

La eficiencia de los sistemas de ciencia, tecnología e innovación de las entidades federativas de México. Una evaluación mediante análisis envolvente de datos (DEA)

Cuitlahuac Valdez Lafarga*
Jorge Inés León Balderrama**

Resumen

El objetivo de este estudio es medir la eficiencia técnica relativa de los sistemas de ciencia tecnología e innovación (SCTI) de las entidades federativas de México, así como proponer un modelo para explicar las diferencias en eficiencia de estos sistemas a partir de algunos factores ambientales pertinentes. El análisis se plantea en dos etapas, en la primera se lleva a cabo el análisis de eficiencia técnica mediante el método de análisis envolvente de datos (*Data Envelopment Analysis*, DEA), y en la segunda, un análisis de regresión Tobit con el fin de modelar los resultados de eficiencia a partir de factores ambientales. El estudio contempla a las 32 entidades federativas mexicanas como SCTIs y utiliza información oficial para incorporar al análisis de eficiencia una selección de indicadores de los recursos destinados a las actividades de CTI y sus productos en cada entidad, ello en base a los ejercicios realizados en estudios previos y a la disponibilidad de estadísticas comparables entre estados. Con los resultados del análisis de eficiencia, se procedió a identificar los factores ambientales con un impacto significativo sobre la eficiencia de los SCTI de las entidades federativas mexicanas.

Palabras clave: Sistemas de ciencia, tecnología e innovación, entidades federativas, evaluación, eficiencia, DEA.

Abstract

The aim of this study is to measure the relative technical efficiency of the systems of science, technology and innovation (SSTI) of the states of Mexico, as well as to propose a model to explain the differences in efficiency of these systems through some pertinent environmental factors. The analysis is presented in two stages; in the first one, the analysis of technical efficiency is carried out using *Data Envelopment Analysis* (DEA); and in the second, a Tobit regression analysis is used in order to model the efficiency results against environmental

* Profesor investigador de tiempo completo y Coordinador Académico del Doctorado en Ciencias Administrativas en la Universidad de Occidente unidad Culiacán. cuitlahuac.valdez@udo.mx

** Investigador titular y coordinador de la división Desarrollo Regional en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD)

factors. The study considers the 32 Mexican states as SSTIs and uses official information to incorporate in the analysis of efficiency a selection of indicators of the resources allocated for STI activities, as well as the production outcome for each state, based on the previous exercises carried out in studies and on availability of comparable statistics between states. With the results of the efficiency analysis, we proceeded to identify the environmental factors with a significant impact on the efficiency of the SSTI of the Mexican federal entities.

Key words: Systems of science, technology and innovation, federal entities, evaluation, efficiency, DEA.

Clasificación JEL: O18, O32, O38, C14, C67

Introducción

En la actualidad se ha revalorado el papel que juega la CTI como determinante del crecimiento económico y el desarrollo social de países y regiones. En México, al igual que en otros países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) las políticas públicas han venido privilegiando en los últimos años la meta de consolidar su sistema nacional de CTI (OCDE, 2009). Sin embargo, la experiencia internacional ha demostrado la conveniencia de que estas políticas se construyan bajo un enfoque regional, dada la marcada disparidad que se observa a lo largo del país en términos de las capacidades y recursos para el desarrollo de las actividades de CTI.

Sólo muy recientemente, los estudios sobre sistemas de CTI y sistemas de innovación (SI) se han orientado hacia la evaluación de su eficiencia y desempeño. Basados principalmente en el concepto de eficiencia técnica propuesto por Farrell (1957) se han utilizado varios métodos cuantitativos que se han enfocado en la medición de la eficiencia insumo/producto de diferentes unidades de estudio, entre ellas particularmente los SCTI. Un ejemplo de estas herramientas es el DEA, cuya capacidad para medir la eficiencia relativa a partir de múltiples factores la han hecho muy popular en el análisis de actividades del sector público.

En diversas naciones y regiones se han realizado estudios que han utilizado el DEA para evaluar y contrastar la eficiencia en términos de los recursos invertidos para la generación de innovaciones y otros productos propios de las actividades de CTI (Nasierowski y Arcelus, 2000; Guan et. al., 2006; Wang y Huang, 2007). No obstante, estos estudios se limitan a calcular un índice de eficiencia a partir de una serie de indicadores de insumos (inputs) y productos (outputs), sin buscar factores externos que pudieran estar involucrados en el proceso productivo de los sistemas, y pudieran por lo tanto ejercer un efecto sobre los resultados de eficiencia. Este es un problema que no ha sido tratado extensivamente en la literatura especializada, y los primeros enfoques para abordarlo aún se encuentran en desarrollo, aunque con algunos logros prometedores.

Algunos estudios previos han utilizado metodologías híbridas que incluyen un análisis no paramétrico de la eficiencia (basado en el DEA) y que comprenden además un análisis de regresión (regresión Tobit) adecuado para identificar factores ambientales relacionados con la eficiencia. Esta estrategia se ha utilizado para el análisis de eficiencia de unidades de análisis similares a los SCTI o los SI nacionales y/o regionales (Kirjavainen y Loikkanen, 1998; Susiluoto, 2003; Diaz-Balteiro et. al., 2006; Wang y Huang, 2007; entre otros). Estos análisis por lo general se han basado en los aportes del enfoque de los SI, por lo que han evaluado variables como la productividad de actividades de I+D o la producción de innovaciones dentro de sectores productivos específicos. Así mismo, estos estudios se han realizado principalmente en naciones/regiones europeas o asiáticas, mientras que el caso de México, el tema ha sido abordado ocasionalmente en algunos de estos estudios, pero desde el enfoque nacional. Son virtualmente inexistentes los estudios empíricos que estudien la eficiencia de las actividades de CTI en México desde la perspectiva territorial/regional. La mayoría de los estudios del caso México se centran en describir aspectos del sistema nacional de innovación (SNI) mediante métodos cualitativos, con algunos esfuerzos cuantitativos, como el cálculo de índices compuestos o clasificaciones a través de análisis multivariado (ver Cabrero et. al., 2005; Dutrénit et. al., 2010; OCDE, 2009; Llisterri y Pietrobelli, 2011; Dutrénit, 2009; Cimoli, 2005)¹.

El objetivo del presente trabajo es realizar un estudio de corte explicativo de la eficiencia de las capacidades y recursos que conforman los SCTI de los estados del país considerando un enfoque de insumo-producto. El propósito general es explicar las diferencias en eficiencia productiva de los SCTI de las entidades federativas a partir de algunos factores ambientales pertinentes. Con tal motivo, en este estudio se propone un análisis en dos etapas: i) primero, un análisis de eficiencia técnica mediante el método DEA, y; ii) segundo, un análisis de regresión Tobit para modelar los resultados de eficiencia a partir de variables externas a los SCTI de las entidades. Tomando a los 32 estados mexicanos como modelo de SCTI y partir de una selección de variables apropiadas (en bases a la disponibilidad de registros), el análisis en dos etapas busca identificar los factores contextuales con efecto significativo sobre la operación de los estados mexicanos como sistemas de CTI, cuyo objetivo final sería la generación de innovaciones. La idea central es proponer una herramienta de análisis que permita estudiar actividades de CTI en México desde una perspectiva territorial, y cuya información generada sea pertinente para la toma de decisiones en política pública en el área de la CTI.

La siguiente sección contiene una revisión de la literatura alrededor del concepto de eficiencia en el marco de los sistemas CTI regionales, basado en gran medida en el enfoque analítico-conceptual de los “sistemas regionales de

1 Además existen diversos diagnósticos realizados por el Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FC-CyT), cuyo objetivo son recopilar y analizar algunos datos concernientes a actividades de CTI.

innovación” (SRI), así como la importancia y forma de evaluar su desempeño, incluyendo las herramientas y métodos empleados con este fin. Posteriormente, se describe la metodología implementada, seguido de la presentación de los resultados obtenidos, su discusión e implicaciones prácticas. La sección final presenta algunas reflexiones sobre los límites y alcances del presente trabajo, así como futuras líneas de investigación en este campo.

1. Estudios previos sobre la evaluación de la eficiencia de los SCTI a nivel sub-nacional

Existen diversas maneras de definir el desempeño de los sistemas sub-nacionales de CTI, dependiendo del enfoque que se adopte. Para algunos, el desempeño está en función de la productividad individual, por ejemplo, el número de patentes por habitantes de la región (Audretsch, 1998; Stern et al., 2002). Si cambiamos la unidad de análisis del individuo a la región, entonces cambia la interpretación del proceso de innovación a la de proceso de producción (Broekel y Brenner, 2007). En este sentido, el desempeño es definido por la *eficiencia* del sistema regional, específicamente el concepto de *eficiencia técnica* propuesto por Farrell (1957), el cual se define como la máxima generación de output (producto o salida) dada una cantidad determinada de input (insumos o entradas). Bajo esta definición, la ineficiencia se presenta cuando no se logra obtener el máximo output posible, es decir, cuando no se logran alcanzar las mejores prácticas del proceso productivo.

Aplicar este concepto de eficiencia técnica al contexto de los SI y los SCTI puede ser problemático, como lo hacen notar Fritsch y Slavtchev (2006). Primeramente, los procesos de innovación son de naturaleza no determinística (estocástica), por lo cual, sus resultados son sólo “estimaciones” de los valores reales. Por otra parte, el carácter único de cada innovación no permite conocer la mejor manera de obtener un resultado, lo cual puede significar la imposibilidad para comparar procesos de innovación. Sin embargo, sí es posible contabilizar innovaciones, de tal manera que, visto como output de los procesos productivos del sistema de CTI, se pueden relacionar a inputs del proceso en el sentido de una relación macroeconómica. El presente estudio se basa, precisamente, en este enfoque.

Motivaciones y enfoques para la evaluación de los SCTI de los estados

Hacia finales de la década de los 90s, surgen diversos intentos por evaluar y comparar SCTI y SI en términos del desempeño de los mismos. El desempeño de un territorio en términos de la producción de innovaciones, o de sus capacidades para generarlas, se define y mide de diferentes maneras. Los primeros enfoques se centraron en estudios comparativos a nivel sistema como un primer paso por generar rankings de SNIs. Algunos otros estudios

se centraron en las políticas de innovación (Balzat y Hanusch, 2003). A partir del surgimiento del concepto de “sistemas de innovación” aparecen otro tipo de análisis enfocados en las relaciones internas de los actores involucrados, en la evaluación de la importancia de las instituciones o en la operación de un sistema de innovación exitoso (García *et al.*, 2005).

Estos enfoques buscan expresar el desempeño del sistema como un todo, en vez de solo cuantificar ciertos indicadores clave. Ejemplos de este tipo de estudio son el Manual de Oslo, elaborado en 1992 por la (OCDE) y Eurostat (Oficina de Estadísticas de la Comisión Europea), y su similar para América Latina, Manual de Bogotá, los cuales proponen una guía para recolectar e interpretar datos de innovación tecnológica.

Sin embargo, la heterogeneidad de las regiones y la multidimensionalidad de sus sistemas de CTI han dificultado los análisis de *benchmarking* entre regiones a partir de los datos recopilados (García *et al.*, 2005). Estas dificultades no han detenido los esfuerzos por desarrollar estrategias de análisis y evaluación, y debido a las necesidades particulares a diferentes visiones geográficas, se han producido una variedad de metodologías (ver Tabla 1). En general, la idea detrás de la evaluación del desempeño es poder encontrar las *mejores prácticas* y utilizarlas como guía para la construcción y aplicación de políticas de innovación en otras regiones (Koschatzky *et al.*, 2001).

Recientemente, la evaluación de los resultados producidos por los recursos invertidos en actividades de CTI se ha convertido en un tema importante para quienes toman decisiones en torno a las políticas públicas. La literatura apunta a destacar la relevancia para el desarrollo y el crecimiento económico de los recursos públicos y privados invertidos para la investigación y el desarrollo (I+D) (Guellec y van Pottelsberghe de la Potterie, 2004). Hacer un uso eficiente de este tipo de recurso es un asunto que ha ganado importancia en un contexto de globalización.

Por otro lado, se observa una mayor inversión de recursos públicos sobre los privados en la generación de capacidades de CTI. Por ejemplo, en los países de la OCDE, el gasto público en actividades de I+D representa alrededor del 2.2% del PIB en promedio, mientras que el gasto privado oscila en alrededor del 1.5% (OCDE, 2007). Esta diferencia es todavía más marcada en países en vías de desarrollo. Esto crea la necesidad de justificar las inversiones y el gasto, realizado con recursos públicos, en actividades que suponen un retorno social positivo en términos de desarrollo económico basado en la innovación y en la aplicación y explotación de la CT en la industria. Si bien se considera que una mayor cantidad de recursos invertidos en los SCTI incrementa la competitividad de éstos, la eficiencia con que son utilizados estos recursos también toma importancia considerando su procedencia tanto pública como privada. Adicionalmente, algunos autores han encontrado que no es evidente que las regiones con mayores recursos (valor agregado, PIB, etc.) sean también las más eficientes al momento de hacer sus inversiones en capacidades de CTI (Susiluoto, 2003).

Tabla 1
Algunas metodologías de evaluación de los sistemas de CTI y sus indicadores asociados (productos, resultados e impactos)

Método	Productos	Resultados	Impactos
Encuestas de innovación	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevos productos y procesos • Ventas • Valor agregado • Registro de patentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevos empleos • Capacidades de I+D+i 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora en la competitividad • Eficiencia institucional y organizacional • Difusión de las innovaciones • No. de empleos
Métodos micro	<ul style="list-style-type: none"> • Producción y valor agregado (información para una línea de base) 	<ul style="list-style-type: none"> • Productividad sectorial • Efectos spillovers por sector • Adicionalidad • Efectos de apalancamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Competitividad de las empresas
Métodos macro	<ul style="list-style-type: none"> • Producción y valor agregado 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio en inversión en I+D • Capital humano • Capital social • Spillovers internacionales de la I+D 	<ul style="list-style-type: none"> • Productividad regional/nacional • Empleos • Buena gobernanza • Cohesión económica y social
Estudios de productividad	<ul style="list-style-type: none"> • Producción y valor agregado 	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento • Derramas regionales e internacionales de conocimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Productividad regional/nacional • Empleos • Cohesión económica y social
Enfoque grupo de control	<ul style="list-style-type: none"> • Salidas y valor agregado (en empresas apoyadas y no apoyadas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Adicionalidad • Tasa de retorno de la I+D 	<ul style="list-style-type: none"> • Competitividad de la empresa
Análisis costo-beneficio	<ul style="list-style-type: none"> • Valor agregado • Razón costo-beneficio • Superávit de consumidor 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento en salud • Protección al consumidor • Sustentabilidad ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad de vida • Nivel de vida
Paneles de expertos/ revisión por colegas	<ul style="list-style-type: none"> • Publicaciones obtenidas • Desarrollos tecnológicos obtenidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidades científicas y tecnológicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Desempeño en I+D
Estudios de caso	<ul style="list-style-type: none"> • Insumos y producción en detalle 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidades de I + D de las empresas • Capacitación en el trabajo. • Esquemas educativos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Competitividad industrial • Calidad de vida • Eficiencia organizacional
Análisis de redes	<ul style="list-style-type: none"> • Eslabones de cooperación 	<ul style="list-style-type: none"> • Cooperación en clusters • Arraigo social 	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia de las relaciones institucionales
Evaluación de previsión/ tecnología	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de tecnología genérica • Fecha de implementación 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidades tecnológicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en paradigmas tecnológicos
Benchmarking	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores de ciencia y tecnología 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidades tecnológicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Competitividad industrial • Buen gobierno

Fuente: Tavistock Institute et al., 2003.

Para el análisis de la eficiencia, actualmente se sigue un enfoque más técnico, donde los SCTI son considerados simples sistemas de input/output, con énfasis en la cantidad de recursos empleados. Sin embargo, este tipo de estudio también encuentra algunas dificultades: por una parte, la producción de los SCTI implica la relación de múltiples inputs y outputs, los cuales son cualitativamente heterogéneos (en ocasiones incluso inconmensurables), de relación no determinística y con outputs obtenidos sin una estructura fija de *time gap* para la obtención de *outputs* (Bonaccorsi y Daraio, 2005); por otra parte, la evaluación del desempeño basado en unos cuantos indicadores aislados puede producir resultados sesgados. En este sentido, la literatura

señala la existencia de una muy limitada batería de indicadores confiables y adecuados para las evaluaciones comparativas de eficiencia y para profundizar en las características particulares de cada sistema (Den Hertog *et al.*, 1995).

A pesar de estas dificultades, una serie de metodologías cuantitativas, principalmente del área de la econometría y la estadística, se han adaptado para buscar medir la eficiencia de los SCTI en cuanto a la producción de resultados y su relación con los recursos invertidos con este fin. Estas metodologías se valen principalmente de dos tipos de enfoques estadísticos, los paramétricos y los no paramétricos. Los estudios que utilizan un enfoque paramétrico trabajan alrededor de una “función de producción de conocimiento”, la cual es una función matemática que asocia un vector de *input* X con un nivel máximo de *output* Y . En este caso, el benchmark se basa en una frontera estimada bajo un modelo de regresión (Fritsch, 2002; Fritsch y Slatechev, 2006). Sin embargo, este enfoque paramétrico obliga a determinar, *a priori*, la forma funcional de la transformación de inputs a outputs. La idea detrás de esta metodología es estimar el grado de significancia estadística con la que los inputs seleccionados explican las diferencias en resultados obtenidos (output del SCTI). Sin embargo, la debilidad del enfoque paramétrico reside en la imposibilidad de considerar todos los factores que afectan los niveles productivos del sistema, por lo cual el modelo de regresión estimado solo puede explicar una parte de la varianza de la función de producción de conocimiento. Esto puede llevar a diferencias significativas de los resultados de las regiones analizadas bajo este enfoque paramétrico.

Una alternativa a este enfoque es el uso de herramientas no paramétricas. A diferencia de las técnicas paramétricas, estas herramientas no requieren asumir una relación de causalidad entre los inputs y outputs en el contexto productivo. Además, el enfoque no paramétrico permite el manejo simultáneo de múltiples inputs y outputs (Martínez *et al.*, 2005). Las *fronteras de producción* son un caso no paramétrico particular basado en el involucramiento de datos de producción. Entre los métodos bajo este enfoque el DEA es utilizado en una amplia gama de contextos. Esta metodología fue desarrollada por Charnes, Cooper y Rhodes (1978), y se basa en los principios de la teoría de programación lineal, con el objetivo de comparar el desempeño productivo entre unidades homogéneas, las cuales pueden ser compañías, universidades, hospitales, bancos, sistemas de transporte, etc. Para lograr tal objetivo, DEA se sustenta en el uso de indicadores de productividad (inputs y outputs) para calcular una medida de eficiencia de las unidades bajo estudio. Estos indicadores varían de acuerdo a la naturaleza de la unidad bajo estudio, y generalmente son definidos por quienes toman las decisiones dentro de la unidad productiva.

En el DEA, las unidades bajo estudio se denominan Unidades de Toma de Decisión (DMU, por sus siglas en inglés). Una de las ventajas de esta metodología es que identifica a los DMU *referencia*, es decir, aquellas unidades que se encuentran en la frontera de eficiencia y las cuales tienen combinacio-

nes similares de inputs a otras unidades que resultaron ineficientes (Wadhwa et al., 2005). Al identificar grupos de referencia, es posible hacer una mejor comparación de desempeño entre las unidades, y formular recomendaciones más específicas para mejorar la eficiencia.

Enfoque actual para la evaluación de los SCTI

En años recientes, la literatura reporta una serie de estudios realizados alrededor del mundo sobre el desempeño de los SCTI y los SI que utilizan DEA como herramienta de análisis. En la Tabla 2 se observa que existen diferentes objetivos particulares y alcances entre los estudios.

Tabla 2
Algunas aplicaciones del DEA para evaluar SCTI

Autor	Objetivo	Inputs/Outputs	Alcance
Lee y Park (2005)	Medir la productividad de I+D al nivel nacional de países asiáticos para proporcionar implicaciones en políticas de I+D.	INPUTS: Gasto promedio en I+D (1994-1998); # de investigadores (1994-1998) OUTPUTS: Balanza tecnológica 1999; # artículos publicados 1999; # triadas de patentes 1999.	Midió eficiencia nacional en I+D de 27 países, y se analizaron las características del desempeño de países asiáticos en base a los resultados en eficiencia.
Zabala-Iturriagoitia et al. (2007)	Probar la existencia de una relación directa entre las capacidades de los sistemas regionales de innovación europeos con su eficiencia en actividades de I+D.	INPUTS: % de la pobl. con "alta educación"; % de la pobl. en actividades de aprendizaje; % del empleo industrial en manufactura de tecnología media/alta; % en servicios de alta tecnología; GP en I+D como % de PIB; GPriv en I+D como % de PIB; # patentes de alta tecnología / millón de hab. OUTPUTS: PIB regional per cápita.	Se encontró que países con menos recursos destinados a actividades de innovación resultaron más eficientes que regiones con SRI consolidados.
Hollander y Esser (2007)	Buscar las diferencias en eficiencia para producir innovación entre países europeos, y determinar si han mejorado en este aspecto.	INPUTS: Indicadores de input del <i>European Innovation Scoreboard</i> . OUTPUTS: Indicadores de output del <i>European Innovation Scoreboard</i> .	Se encontraron áreas de oportunidad para países con baja eficiencia en las políticas alrededor de la producción de Propiedad Intelectual.
Bosco y Brugnoli (2010)	Evaluar la eficiencia técnica relativa de una muestra de países de la OCDE y evaluar la existencia de una relación positiva con la productividad a nivel regional.	INPUTS: GP en I+D, GPriv en I+D, % de fuerza laboral con educación superior, % de empleados de manufactura de media/alta tecnología, % de empleados en servicio intensivo de conocimiento. OUTPUTS: Patentes solicitadas.	No se logró encontrar una relación positiva entre insumos y productos de innovación con algunos indicadores de productividad regional (valor agregado bruto).

Fuente: Elaboración propia.

En general, se observan diferencias menores en la selección de los indicadores para inputs y outputs utilizados. La mayoría utilizan unidades de análisis a nivel nacional, lo cual tiene sentido debido a que los estudios son dirigidos

a países europeos (aunque algunos estudios han incluido países como México, China, etc.). Dada la constitución socio-política del área, el acceso a indicadores homogéneos facilita realizar los estudios a este nivel. En cambio, otros estudios como el de Bosco y Brugnoli (2010) hacen un esfuerzo por llevar el estudio al nivel sub-nacional, utilizando regiones específicas de diferentes países.

Durante los últimos años, ha habido un énfasis en las regiones como el nivel crítico para el estudio de la competitividad y el desempeño. En particular, algunos argumentan que las actividades de innovación no se distribuyen homogéneamente a través del espacio, sino que tienden a aglomerarse en ciertas regiones (Enright, 2003; Feldman, 1994; Porter, 1998; Moreno et al., 2005). Esta tendencia en los estudios regionales ha motivado al presente trabajo a llevar el análisis al nivel sub-nacional. Además, encontramos un hueco importante en la literatura para estudios empíricos que busquen evaluar el desempeño de las actividades de innovación en México bajo un enfoque cuantitativo como el de eficiencia relativa, así como la búsqueda de factores ambientales asociados a los resultados obtenidos de dicha evaluación del desempeño. A continuación se expone la metodología empleada para buscar caracterizar las diferencias en el desempeño en innovación para las regiones mexicanas y encontrar factores ambientales que expliquen las diferencias en el desempeño/eficiencia.

2. Unidades de análisis, información y método

Como se ha mencionado anteriormente, el estudio constó de 2 etapas de análisis:

- Etapa 1. Estimación de la eficiencia técnica relativa de los SCTI de las entidades mediante el DEA
- Etapa 2. Estimación del grado de influencia de factores ambientales sobre la eficiencia mediante análisis de regresión Tobit

En ambas etapas la unidad de análisis fueron las entidades federativas mexicanas, de forma que cuando se hace referencia a los SCTI estatales, se está haciendo referencia a las 32 entidades federativas del país, contempladas en cuanto a SCTI. Se seleccionó la entidad federativa como modelo de SCTI territorial debido a que: (1) existe disponibilidad de datos a este nivel de división político-administrativa, y; (2) la toma de decisiones en términos de desarrollo económico y tecnológico, tiene amplias posibilidades de ser gestionadas exitosamente a este nivel, lo cual podría facilitar el análisis y la interpretación.

Etapa 1. Estimación de la eficiencia técnica relativa de los SCTI de las entidades mediante el DEA.

En la Etapa 1 se llevaron a cabo las siguientes actividades: i) se seleccionaron las variables input y output a partir de lo propuesto en la literatura sobre

indicadores en producción de investigación, desarrollo e innovación; ii) se recabaron los datos para las variables seleccionadas, y se verificó que se cumple el principio de parsimonia en la aplicación del DEA; iii) se definieron 3 modelos de producción, a partir de mezclas de inputs y outputs apropiadas, con el fin de determinar los efectos particulares de inputs y outputs sobre la eficiencia; por último, se determinó la eficiencia de todas las DMU para cada uno de los 3 modelos de producción, bajo programación CCR.

Las variables empleadas en la etapa 1

La literatura alrededor de la evaluación de la eficiencia de los SCTI y SI propone diversas variables para describir y medir la productividad de las actividades de CTI (ver Werner y Souder, 1997; Park et al., 2003; Wakelin, 2001). La mayoría de estas variables se basan en los indicadores propuestos en el *European Innovation Scoreboard* (EIS), la cual consta de 25 indicadores de innovación divididos en 3 dimensiones de input (cubriendo 15 indicadores) y dos dimensiones de output (comprendido por 10 indicadores).

Para el caso de México, es difícil obtener la mayoría de estos indicadores, ya sea por su inexistencia o porque la información no está disponible a un nivel de desagregación que permita la comparación entre entidades federativas. Para el presente estudio se seleccionaron las variables presentadas en la tabla 3, de las cuales algunas son proxy² de algunos indicadores presentes en el EIS y en otros estudios similares. Por ejemplo, la variable “posgrados de calidad” (POSG-CAL) se utiliza como proxy de la dimensión de impulsores de innovación propuestos en el EIS; así mismo, la variable “investigadores nacionales” (SNI) es proxy de input para “fuerza laboral”. Por su parte, “patentes solicitadas” (PATENTS) y “publicaciones” (PUBLS) han sido ampliamente utilizados como outputs de los SCTI y los SI (OCDE, 2001; Zhang et al., 2003).

Debido a que no se puede asumir que ocurre una conversión a corto plazo de los inputs en output, se consideró un lapso de tiempo entre éstos, el cual se observa en la descripción de las variables. Estudios anteriores sugieren que existe un lapso de 3 a 5 años entre inputs y outputs de I+D (Scherer, 1983; Acs y Audretsch, 1991). Los datos disponibles para México, permitieron encontrar lapsos de 2 a 3 años.

Para la construcción de los modelos DEA, El-Mahgary y Lahdelma (1995) recomiendan que el número de DMU a analizar debe ser al menos $3 \times (\text{input} + \text{output})$; mientras que Cooper, *et al.*, (2000) recomiendan que el número de DMU $\geq \text{Máx} \{ \text{inputs} \times \text{outputs}, 3(\text{inputs} + \text{outputs}) \}$. La razón de estas recomendaciones es que el número de DMU debe ser relativamente grande en comparación a la cantidad de inputs y outputs en el modelo, con el fin de que el DEA pueda discriminar adecuadamente entre DMU eficientes e ineficien-

2 Término utilizado en econometría para indicar el uso de una variable (proxy) en representación de otra que no puede ser observada directamente o es demasiado compleja para captarse en un solo número.

tes. En este estudio se contaron con 32 DMU, 3 inputs y 2 outputs; por lo tanto, las dos condiciones para parsimonia, en el DEA, se cumplen.

Los datos para los inputs y outputs se obtuvieron de las bases disponibles al público general en las páginas web de CONACyT, INEGI, ANUIES, así como de algunas publicaciones especiales de CONACyT, específicamente “La actividad del CONACyT por entidad federativa” para los años de interés.

Tabla 3
VARIABLES DE INPUTS Y OUTPUTS PARA EL ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LOS SCTI

Variables		Descripción
<i>Inputs</i>		
POSG-CAL	Posgrados de calidad	Número de posgrados en el Programa Nacional de Calidad del Posgrado, PNPC (2008), por cada 10,000 de la población económicamente activa, PEA (2007)
GASTO I+D	Montos aplicados por fondos para la I+D	Montos, en millones de pesos, aplicados por FOMIX y Ciencia Básica en los estados (2008), como porcentaje del PIB estatal (2007)
SNIs	Investigadores nacionales	Investigadores pertenecientes al Sistema Nacional de Investigadores, SNI (2007), por cada 10,000 de la PEA (2007)
<i>Outputs</i>		
PATENTS	Patentes solicitadas	Patentes, modelos de utilidad y diseños solicitados (2010), por cada 10,000 de la PEA (2007)
PUBLS	Artículos científicos publicados	Artículos científicos publicados, por cada 10,000 de la PEA (2007)

Fuente: Elaboración propia con información en CONACyT, INEGI e IMPI.

Etapa 1- Análisis de eficiencia mediante el DEA

Asumiendo que deseamos evaluar la eficiencia de n unidades, definimos un conjunto de unidades como $N = \{1,2,...,n\}$. Si las unidades producen un solo output utilizando un solo input, entonces la definición básica de eficiencia descrita anteriormente aplica, y la eficiencia de la unidad p , DMU_p , $p \in N$, se define como

$$\theta_p = \frac{y_p}{x_p}, \quad (1)$$

en donde y_p es el valor del output producido por DMU_p , y x_p el valor del input utilizado.

En el caso donde las unidades producen múltiples outputs a partir de varios inputs, la eficiencia de DMU_p se define como la razón entre la suma ponderada de outputs virtuales y la suma ponderada de inputs virtuales.

$$Eficiencia = \frac{Suma\ ponderada\ de\ outputs\ virtuales}{Suma\ ponderada\ de\ inputs\ virtuales}$$

Asumiendo que existen n DMU, cada una con m inputs y s outputs, la eficiencia relativa de una DMU _{p} se obtiene resolviendo la siguiente programación matemática fraccional propuesto por Charnes et al., (1978):

$$\begin{aligned} \max \theta &= \frac{\sum_{k=1}^s v_k y_{kp}}{\sum_{j=1}^m u_j x_{jp}} \\ \text{s.a.} \quad &\frac{\sum_{k=1}^s v_k y_{ki}}{\sum_{j=1}^m u_j x_{ji}} \leq 1 \quad \forall i \\ &v_k, u_j \geq 0 \quad \forall k, j, \end{aligned} \quad (2)$$

donde

$k=1$ a s ,

$j=1$ a m ,

$i=1$ a n ,

y_{ki} = cantidad de output k producido por DMU i ,

x_{ji} = cantidad de input j utilizado por el DMU i ,

v_k = peso dado al output k ,

u_j = peso dado al input j .

La programación fraccional mostrada anteriormente se vuelve lineal mediante una restricción que requiere que la suma ponderada de inputs sea igual a uno. Esto lleva a un nuevo problema de optimización alterno, el modelo CCR *orientado a input*, donde la función objetivo consiste en maximizar la suma ponderada de outputs:

$$\begin{aligned} \max \theta &= \sum_{k=1}^s v_k y_{kp} \\ \text{s.a.} \quad &\sum_{j=1}^m u_j x_{jp} = 1 \\ &\sum_{k=1}^s v_k y_{ki} - \sum_{j=1}^m u_j x_{ji} \leq 0 \quad \forall i \\ &v_k, u_j \geq 0 \quad \forall k, j. \end{aligned} \quad (3)$$

Sea θ^* el valor óptimo de la función objetivo correspondiente a la solución óptima (u^* , v^*). La DMU _{p} se denomina eficiente si $\theta^*=1$ y si existe al menos una solución óptima (u^* , v^*) tal que $v^* > 0$ y $u^* > 0$.

El problema anterior se corre n veces para calcular el puntaje de eficiencia relativa de cada DMU bajo estudio. En general, el puntaje de eficiencia se encuentra entre 0 y 1, en donde una DMU se considera eficiente si obtiene puntaje de 1 y cualquier puntaje diferente de 1 lo define como ineficiente.

Es importante resaltar que en este caso la eficiencia de DMU _{p} depende en gran medida del sistema de pesos utilizado para ponderar. DEA maneja esta situación evitando el uso de pesos fijados arbitrariamente por el analista, y en cambio cada DMU es evaluada con un conjunto de pesos calculados a partir de sus propios datos, y que mejor se ajustan a la unidad. Adicionalmente, la solución del problema busca siempre asignar a las unidades el sistema de pesos más favorable, de tal manera que si la unidad resulta ineficiente, su ineficiencia no se puede atribuir a un proceso de evaluación inapropiado.

Los modelos DEA pueden dividirse en dos modelos generales, CCR y BCC. La diferencia entre uno y otro tiene que ver con la presunción sobre los rendimientos de escala (Cooper, et al., 2000). El modelo CCR (Charnes et al., 1978) asume un rendimiento de escala constante, mientras que el modelo BCC (Banker et al., 1984) asume un rendimiento de escala variable. Por otra parte, los modelos también pueden distinguirse por el objetivo de minimizar inputs o maximizar outputs.

Dado lo anterior, métodos como DEA, cuya naturaleza determinística y no paramétrica evita los niveles de requerimiento de datos en términos de cantidad y calidad, pueden ser una buena opción para estudiar el desempeño de sistemas de ciencia, tecnología e innovación en México, donde estudios empíricos se enfrentan a dificultades como la incertidumbre en la calidad de los datos, además de la poca disponibilidad de los mismos. La simplicidad relativa del uso del método DEA parece un punto de partida adecuado para un contexto de sistemas de innovación como el mexicano.

Se utilizó el DEA como herramienta para medir la eficiencia de las actividades de CTI de las 32 entidades federativas. Se definieron 3 modelos de producción³ diferentes: un modelo general utilizando todos los inputs y outputs; y dos modelos con diferentes combinaciones de inputs y outputs, que reflejan en el análisis de eficiencia el efecto particular de cada input y output. La idea detrás de esta estrategia de análisis es poder descubrir fortalezas y debilidades específicas para cada sistema de innovación (Serrano-Cinca et al., 2005).

Para el presente estudio se decidió utilizar el modelo de programación lineal CCR con una orientación output. La elección de la orientación output se debe a que ésta considera la maximización de output sin incrementar o reducir inputs. Esta orientación es adecuada al analizar sistemas donde no siempre tiene sentido la reducción de inputs, como lo plantea precisamente la orientación input en DEA. Por ejemplo, no es social, económica o políticamente lógico, o inclusive factible, reducir un recurso input como las instituciones de educación superior.

3 Modelo de producción, en el contexto del presente trabajo, se refiere al modelo de programación lineal de la metodología DEA (caracterizado por la mezcla de inputs y outputs utilizados).

Etapla 2- Estimación del grado de influencia de factores ambientales sobre la eficiencia mediante análisis de regresión Tobit

Si bien la metodología DEA nos proporciona una medida cuantitativa de la eficiencia productiva de los SCTI, el análisis no es de corte explicativo. En otras palabras, el DEA no nos permite explicar el origen de los índices de eficiencia que se calculan. Con el fin de intentar solventar esta limitación, este estudio propone el uso de un análisis de regresión que permita identificar algunos de los factores que influyen sobre los niveles de eficiencia observados para las unidades bajo análisis. A continuación se presenta una breve descripción del método de regresión propuesto en este trabajo para tal fin.

En la Etapa 2 se llevó a cabo un análisis de regresión Tobit, con el fin de encontrar factores ambientales que estuvieran asociados con los resultados en eficiencia de los SCTI obtenidos en la Etapa 1. Los indicadores previamente utilizados en el trabajo de Valdez y León (2015) para la construcción de una taxonomía de SRI mexicanos, a partir de sus condiciones y capacidades, fueron seleccionados como variables exógenas (independientes); mientras que los resultados del análisis de eficiencia fungieron como la variable dependiente en el modelo de regresión. El propósito de la construcción de estos modelos de regresión es determinar la asociación entre el desempeño de los SCTI y las variables socio-económicas que caracterizan su ambiente para la innovación.

Las variables empleadas en la etapa 2

Partiendo de las distintas dimensiones contextuales de los SCTI propuestas en el trabajo de Valdez y León (2015), como parte de un estudio taxonómico de los SCTI de las entidades de México, se llevó a cabo una selección de indicadores que representaran variables exógenas, las cuales permitieron identificar factores ambientales correlacionados con los resultados de eficiencia obtenidos en la etapa 1. Primeramente, se eliminaron aquellos indicadores que representan un recurso input u output para los procesos productivos de los SCTI. En segundo lugar, se realizó un análisis de correlación, a partir del cual se definió el conjunto final de factores ambientales, y los cuales entraron al modelo Tobit como variables regresoras. La tabla 4 muestra el conjunto final de indicadores para el estudio.

Procedimiento estadístico en la etapa 2: Regresión Tobit

La regresión Tobit fue originalmente desarrollado por James Tobin (1958) para muestras censadas, proponiendo el modelo siguiente:

$$y^* = X\beta + \varepsilon \quad (4)$$

Tabla 4
Factores ambientales seleccionados:
Dimensiones, indicadores y fuentes

Dimensión	Indicadores	Descripción y fuentes
Condiciones de Mercado	Densidad de Población	Densidad poblacional por km ² (transformado con log 10). INEGI (2010)
	Ingreso Bruto	Ingreso bruto per cápita en miles de pesos. INEGI (2010)
Desarrollo institucional	Efectividad de Gobierno	Índice de opinión empresarial sobre marco regulatorio (más alto mejor). CEESP (2008) Centro de Estudios Económicos del Sector Privado, A.C.
	Índice de Corrupción	Índice de corrupción y buen gobierno (1/Ind). Transparencia Mexicana (2008)
Inversión en intangibles y capital físico	Gasto en Educación/ PIB	Gasto en educación como porcentaje del PIB (en millones de pesos). CIEP (2010) Centro de Investigación Económica y Presupuestaria
	Gasto en Educación per cápita	Gasto en educación per cápita en millones de pesos (transformado con log 10). CIEP (2010)
Estructura productiva	Industria de exportación	Valor agregado de la industria manufacturera, maquiladora y servicios de exportación (aproximación). INEGI (2008)
	Especialización en industria manufacturera	Porción del PIB del sector industria manufacturera. INEGI (2009)
	Tamaño de las empresas	Razón de unidades económicas de tamaño grande y micro de las industrias manufactureras, comercio y servicios. INEGI (2009)
Conexión con el exterior	IED	Inversión extranjera directa como porcentaje del PIB. Secretaría de Economía (2008)
	Acceso a Internet	Porcentaje de hogares con acceso a internet. INEGI (2008)
Capacidad de difusión	Cobertura de la telefonía	Líneas telefónicas fijas y móviles por cada 100 habitantes. COFETEL (2008)

Fuente: Elaboración propia con información en Valdez y León, 2015.

donde $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$, y^* es una variable latente observada para valores mayores a 0 y censada para cualquier otro valor. En un modelo Tobit estándar, la variable dependiente y observada tiene la ecuación

$$y = \begin{cases} y^* & \text{si } y^* > 0, \\ 0 & \text{si } y^* \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

La variable latente y^* es la variable de interés principal. Esta variable no se observa realmente para todas las observaciones, sino solamente para las observaciones positivas. En este modelo, y puede tomar cualquier valor siempre y cuando la variable latente sea estrictamente mayor que cero. Para estimar un modelo con variables censadas, el modelo Tobit utiliza el método de máxima verosimilitud.

Los coeficientes del modelo Tobit no se interpretan como el efecto marginal de las variables regresoras sobre el valor promedio de la variable dependiente observada, como se hace en la regresión lineal estándar. Un cambio unitario en el valor de una variable regresora X en un modelo Tobit tiene dos efectos: (i) un efecto sobre el valor promedio de la variable dependiente y , y (ii) un efecto sobre la probabilidad de que la variable latente y^* realmente es observada.

Conociendo la probabilidad para la variable latente y^* , es posible calcular el impacto marginal de cada variable regresora sobre el valor promedio de la variable dependiente. Debido a que la probabilidad de y^* se encuentra entre cero y uno, el producto de la multiplicación de un coeficiente de regresión por esta probabilidad será menor o igual (en valor absoluto) que el coeficiente mismo. Como resultado, el impacto marginal de una variable regresora sobre el valor promedio de la variable observada y será menor o igual (en valor absoluto) que el indicado por el valor del coeficiente de la variable regresora.

3. Resultados generales y discusión

Resultados del análisis de eficiencia

A partir de las variables contenidas en la tabla 3 se definieron 3 modelos de producción (ver tabla 5), diferenciados por la mezcla de inputs y outputs que éstos incluyen. El análisis DEA se llevó a cabo para los 32 SCTI estatales bajo cada uno de los 3 modelos, y sus resultados se presentan en la Tabla 6.

Tabla 5 Modelos de producción					
MODELO	Inputs			Outputs	
	POSG-CAL	GASTO I+D	SNI _s	PATENTS	PUBLS
M. GENERAL	•	•	•	•	•
M. PATENTS	•	•	•	•	
M. PUBLS	•	•	•		•

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 6 muestra los índices de eficiencia técnica de los SCTI de las 32 entidades federativas del país. La primera columna muestra los resultados del índice general de eficiencia, es decir, el índice que relaciona los inputs “posgrados de calidad” (POSG-CAL), “montos aplicados por fondos para la realización de actividades de I+D” (GASTO I+D) e “investigadores nacionales” (SNI_s) por un lado, con los dos tipos de outputs considerados en el análisis: “patentes solicitadas” (PATENTS) y “artículos científicos publicados” (PUBLS), por el otro. Los resultados en este particular revelan que 7 entidades se encuentran en la frontera de la eficiencia, estas son Campeche, Distrito Federal, Jalisco, Morelos, Nuevo León, Quintana Roo y Tamaulipas; mientras que otros 3 Estados exhiben niveles de eficiencia técnica general ubicados entre el 90-100%, estos son Aguascalientes, Estado de México y Guerrero. En seguida se encuentran un conjunto de Estados con un nivel de eficiencia general de sus SCTI por encima del 80%, es el caso de Guanajuato, Hidalgo, Puebla y Querétaro. Entre el 70-80% de eficiencia general sólo están los estados de Baja California

y Coahuila, mientras que entre el 60-0% Baja California Sur, Chihuahua y Sinaloa. En el siguiente nivel de eficiencia general se encuentran Chiapas, Durango y Yucatán. Las 10 entidades restantes presentan niveles de eficiencia general menores al 50%.

Tabla 6
Índices de eficiencia técnica de los SCTI
de las entidades federativas (%)

Entidad federativa	Índice de eficiencia general	Índice de eficiencia en la producción de patentes	Índice de eficiencia en la producción de artículos científicos
Aguascalientes	91.2	90.5	28.8
Baja California Norte	71.8	31.0	71.8
Baja California Sur	68.4	7.5	68.4
Campeche	100.0	100.0	81.6
Chiapas	51.4	44.5	35.5
Chihuahua	69.6	49.3	46.1
Coahuila	78.2	69.7	42.3
Colima	24.3	7.7	22.2
Distrito Federal	100.0	100.0	100.0
Durango	57.7	46.7	28.8
Guanajuato	82.4	82.3	29.7
Guerrero	98.1	98.1	1.4
Hidalgo	86.8	27.2	84.3
Jalisco	100.0	24.7	100.0
México	98.7	98.3	36.3
Michoacán	45.2	8.6	45.2
Morelos	100.0	23.5	100.0
Nayarit	36.3	14.0	34.0
Nuevo León	100.0	100.0	39.5
Oaxaca	31.5	28.2	14.3
Puebla	88.4	60.0	68.6
Querétaro	85.0	69.1	51.6
Quintana Roo	100.0	100.0	70.7
San Luis Potosí	24.9	20.8	10.6
Sinaloa	79.3	71.8	42.0
Sonora	42.1	14.7	38.7
Tabasco	35.7	33.9	24.6
Tamaulipas	100.0	100.0	22.2
Tlaxcala	22.4	17.1	12.1
Veracruz	28.6	11.9	26.3
Yucatán	55.7	43.2	28.4
Zacatecas	39.4	30.3	25.4

Fuente: Elaboración propia mediante xIDEA®.

Cuando se observa por separado la eficiencia orientada a patentes y a publicaciones por separado, se puede observar en los resultados que el Distrito Federal es el único estado que se ubica en la frontera de la eficiencia en ambos casos. Pero, si considera el índice de eficiencia parcial correspondiente a patentes generadas por entidad (el output “PATENTS” obtenido del empleo de los 3 inputs considerados), la situación cambia, ya que sólo 5 entidades se

ubican en la frontera de la eficiencia máxima. Estás son Campeche, Distrito Federal, Nuevo León, Quintana Roo y Tamaulipas. Aguascalientes, Guerrero y Estado de México son otras de las entidades que generan los mayores niveles de productividad patentes-inputs en el país.

En el caso del índice de eficiencia en la producción de artículos científicos, que mide la relación entre el output “publicaciones” (PUBLS) y los inputs “posgrado de calidad” (POSG-CAL), “montos aplicados por fondos para la I+D” (GASTO I+D) e “investigadores nacionales” (SNIs), tres estados se encuentran en la frontera de la eficiencia: Distrito Federal, Jalisco y Morelos, aunque se debe destacar los niveles de eficiencia próximos a la frontera de Hidalgo y Campeche, que presentan niveles de ineficiencia relativa menores al 20%, es decir, de menos del 80% en relación a los estados líderes.

Resultados del análisis de influencia de los factores ambientales sobre la eficiencia

Para este estudio se ha partido de una adaptación de la estructura dimensional propuesta por Godinho *et. al.* (2006), la cual fue adaptada y utilizada en Valdez y León (2015). Estas dimensiones buscan describir 4 grandes aspectos: precondiciones para la innovación, entradas al sistema, características estructurales y salidas del sistema. De estos cuatro aspectos se desprenden 8 dimensiones definidas por un total de 24 indicadores, como se muestra en el anexo 1.

De los indicadores del anexo 1, se descartaron aquellos que coincidieron como un recurso input u output para el análisis de eficiencia de los SCTI. Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación lineal, a partir del cual se definió el conjunto final de indicadores (factores ambientales), los cuales se usaron en el modelo Tobit como variables regresoras. Como variable dependiente se usó la ineficiencia (1-eficiencia). En la tabla 4 se mostró ya el conjunto final de indicadores para la regresión Tobit.

A partir de las ineficiencias calculadas, y los indicadores seleccionados como factores ambientales de los SCTI, la tabla 7 presenta las estimaciones del modelo Tobit para los 3 modelos de producción.

Las variables ambientales de *ingreso bruto, efectividad de gobierno, gasto en educación, inversión de gobierno, tamaño de empresas, acceso a internet y cobertura de telefonía*, resultaron significativas para 2 o más de los 3 modelos de producción.

Otra característica relevante de estos resultados es el signo de los coeficientes de las variables ambientales que resultaron significativas. Debido a que se usó la *ineficiencia* como variable dependiente en la regresión Tobit, los signos de los coeficientes se deben interpretar de manera invertida para la eficiencia. Es decir, un signo negativo representa un factor que aporta a una mayor eficiencia, mientras que un signo positivo tiene el efecto contrario.

Los factores ambientales *efectividad de gobierno, gasto en educación, inversión de gobierno, tamaño de empresas y cobertura de telefonía* aparecen con

coeficientes negativos, por lo cual se relacionan directamente con la eficiencia de los SCTI. Una excepción a este resultado es *cobertura en telefonía*, la cual está relacionada inversamente con la eficiencia de los SCTI bajo el modelo de PATENTS. El caso contrario se observa para los factores de *ingreso bruto* y *acceso a internet*, las cuales aparecen con coeficientes positivos, por lo cual se relacionan inversamente con la eficiencia de los sistemas.

Tabla 7
Coeficientes y valores t del modelo Tobit

	Modelo General	Modelo PATENTS	Modelo PUBLS
	Coef. (t)	Coef. (t)	Coef. (t)
Densidad de población	.107 (0.92)	.0100 (0.08)	-.0989 (-1.00)
Ingreso bruto	.007 (1.51)	-.0103 (-1.90)**	.0103 (2.53)*
Efectividad de gobierno	-.012 (-3.36)*	-.0057 (-1.73)**	-.0059 (-1.73)**
Índice de corrupción	-.001 (-0.07)	-.0043 (-0.31)	-.0085 (-0.57)
Gasto en educación (%) PIB	-.025 (-3.00)*	-.0279 (-2.73)*	-.0149 (-2.61)*
Inversión de gobierno	-1.25 (-2.42)*	-1.5138 (-3.07)*	.0471 (0.12)
Industria de exportación	-.009 (-1.02)	-.0260 (-3.10)*	.0125 (1.52)
Especialización en industria manufacturera	.005 (0.86)	.0211 (3.26)*	.0006 (0.13)
Tamaño de empresas	-152.2 (-2.17)*	-46.96 (-0.74)	-143.13 (-2.12)*
Inversión extranjera directa	.013 (1.13)	.0158 (1.36)	-.0151 (-1.41)
Acceso a internet	.037 (2.59)*	.0312 (2.33)*	.0252 (1.94)**
Cobertura de telefonía	-.004 (-2.36)*	.0050 (2.70)*	-.0086 (-4.20)*
Constante	1.155 (4.28)*	1.172 (4.19)*	1.386 (5.69)*
Log - verosimilitud	3.235	7.123	4.047

Donde * representa significancia en $p < 0.05$, y ** representa significancia en $p < 0.10$
 Fuente: Elaboración propia mediante STATA12®.

Finalmente, el término constante de los modelos de regresión Tobit, resultaron significativos y con signo positivo. No obstante, las constantes no tienen una interpretación analítica, ya que es imposible en el contexto real de los SCTI que todas las variables ambientales sean simultáneamente cero.

Los factores ambientales de *gasto en educación e inversión de gobierno*, los cuales resultaron significativos, corresponden al concepto general de gasto público; mientras que *cobertura de telefonía*, la cual también resultó significativa, está ligada al concepto de comunicación. Estos dos resultados son congruentes con la hipótesis de investigación planteada en este trabajo.

Por otro lado, hay que señalar dos resultados que ameritan un análisis más profundo: el *ingreso bruto* y el *acceso a internet* se correlacionan inversamente

con la eficiencia de los SCTI. El *ingreso bruto* mide una característica de las condiciones del mercado, mientras que el *acceso a internet* es una característica de capacidad de los actores dentro del SCTI para entablar comunicación externa. Se podría argumentar que el ingreso bruto no es un buen indicador como factor ambiental, debido a que no mide equidad en la distribución de dicho ingreso entre la población, lo cual podría reducir su capacidad explicativa de la eficiencia como efecto de la capacidad del mercado para absorber nueva tecnología.

Por otra parte, para el *acceso a internet* se podría plantear que no es un indicador adecuado (en esta caso, para medir el efecto de la comunicación externa sobre la eficiencia) debido a que la diseminación de esta capacidad entre la población no implica un uso preponderante de la herramienta para actividades relacionadas a ciencia, tecnología e innovación. Adicionalmente, podría no tener la capacidad de diferenciar entre los usuarios de internet con un enfoque en dichas actividades (e.g. centros de investigación, universidades, empresas de alta tecnología, etc.) debido a que para cualquiera de los sistemas bajo análisis, al menos este tipo de instituciones cuentan con acceso a internet. Esto significaría que el acceso a internet como factor ambiental no tiene poder explicativo en función de la eficiencia productiva lograda por los SCTI bajo estudio.

Estudios similares en la literatura han encontrado como determinantes de la eficiencia a factores ambientales tales como el gasto privado en I+D, la edad poblacional o la riqueza y actividades de comercio (Díaz-Balteiro *et. al.*, 2006; Cai y Hanley, 2012). Otros lo asocian a factores como el nivel educativo, la densidad de computadoras personales en la población y dominio del idioma inglés (Wang y Huang, 2006). Sin embargo, estos estudios difieren con en el marco analítico propuesto en el presente estudio. Por una parte, en los estudios anteriores el sistema está definido a nivel nacional, y por otra, éstos cuentan con información pertinente a las actividades del sector privado dentro del sistema de CTI.

4. Conclusiones

El presente estudio se enfocó en medir el desempeño en producción científica de los sistemas de ciencia, tecnología e innovación en México, a nivel regional. Como una primera etapa, se realizó un análisis de eficiencia DEA para las 32 entidades federativas sobre sus actividades de CTI.

En la segunda parte del estudio se realizó un análisis, mediante regresión Tobit, de la relación entre eficiencia de las actividades de CTI y factores ambientales para la innovación. Los factores de *gasto en educación*, *inversión de gobierno* y *cobertura de telefonía* resultaron significativos, mostrando una relación positiva con respecto a los niveles de eficiencia de los SCTI, es decir, el aumento en el valor de estas variables implica un aumento en el nivel de

eficiencia de los sistemas. Estos hallazgos confirman la hipótesis planteada inicialmente, de que los factores ambientales más relevantes para el desempeño de los SRI mexicanos están ligados a gasto público y comunicación. Por otro lado, se encontró una relación inversa entre eficiencia en actividades de CTI y los factores ambientales *ingreso bruto y acceso a internet*.

Finalmente, la metodología desarrollada puede ser de utilidad para una primera aproximación a la toma de decisiones en materia de CTI. Desde un enfoque de SCTI regionales, la metodología permite: (i) identificar aquellos sistemas que presentan las mejores prácticas en el uso de los recursos para la producción de innovación; (ii) identificar los factores ambientales más correlacionados con la eficiencia en producción de I+D de los SCTI; (iii) identificar los SRI *benchmark*, a los cuales se debe observar y emular para alcanzar mejores niveles de desempeño.

La naturaleza de estos primeros resultados obtenidos bajo este enfoque de análisis, invita a la continuación de esta línea de investigación. De este estudio parecen surgir más preguntas que respuestas, y también muestra algunas limitaciones. Una limitante importante presente en este tipo de estudios es la falta de datos desagregados a nivel estatal para representar la aportación del sector privado en las actividades de los SCTI, específicamente para las variables propuestas por el *European Innovation Scoreboard*. Datos como inversión privada en I+D, porcentaje de fuerza laboral de I+D en empresas privadas, entre otros, han mostrado que el sector privado es un actor importante dentro del enfoque de los sistemas de innovación. Librar estas limitaciones para mejorar los análisis, y continuar este tipo de estudios para generar un acervo más amplio de trabajos empíricos que permita hacer comparaciones, quedan como retos para futuras investigaciones alrededor de la evaluación del desempeño y la eficiencia de los SCTI y los SI en México.

Referencias bibliográficas

- Acs, Z. J. y Audretsch, D. B. (1991), *Innovation and Technological Change*, Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Audretsch, D. (1998). Agglomeration and the Location of Innovative Activity. *Oxford Review of Economic Policy*, 14(2).
- Balzat, M. y Hanusch, H. (2003) "Recent trends in the Research on National Innovation Systems", Institut für Volkswirtschaftslehre, Beitrag, No. 254, Augsburg, Germany: Augsburg University.
- Banker, R. D., Charnes, A., y Cooper, W. W. (1984), "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management Sciences*, Vol. 30, No. 9, pp. 1078-1092.
- Bonaccorsi, A., y Daraio, C. (2005) Econometric Approaches to the Analysis of Productivity of R&D Systems. En: H. F. Moed, W. Glänzel, & U. Schmoch (Eds.), *Handbook of Quantitative Science and Technology Research*. Springer: Netherlands. pp. 51-74.

- Bosco, M.G. y Brugnoli, A., (2010). Regional Efficiency, Innovation and Productivity. Disponible en: <http://130.203.133.150/viewdoc/summary?doi=10.1.1.169.7150>.
- Broekel, T. y Brenner, T. (2007). Measuring Regional Innovativeness - A Methodological Discussion and an Application to One German Industry. *DIME Working Paper*, 2007-13.
- Cabrero, E., Ziccardi, A. y Arce, C. (Coord.)(2005) "Ciudades del siglo XXI. ¿Competitividad o cooperación?", Miguel Ángel Porrúa-Cámara de Diputados-CIDE, México.
- Cai, Y. y Hanley, A. (2012) "Building BRICS: 2-Stage DEA analysis of R&D Efficiency", *Kiel Working Paper*, No. 1788.
- Charnes, A., W.W. Cooper y E. Rhodes (1978). Measuring the efficiency on Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, 2, pp. 429-444.
- Cimoli, M. (2005) "Cambio estructural, heterogeneidad productiva y tecnología en América Latina", Heterogeneidad estructural, asimetrías tecnológicas y crecimiento en América Latina, documentos de proyectos, N° 35 (LC/W.35), Mario Cimoli (ed.), Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)/Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Cooper, W. W., Seiford, L. M. y Tone, K. (2000), *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications, References and DEA-Solver Software*, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Den Hertog, P., Roelandt, T.J.A., Boekholt, P., van der Gaag, H. (1995), "Assesing the Distribution Power of National Innovation Systems Pilot Study: The Netherlands". TNO, Apeldoorn.
- Diaz-Balteiro, L., Herruzo, A. C., Martinez, M. y Gonzalez-Pachon, J. (2006) An analysis of productive efficiency and innovation activity using DEA: An application to Spain's wood-based industry. *Forest Policy and Economics*, 8(7): 762-773.
- Dutrénit, G. (Coord.)(2009) *Sistemas Regionales de Innovación: un espacio para el desarrollo de las PYMES. El caso de la industria de maquinados industriales*. México: Textual/UAM Press.
- Dutrénit, G., Capdevielle, M., Corona Alcantar, J.M., Puchet Anyul, M., Santiago, F. y Vera-Cruz, A.O. (2010) *El sistema nacional de innovación mexicano: estructuras, políticas, desempeño y desafíos*. México: UAM/Textual.
- El-Mahgary, S. y Ladhelma. R. (1995) Data Envelopment Analysis: Visualizing the results. *European Journal of operational research*, 85: pp. 700-710.
- Enright, Michael J. (2003): Regional Clusters: What We Know and What We Should Know, en Johannes Broecker, Dirk Dohse y Rüdiger Soltwedel (eds.): *Innovation Clusters and Interregional Competition*, Heidelberg: Springer, 99-129.

- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(A):253–290.
- Feldman, Maryann P. (1994): *The Geography of Innovation*, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Fritsch, M. (2002). Measuring the Quality of Regional Innovation Systems - A Knowledge Production Function Approach. *International Regional Science Review*, 25:86–101.
- Fritsch, M. y Slavtechev, V. (2006). Measuring the Efficiency of Regional Innovation Systems: An Empirical Assessment. Freiburger Arbeitspapiere, 6.
- García, A. G., Voigt, P., y Iturriagagoitia, J. M. Z. (2005) “Evaluating the Performance of Regional Innovation Systems”. 5th Triple Helix Conference on “The Capitalization of Knowledge: Cognitive, Economic, Social & Cultural Aspects”, Turin, Italy, May 18.-21.
- Godinho, M.M., Mendonça, S. y Pereira, T. (2006) “A Taxonomy of National Innovation Systems: Lessons From an Exercise Comprising a Large Sample of Both Developed, Emerging and Developing Countries”, ponencia presentada en conferencia GLOBELICS 2006 de 4-7 October, Kerala, India.
- Guan, J.C., Yam, R.C.M., Mok, C.K. y Ma, N. (2006) A study of the relationship between competitiveness and technological innovation capability based on DEA models. *European Journal of Operational Research*, 170(3): 971–986.
- Guellec, D., y de la Potterie, B. V. P. (2004). From R&D to productivity growth: Do the institutional setting and the source of funds of R&D matter? *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 66, 353–378.
- Hollanders, Hugo y Funda Celikel-Esser (2007), “Measuring innovation efficiency”, INNO Metrics 2007 report, Brussels: European Commission, DG Enterprise.
- Hollanders, Hugo y Adriana van Cruysen (2008), “Rethinking the European Innovation Scoreboard: Recommendations for further improvements”, Input paper for the workshop on “Improving the European Innovation Scoreboard methodology”, Brussels, 16 June 2008.
- Kirjavainen, T. y Loikkanen, H.A. (1998) Efficiency differences of Finnish senior secondary schools: an application of DEA and Tobit analysis. *Economics of Education Review*, 17(4): 377-394.
- Koschatzky, K., Kulicke, M., Zenker, A. (Eds) (2001) Innovation networks: concepts and challenges in the European perspective. Physica-Verlag, Heidelberg.
- Lee, Hak-Yeon y Yong-Tae Park. (2005) An International Comparison of R&D Efficiency: DEA Approach, *Asian Journal of Technology Innovation* 13, 2, 207-222.
- Llisterri, J. y Pietrobelli, C. (2011) *Los sistemas regionales de innovación en América Latina*. Washington: BID.

- Martínez Roget, F., Murias Fernández, P. y Miguel Domínguez, J.C.D. (2005) El análisis envolvente de datos en la construcción de indicadores sintéticos. Una aplicación a las provincias españolas. *Estudios de Economía Aplicada*, 23(3):753-771.
- Moreno, R., Paci, R. y Usai, S. (2005) Geographical and sectorial clusters of innovation in Europe. *Annals of Regional Science*, 39(4): 715-739.
- Nasierowski, W, y Arcelus, F.J. (2000) On the stability of countries' national technological systems. En: Zanakis, S.H., Doukidis, G. y Zopounidis, C. (Eds.), Decision making: recent developments and worldwide applications. Boston: Kluwer. pp. 97-111.
- OCDE (2001), OECD Science, Technology, and Industry Scoreboard, Paris: OECD.
- OCDE (2007) *Science, Technology and Innovation Indicators in a Changing World*. Paris: OECD.
- OCDE, (2009). *15 Mexican states*, OCDE.
- Park, K. M., Shin, J. S. y Park, Y. T. (2003), "A Study on the Aggregation and Structuring of Technological Knowledge Indicators", *Technology Innovation Research*, Vol. 11, No. 1, pp. 125-145.
- Porter, Michael (1998): Clusters and the new economics of competition, *Harvard Business Review*, 76, 77-90.
- Serrano-Cinca, C., Fuertes-Callen, y Mar-Molinero, C. (2005), "Measuring DEA Efficiency in Internet Companies", *Decision Support Systems*, Vol. 38, No. 4, pp. 557-573.
- Scherer, F. M. (1983), "The Propensity to Patent", *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 1, No. 1, pp. 107-128.
- Siegel, D., David W., y Albert L. (2003), "Assessing the impact of organizational practices on the relative productivity of university technology transfer offices: an exploratory study", *Research Policy*, 32, pp. 27- 48.
- Stern, S., Porter, M. E., y Furman, J. L. (2002). The Determinants of National Innovative Capacity. *Research Policy*, 31:899-933.
- Susiluoto, I. (2003) Effects of ICT on Regional Economic Efficiency, Helsinki City Urban Facts Office Web Publications 2003(16), Helsinki.
- Tavistock Institute; GhK; IRS & European Commission (2003) Evaluation of Socio Economic Development. The Guide. Brussels: EC.
- Tobin, J. (1958) Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables. *Econometrica*, 26(1): 24-36.
- Valdez, C. y León J. (2015), Hacia una taxonomía de los sistemas regionales de innovación en México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 15(48): 517-553.
- Wadhwa S., Kumar, A. y Saxena, A. (2005) Modelling and Analysis of Technical Education System: A KM and DEA based Approach. *Studies in Informatics and Control*, 14(4): 235-250.

- Wakelin, K. (2001), "Productivity Growth and R&D Expenditure in UK Manufacturing Firms", *Research Policy*, Vol. 30, No. 7, pp. 1079-1090.
- Wang, E.C. y Huang, W. (2007) Relative efficiency of R&D activities: A cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach. *Research Policy*, 36(2): 260-273.
- Werner, B. M. y Souder, W. E. (1997), "Measuring R&D Performance: State of the Art", *Research Technology Management*, Vol. 40, No. 2, pp. 34-41.
- Zabala-Iturriagoitia, Jon M., Voigt, Peter, Gutiérrez-Gracia, Antonio, y Jiménez-Sáez, Fernando. (2007), Regional Innovation Systems: How to Assess Performance. *Regional Studies*, Vol. 41(5), pp. 661-672.
- Zhang, A., Zhang, Y. y Zhao, R. (2003) A Study of the R&D Efficiency and Productivity of Chinese Firms. *Journal of Comparative Economics*, 31(3): 444-464.

Anexo 1 Factores ambientales SCTI: Dimensiones e indicadores

Dimensión	Indicadores	Descripción y fuentes
Condiciones de Mercado	PIB	Producto interno bruto en miles de pesos (transformado con log 10). INEGI (2010)
	Densidad de Población	Densidad poblacional por km ² (transformado con log 10). INEGI (2010)
	Ingreso Bruto	Ingreso bruto per cápita en miles de pesos. INEGI (2010)
2 Desarrollo institucional	Calidad de Transparencia	Índice de calidad de transparencia calificada de 1-100. COMAIP (2008) Conferencia Mexicana para la Información Pública
	Efectividad de Gobierno	Índice de opinión empresarial sobre marco regulatorio (más alto mejor). CEESP (2008) Centro de Estudios Económicos del Sector Privado, A.C.
	Índice de Corrupción	Índice de corrupción y buen gobierno (1/Ind). Transparencia Mexicana (2008)
Inversión en intangibles y capital físico	FBCF	Formación Bruta de Capital Fijo. INEGI (2008)
	Gasto en Educación/ PIB	Gasto en educación como porcentaje del PIB (en millones de pesos). CIEP (2010) Centro de Investigación Económica y Presupuestaria
	Gasto en Educación per cápita	Gasto en educación per cápita en millones de pesos (transformado con log 10). CIEP (2010)
	Inversión de Gobierno	Presupuesto para Ciencia, Tecnología e Innovación como porcentaje del presupuesto total del estado. FCCyT (2009-2012)
Conocimiento científico	Número de investigadores	Investigadores SNI de las áreas de Biotecnología, Físico matemáticas y ciencias de la tierra, medicina y ciencias de la salud, Biología y química e Ingenierías, por cada 10,000 de la PEA. CONACyT (2010/2011)
	Publicaciones per cápita	Publicaciones per cápita (aproximado). CONACyT (2009)
	Población con estudios de posgrado	Población con estudios de posgrado por cada 1000 de la PEA. CONACyT (2010)
	Número de centros de investigación	Centros de investigación (UNAM, IPN, CINVESTAV, Universidades públicas estatales, CONACyT, Secretarías de estado y otros) por cada 10,000 de la PEA. INEGI (2011)
5 Estructura productiva	Industria de exportación	Valor agregado de la industria manufacturera, maquiladora y servicios de exportación (aproximación). INEGI (2008)
	Especialización en industria manufacturera	Porción del PIB del sector industria manufacturera. INEGI (2009)
	Tamaño de las empresas	Razón de unidades económicas de tamaño grande y micro de las industrias manufactureras, comercio y servicios. INEGI (2009)
6, Conexión con el exterior	Comercio exterior	Exportación más importación entre el PIB. Secretaría de Economía (2008)
	IED	Inversión extranjera directa como porcentaje del PIB. Secretaría de Economía (2008)
	Acceso a Internet	Porcentaje de hogares con acceso a internet. INEGI (2008)
7 Capacidad de difusión	Uso de computadoras	Computadoras por cada 100 habitantes. INEGI (2008)
	Cobertura de la telefonía	Líneas telefónicas fijas y móviles por cada 100 habitantes. COFETEL (2008)
	Empresas con ISO 9000	Empresas con ISO 9000 por cada millón de la PEA. CONACyT (2008)
8 Producción de Innovación	Propiedad intelectual	Propiedad intelectual (patentes, modelos de utilidad y diseños) solicitadas por cada 10,000 de la PEA. IMPI (2010)

Fuente: Valdez y León (2015)