

Cambio tecnológico en el sector manufacturero de Sonora

*Francisco Vargas Serrano
Alfredo Erquizio Espinal
Roberto Ramírez Rodríguez¹*

Introducción

El propósito del trabajo es medir el cambio tecnológico en el sector manufacturero de Sonora a nivel municipal empleando el índice de Malmquist examinando la información de los censos económicos publicados por INEGI para 1989, 1994, 1999 y 2004, lo que permite descomponer el crecimiento de la productividad en mejoras de eficiencia y cambio técnico y a partir de ello proponer una nueva regionalización del estado de Sonora considerando las capacidades de cambio tecnológico diferenciado que proporciona los índices calculados.

El crecimiento económico regional se puede abordar desde una perspectiva comparativa adoptando el enfoque de los estudios de convergencia regional como entre otros Sánchez y Rodríguez (2003) Germán-Soto (2005) y Barriga (2006). Así mismo se puede descomponer las fuentes del crecimiento de cada una de las regiones siguiendo las técnicas de la contabilidad del crecimiento del PIB, en las que los aportes del capital y el trabajo se ponderan por las respectivas tasas de participación de los factores de la producción en la distribución del ingreso y se obtiene por diferencia con el PIB observado, el llamado residuo de Solow o también la productividad total de los factores como en Bautista (2002) y A-regional (2002).

En estos trabajos se asume que todos los sectores y regiones son igualmente eficientes en la utilización de los factores. En este caso, las ganancias de productividad se asimilan al progreso técnico, ignorando la posibilidad de que se produzcan ganancias de eficiencia que contribuyan al crecimiento de la productividad. Estas estimaciones presentan el inconveniente de que estarían sesgadas en presencia de ineficiencia. Para tener en cuenta la posible existencia de ineficiencias será necesario estimar una frontera de producción que represente el máximo producto técnicamente alcanzable, siendo el nivel de ineficiencia la diferencia entre el nivel de producción obtenido y el máximo posible.

¹ Departamento de Economía, Universidad de Sonora. Tel. (662) 2592167.
fvargas@quaymas.uson.mx erquiz@quaymas.uson.mx robocar2@rtn.uson.mx

Y es que la medida de la productividad total de los factores (PTF) tradicional (mediante números índices o mediante la estimación de una función de producción o coste) requiere de los precios para resolver la agregación de productos y factores. Englobada en las técnicas de medida de la productividad total de los factores no paramétricas (mediante programación lineal) se ha desarrollado la técnica de medida de la eficiencia productiva *Técnica de Análisis Envolvente de Datos* (DEA) al análisis de la PTF. Basada en la función de distancia dicha técnica permite comparar tecnologías sin una especificación de la función de producción, por lo que no son necesarias las asunciones restrictivas de las técnicas tradicionales.

El DEA, que se desarrolló de forma teórica y práctica en el seno de la Investigación Operativa, proporciona, en el marco de la teoría de la producción, las herramientas para la estimación de fronteras de producción como envolvente de las observaciones. El análisis de la productividad que así se propone se centra en relaciones tecnológicas y no en las relaciones externas que han conducido a la formación de los precios. La medida de la PTF mediante el índice de Malmquist permite descomponer la productividad en dos componentes exhaustivos y excluyentes: cambio técnico y cambio en la eficiencia.

Este trabajo se enmarca en la escasa literatura existente acerca de aplicaciones de dicho enfoque para México, pues salvo la de Díaz González (2006) -quien mediante una estimación no paramétrica de la productividad total de los factores de la industria eléctrica y electrónica de los países de la OCDE y de las ramas análogas de la industria maquiladora del norte de México- no existen trabajos que apliquen esta metodología, al examen regional.

Aquí se intenta probar las bondades del enfoque aplicándolo a Sonora, para más adelante hacer un esfuerzo para todas las entidades y municipios del país. De ser útil el enfoque permitirá diferenciar los municipios de acuerdo a los indicadores de eficiencia y cambio técnico calculados.

Así entonces el trabajo se organiza de la siguiente manera: primero se presenta el modelo del Índice de Malmquist, luego los resultados para los últimos tres periodos censales, la propuesta de regionalización basada en la metodología de clusters y finalmente las conclusiones.

El modelo de Malmquist

Este trabajo recurre a técnicas de programación lineal encaminadas a determinar los factores que han contribuido al cambio en la productividad en el periodo 1989-2004.

El análisis se realiza a partir del cálculo del Índice Malmquist de productividad total de los factores y sus determinantes: el cambio en la eficiencia y el cambio tecnológico. A su vez el cambio en la eficiencia se explica por el cambio en la eficiencia técnica pura y el cambio en la eficiencia de escala.

El Índice Malmquist puede ser definido según Fare, Grosskopf, Norris y Zhang (1994) como la media geométrica del índice de productividad con referencia a la tecnología en el período.

El índice de productividad se calcula dividiendo el periodo en dos subperiodos representados por t y $t+1$. X_t representará el vector de los insumos, $x_t = (x_{t1}, \dots, x_{tm})$ e Y_t representa el vector del producto $y_t = (y_{t1}, \dots, y_{tm})$, en el periodo de tiempo $t = 1, 2, \dots, T$. Por lo tanto, el índice Malmquist, siendo la media geométrica, se calcula haciendo referencia a los periodos t y $t+1$.

El índice Malmquist, (tfpch), es el producto del cambio en la eficiencia (effch), que indica qué tan cercano está el municipio de la frontera de eficiencia; y el cambio tecnológico, (techch), que nos muestra cuánto se desplaza la frontera de producción en cada mezcla de insumos (innovación o shock). A su vez el cambio en la eficiencia se divide en eficiencia técnica pura y eficiencia de escala.

Así, el cambio en la productividad total de los factores, se expresa:

$$\left(\frac{D_0^{t+1}(\text{CRS})(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_0^t(\text{CRS})(X_t, Y_t)} \right) \left[\left(\frac{D_0^t(\text{CRS})(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_0^{t+1}(\text{CRS})(X_{t+1}, Y_{t+1})} \right) \left(\frac{D_0^t(\text{CRS})(X_t, Y_t)}{D_0^{t+1}(\text{CRS})(X_t, Y_t)} \right) \right]^{1/2} \quad (1)$$

El cual se divide en cambio tecnológico y cambio en la eficiencia, respectivamente.

$$\left[\left(\frac{D_0^t(\text{CRS})(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_0^{t+1}(\text{CRS})(X_{t+1}, Y_{t+1})} \right) \left(\frac{D_0^t(\text{CRS})(X_t, Y_t)}{D_0^{t+1}(\text{CRS})(X_t, Y_t)} \right) \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$D_0^{t+1}(\text{CRS})(X_{t+1}, Y_{t+1})$$

$$\left(\frac{\quad}{D_0^t(\text{CRS})(X_1, Y_1)} \right) \quad (3)$$

El cambio en la eficiencia se subdivide en eficiencia técnica pura y de escala.

$$\left(\frac{D_0^{t+1}(\text{VRS})(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_0^t(\text{VRS})(X_1, Y_1)} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\left(\frac{D_0^{t+1}(\text{CRS})(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_0^t(\text{CRS})(X_1, Y_1)} \right)}{\left(\frac{D_0^{t+1}(\text{VRS})(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_0^t(\text{VRS})(X_1, Y_1)} \right)} \quad (5)$$

Para estimar las funciones de frontera se utiliza la técnica de análisis envolvente de datos, sobre la cual se calculan las medias radiales de la eficiencia. Con una muestra h produciendo n productos utilizando m insumos y utilizando el periodo frontera r como referencia, el problema de optimización h en el periodo s es:

$$\text{Min } \sum_{rs} \mu_h \quad h=1, \dots, H; r,s=1, \dots, T$$

s.t.

$$\sum_H^h \mu_h y_{nh}^r \geq y_{nh}^s \quad n=1, \dots, n \text{ productos}$$

$$\sum_H^h \mu_h y_{mh}^r \leq y_{mh}^s \quad m=1, \dots, m \text{ insumos}$$

$$\mu_h \geq 0 \quad (6)$$

Procesamiento de datos

Para la construcción del índice se utilizaron como vectores de insumos del sector manufacturero; el personal ocupado, los insumos de materias primas y la inversión bruta fija. Y como vector de producto se utilizó el valor agregado del mismo sector.

Para medir la productividad se utilizó el índice Malmquist para dos periodos que comprenden los siguientes años: 1989-1994, 1994-1999 y 1999-2004, Para el cálculo del índice se seleccionaron

los municipios con presencia del sector manufacturero en su seno que fuesen comparables de un período a otro. Es decir, el sector manufacturero tendría que estar presente en el municipio en ambos periodos para hacer posible la comparación.

El resultado de esta selección arrojó 46 municipios para el primer y tercer par de periodos comparados y 45 municipios para el segundo.

Resultados

El siguiente cuadro muestra los cambios tecnológico, en eficiencia pura y eficiencia de escala para el periodo comparado de 1989 a 1994.

CUADRO 1.

CAMBIO TECNOLÓGICO, EN EFICIENCIA PURA Y DE ESCALA 1989-1994

MUNICIPIOS DE SONORA	TECHCH	PECH	SECH
Aconchi	1.3890	2.656	1.067
Agua Prieta	1.3640	0.836	1.187
Álamos	1.3640	0.322	1.716
Altar	1.3860	0.562	2.727
Arivechi	1.6480	1.233	0.763
Arizpe	1.7560	3.079	1.032
Bacadéhuachi	1.5560	1	0.513
Bácum	1.3850	2.348	1.602
Banámichi	1.4050	0.491	0.934
Baviácora	1.8480	1.333	1.127
Benjamín Hill	1.9930	0.876	1.429
Caborca	1.4830	3.669	1.602
Cajeme	1.5730	1.904	0.481
Cananea	1.1160	0.974	1.529
Carbó	1.3710	1.714	2.068
Cumpas	1.5800	0.252	0.967
Empalme	1.3720	1.628	1.049
Etchojoa	1.3830	0.482	1.521
Fronteras	1.8020	2.926	1.104
Gral. P. E. Calles	1.4480	1.316	1.152
Granados	1.4800	1.062	1.432
Guaymas	1.4240	0.648	1.314
Hermosillo	1.0580	1	2.427

Huatabampo	1.4780	1.147	1.216
Huépac	1.8280	3.507	1.513
Ímuris	1.9220	1.088	0.691
La Colorada	1.4000	1	1.313
Magdalena	1.8620	0.483	1.138
Mazatán	1.3460	0.764	1.919
Moctezuma	1.4120	0.552	1.438
Naco	1.7380	0.156	0.996
Nacozari	0.9110	1	1
Navojoa	1.4910	1.012	1.124
Nogales	1.5480	1	1.066
Pitiquito	1.8740	1.253	1.007
Puerto Peñasco	1.4070	0.581	1.613
Rayón	1.8260	1	0.085
Rosario	1.3890	0.618	1.004
Sahuaripa	1.4690	0.649	0.898
San Luis Río Colorado	1.4230	0.384	1.622
Santa Ana	1.3310	2.655	1.287
Tepache	1.8040	0.599	1.373
Trincheras	1.9040	0.611	0.221
Ures	1.3760	0.542	1.203
Villa Pesqueira	2.0710	0.522	1.018
Yécora	1.5180	0.171	1.603
MEDIA GEOMÉTRICA	1.5130	0.903	1.11

Como puede observarse en el cuadro anterior, el promedio de cambio tecnológico en los municipios manufactureros de Sonora para el periodo 1989-1999, fue de 51.3 % ya que lo que expresa el cuadro está presentado en número índice.

El cambio en eficiencia pura fue menor que uno en el índice, lo que expresa que en promedio hubo una regresión en ese aspecto de -9.7 %. A diferencia del cambio en eficiencia de escala que presentó un progreso de 11 %.

Los resultados para el período 1994-1999, se muestran en el cuadro que sigue:

CUADRO 2.

CAMBIO TECNOLÓGICO, EN EFICIENCIA PURA Y DE ESCALA 1994-1999			
MUNICIPIO	TECHCH	PECH	SECH
Aconchi	1.677	0.887	0.963
Agua Prieta	1.907	1.197	0.912
Álamos	1.544	1.757	0.993
Altar	1.557	1.187	1.098
Arizpe	1.59	0.873	0.932
Atil	1.674	0.282	3.207
Bácum	1.876	0.694	1.007
Banámichi	1.808	1.1	1.186
Baviácora	1.258	0.711	0.986
Benjamín Hill	1.421	1.67	0.962
Caborca	0.889	0.638	0.994
Cajeme	0.976	0.787	1.293
Cananea	1.376	1.23	0.995
Carbó	1.567	1.275	1.088
Cumpas	1.056	4.349	1.198
Empalme	2.263	2.033	1.557
Etchojoa	1.282	2.844	0.826
Fronteras	1.569	1	1
Gral. P. E. Calles	1.987	1.23	1.029
Guaymas	1.271	1.371	0.45
Hermosillo	0.845	0.295	2.072
Huásabas	2.034	0.496	6.336
Huatabampo	1.533	1.323	0.719
Ímuris	1.864	0.396	0.853
Magdalena	1.497	0.817	1.069
Mazatán	2.059	5.522	1.289
Moctezuma	1.375	1.251	0.979
Naco	3.158	6.409	1.007
Nácori Chico	1.338	9.303	1.028
Nacozari	1.357	1	0.683
Navojoa	1.113	0.687	0.982
Nogales	1.834	0.252	1.847
Opodepe	1.252	1.253	1.007
Pitiquito	1.317	2.207	0.116
Puerto Peñasco	1.114	1.716	0.455
Quiriego	1.782	0.462	2.185

Rayón	1.488	0.257	37.621
Rosario	1.323	6.815	0.91
Sahuaripa	1.873	3.789	0.446
San Luis Río Colorado	1.011	0.853	1.131
San Pedro de la Cueva	1.694	0.666	3.193
Santa Ana	2.074	1.476	0.154
Ures	1.587	1.04	1.188
Villa Pesqueira	1.67	0.779	3.733
Yécora	1.51	4.767	0.761
MEDIA GEOMÉTRICA	1.511	1.198	1.118

El crecimiento promedio del cambio tecnológico en el período 1994-1999 fue de 51.1 %, el crecimiento en eficiencia pura fue de 19.8% y en eficiencia de escala de 11.8%. A diferencia del período anterior, en el que hubo una regresión del cambio en eficiencia pura, en este caso se observa un progreso.

Finalmente se muestran los resultados para el periodo 1999- 2004:

CUADRO 3.

CAMBIO TECNOLÓGICO, EN EFICIENCIA PURA Y DE ESCALA 1999-2004			
Municipio	TECHCH	PECH	SECH
Aconchi	1.379	1.367	0.956
Agua Prieta	1.283	1	1.955
Álamos	1.421	0.887	0.945
Altar	1.442	0.768	1.014
Bácum	1.535	0.163	0.926
Banámichi	1.068	1.026	1.147
Baviácora	0.51	2.442	1.004
Benito Juárez	1.482	0.65	0.976
Benjamín Hill	0.954	2.236	0.961
Caborca	1.667	2.976	1.085
Cajeme	1.686	1.648	0.834
Cananea	1.333	1.353	1.004
Carbó	1.394	0.607	0.96
Cumpas	0.839	1.162	0.993

Empalme	1.415	0.814	1.402
Etchojoa	1.446	0.947	0.968
Fronteras	0.423	1	0.809
Gral. P. E. Calles	1.347	1.092	1.049
Guaymas	1.539	0.514	1.222
Hermosillo	1.564	1	0.637
Huásabas	1.459	0.9	1.687
Huatabampo	1.579	0.757	1.097
Ímuris	1.214	1.548	1.171
Magdalena	1.114	1.434	1.651
Mazatán	1.393	1.288	0.584
Moctezuma	1.177	2.104	1.007
Naco	1.064	0.539	1.352
Nácori Chico	1.356	1.188	0.775
Nacozari	0.302	1	1
Navojoa	1.545	0.995	0.727
Nogales	1.416	1	0.994
Opodepe	1.295	0.886	0.874
Pitiquito	1.328	1.218	0.958
Puerto Peñasco	1.505	1.007	1.083
Quiriego	1.35	0.857	1.669
Rayón	1.505	0.821	1.323
Rosario	1.322	0.767	0.742
Sahuaripa	1.406	1.515	1.096
San Ignacio Río Muerto	1.467	0.983	0.955
San Luis Río Colorado	1.44	1	1.177
San Pedro de la Cueva	1.198	0.95	0.713
Santa Ana	1.605	0.71	1.116
Suaqui Grande	1.439	1.727	0.159
Ures	1.271	3.505	1.172
Villa Pesqueira	1.094	1.44	0.815
Yécora	1.385	0.448	0.62
MEDIA GEOMETRICA	1.25	1.042	0.974

Se observa que durante el período 1999-2004, el cambio tecnológico fue de 25 %, el cambio en eficiencia pura fue de 4.2 % y en el caso del cambio en eficiencia de escala hubo una regresión de -2.6 %, cuando en los dos períodos anteriores había presentado un progreso.

Propuesta de regionalización

La regionalización que se propone se construyó utilizando el método de agrupamiento de k medias, que nos permite agrupar a los municipios manufactureros con base en las variables de cambio tecnológico y los cambios en la eficiencia pura y de escala.

El procedimiento consiste en integrar con las tres variables un agrupamiento de municipios para regionalizar el estado. Primeramente, generamos un dendograma de ligamento completo con distancias euclidianas para obtener el número óptimo de clusters.

Una vez determinado el número de clusters, se utiliza la técnica de k- medias para maximizar la varianza entre los grupos y minimizar la varianza dentro de sus elementos constitutivos. La forma de operar el kmedias fue a través de la forma de ordenamiento de las distancias respecto al centro del cluster.

Para el periodo censal 1999-2004 el procedimiento nos arroja los siguientes resultados:

Encontramos cinco clusters, integrados por 5, 10, 21, 7 y 3 municipios respectivamente. La estadística descriptiva de las variables en cada cluster se muestra enseguida en el cuadro 4.

CUADRO 4.

Estadística descriptiva de los Clusters										
		Media			Desv. Estándar			Varianza		
Cluster	Número de Municipios	Techch	Pech	Sech	Techch	Pech	Sech	Techch	Pech	Sech
1	5	1.1158	2.6526	1.0458	0.425684	0.580957	0.083527	0.181207	0.337511	0.006977
2	10	1.3628	1.4292	0.8352	0.152696	0.179674	0.291228	0.023316	0.032283	0.084814
3	21	1.428333	0.817	0.949619	0.130824	0.235264	0.17472	0.017115	0.055349	0.030527
4	7	1.312857	0.909286	1.577	0.169536	0.270912	0.229016	0.028742	0.073393	0.052448
5	3	0.521333	1.054	0.934	0.281681	0.093531	0.10831	0.079344	0.008748	0.011731

A continuación, en los cuadros 5 al 9 se presentan los municipios que integran cada cluster y las distancias respecto del centro del cluster.

CUADRO 5.

Miembros del Cluster Número 1 y distancias respecto al centro del Cluster
El Cluster contiene 5 casos.

	Baviácora	Benito Juárez	Benjamín Hill	Magdalena	San Pedro de la Cueva
Distancia	0.371076	0.262631	0.369660	0.319485	0.505503

CUADRO 6.

Miembros del Cluster Número 2 y distancias respecto al centro del Cluster.
El Cluster contiene 10 casos.

	Aconchi	Cajeme	Cananea	Ímuris	Mazatán	Nácori Chico	Pitiquito	Sahuari pa	Suaqui Grande	Villa Pesqueira
Distancia	0.079002	0.225339	0.108302	0.222873	0.167283	0.143582	0.142474	0.160462	0.428850	0.155754

CUADRO 7.

Miembros del Cluster Número 3 y distancias respecto al centro del Cluster
El Cluster contiene 21 casos.

	Álamos	Altar	Bácum	Banámichi	Carbó	Etchojoa	Guaymas	Hermosillo	Huatabampo	Nav
Distancia	0.040723	0.047373	0.382819	0.266133	0.122999	0.076485	0.243754	0.223327	0.126520	0.17

CUADRO 8.

Miembros del Cluster Número 4 y distancias respecto al centro del Cluster
El Cluster contiene 7 casos.

	Agua Prieta	Empalme	Huásabas	Magdalena	Naco	Quiriego	Rayón
Distancia	0.225096	0.129277	0.105742	0.326775	0.288482	0.064749	0.190813

CUADRO 9.

Miembros del Cluster Número 5 y distancias respecto al centro del Cluster
El Cluster contiene 3 casos.

	Cumpas	Fronteras	Nacozari
Distancia	0.196687	0.096972	0.135867

Conclusiones

El promedio de cambio tecnológico en los municipios manufactureros de Sonora para el periodo 1989-1999, fue de 51.3 %. El cambio en eficiencia pura fue menor que uno en el índice, lo que expresa que en promedio hubo una regresión en ese aspecto de -9.7 %. A diferencia del cambio en eficiencia de escala que presentó un progreso de 11 %.

El crecimiento promedio del cambio tecnológico en el período 1994-1999 fue de 51.1 %, el crecimiento en eficiencia pura fue de 19.8% y en eficiencia de escala de 11.8%. A diferencia del período anterior, en el que hubo una regresión del cambio en eficiencia pura, en este caso se observa un progreso.

Se observa que durante el período 1999-2004, el cambio tecnológico fue de 25 %, el cambio en eficiencia pura fue de 4.2 % y en el caso del cambio en eficiencia de escala hubo una regresión de -2.6 %.

Se han identificado cinco clusters manufactureros tomando la información censal 1999-2004 con base en el cambio tecnológico y los cambios en eficiencia pura y de escala.

El cluster 1 está formado por los municipios de Baviácora, Benito Juárez, Benjamín Hill, Magdalena y San Pedro de la Cueva.

En el cluster 2 se agrupan Aconchi, Cajeme, Cananea, Ímuris, Mazatán, Nácori Chico, Pitiquito, Sahuaripa, Suaqui Grande y Villa Pesqueira.

El cluster 3 agrupa el mayor número de municipios: Álamos, Altar, Bácum, Banámichi, Carbó, Etchojoa, Guaymas, Hermosillo, Huatabampo, Navojoa, Nogales, Opodepe, Puerto Peñasco, Rosario, San Luis Río Colorado, San Pedro de la Cueva, Santa Ana, Yécora, General Plutarco Elías Calles, Benito Juárez, San Ignacio Río Muerto.

El cluster 4 agrupa a los municipios de Agua Prieta, Empalme, Huásabas, Magdalena, Naco, Quiriego y Rayón.

Y el cluster 5 es el que contiene el menor número de municipios; Cumpas, Fronteras y Nacozari.

Bibliografía

A-regional (2002). Convergencia y productividad regional en México 1970-2000. Noviembre. Año 2. #11.

Barriga Delgado Emilio (2006). *Análisis no paramétrico de la distribución del ingreso en las Entidades Federativas de México 1940-2004*. Ponencia presentada en el "XVI Coloquio Mexicano en Economía Matemática y Econometría". 6 al 10 de noviembre en Xalapa, 2006

Díaz Bautista Alejandro y Jorge Enrique Saénz Castro (2002). "Productividad total factorial y el crecimiento económico de México", en *Economía y Desarrollo*, Marzo, volumen 1, # 1, Colombia.

Díaz González Eliseo (2006): "La Productividad total de los factores en la industria eléctrica y electrónica entre los países de la OCDE y la industria maquiladora en el Norte de México", en *Análisis Económico*. Primer cuatrimestre, año/volumen XXI, # 46, México.

Fare, Grosskopf, Norris y Zhang (1994). Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries. *American Economic Review*, Vol. 84, No. 1, (Mar., 1994) pp. 66-83.

Germán Soto Vicente (2005) "(Di) convergencia regional en México" en *Noesis, Desarrollo y Política Regional*, vol. 15, num. 27, México.

Sánchez-Reaza Javier y Andrés Rodríguez-Pose (2003) *Economic Polarization Through Trade Trade Liberalization and Regional Growth in Mexico*. WIDER Discussion Paper No. 2003/60.

Valdés R., Délano V. (1998). Productividad y Tipo de Cambio Real en Chile. *EconPapers Working Papers Central Bank of Chile from Central Bank of Chile*.