

Perspectiva analítica de los indicadores de producción científica e innovación

Mercedes Delgado Fernández,^{*1} José Luis Pino Mejías,^{*2}
Francisco Manuel Solís Cabrera^{*3} y Rosario del Carmen Barea Barrera^{*4}

La innovación es una actividad multifactorial en la que inciden diferentes factores internos y externos a una organización, sector, región y país. Las bases de datos disponibles en Internet sobre los indicadores de innovación hacen referencia a resultados de un país en variables como gastos de I+D, patentes, publicaciones, recurso humano, los que no siempre tienen una interpretación efectiva.

Aunque se refuerza la necesidad de normalizar los indicadores de innovación, la complejidad presente en la innovación con su carácter multidimensional, la inclusión de un gran número de variables y la existencia de datos ausentes en las estadísticas reportadas, le impone a su evaluación un grado elevado de dificultad. El uso de métodos estadísticos de evaluación y la identificación de indicadores sintéticos de valoración puede ser una vía alternativa de solución al problema.

El trabajo tiene como objetivo mostrar una propuesta de indicadores de innovación desde el nivel regional hasta el organizacional, donde las perspectivas de medición son diferentes. La medición a nivel regional se aplica a las bases de datos de la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología de Iberoamérica (RICYT) y la Oficina Estadística de la Unión Europea (EUROSTAT) mediante métodos estadísticos. Para la medición de la innovación en las organizaciones se diseña otro procedimiento que consta de varios tests y una encuesta de innovación aplicada a los directivos de las entidades según un plan de muestreo estadístico.

Con la aplicación de la metodología se generan nuevas bases de datos, se emplean técnicas estadísticas multivariadas y se generan modelos obteniéndose indicadores sintéticos de insumo, procesos y productos de la innovación. Se realizan análisis comparativos de la situación por países y de las organizaciones según las dimensiones de los ejes factoriales y con el método de clasificación de las cargas factoriales se establecen clusters. Adicionalmente se mide la eficiencia técnica de grupos de investigación de universidades utilizando el análisis envolvente de datos.

*1 Facultad de Ingeniería Industrial, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE), Cuba. Correo electrónico: mdlgado@ind.cujae.edu.cu.

*2 Facultad de Matemática, Universidad de Sevilla, España. Correo electrónico: jlpino@us.es.

*3 Junta de Andalucía, España. Correo electrónico: franciscom.solis@juntadeandalucia.es.

*4 Facultad de Matemática, Universidad de Sevilla, España. Correo electrónico: rbarea@us.es.

1. Introducción

Aunque existan manuales para la medición de la ciencia y la innovación (Manual de OSLO, 2006; Manual de Frascati, 2003; Manual de Bogotá, 2001) y un marco homogéneo de referencia para la elaboración de las estadísticas oficiales, su uso ha estado limitado por la calidad y disponibilidad de la información existente, así como por la existencia de diferentes enfoques para la medición de los indicadores de la ciencia (Chakrabarti, 1989).

La necesidad de normalizar los indicadores de innovación en América Latina (Albornoz, 2006) y Europa (Comisión de las Comunidades Europeas, 2000), el rol que tiene en la evaluación del impacto de la I+D+i (Subramanian, 1996), con los efectos de sus gastos (Kostoff y Geisler, 2007), las patentes y publicaciones que se generan (Nelson, 2009), el carácter multidimensional en la innovación con la presencia de un gran número de variables (Delgado, 2005), la heterogeneidad de los sistemas de ciencia tecnología e innovación (Sancho, 2002) y la existencia de datos ausentes en las estadísticas reportadas le imponen a su evaluación un elevado grado de dificultad.

También se han propuesto indicadores compuestos que miden múltiples dimensiones de la ciencia y la tecnología (Grupp, H. y Mogge, M. E., 2004), metodologías para tomar decisiones en la asignación de recursos financieros para la innovación (Peneder M., 2008) y se miden diferentes formas del capital intelectual con los procesos de producción del conocimiento y los resultados de organizaciones de investigación (Leitner, K-H. y Warden, C., 2004).

120

Los métodos de evaluación de la innovación y la identificación de indicadores sintéticos de valoración desde el nivel regional hasta el organizacional puede ser una vía alternativa de solución al problema que se ha descrito, lo que constituye los objetivos de este trabajo, así como la identificación de las variables y la búsqueda de modelos.

En la literatura se mencionan diferentes variables para la evaluación de la ciencia y la innovación (Goding, B., 2007) y se observa una tendencia a definir como variables de entrada los gastos de I+D, el número de investigadores, técnicos y personal de apoyo, y como variables de salidas las patentes y las publicaciones científicas (Wang, E. y Wichiao, H., 2007; Meng *et al.*, 2008; Groot, T. y García-Valderrama, T., 2006). Estas variables se emplean en el trabajo que se presenta y con los métodos de evaluación usados se obtiene otra perspectiva analítica de los indicadores que facilitan la comprensión sobre la innovación.

El trabajo se estructura en tres partes en función del nivel de medición de la innovación y los métodos analíticos empleados. La primera parte aborda la medición de la ciencia y la innovación de los países a nivel regional: iberoamericano y europeo. La perspectiva analítica se basa en el uso de las técnicas estadísticas multivariadas como la regresión múltiple, el análisis factorial y los métodos de clasificación. La segunda parte presenta la medición de la innovación a nivel organizacional y se aplican encuestas y tests a los directivos y especialistas. Se usan técnicas estadísticas de muestreo, así como el análisis y procesamiento de la información recopilada. Por último, la tercera parte

muestra otra perspectiva analítica de medición de la innovación al evaluar la eficiencia técnica de los grupos de investigación de las universidades de Andalucía con el uso del análisis envolvente de datos (DEA).

2. Análisis de la innovación a nivel regional

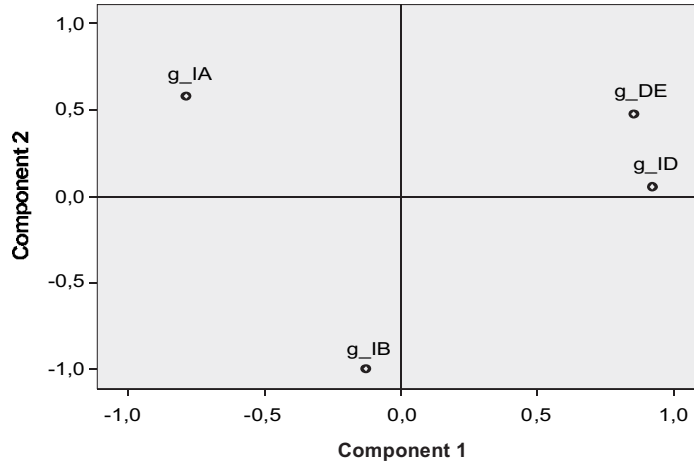
Las principales fuentes de información de la ciencia y la innovación de datos regionales como la que difunde la Oficina Estadística de la Unión Europea (EUROSTAT) o la de la Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT) son las que se utilizan para los análisis en el nivel regional. Los indicadores son clasificados de contexto, de insumo, de recursos humanos y de productos (Cervera, 2001; Parthasarthy, 2002; RICYT, 2002).

Un estudio realizado con los datos de 28 países del año 2002 publicado por la RICYT presentaba el problema de contar sólo con un porcentaje promedio de datos de los indicadores de un 56,64%. La no disponibilidad de datos se resolvió eligiendo el modelo de mayor coeficiente de determinación (R^2) cuando éste fuese lo suficientemente cercano a 1, y en el caso contrario se estimó por la media de los datos disponibles, siempre que se dispusiese de suficiente serie histórica (Delgado *et al.*, 2007). Se seleccionaron los 15 países con mayor número de indicadores disponibles (más del 84% de la población total y 92% del PIB).

El análisis a los datos de los 15 países con la regresión paso a paso permitió predecir el comportamiento de gastos de I+D en función de la proporción que representa cada tipo de gastos (investigación básica, desarrollo experimental, investigación aplicada). Sólo el gasto de desarrollo experimental aporta significativamente mediante un modelo lineal. Con un coeficiente de determinación de 0,557 y un nivel de significación de 0,008 se rechaza la hipótesis de que la variable incluida en el modelo no influyera sobre la variable respuesta. El modelo se expresa como: $g-ID = 462718,0g_DE - 104159$.

El análisis factorial de estas variables arroja un comportamiento similar al de la regresión, donde los gastos de I+D y los gastos de desarrollo experimental están muy cercanos, tanto en el componente 1 como en el 2 (ver **Figura 1**). El componente 1 caracteriza a los gastos más relacionados con la innovación tecnológica en la I+D+i y el componente 2 caracteriza a la investigación básica que se opone en este componente al resto de los tipos de gastos.

Figura 1. Análisis factorial de gastos de I+D y su clasificación en Iberoamérica



Al aplicar el método de clasificación a las cargas factoriales se muestran los países clasificados en el dendograma de la **Figura 2**. En la **Figura 3** se ubican los países, pudiendo interpretarse la situación de cada uno según el significado de las dimensiones obtenidas en la **Figura 1**. Se observa que Estados Unidos se encuentra en un grupo muy distante del resto de los países.

Figura 2. Dendograma según cargas factoriales de gastos de I+D en Iberoamérica

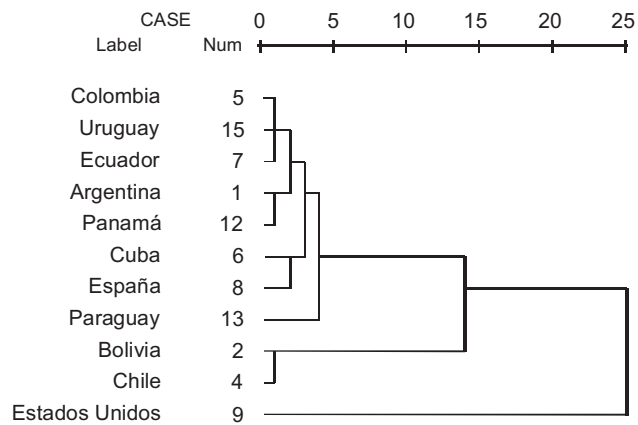
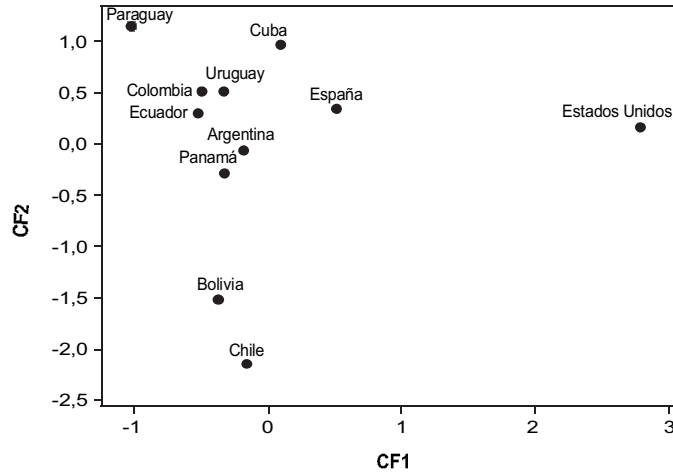


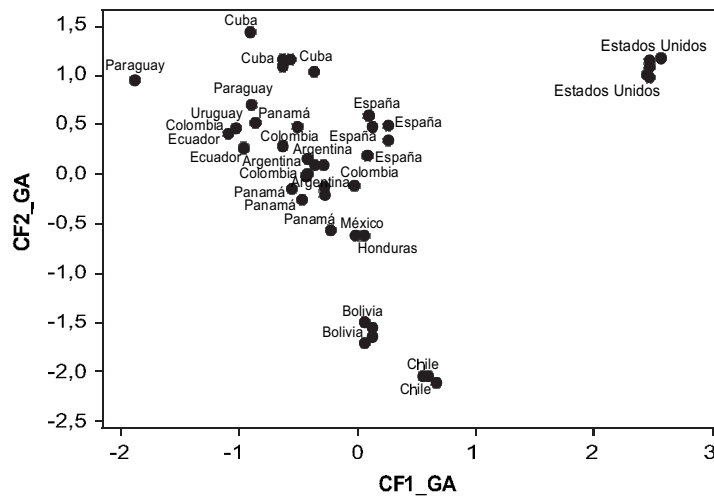
Figura 3. Ubicación de países según análisis factorial de gastos de I+D en Iberoamérica



Un análisis del comportamiento de los países para varios años según la estructura de gastos de I+D arroja resultados similares al obtenido en el 2002. Tomando la serie de datos de gastos de I+D y la estructura de tipos de gastos desde el año 1999 hasta el 2002 se obtuvo un modelo de regresión (método paso a paso) con la ecuación: $g-ID = 84605,810 + 340768,261 g-DE + 84605,810 g-IA$ (R^2 0,737 y R^2 ajustado 0,725). El análisis factorial se observa en la **Figura 4**, siendo Paraguay el país con mayores cambios en el tiempo.

123

Figura 4. Análisis factorial de Gastos de I+D para países de Iberoamérica (1999-2002)



Otro análisis de regresión (método paso a paso) entre la cantidad de investigadores y los graduados para diferentes especialidades arroja que sólo la cantidad de graduados en ciencias naturales y exactas ejerce influencia sobre la variable personal investigador con la ecuación $PI = -419,506 + 5,011gcnye$.

Para la base de datos de EUROSTAT de 2002, la regresión paso a paso permitió estimar la variable gastos públicos de I+D a partir de los gastos de empresas de I+D con el modelo $G_{púb} I+D = 0,236G_{empl}I+D + 0,364$ ($R^2=0,739$ y R^2 ajustado= $0,73$). Las variables excluidas fueron gastos de I+D en universidades financiados por empresas y gastos de Tecnologías de Información y las Comunicaciones (TIC). El análisis factorial con los gastos relacionados con la I+D+i se representa en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Matriz de componentes rotada de los tipos de gastos en Europa

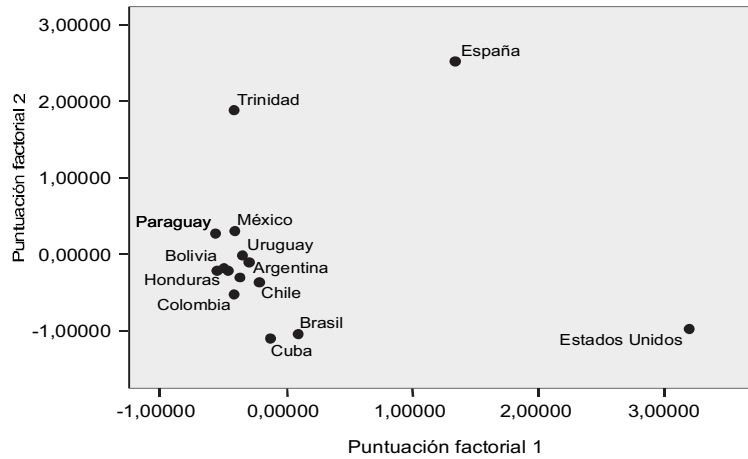
Indicador	Componente		
	1	2	3
Gasto público en I+D	,959	,028	,065
Gasto de empresas de I+D	,928	,194	,054
Gasto en I+D en la universidad financiados por empresas	-,131	-,790	,385
Gasto en innovación	,100	,815	,394
Gasto en Tecnologías de Información y las Comunicaciones (TIC)	,092	,004	,925

124

La dimensión 1 expresa los gastos públicos y de empresas de I+D, la 2 expresa los gastos en I+D de financiamiento de las universidades por empresas en un sentido contrario a los gastos de innovación, que permite considerar dos patrones diferentes en los países de Europa, y la dimensión 3 expresa los gastos de TIC, los que no están asociados a otros tipos de gastos en esa dimensión en cuanto a indicadores medidos de gastos.

El análisis *cluster* con las puntuaciones factoriales del análisis factorial de los indicadores de salida de Iberoamérica obtiene una agrupación de países (ver **Figura 5**), con cuatro patrones: el de Estados Unidos con gran volumen de patentes y baja dependencia; el de España con volumen medio de patentes y gran dependencia; el de Trinidad con bajo volumen de patentes y gran dependencia; y el que agrupa a los restantes países estudiados (Delgado *et al.*, 2008a).

Figura 5. Dendograma con las puntuaciones factoriales del análisis factorial



Un análisis de regresión paso a paso con los 15 países analizados de RICYT para estimar la variable patentes otorgadas permite concluir que puede ser estimado mediante dos modelos, lo que puede ser visto en la **Tabla 2**.

125

Tabla 2. Modelos de regresión para estimar las patentes otorgadas en Iberoamérica

Modelo	Ecuación	R2	R2 ajustado	Variables excluidas
1	$PO = 1,966 g_ID + 11,510$	0,768	0,710	g_IB, g_IA, g_DE, g_ACT
2	$PO = 0,023 PI + 78,267$	0,894	0,859	$g_IB, g_IA, g_DE, g_ACT, g_ID$

Otro análisis factorial con indicadores de la base de datos del 2002 de EUROSTAT referida a patentes, porcentajes de inversiones, exportaciones y del PIB empleados en diferentes actividades se muestra en la **Tabla 3**.

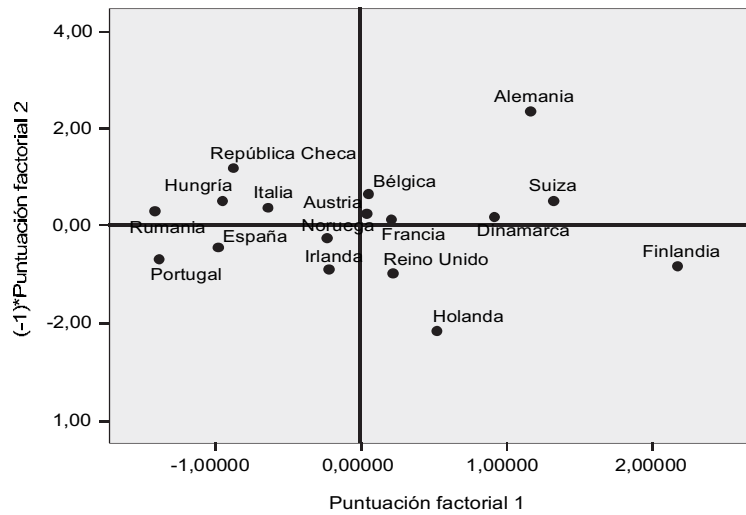
Tabla 3. Matriz de componentes rotada (patentes, inversiones y exportaciones)

Indicadores	Componente	
	1	2
Patentes solicitadas por millón de habitantes a la EPO	0,929	-0,058
Patentes solicitadas por millón de habitantes a la UPSTO	0,917	-0,074
Patentes europeas de alta tecnología por millón de habitantes	0,873	0,297
Porcentaje respecto al PIB de la inversión en capital riesgo en la primera instalación	0,836	0,263
Porcentaje respecto al PIB de la inversión en capital riesgo en expansión y reposición	0,418	0,73
Porcentaje de las exportaciones de alta tecnología respecto del total	0,451	0,263
Porcentaje de empleo del sector KIS (Knowledge-intensive services)	0,206	-0,856
Porcentaje del PIB dedicado a la I+D	0,895	-0,056

126

Este análisis factorial permitió interpretar al primer componente factorial como un indicador agregado de la capacidad de innovación, al asociarse positivamente con las patentes, la inversión en I+D y la inversión en primeras instalaciones del capital riesgo. El segundo factor se relacionó negativamente con el porcentaje de empleados en el sector *knowledge-intensive services* (transporte de aguas y aéreo, correos, telecomunicaciones, intermediación financiera, actividades inmobiliarias, servicios a empresas, educación, salud, servicios sociales y actividades de ocio, cultura y deportes). El primer factor tuvo una relación positiva, aunque menor, con inversiones en expansión y reposición del capital riesgo y el porcentaje que representan las exportaciones de productos de alta tecnología del total. La **Figura 6** muestra el gráfico de las puntuaciones factoriales correspondiente a este análisis factorial, manteniendo Finlandia la posición de liderazgo en la primera dimensión y Alemania en la segunda para todos los subconjuntos de indicadores (Delgado *et al.*, 2008b).

Figura 6. Gráfico de las puntuaciones factoriales del análisis factorial de Europa



La **Tabla 4** muestra la influencia entre los gastos relacionados con la I+D+i y los indicadores del nivel educacional sobre las ventas de nuevos productos en el mercado (innovación tecnológica) mediante la regresión paso a paso.

127

Tabla 4. Modelos de regresión para estimar ventas de productos nuevos en Europa

Modelo	Ecuación	R2	R2 ajustado	Variables excluidas
1	$VPN = 2,004 g_i - ,850 g_{TIC}$	0,768	0,710	$g_{IB}, g_{IA}, g_{DE}, g_{ACT}$
2	$VPN = 0,023 PI + 78,267$	0,894	0,859	$g_{IB}, g_{IA}, g_{DE}, g_{ACT}, g_{ID}$

Leyendas: i, innovación; TIC, Tecnología de Información y las Comunicaciones.

Otro análisis para estimar la variable patentes USPTO por millón de habitantes en función de indicadores de gastos de diversa índole, indicadores de nivel educacional y tipos de graduados, permitió concluir que el gasto público en I+D y el gasto en innovación hacen un aporte significativo (ver **Tabla 5**).

Tabla 5. Modelos de regresión para patentes USPTO/millón habitantes en Europa

Modelo	Ecuación	R2	R2 ajustado	Variables excluidas
1	PAT = 180,181gPI+D - 58,472	0,501	0,478	Gasto de empresas de negocios en I+D, en universidad, gasto en TIC, nuevos graduados en ciencia e ingeniería, población de educación terciaria
2	PAT = 167,888gPI+D + 23,227 g_i - 91,492	0,644	0,610	

Leyendas: i, innovación; TIC, Tecnologías de Información y las Comunicaciones.

Otro análisis factorial permitió identificar las dimensiones de los ejes factoriales y el comportamiento de países según el significado de cada componente (ver **Tabla 6** y **Figura 7**). El análisis se considera adecuado para llegar a conclusiones al explicar un 82,254% de la varianza con un KMO de 0,666 y un nivel de significación de 0,000.

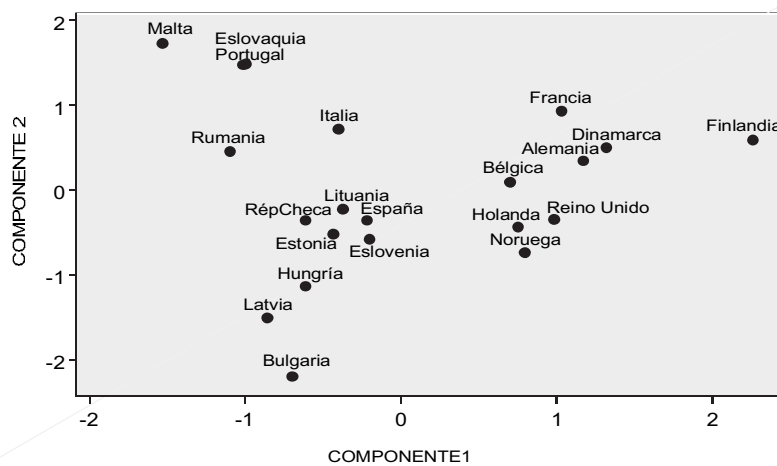
Tabla 6. Matriz de componente rotado para la base de datos EUROSTAT

128

Indicador	Componente		
	1	2	3
Gasto público en I+D	,897	-,023	,032
Gasto de empresas en I+D	,948	,163	,037
Gasto en I+D en la universidad financiados por las empresas	-,086	-,761	-,023
Gasto en innovación	,195	,781	,241
Gasto en TIC	,069	-,230	,811
Patentes EPO por millón de habitantes	,898	,146	,138
Población con educación terciaria	,800	-,295	,048
Exportación de productos en alta tecnología	,044	,394	,819
Empleados en servicios de alta tecnología	,822	,017	,397
Nuevos graduados en ciencia e ingeniería	,615	,073	-,264
Venta de productos nuevos para el mercado	-,172	,789	-,414
Patentes USPTO por millón de habitantes	,922	,174	,111

En la **Figura 7** se aprecia el liderazgo de Finlandia para los indicadores marcados en amarillo en el componente 1, situación contraria para Malta. Un sentido contrario entre indicadores de gastos en I+D en la universidad por las empresas y los gastos de innovación y venta de productos nuevos en el mercado se aprecia. Exportar productos en alta tecnología (indicador de innovación tecnológica) se asocia directamente con los gastos de TIC, lo que justifica la vigilancia tecnológica para la toma de decisiones estratégicas.

Figura 7. Diagrama de dispersión de las cargas factoriales del análisis factorial



3. Innovación a nivel organizacional

La más reciente clasificación de tipos de innovación identifica innovaciones de productos, de procesos, de organización y de mercadotecnia; pone mayor énfasis en la actividad de servicios, así como en la evaluación de los vínculos debido a la importancia de los flujos de conocimientos entre empresas y otras organizaciones para el desarrollo y la difusión de las innovaciones (Manual de OSLO, 2006).

La necesidad de abordar la innovación en todas sus dimensiones se pone en evidencia al observar el número de empresas que, para mantener el éxito y el liderazgo en el mercado, han priorizado las innovaciones organizacionales para la comercialización de sus productos a través de cambios en la estrategia y en la estructura organizacional, apoyados en la creación de redes entre sus unidades, que les proporcionen una respuesta más coherente a las necesidades del mercado (Conceição *et al.*, 2002). Algunos autores proponen un tipo de innovación organizacional basado en la integración de las teorías del aprendizaje organizacional y las del conocimiento (Gopalakrishnan, 2001). Se destaca que la innovación de procesos involucra el nivel de

integración en los mecanismos organizacionales y constituye un moderador de la innovación de productos (Parthasarthy, R. y Hammond, J., 2002). También se plantea la integración de la innovación con la calidad y la gestión del conocimiento como una tríada que contribuye a la creación de valor en la empresa (Morcillo, 2004) y la integración de las competencias tecnológicas y personales (Morcillo, 2002).

La evaluación de las competencias empresariales cobra importancia, así como la enseñanza orientada a las competencias en el Espacio de Educación Superior Europeo y de América Latina, Caribe y Unión Europea (ALCUE). La definición y evaluación de competencias (Lewis, 2001), como capacidades que debe alcanzar la organización, es un tema que está en estrecho vínculo con la innovación y es otro elemento que contribuye al éxito empresarial. Se plantea la necesidad de integrar competencias tecnológicas y cooperativas en la organización (Tyler, 2001), así como la integración entre el aprendizaje tecnológico, la gestión del conocimiento y la estrategia en la organización para crear capacidades para innovar (Hitt *et al.*, 2000).

130

El procedimiento diseñado para la evaluación de la innovación a nivel organizacional consta de varias encuestas y tests que se le aplican a los directivos y especialistas según un plan de muestreo estadístico. La encuesta de innovación mide aspectos como la presencia de tipos de estrategias competitivas por orden de importancia, las áreas que demandan innovación, los objetivos, factores que obstaculizan y fuentes de innovación, la existencia de patentes o la licencia de productos, los tipos de innovaciones organizacionales y los aspectos referidos a la actualización del equipamiento. Se evalúan además de las competencias tecnológicas y de mercado, las integradoras, que favorecen la interrelación entre las otras competencias favoreciendo sinergias positivas (Wang *et al.*, 2004), así como el test de innovación empresarial (CIDEM, 2001) que posiciona a la empresa en una escala según su evaluación y el test de aprendizaje organizacional.

El procesamiento estadístico se refiere a porcentajes, concordancia de expertos, estadística descriptiva y diagramas de caja y bigote. El mayor valor lo aporta el procesamiento y análisis de los test de forma conjunta, lo que confirma el presupuesto de que la innovación debe analizarse con un enfoque multidimensional.

El procedimiento de evaluación de la innovación ha sido aplicado durante los últimos cinco años en más de 300 organizaciones (Delgado, 2005). Un estudio realizado a 276 expertos (directivos y especialistas) de 33 entidades cubanas en el 2007 permite caracterizar la situación de la innovación y otras temáticas relacionadas con el desempeño en esas entidades.

La estrategia que en su mayoría está presente en las entidades analizadas es la de calidad, con una media de importancia de 2,444 con la menor variabilidad, y una mediana de 2, siendo la menor (donde la estrategia más importante es evaluada con 1). La menos importante es la de alta segmentación, con media de 3,205 y la mayor variabilidad, así como la mediana mayor. Resulta interesante que son organizaciones que también priorizan la estrategia de servicio al mercado.

Se aplica el análisis factorial por el método de extracción de componentes principales y rotación Varimax (Hair, 1999) a los objetivos de innovación analizando las asociaciones que se establecen entre los mismos, como se aprecia en la **Tabla 7**. Se observan sombreados en colores los objetivos que definen cada componente. El análisis factorial es válido al explicar un 59,93% de varianza, existir un índice de la medida de adecuación de la muestra Meyer-Olkin de 0,765 y un nivel de significación de 0,000 que permite rechazar la hipótesis nula de que no tenga sentido hacer uso del análisis factorial. Observé que la presencia en el mercado internacional no está asociada a otros objetivos, así como la asociación en el primer factor de los objetivos sombreados en amarillo.

Tabla 7. Matriz de componente rotado de los objetivos de innovación

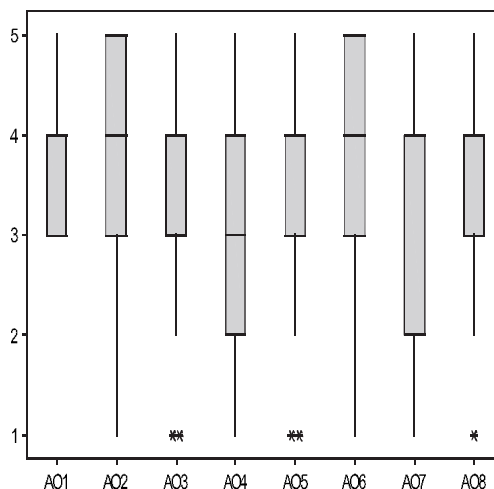
Objetivos de innovación	Componente			
	1	2	3	4
O1 Reemplazar productos en declive	,557	,008	,290	-,135
O2 Extender gama de productos	,744	-,125	,051	-,132
O3 Mantener cuota de mercado	,772	,121	-,082	,404
O3.1 Mercado nacional	,780	,103	,009	,183
O3.2 Mercado internacional	,168	,145	,120	,771
O4 Mejorar flexibilidad de producción	,456	,428	,100	-,083
O5 Rebajar costos de producción	,351	,705	,101	,216
O5.1 Costos de salario	,188	,560	,150	-,440
O5.2 Costos por consumo de materiales	-,059	,878	,033	-,011
O5.3 Costos por energía	-,094	,772	,175	,208
O5.4 Costos por producción rechazada	,248	,290	,455	,027
O5.5 Costos por tiempo perdido	,132	,159	,742	,007
O5.6 Costos por diseño	,346	,409	,440	-,275
O6 Mejorar calidad de productos	,636	,245	,246	,126
O7 Mejorar condiciones de trabajo	,080	,015	,753	,101
O8 Reducir daños del medio ambiente	-,051	,043	,872	-,021

131

Detallando sobre los diferentes aspectos que caracterizan al aprendizaje organizacional se observa en la **Figura 8** que los ocho criterios medidos tienen valoraciones semejantes, al encontrarse en su mayoría valoradas entre 3 y 5 de una escala en la que 5 significa la frecuencia de siempre y 1, nunca, aunque esta situación no es la misma para todas las organizaciones.

Figura 8. Diagrama de caja de los criterios evaluados del aprendizaje organizacional

AO1. Se aprende con experiencia y no se repiten errores
 AO2. Conocimiento permanece cuando alguien deja la entidad
 AO3. Documenta y difunde cuando se finaliza una tarea
 AO4. Conocimiento generado en las áreas de la empresa se pone a disposición de la organización
 AO5. Se reconoce y recompensa el valor del conocimiento creado
 AO6. Evaluación sistemática de necesidades de conocimiento con planes para su satisfacción
 AO7. Se experimenta como forma de aprendizaje.
 AO8. Se estimulan capacidades de generar, adquirir y aplicar conocimiento, aprendiendo de otras organizaciones.



132

Las competencias de mercado, tecnológicas e integradoras también fueron evaluadas, mostrándose los aspectos mejor valorados en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Competencias mejor evaluadas en la muestra

Competencias de mercado	Competencias tecnológicas	Competencias integradoras
CM1. Capacidad en obtener información real en tiempo de cambios de necesidades de clientes es muy fuerte	CT7. Somos uno de los líderes en la industria para establecer y actualizar las normativas tecnológicas	CI1. Capacidad de comunicación entre procesos de diseño de productos y servicios es muy fuerte
CM2. Capacidad sobre la comunicación con clientes sobre potencial y demandas actuales es muy fuerte		CI2. Fuerte capacidad para compartir conocimiento del mercado y tecnología entre áreas de la empresa
CM3. Fuerte capacidad de involucrar a los clientes en el proceso de prueba y evaluación de los productos		CI4. Fuerte capacidad para coordinar e integrar actividades de áreas respecto a la estrategia de la empresa
		CI5. Actualizados en nuevos avances tecnológicos de nuevos productos y servicios
		CI8. Fuerte capacidad para coordinar de forma efectiva en el proceso de implementación de la estrategia empresarial

Una guía de las informaciones a recopilar que combinan aspectos cuantitativos y cualitativos fue diseñada donde se recopilan datos de los indicadores propuestos en el nivel regional como gastos de I+D, número de graduados, ventas, etc. Se incluyen indicadores de estimación de porcentajes para gastos, ventas, innovaciones, etc., dado que no siempre es posible contar con los datos cuantitativos de algunos de estos indicadores.

4. Evaluación de la eficiencia de grupos de investigación de universidades andaluzas

El Data Envelopment Analysis (DEA) se aplicó para evaluar la eficiencia de los grupos de investigación del Sistema de Información Científica de Andalucía (SICA) (Solís, F. M., 2008). De los 1800 grupos de investigación, se optó por los de las Tecnologías de Información y las Comunicaciones (TIC) con 86 grupos de investigación en 2009.

El DEA permite evaluar la eficiencia relativa sobre recursos empleados y resultados obtenidos para un conjunto de Unidades de Toma de Decisión (DMU). Se aplica en la selección (Chen, Y. *et al.*, 2006) y evaluación de proyectos de I+D (Hsu, F. M. y Chao-Chih, H., 2009), la evaluación de la I+D (Wang, E. y Wichiao, H., 2007), la eficiencia de I+D en la industria farmacéutica (Hashimoto, A. y Shoko, H., 2008) o en la investigación en universidades (Johnes, H. y Yu, L., 2008).

El análisis factorial, la regresión lineal y la correlación canónica permitieron reducir las variables del SICA para su inclusión en el DEA. La **Tabla 9** muestra las variables y sus totales por instituciones.

133

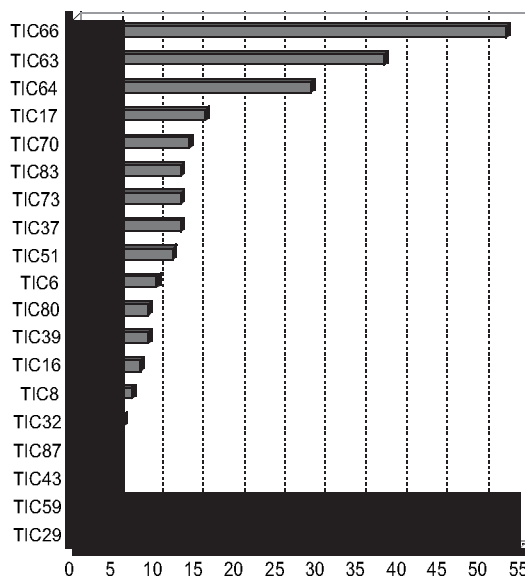
Tabla 9. Totales por instituciones de las variables

	Univ. Granada	Univ. Málaga	Univ. Sevilla	Resto de grupos	Total
Número de grupos (DMUs)	22	14	20	30	86
Variables de entrada					
Número de doctores activos	189	168	146	190	693
Resto de personal de I+D+i	59	65	74	57	255
Subvenciones recibidas en la convocatoria de ayudas a los grupos de investigación	256,719	287,295	201,752	256,161	1,001,585
Variables de salida					
Ingresos por proyectos de financiación pública	13,628,998	26,298,098	12,176,814	12,484,676	64,588,585
Publicación en revistas ISI	588	450	458	896	2,392
Total otros proyectos	96	46	48	80	270
Número de contratos total	85	144	221	132	582

Se seleccionó el modelo de rendimientos de escala constante (CCR) y para su resolución se usó el software CPLEX y se obtuvieron 19 unidades 100% eficientes, 31 unidades cuyo grado de eficiencia varía entre el 60% y el 99 %, existiendo 36 grupos de investigación muy ineficientes, no llegando ni al 60 % (Barea, 2009).

DEA crea grupos de referencia, donde cada unidad no eficiente es comparada con un grupo de unidades con recursos semejantes y mejores resultados (Charnes, 1978). El grupo de investigación TIC66 es el líder global, al formar parte de los grupos de referencia de un mayor número de grupos de investigación no eficientes (en 53 ocasiones). No están a mucha distancia los grupos TIC63 y TIC64, pues forman parte de hasta 38 y 29 grupos de referencia de grupos de investigación no eficientes, respectivamente. El resto de grupos se encuentran presentes entre uno y 16 grupos de referencia cada uno, todo lo cuál puede ser observado en la **Figura 9**.

Figura 9. Frecuencia de grupos de referencia



A modo de ejemplo se obtuvo que la mejora potencial que debe lograr el grupo TIC45 consiste en aumentar en 21.635 euros los ingresos por proyectos de financiación pública, lograr siete publicaciones más en revistas ISI, el número de tesis total no necesita aumentar, y el total de otros proyectos y el número de contratos totales deberían aumentar en 3 y en 1, respectivamente, para que la unidad TIC45 llegara a ser plenamente eficiente (Pino, J. L. *et al.*, 2010). Este procedimiento permite establecer objetivos que podrían guiar la mejora del desempeño de las unidades menos eficientes.

5. Conclusiones

La evaluación de la innovación, la ciencia y la tecnología a nivel internacional tiene entre sus limitaciones la inexistencia de valores para los principales indicadores y la no comparabilidad de los indicadores disponibles.

La limpieza e integración de datos, el análisis multivariado para los indicadores de entradas, recursos y salidas, tanto para analizar las interdependencias como la dependencia permiten estimar parte de los datos ausentes y construir métricas comunes que permiten una cierta comparabilidad.

Los indicadores sintéticos obtenidos mediante el análisis factorial son útiles para construir gráficos que intuitivamente describen la situación relativa de países y pueden usarse como base de conocimiento en la ciencia y la innovación tecnológica a nivel internacional, nacional y organizacional. Los modelos construidos con el método de la regresión paso a paso permiten inferir sobre el comportamiento en países de los que no se dispone alguna información o de otros que conociéndose se desean proyectar estados futuros, además de que permite caracterizar la situación imperante y ayudar a la toma de decisiones en el fomento de políticas de la I+D+i.

La aplicación del procedimiento de evaluación de la innovación en más de 300 organizaciones ha permitido diseñar y validar el procedimiento como una tecnología que describe los pasos a seguir con la rigurosidad estadística requerida. También se han podido establecer asociaciones, clasificaciones de entidades según los diferentes comportamientos y se han propuesto planes de mejora en función del diagnóstico y sus resultados.

135

Bibliografía

ALBORNOZ, M. *et al.* (2006): *El estado de la Ciencia*, Principales Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericanos/Interamericanos REDES y CYTED, Buenos Aires.

BAREA, R. (2009): *Evaluación de la Eficiencia Mediante el Análisis Envolvente de Datos*, Trabajo de investigación, dirigido por José Luis Pino Mejía, Universidad de Sevilla.

CIDEM (2002): *Guía para gestionar la innovación*, Generalitat de Catalunya Departament d'Indústria Comerç i Turisme Centre d'Innovació i Desenvolupament Empresarial, Barcelona.

CONCEIÇÃO, P. HAMMELL, D. y PINHEIRO, P. (2002): *Innovative science and technology commercialization strategies at 3M: a case study*, Journal of Engineering and Technology Management, Elsevier, Vol. 19, pp. 25-38.

CHEN, Y., LIANG, L., FENA, Y. y JOE, Z. (2006): *Evaluation of information technology investment: a data envelopment analysis approach*, Computers & Operation Research, 33, pp. 1368-1379.

DELGADO, M. (2005): *Evaluación de la innovación tecnológica en Cuba*, IX Taller de Gestión Tecnológica en la Industria, GESTEC 2005, Palacio de las Convenciones, Cuba.

DELGADO, M., PINO, J. L., SOLÍS, F. y BAREA, R. (2007): *Evaluación integrada innovación, tecnología y competitividad*, XI Seminario Latino Iberoamericano de Gestión Tecnológica ALTEC 2007, Buenos Aires, 26-28 de septiembre.

DELGADO, M., PINO, J. L., SOLÍS, F. y BAREA, R. (2008a): *Evaluación integrada de la innovación, la tecnología y las competencias en la empresa*, Revista de I+D+i, mi+d. N° 47, junio, España.

DELGADO, M., PINO, J. L., SOLÍS, F. y BAREA, R. (2008b): *Descubriendo el conocimiento en la innovación*, Congreso Latino Ibero-americano de Investigación de Operaciones, CLAIO 08, Cartagena de Indias, Colombia, 2 al 9 de septiembre.

CERVERA, J. L. (2001): *Estadísticas e indicadores de ciencia, tecnología e innovación en América Latina y el Caribe*, primera reunión de la Conferencia Estadística de las Américas de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, Santiago de Chile, 9 al 11 de mayo.

COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL CONSEJO Y AL PARLAMENTO EUROPEO (2000): *La innovación en una economía del conocimiento*, Bruselas, 20 de septiembre.

CHAKRABARTI, A. (1989): *Technology Indicators: Conceptual Issues and Measurement Problems*, Journal of Engineering and Technology Management, Elsevier, 6, pp. 99-116.

GODIN, B. (2007): *Science, accounting and statistics: The input-output framework*, Research Policy, 36, pp. 1388-1403.

GOPALAKRISHNAN, S. y BIERLY, P. (2001): *Analyzing innovation adoption using a knowledge-based approach*, Journal of Engineering and Technology Management, Elsevier, 18, pp. 107-130,

GRUPP, H. y MOGGEE, M. E. (2004): *Indicators for national science and technology policy: how robust are composite indicators?*, Research Policy, 33, pp. 1373-1384.

HAIR, J. F., ANDERSON, R. L., TATHAM, L. y BLACK, W. C. (1999): *Análisis Multivariante*, Prentice Hall, 5ª edición, Madrid, p. 832.

HASHIMOTO, A. y SHOKO, H. (2008): *Measuring the change in R&D efficiency of the Japanese pharmaceutical industry*, Research Policy, 37, pp. 1829-1836.

HITT, M. A., DUANE IRELAND, R. y LEE, H. (2000): *Technological learning, knowledge management, firm growth and performance: an introductory essay*, Journal of Engineering and Technology Management, Elsevier, 17, pp. 231-246.

HSU, F. M. y HSUEH, C. C. (2009): *Measuring relative efficiency of government-sponsored R&D projects: A three-stage approach*, Evaluation and Program Planning, 32, pp.178-186.

JOHNES, J. y YU, L. (2008): *Measuring the research performance of Chinese higher education institutions using data envelopment analysis*, China Economic Review, 19, pp. 679-696.

KOSTOFF, R. y GEISLER, E. (2007): *The unintended consequences of metrics in technology evaluation*, Journal of Informetrics, 1, pp. 103-114.

LEWIS, M. A. (2001): *Success, failure and organisational competence: a case study of the new product development process*, Journal of Engineering and Technology Management, Elsevier. Vol. 18, pp. 185-206.

MANUAL DE BOGOTÁ (2001): *Normalización de indicadores de innovación tecnológica en América Latina y el Caribe*, RICYT, OEA, CYTED/COLCIENCIAS, OCYT, Colombia. 137

MANUAL DE FRASCATI (2003): *Propuesta de Norma Práctica para Encuestas de Investigación y Desarrollo Experimental*, Fundación Española Ciencia y Técnica, publicado por acuerdo con la OCDE, París.

MANUAL DE OSLO (2006): *Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*, 3ª edición, OCDE y Eurostat, traducción española, Grupo Tragsa.

MENG, W., DAQUN, Z., LLI, Q. y WENBIN, L. (2008): *Two-level DEA approaches in research evaluation*, Omega, 36, pp. 950-957.

MORCILLO, P. (2002): *La integración de las competencias tecnológicas y personales como fuente de ventajas competitivas para la empresa*, Madrid+d Revista, N° 7, febrero-marzo.

MORCILLO, P. (2004): *Tendencias e interrelaciones en el enfoque Conocimiento-Innovación-Calidad*, Boletín Intellectus, IADE, Centro de Investigación sobre la Sociedad del Conocimiento (CIC-IADE-UAM), Madrid.

MORIN, J. L. y SEURAT, R. (1998): *Le Management des Ressources Technologiques*, Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica, Madrid.

NELSON, A. J. (2009): *Measuring knowledge spillovers: What patents, licenses and publications reveal about innovation diffusion*, Research Policy, 38, pp. 994-1005.

PARTHASARTHY, R. y HAMMOND, J. (2002): *Product innovation input and outcome: moderating effects of the innovation process*, Journal of Engineering and Technology Management, Elsevier, 19, pp. 75-91.

PINO, J. L., SOLÍS, F. M., DELGADO, M. y BAREA, R. (2010): *Evaluación de la eficiencia de los grupos de investigación mediante análisis envolvente de datos (DEA)*, El profesional de la información, Vol. 19, N° 2, marzo-abril, pp. 160-167.

RICYT: *Base de datos*, en www.ricyt.edu.ar, consulta realizada en enero de 2006.

SANCHO, R. (2002): *Indicadores de los Sistemas de Ciencia, Tecnología e Innovación*. Economía Industrial, N° 343, pp. 97-109.

SOLÍS, F. M. (2008): *El Sistema de Información Científica de Andalucía (SICA), una experiencia pionera en España. Las Comunidades Autónomas frente a la I+D+I*, Revista Mi+d monográfico, N° 22, pp. 12-18.

SUBRAMANIAN, A. (1996): *Innovativeness: Redefining the concept*, Journal of Engineering and Technology Management, Elsevier, 13, pp. 223-243.

138

WANG, E. C. y WEICHIAO, H. (2007): *Relative efficiency of R&D activities: A cross-country study for environmental factors in the DEA approach*, Research Policy, 36, pp. 260-273.

YONGGUI, W., LOB, H. P. y YANG, Y. (2004): *The constituents of core competencies and firm performance: evidence from high-technology firms in china*, Journal of Engineering and Technology Management, Elsevier, 21, pp. 249-280.