.103	0.100	0.096	0.100	0.095	0.090	0.091	0.097	2.62
Z ₈	0.089	0.081	0.077	0.072	0.062	0.068	0.065	0.051	0.058	0.055	0.058	-3.64
Z ₉	0.058	0.067	0.070	0.073	0.118	0.077	0.111	0.109	0.108	0.111	0.085	7.01
Z ₁₀	0.084	0.088	0.080	0.078	0.078	0.072	0.075	0.077	0.078	0.078	0.078	-0.59
Z ₁₁	0.051	0.057	0.063	0.063	0.066	0.065	0.067	0.078	0.076	0.079	0.079	4.67
Z ₁₂	0.049	0.053	0.060	0.063	0.063	0.061	0.064	0.060	0.058	0.064	0.054	1.17
Z ₁₃	0.104	0.105	0.103	0.104	0.103	0.103	0.108	0.104	0.107	0.109	0.113	0.89
Suma	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



Cuadro 5
Ranking de regiones y tasas de crecimiento

	1985		1995		Tasa 1985-1995 (1)	U. Monetarias	
	U. Monetarias	U. Físicas	U. Monetarias	U. Físicas		Variación (2)	UM-UF (3)
Andalucía	13	12	13	12	9,47	1,94	5.05
Aragón	14	15	14	15	4,38	-3,15	0.39
Asturias	8	9	7	8	7,77	0,24	4.12
Baleares	7	5	6	6	7,74	0,22	4.58
Canarias	3	6	3	7	7,06	-0,47	3.76
Cantabria	9	7	8	4	9,84	2,31	4.25
Castilla León	15	13	16	14	6,32	-1,20	4.22
Castilla-La mancha	17	16	17	16	8,08	0,55	4.24
Cataluña	4	3	4	3	7,1	-0,42	2.06
Extremadura	16	17	15	17	10,65	3,13	6.42
Galicia	11	11	9	11	8,76	1,23	4.52
Madrid	2	2	2	1	7,11	-0,41	2.07
Murcia	12	14	11	13	9,32	1,79	3.35
Navarra	10	10	12	10	6,89	-0,64	3.73
Rioja	6	4	10	9	2,36	-5,17	0.55
Valencia	5	8	5	5	6,54	-0,98	2.58
País Vasco	1	1	1	2	6,62	-0,90	4.81

(1) Tasa de crecimiento medio 1985-1995.

(2) Tasas de crecimiento regional-tasa de crecimiento nacional.

(3) Diferencia entre la tasa de crecimiento medio en unidades monetarias (UM) unidades físicas (UF).

Al comparar la trayectoria de los equipamientos regionales se comprueban unas tasas de crecimiento en unidades monetarias bastante superiores a las obtenidas en unidades físicas, que se ven reflejadas en las mayores distancias entre las regiones mejor y peor equipadas (en 1995, la región mejor equipada en unidades monetarias es 11.08 veces superior a la peor, mientras que en unidades físicas esta relación es de 7.67). En este sentido, las diferencias pueden estar en parte justificadas, dado que la valoración en términos monetarios exige el empleo de precios para bienes que no están sujetos a las condiciones del mercado y que se localizan siguiendo pautas distintas del mecanismo de precios.

Consideraciones finales

En este trabajo se ha presentado una metodología para elaborar índices sintéticos que permitan analizar el papel

que las infraestructuras productivas desempeñan en el crecimiento económico. Para ello, se seleccionaron las características técnicas que nos aproximan a la capacidad que ofrecen estos equipamientos y se ha empleado el análisis de componentes principales para agregar la información en unidades físicas. El objetivo era continuar en la línea del enfoque planteado en el trabajo de la Comisión Europea, realizado por Biehl [1986] a escala regional, ofreciendo un planteamiento alternativo para agregar las unidades de medida.

Con frecuencia se recurre a los datos disponibles sobre inversión de las administraciones públicas para estimar series de este capital en unidades monetarias. Este enfoque limita las dotaciones incluidas en el análisis, ya que hay equipamientos con participación privada que están sujetos a las mismas características de las infraestructuras públicas en cuanto a que suministran las bases para la actividad económica y generan externalidades positivas.



Este es el enfoque seguido en la metodología propuesta en este trabajo y que se ha aplicado a las regiones españolas para el periodo 1985-1995, lo cual nos ha permitido ilustrar los aspectos teóricos desarrollados y destacar la utilidad de estos índices para realizar una serie de ejercicios que nos han permitido comprobar que es posible emplearlos en análisis económicos.

Bibliografía

- Alvarez, I., y M.J. Delgado [2000], “Las infraestructuras productivas en España: estimación del stock en unidades físicas y análisis de su impacto en la producción privada regional”, *Revista Asturiana de Economía*, núm. 19, pp.155-181.
- _____ [2001], *The Effect of Public Infrastructure on Private Activity: Evidende from the Spanish Regions*, Documento de Trabajo, Instituto Complutense de Análisis Económico, núm. 0103, Madrid.
- _____ [2001], *Contribución de los Equipamientos de Infraestructuras Productivas a la Mejora de la Eficiencia Técnica*, Papeles de Trabajo núm. 18/01, Instituto de Estudios Fiscales, Madrid.
- Aschauer, D. [1989a], “Is Public Expenditure Productive?”, *Journal of Monetary Economics*, vol. 23 (2), pp. 177-200.
- _____ [1989b], “Public investment and productivity growth in the Group of Seven”, *Economic Perspectives*, vol. 13 (5), pp.17-25.
- _____ [1998], “The role of Public Infrastructure Capital in Mexican Economic Growth”, *Economía Mexicana*, Nueva Época, vol. VII, núm.1, pp. 47-78.
- Batten, D. y C. Karlsson (eds) [1996], *Infrastructure and the Complexity of Economic Development*, Springer-Verlag, pp. 231-250.
- Biehl, D. [1986], *The contribution of Infrastructure to the regional Development*, Final Report of the Infrastructure Study Group, Document, Commission of the European Communities, parts I and II, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxemburgo.
- _____ [1988], “Las infraestructuras y el desarrollo regional”, *Papeles de Economía Española*, núm. 35, pp. 293-310.
- _____ [1999], *Analysis of the infrastructure endowment in main European Countries*, Report of the Infrastructure Study Group, Commission of the European Communities, mimeo, coordinado por Ecoter, Italia.
- Boarnet, M.G. [1998], “Spillovers and the locational effects of public infrastructure”, *Journal of Regional Science*, vol. 38 (3), pp. 381-400.
- Boscá, J.E., A. Cutanda y J. Escribá [2000], *Eficiencia en la provisión de los capitales público y privado en una muestra de países de la OCDE*, mimeo, Universidad de Valencia.
- Cancelo, J.R. y P. Uriz [1994], “Una metodología general para la elaboración de índices complejos de dotación de infraestructuras”, *Revista de Estudios Regionales*, núm. 40, pp. 167-188.
- Canning, D. [1998], *A Database of World Infrastructure Stocks, 1955-1995*, Working Paper, núm. 1929, The World Bank Group.
- Cuadras, C.M. [1991], *Métodos de Análisis Multi-variante*. Editorial Universitaria de Barcelona, Barcelona.
- Cutanda, A. y J. Paricio [1992], “Crecimiento económico y desigualdades regionales: el impacto de la infraestructura”, *Papeles de Economía Española*, núm 51, pp. 83-101.
- Feldtenstein, A. y J. Ha [1995], *The role of infrastructure in Mexican Economic Reform*, World Bank Economic Review, núm. 9, pp. 287-304.
- Fernald, J.G. [1999], “Roads to Prosperity? Assessing the Link between Public Capital and Productivity”, *The American Economic Review*, vol. II (3), pp. 619-638.
- Fundación BBVA [1997], *El stock de capital en la economía española*, Bilbao.
- Holtz-Eakin, D. [1993], “State-specific estimates of state and local government capital”, *Regional Science and Urban Economics*, núm. 23, pp. 185-209.
- Looney, L., y P. Frederiksen [1981], “The Regional Impact of Infrastructure Investment in Mexico”, *Regional Studies*, vol. 15, núm. 4, pp. 285-296.
- Martín, C. y F.J. Velázquez [2001], *Serie de Indicadores de Convergencia real para España, el resto de países de la UE y EEUU*, Fundación de las Cajas de Ahorros Confederadas, Madrid.



- Mas, M., J. Maudos, F. Pérez y E. Uriel. [1994a]. “Disparidades regionales y convergencia de las CC.AA. españolas”, *Revista de Economía Aplicada*, vol. II, núm. 4, pp. 58-96.
- _____ [1994b], “Competitividad, productividad industrial y dotaciones de capital público”, *Papeles de Economía Española*, núm 56, pp. 144-160.
- Nikjamp, P. [1986], “Infrastructure and Regional Development: A Multidimensional Policy Analysis”, *Empirical Economics*, vol. 11, pp. 1-21.
- Munnell, A. [1990], “How does public infrastructure affect regional economic performance?”, en A. Munnell (ed), *Is there a shortfall in public capital investment?*, Federal Reserve Bank of Boston, Boston, pp. 69-103.
- _____ [1992], “Infrastructure investment and productivity growth”, *Journal of Economic Perspectives*, vol. 6, núm. 4, pp. 189-198.
- Otto, G.D., y G. M. Voss [1998], “Is Public capital provision efficient?”, *Journal of Monetary Economics*, núm. 42, pp. 47-66.
- Pritchett, L. [1996] *Mind Your P's and Q's*, World Bank Policy Research, Working Paper, núm 1660.
- Seitz, H. [1994], “Public capital and the demand for private inputs”, *Journal of Public Economics*, vol. 54, pp. 287-307.
- Ward [1976] *The measurement of capital. The methodology of Capital Stock Estimates in OECD Countries*, OECD, París.

