

Maestría en Ciencias con área de concentración en Economía de la Salud  
2010-2012

# Análisis de eficiencia técnica en la producción de mastografías en hospitales públicos de México

Ing. David Contreras Loya  
[dcloya@gmail.com](mailto:dcloya@gmail.com)

## **COMITÉ DE TESIS:**

### **Director:**

Mtro. Sergio Bautista-Arredondo. Centro de Investigación en Evaluación y Encuestas.  
Instituto Nacional de Salud Pública.

### **Asesores:**

Dra. Sandra Gabriela Sosa-Rubí. Centro de Investigación en Evaluación y Encuestas.  
Instituto Nacional de Salud Pública.

Dra. Gabriela Torres-Mejía. Centro de Investigación en Salud Pública. Instituto Nacional  
de Salud Pública.

*Cuernavaca, Morelos, Abril de 2013*

## RESUMEN

**Introducción.** La cobertura de detección de cáncer de mama en México es limitada debido a restricciones en la oferta de estos servicios, así como barreras al acceso por el lado de los pacientes. Para incrementar la cobertura es necesario reconfigurar el sistema para que produzca servicios oportunos y de calidad, dirigidos a la población adecuada y a un precio adecuado. A este estado de equilibrio se le conoce como eficiencia económica, y su reflejo es la llamada cobertura efectiva. Un componente de la eficiencia económica es la eficiencia técnica, esto es, la capacidad de una organización para producir la cantidad máxima teórica impuesta por su tecnología. Poco se ha estudiado sobre qué tan eficientes son las instituciones públicas de salud en el país para producir mastografías.

**Objetivos.** Estimar el puntaje de eficiencia técnica relativa en la producción de mastografías en una muestra de hospitales públicos del país, y cuantificar la variación de este puntaje que es explicado por variables del entorno y de la organización.

**Métodos.** Se realizó un análisis paramétrico y semi-paramétrico de la tecnología de producción de mastografías en una muestra de 38 hospitales de las 3 principales instituciones públicas de México. La variable dependiente en el modelo fue la cantidad trimestral de mastografías producidas por unidad durante 2011, y como principales covariables, el número de radiólogos y técnicos de Imagenología en cada unidad. Se construyeron transformaciones monotónicas e interacciones de las variables independientes para probar el mejor ajuste de una función flexible de producción de mastografías. Se identificó a las unidades eficientes con dos algoritmos, uno paramétrico y otro semi-paramétrico, para comparar a las unidades no eficientes con las eficientes con una función distancia y obtener puntajes de eficiencia técnica relativa. Se comparó la congruencia entre ambos puntajes de eficiencia predichos mediante pruebas de correlación de rango. Finalmente, el puntaje de eficiencia técnica de las unidades se analizó como variable dependiente sobre un conjunto de variables del entorno teóricamente asociadas con el nivel de eficiencia técnica.

**Resultados.** Bajo el método paramétrico, la eficiencia promedio de las unidades analizadas fue 59%, y 48% con el método semi-paramétrico ( $p > 0.1$ ). Es decir, maximizando la eficiencia, esta muestra de hospitales podría colectivamente doblar la cantidad de servicios de mastografía ofrecidos sin un incremento en la cantidad de recursos (mastógrafos, radiólogos y técnicos de Imagenología). La escala de producción de las unidades resultó fuertemente asociada con el nivel de eficiencia técnica ( $p < 0.01$ ), y aquellas ubicadas en entidades federativas de ingresos altos exhibieron mayor eficiencia técnica relativa ( $p < 0.05$ ).

**Conclusiones.** La alta variabilidad observada en el desempeño en productividad de las unidades brinda evidencia *prima facie* de un sustancial potencial de mejora. Para el logro de las metas de cobertura de servicios de detección de cáncer de mama, se requiere comprender la eficiencia técnica con que son provistos estos servicios, y enmarcar dichas restricciones por el lado de la oferta con las barreras al acceso a la demanda de mastografías en el país.

## Índice

<b>Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>Justificación</b> .....	<b>6</b>
<b>Planteamiento del problema</b> .....	<b>7</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>7</b>
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos .....	7
<b>Marco teórico</b> .....	<b>8</b>
<b>Metodología</b> .....	<b>19</b>
Diseño del estudio .....	19
Construcción de variables .....	20
Análisis estadístico .....	21
<b>Resultados</b> .....	<b>26</b>
Descripción de la muestra analítica .....	26
Resultados de la estimación paramétrica de la frontera de posibilidades de producción .....	29
Resultados de la estimación semi-paramétrica de la frontera de posibilidades de producción .....	31
Resultados de la estimación del puntaje de eficiencia técnica .....	33
<b>Discusión</b> .....	<b>37</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>39</b>
<b>Limitaciones</b> .....	<b>41</b>
<b>Consideraciones éticas</b> .....	<b>42</b>
<b>Referencias</b> .....	<b>43</b>

## Introducción

El cáncer de mama y el cervicouterino se han convertido en las dos causas principales de muertes por cáncer entre las mujeres<sup>1</sup>. El tumor mamario es el más incidente en las mujeres (23%)<sup>2</sup> y la proporción de muertes por cáncer de mama entre todos los casos oncológicos es de 10.9%<sup>2</sup>. En 2010 ocurrieron 438,662 muertes por esta enfermedad en el mundo. Aunque se ha observado un decremento en la mortalidad por esta enfermedad y puede reflejar parcialmente los esfuerzos por mejorar los mecanismos de detección<sup>3,4</sup>, la tasa de incidencia continúa acelerándose. México ocupa el noveno lugar en el mundo en cuanto al número de muertes anuales por cáncer de mama, con 5,189 decesos en 2010 así como el vigésimo primer lugar en los años de vida ajustados por discapacidad (DALYs), estimados en 156,583 para el mismo periodo<sup>5</sup>.

Se ha documentado la asociación de determinantes sociodemográficos y el componente genético en distintos niveles de incidencia y mortalidad por cáncer de mama<sup>6,7,8</sup>, sin embargo sólo el 27% de la carga es atribuible a factores modificables del individuo<sup>9</sup>. La detección oportuna juega entonces un rol fundamental para contener la creciente carga en mortalidad y costos, ya que la identificación de casos positivos en etapas tempranas de la enfermedad mejora el pronóstico de sobrevida<sup>10,11</sup>. El análisis radiológico ha permitido detectar la presencia de tumores antes de mostrar manifestaciones clínicas<sup>12,13,14</sup> y la evidencia científica del efecto de una estrategia proactiva de detección en la reducción de la mortalidad en países desarrollados<sup>15,16,17</sup> por cáncer de mama apoyó la puesta en marcha de programas masivos de tamizaje.

En América Latina y otras regiones en desarrollo, los programas de tamizaje para cáncer de mama no han logrado los mismos resultados. En México las estrategias para combatir esta enfermedad se han orientado hacia la prevención mediante la autoexploración, el examen clínico y la mastografía. Existen aún restricciones por

el lado de la oferta de servicios de prevención<sup>18</sup> como la disponibilidad de radiólogos especializados y equipos de mastografía, prolongados tiempos de espera<sup>19</sup>, ausencia de sistemas continuos de capacitación y evaluación de la calidad del diagnóstico. Nuestro país cuenta con una razón de 8.8 radiólogos por 100,000 mujeres sin seguridad social, que operan 650 equipos de mastografía, para atender a 16.8 millones de mujeres mayores de 40 años<sup>20</sup>.

Por el lado de la demanda existen barreras al acceso como la baja percepción del riesgo<sup>21,22</sup>, percepciones y actitudes negativas hacia el diagnóstico y el pronóstico del cáncer así como la racionalización del miedo<sup>19,23</sup>. La deficiente tasa de respuesta a los programas de tamizaje se ha documentado incluso en países desarrollados como Japón y Canadá<sup>24</sup>. La población hispana en Estados Unidos adolece de un problema de baja cobertura; exhibe menor incidencia de cáncer de mama que el resto de la población, sin embargo la mortalidad es mayor<sup>25</sup>, debido a barreras en la accesibilidad a servicios médicos dado su nivel de ingreso y nivel de aseguramiento, así como aspectos culturales, en especial el temor al proceso de diagnóstico y al mismo hecho de saber que tienen cáncer<sup>26</sup>.

En México existen intervenciones piloto para superar las restricciones a la cobertura como la telemamografía y la capacitación de técnicos de Imagenología para la interpretación de estudios. La centralización impuesta por los centros de telemamografía aprovecha la concentración de expertos en diagnóstico, busca superar las barreras geográficas y de disponibilidad de recursos<sup>27</sup> y su tecnología puede representar una reducción en los costos de operación del programa<sup>28</sup>. Para superar las barreras de género, Reino Unido opera sus centros de detección de cáncer de mama con personal exclusivamente femenino<sup>29</sup>.

En México, la cobertura de mastografías en mujeres mayores de 20 años ha ido en incremento. Según las encuestas nacionales de salud, en 2006 fue 16.4%<sup>30</sup> y en 2012 de 30.6%<sup>31</sup>. Al focalizar al grupo de 40-49 años, esta cifra se reduce a 15%<sup>31</sup> y aunque es similar a la de Colombia (16.4%)<sup>32</sup> y República Dominicana

(20.1%)<sup>32</sup>, es mucho menor que la de Chile (79%)<sup>32</sup> o Reino Unido (78%)<sup>33</sup>. En México, sólo entre el 5 y el 10% de los casos de cáncer de mama son detectados en fases iniciales de la enfermedad<sup>18,34,35</sup>. A pesar de que existe un marco normativo<sup>36</sup> para atender de manera homogénea el cáncer de mama, esto no es garantía de la disponibilidad de recursos ni la aplicación de las normas oficiales<sup>4</sup>.

## Justificación

El reto impuesto por el padecimiento que provoca el mayor número de muertes por cáncer en las mujeres mexicanas y del que se conoce aún muy poco en términos de prevención, nos obliga a dar una respuesta social organizada desde todas las aristas de los sistemas de salud. Al saber que la detección mediante mastografía puede detectar oportunamente hasta el 72% de los casos<sup>37</sup>, la evaluación de los servicios de tamizaje contribuye a responder a la ausencia de información empírica que oriente la toma de decisiones en materia de política pública<sup>38</sup>. México está alcanzando la cobertura universal en salud<sup>39</sup>, y la inclusión del cáncer de mama en el paquete de servicios del Seguro Popular a partir de 2007 representa una garantía de derechos para las mujeres.

La cobertura de detección de cáncer de mama en México es deficiente comparada con países con similares niveles de desarrollo<sup>24</sup>, y al ser la provisión de los servicios un proceso productivo, la eficiencia en la producción de mastografías es un determinante inherente de la cobertura. En un contexto de limitados recursos, la respuesta de incrementar la infraestructura técnica y humana puede resultar subóptimo si se desconoce el nivel de eficiencia técnica actual, debido a que en presencia de ineficiencia en la producción, podría incrementarse la cantidad de mastografías otorgadas con el mismo nivel de capacidad instalada en los hospitales.

La literatura sobre eficiencia técnica en el ámbito de los sistemas de salud está en aumento, con el objetivo de apoyar el diseño de políticas que ayuden a mejorar el

rendimiento de los recursos en la producción de servicios personales de salud. En México existen pocos estudios de eficiencia técnica en los sistemas de salud<sup>40,41</sup>, aunque existe evidencia indirecta que sugiere la existencia de ineficiencia en el la provisión de servicios de prevención de cáncer de mama<sup>42</sup>. En particular, en el país no existen estudios de eficiencia técnica de la producción de mastografías.

## Planteamiento del problema

Se conoce la limitada disponibilidad de recursos para la detección oportuna del cáncer de mama en México, así como los factores que influyen negativamente en la decisión de realizarse una mastografía. No obstante, existe una brecha en la evidencia empírica sobre qué tan eficientes son los hospitales para producir mastografías, esto es, la cantidad de servicios que pueden ofrecer dada la cantidad de factores de trabajo que tiene cada uno (radiólogos, técnicos y mastógrafos) sujetos a las restricciones del entorno y la organización.

## Objetivos

### Objetivo general

Conocer el nivel de eficiencia técnica con que operan las unidades que cuentan con mastógrafos, estimando la relación que existe entre los insumos o factores de trabajo (mastógrafos, radiólogos y técnicos de Imagenología) y la producción de mastografías, además de otras variables que ayuden a explicar distintos niveles en la cantidad producida.

### Objetivos específicos

- △ Estimar la eficiencia técnica relativa en la producción de mastografías de una muestra de unidades de salud públicas en México.
- △ Cuantificar la asociación estadística entre el puntaje de eficiencia técnica relativa y un conjunto de variables organizacionales y del entorno como el

nivel de ingresos de la entidad, el subsistema de salud al que pertenece cada unidad, o la escala de producción.

## Marco teórico

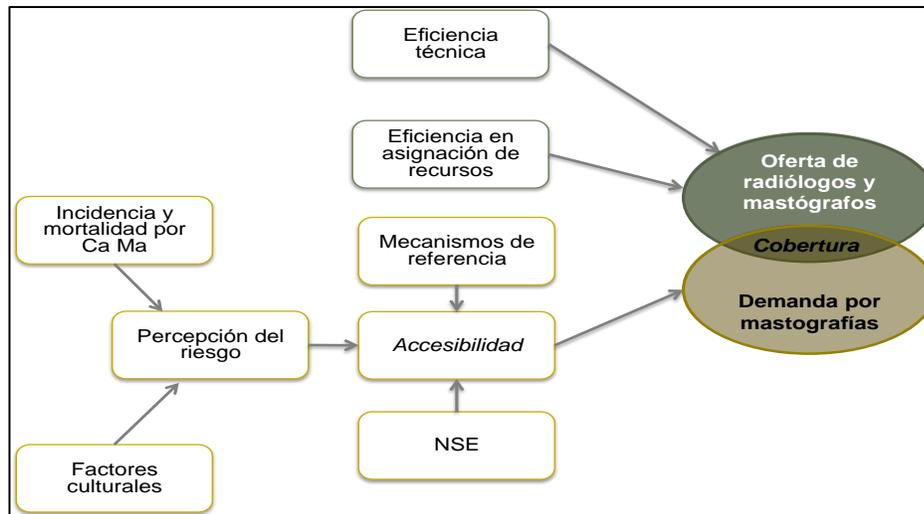
### Determinantes de la cobertura

La cobertura en salud se define como el traslape que existe entre la capacidad para ofrecer servicios de salud y la demanda de éstos por parte de los pacientes. Es decir, la cobertura es un reflejo de la accesibilidad<sup>43</sup>. El concepto de cobertura en salud se ha ido refinando con el tiempo y tiene varias dimensiones, como la cobertura de derechos o la cobertura financiera, que enmarcan la capacidad de pago o las garantías que tiene la población para acceder a servicios de salud en instituciones que financian la atención. Recientemente ha cobrado el impulso de la cobertura efectiva<sup>39</sup>, que es una medida de la utilización real de los servicios<sup>44</sup> con base en la necesidades de la población y la calidad con que son provistos los servicios.

La cobertura efectiva de mastografías en México y otros países de América Latina es un problema más complejo que la mera disponibilidad de recursos. Pueden existir los equipos y los profesionales especializados para el diagnóstico, garantías de acceso al servicio sin importar la capacidad de pago, e incluso la atención gratuita para el tratamiento del cáncer de mama. Sin embargo, si dichos servicios no provistos de forma accesible a la población, en términos de la distribución geográfica de las unidades, barreras de transporte o mecanismos de referencia adecuados, el resultado es que no todas las personas en riesgo obtendrán la atención. Las barreras al acceso del lado de los pacientes, como las financieras, actitudes negativas hacia la exploración mamaria, cuestiones de género y la auto-percepción del riesgo se imponen como fuertes obstáculos para acceder a un servicio que puede salvarles la vida.

En la Figura 1 se muestran los determinantes de la cobertura de mastografías, por el lado de la oferta y demanda de servicios. El presente trabajo analizará la relación que existe entre la eficiencia técnica y la oferta de servicios, y a continuación se introduce el concepto de eficiencia técnica.

**Figura 1. Determinantes de la cobertura de mastografías**



### ***Eficiencia técnica***

La teoría económica ha abordado el concepto de eficiencia desde tres perspectivas: la eficiencia técnica, la eficiencia asignativa y la eficiencia económica. La existencia de variaciones en eficiencia técnica implica que sería posible producir mayor cantidad con el mismo nivel de recursos. En el caso de los sistemas de salud, un mercado que es eficiente en la asignación produce los servicios adecuados, dirigidos a la población adecuada (con base en la necesidad) a un precio adecuado. Una característica de un precio adecuado es no incluir con costos de transacción y por tanto reflejar de manera pura el costo del valor agregado del servicio. En el caso de mastografías, la distancia al hospital, el tiempo de espera o el estrés provocado por la prueba se suman al precio líquido de acceder al servicio. La eficiencia económica se logra cuando existe eficiencia técnica y asignativa, es decir, cuando se logra al máximo beneficio (mastografías de calidad y salud) al mínimo costo (factores de trabajo).

Aunque la eficiencia como tal es un proceso no observable, se expresa siempre que los agentes (unidades productivas, como un hospital) son incapaces de extraer el producto marginal total de los factores de trabajo. Los factores de trabajo son los recursos físicos y humanos como el edificio, mastógrafos y radiólogos, que son necesarios para producir un bien o servicio, en este caso mastografías. El producto marginal total en la teoría microeconómica del productor representa la máxima cantidad que es posible obtener al incrementar en una unidad adicional los factores de trabajo. Por lo tanto, el producto marginal total está dado por la configuración tecnológica de cada unidad productiva, en este caso, hospitales. Si un hospital no produce a niveles de esa máxima cantidad teórica, se asume que el fenómeno ocurre debido a la presencia de condiciones que reducen la eficiencia técnica. Ejemplos de variables relacionadas con eficiencia técnica son la escala de producción<sup>45</sup>, experiencia e incentivos del personal, su nivel de motivación, tiempos muertos por fallas en el equipo, mecanismos de referencia de pacientes y otras características de la gestión y organización de los servicios de imagen diagnóstica.

Siguiendo a Debreu<sup>46</sup> y Farrell<sup>47</sup>, definimos a la eficiencia técnica orientada a los factores como “*1 menos la máxima reducción equiproporcional de los factores de trabajo que permite mantener constante la cantidad producida*”. Si de un conjunto de hospitales (en adelante, *unidades*) se conoce la máxima contribución del incremento en una unidad de cada factor de trabajo en la cantidad (marginal) producida, *ceteris paribus*, es posible establecer una medida o coeficiente de utilización de recursos, que se puede interpretar como la reducción en la cantidad de factores que permite mantener la cantidad producida constante eliminando las fuentes de ineficiencia. Este coeficiente tiene una segunda interpretación, más interesante desde la perspectiva de cobertura de mastografías. Indica la máxima cantidad de servicios que podrían ofrecerse manteniendo el mismo nivel de factores (mastógrafos, radiólogos y técnicos de Imagenología) al maximizar su eficiencia en la producción.

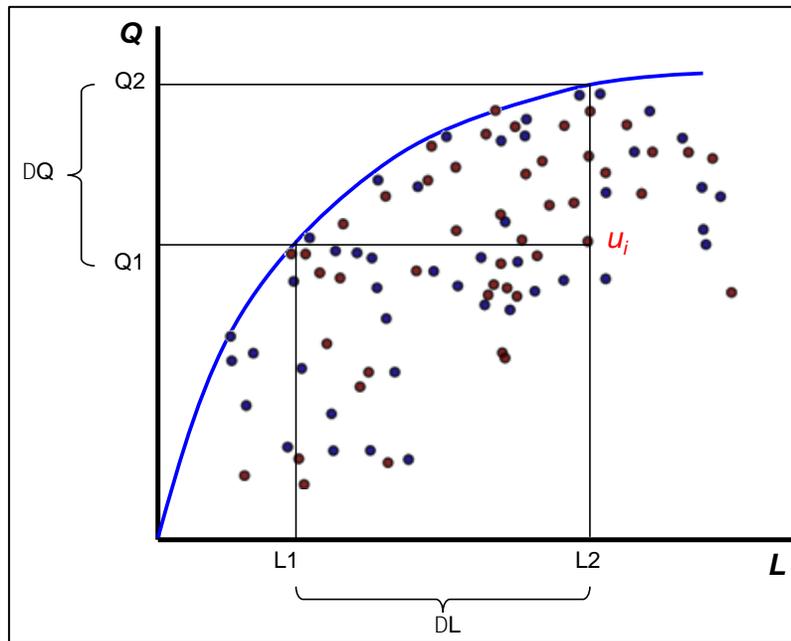
En la teoría microeconómica, se dice que una unidad está operando en su frontera de posibilidades de producción cuando extrae el producto marginal total de sus factores de trabajo. Por ejemplo, supongamos que del subconjunto de unidades con la misma cantidad de equipos de mastografía, sabemos que el máximo incremento en la cantidad producida por añadir un radiólogo a la capacidad instalada es de 100 mastografías por mes. Este incremento máximo puede ocurrir en una o más unidades y su puntaje de eficiencia es de 1, es decir, cero ineficiencia o máxima eficiencia. Todas aquellas cuyo producto marginal del factor radiólogos sea menor a 100, se dice que están operando por debajo de su frontera de posibilidades de producción y su puntaje es menor a 1, donde 0 indica el mínimo nivel de eficiencia técnica o el máximo nivel de ineficiencia. En lo sucesivo, se utilizará siempre el término eficiencia técnica, y hablaremos de unidades menos eficientes relativas a otras. El concepto de relatividad en este contexto se profundizará en las siguientes secciones.

### ***Frontera de posibilidades de producción***

La representación matemática de una frontera de posibilidades de producción puede aproximarse por dos enfoques: uno inductivo, que se reduce a un problema de ingeniería, donde se crea un modelo del sistema a partir del conocimiento de los detalles del proceso productivo; el segundo enfoque es deductivo, con base en el análisis microeconómico.

Para hacer una estimación empírica de la eficiencia técnica de un conjunto de unidades, es preciso modelar una frontera de posibilidades de producción (FPP). Es un conjunto de pares ordenados que describe la cantidad máxima de unidades de producción (mastografías) que es posible producir dado un conjunto relevante de factores de trabajo. Con esta función es posible definir una medida de eficiencia para indicar que con la misma intensidad de uso de factores es posible lograr una mayor producción (en la Figura 2, que la unidad  $u_i$  pase de producir del punto Q1 a Q2, manteniendo constante L2), o al disminuir la intensidad del trabajo (de L2 a L1), obtener la misma cantidad de mastografías Q1.

**Figura 2. Una frontera de posibilidades de producción (FPP) teórica**



La frontera de posibilidades de producción de un conjunto de unidades también es útil desde la perspectiva económica para identificar el grado de sustitución entre factores de trabajo y la presencia de rendimientos a escala. Por ejemplo, en un proceso productivo que utiliza recursos fijos (como el espacio y los equipos) y variables (cantidad de personal), los rendimientos a escala se expresan cuando la cantidad de producción aumenta conforme se incrementan los factores de trabajo, pero a una tasa decreciente. A este comportamiento del producto marginal se le llama rendimientos marginales decrecientes, y es el fenómeno más común en los procesos de producción, ya que los recursos fijos se saturan (comienzan a operar cerca de su límite de producción, que es determinista) aunque la cantidad de horas-hombre disponibles aumente. Por ejemplo, incrementar de 5 a 10 el número de radiólogos en una unidad aumenta la producción de mastografías en 500 estudios mensuales; e incrementar los radiólogos de 10 a 15 contribuirá con sólo 400 estudios adicionales, ya que todos deben compartir el mismo equipo. Teóricamente los rendimientos pueden ser constantes o incluso crecientes en otras configuraciones tecnológicas.

Empíricamente, el modelo a estimar no es una regresión tradicional sino una función envolvente (Figura 2). Una función de este tipo cobija a la totalidad del conjunto de datos, ya sea por arriba o por abajo. Si el eje de las abscisas (Figura 2) representa la cantidad de mastografías  $Q$  producidas por unidad y las ordenadas la cantidad de radiólogos  $L$  (factor de trabajo), estamos interesados en la función que envuelva a los datos por arriba, esto es, su FPP. Si la medida del eje “ $y$ ” fuera el costo por mastografía producida, nos interesaría modelar la envolvente por debajo de los datos, para conocer el nivel de eficiencia en los costos. En un mercado competitivo, el problema de maximización de la renta económica de una empresa (que es función de la cantidad producida) es el mismo que el de la minimización de costos y se le conoce como el problema dual<sup>48</sup>.

La forma funcional exacta de la frontera es nunca conocida, por lo que sólo puede aproximarse con técnicas econométricas. De nuevo, el interés no es encontrar la recta que mejor ajusta a un conjunto de datos, la cual brindaría información sobre la media condicional de la variable de respuesta para cambios marginales en las variables explicativas (factores de trabajo en este caso). En vez, se busca definir formalmente un *locus* o conjunto convexo que represente todos los posibles niveles de producción que resultan de diferentes combinaciones de uso de factores de trabajo, acotado por la cantidad máxima de producción que resulta al operar sobre la frontera de producción, es decir totalmente eficiente. Por lo tanto el objeto matemático a estimar es una función máximo.

### **Métodos**

Los métodos cuantitativos más utilizados para modelar funciones frontera en aplicaciones de economía son el Análisis de Envolvente de Datos<sup>49</sup> (AED) y el Análisis de Fronteras Estocásticas<sup>50</sup> (AFE) surgidos en 1977 y 1978 respectivamente. La gran mayoría de estudios de eficiencia técnica han utilizado combinaciones de estos métodos y recientemente se han documentado trabajos

que involucran el uso de regresión por cuantiles<sup>51,52</sup>. La primera publicación del uso de DEA en el contexto de los servicios de salud fue la de Wilson y Jadlow en 1982<sup>53</sup>. En cambio, la primera aplicación de AFE en salud fue de Wagstaff en 1989<sup>54</sup>. Desde ese momento, son cientos las publicaciones de estudios de eficiencia técnica orientada a los sistemas de salud.

La elección sobre el mejor método de estimación de eficiencia técnica es aún tema de debate<sup>55</sup>. Las características deseables de AED y AFE son en ocasiones metas en conflicto para decidir sobre un método u otro. Primero se hará un recuento de los supuestos y propiedades de cada técnica para posteriormente explicar la dificultad sobre la selección del mejor modelo y el conocimiento en el estado del arte para superar este inconveniente metodológico.

#### *Análisis Envolvente de Datos*

AED es un método de programación lineal que permite la estimación de la eficiencia técnica relativa, siendo consistente con el concepto teórico de eficiencia productiva<sup>47</sup>. Este método es no-paramétrico y determinista, es decir, no incorpora en las estimaciones de eficiencia el posible efecto de choques exógenos en la cantidad producida o errores de medición. DEA se ha utilizado para modelar tanto producción como costos. Tiene como ventajas que no es necesario especificar una forma funcional para la frontera de producción y esto puede ser útil para revelar relaciones no lineales entre variables, que quedan ocultas bajo las técnicas comunes de regresión. Además, el método es generalizable al caso de múltiples bienes o servicios producidos con múltiples factores de trabajo compartidos, aunque se ha documentado que al incrementar el número de bienes producidos, la eficiencia general se incrementa<sup>56</sup>. La principal desventaja del método es que al definir una función máximo, ignora la posibilidad de errores de medición o el efecto del “error idiosincrático” que explicara variaciones aleatorias en la cantidad producida, por ejemplo una campaña masiva de tamizaje local breve, o fallas intermitentes en el equipo que interrumpen la provisión del servicio. Aunque este método fue criticado por la dificultad para realizar inferencia estadística en los

parámetros del modelo, recientemente se han documentado algoritmos computacionales para el cálculo de errores estándar<sup>57,58,59</sup> y así realizar inferencia sobre parámetros del modelo, como la elasticidad de sustitución entre factores y los mismos puntajes de eficiencia técnica.

### *Análisis de Fronteras Estocásticas*

AFE es una técnica econométrica que utiliza el término residual del modelo para estimar el parámetro o puntaje de eficiencia técnica para cada unidad. AFE difiere de las técnicas comunes de regresión porque el término de error es descompuesto en dos partes independientes estadísticamente entre sí: ineficiencia ( $u_i$ ) y todas las demás fuentes de error o choques exógenos ( $v_i$ ). La fuente de error natural  $v_i$  se modela como una distribución gaussiana tradicional, mientras que el componente de ineficiencia  $u_i$  debe especificarse como una distribución truncada (exponencial, beta o normal truncada), para así hacer congruente el supuesto de que toda ineficiencia resulta en una desviación negativa de la frontera eficiente<sup>50</sup>. Las críticas hacia este método han sido la imposibilidad para contar con información *a priori* que indique la selección adecuada de la distribución del término de ineficiencia técnica, el principal parámetro de interés del modelo, ya que a partir de éste son calculados los puntajes de eficiencia técnica para cada unidad. La aplicabilidad de este método requiere tamaños de muestra grandes<sup>60</sup>.

Además de requerir especificar una distribución para el término de error, es posible incorporar en AFE el concepto de forma funcional flexible. De interés en la investigación económica empírica fue analizar los cambios marginales en la producción condicional en las variables explicativas. Aunque la forma funcional más popular es la Cobb-Douglas, sus desventajas<sup>61</sup> (como la elasticidad de sustitución unitaria) impulsaron el uso y desarrollo de formas funcionales flexibles, que se resumen en el Cuadro II. Se puede hablar de formas funcionales flexibles como aquellas especificaciones que incluyen un número de parámetros igual al número de elementos necesario para caracterizar la tecnología que se pretende modelar<sup>62, 63</sup>, de forma que no restringen *a priori* las características de la

tecnología. Por tanto, un paso previo a la estimación de la eficiencia técnica de la producción de mastografías es comprender la relación (si es que la hay) entre las variables que se hipotetizaron como explicativas, denominadas factores de trabajo, y la medida de cantidad producida de mastografías como variable dependiente.

**Cuadro II.** Funciones de producción convencionales y flexibles

Nombre	Formas funcionales flexibles (asumiendo 2 factores de trabajo $X_1, X_2$ )	
Leontief generalizada	$y_i = \beta_0 + 2\beta_1\sqrt{x_{1i}} + 2\beta_2\sqrt{x_{2i}} + 2\beta_3\sqrt{x_{1i}x_{2i}}$	
Translog	$\ln(y_i) = \beta_0 + \beta_1\ln(x_{1i}) + \beta_2\ln(x_{2i}) + \beta_3\frac{1}{2}\ln(x_{1i})^2 + \beta_4\frac{1}{2}\ln(x_{2i})^2 + \beta_5\ln(x_{1i})\ln(x_{2i})$	
Cuadrática generalizada	$y_i = \beta_0 + \beta_1x_{1i} + \beta_2x_{2i} + \beta_3\frac{1}{2}x_{1i}x_{2i} + \beta_4x_{1i}^2 + \beta_5x_{2i}^2$	
Miniflex Laurent	$\emptyset(y) = \alpha_0 + 2 \sum \alpha_i x_i + \sum \alpha_{ii} x_i^2 + \sum (\alpha_{ij}^2 x_i x_j - b_{ij}^2 x_i^{-1} x_j^{-1})$	
	Leontief generalizada	$\emptyset(y) = y ; x_i = \sqrt{x_i}$
	Translog	$\emptyset(y) = \ln(y) ; x_i = \ln(x_i)$

***Advertencias y sugerencias sobre el uso de fronteras de posibilidades de producción en los sistemas de salud***

Una pregunta importante para la construcción de la frontera de posibilidades de producción es el uso o propósito final<sup>64</sup> que desea dársele al modelo. La selección y nivel de agregación de las variables es distinta de si se adopta una perspectiva de investigación pura para sustentar políticas públicas, o bien un enfoque de gestión o *management*. Si se adopta una perspectiva de gestión, las preguntas relevantes son conocer los determinantes de la eficiencia a nivel de cada unidad de decisión. De este modo, la perspectiva tradicional de investigación, con sustento en la teoría estadística que busca cuantificar los patrones agregados de datos, desecharía variables no significativas en el modelo, a fin de satisfacer los criterios de consistencia, eficiencia, robustez y sobre todo parsimonia (el modelo más simple posible). En una perspectiva de gestión, la especificación del modelo

“agregado” no garantiza poder explicar las ineficiencias al interior de cada unidad, dado que pudieran existir variables que tengan no sólo significancia estadística sino una implicación real en eficiencia, pero sólo para un subconjunto de unidades. Por el contrario, una sobre-especificación del modelo donde se incluyan de forma indiscriminada todas las variables explicativas posibles, nos llevaría a un modelo que estime el desempeño de cada unidad sin residual, llevándonos a la conclusión errónea de que todas las unidades de atención son igualmente eficientes.

Los inconvenientes en los métodos tradicionales de estimación de eficiencia técnica dificultan hacer recomendaciones para mejora a cada nivel de la organización. Por un lado la alta sensibilidad de los puntajes a la especificación de distintas formas funcionales<sup>65</sup> es motivo de incredulidad por parte de los formuladores de políticas. Segundo, los puntajes de eficiencia son calculados en relación a unidades hipotéticas que resultan de los puntos definidos por la frontera. Esto imposibilita poder tener a hospitales de mejor práctica (los que operan en su frontera de producción) que sean comparables con todos aquellos operando por debajo de la frontera eficiente. Tercero, el compromiso entre la mejor especificación econométrica y la capacidad de responder cuantitativamente a las preguntas de gestión. Las características divergentes de los métodos tradicionales de estimación han provocado que los gerentes o tomadores de decisiones a nivel unidad puedan hacer alegatos en réplica 1) hacia su posición relativa en eficiencia y 2) hacia las acciones a tomar para la mejora<sup>66</sup>.

Se han documentado esquemas de análisis en los sistemas de salud de fronteras de mejor práctica (BPF), en un intento de superar las críticas a los métodos prevalentes de estimación de eficiencia e impulsar su aplicación en las políticas públicas. Recientemente, Wagstaff<sup>66</sup> planteó un método híbrido en dos etapas para superar las desventajas que exhiben las dos técnicas tradicionales para la estimación de la eficiencia técnica, en especial en lo referente a la interpretación de los puntajes de eficiencia. El método recupera los mejores atributos de AED y AFE al construir una frontera semi-paramétrica, esto es, no requiere pre-

especificar una forma funcional por lo que la forma de la curva emerge del patrón de datos y revela posibles relaciones no lineales. Este atributo es deseable para probar conceptos teóricos como los rendimientos marginales a escala. Adicionalmente, el método híbrido de estimación permite que ciertas unidades queden por encima o por debajo de la frontera predicha, y es posible construir intervalos de confianza punto a punto para que la frontera tenga un componente estocástico. Este atributo es deseable para probar la sensibilidad del modelo a cambios en los parámetros de estimación y selección de unidades eficientes.

La segunda etapa de estimación en el método de Wagstaff es cuantificar la asociación estadística del puntaje de eficiencia con un conjunto de variables que se hipotetiza están relacionadas con distintos niveles de eficiencia técnica. Independiente del método de estimación, cuando los resultados de eficiencia técnica son presentados a un gerente o tomador de decisiones, la reacción común ha sido que los análisis no consideran el efecto de factores fuera de control gerencial o de política pública y por tanto impiden que las unidades bajo análisis operen eficientemente. Más que determinantes de la eficiencia, este tipo de factores son llamados restricciones. En un intento de superar esta crítica, tradicionalmente se ha usado un enfoque *ex post* para explicar las fuentes de variación del puntaje de eficiencia mediante análisis de regresión (aunque no se ajustan los puntajes de eficiencia para considerar el impacto de restricciones exógenas a la operación de las unidades). Este abordaje estratifica a las unidades y construye distintas fronteras en términos de las restricciones<sup>66</sup> para compensar que las restricciones exógenas no son consideradas durante el proceso de generación de los puntajes de eficiencia. Así, tanto la localización como la forma de las fronteras puede variar entre grupos y se puede calcular el puntaje de eficiencia en referencia a cada frontera. En términos estadísticos, se pierde eficiencia en la estimación del puntaje de eficiencia por efecto de la reducción en el tamaño de muestra a cambio de mayor credibilidad en la comparación de la productividad entre unidades. Dado el número de observaciones de nuestro

conjunto de datos, se optó por explorar las restricciones asociadas a cambios en el nivel de eficiencia mediante técnicas comunes de regresión lineal.

También se ha discutido el problema sobre la elección de la mejor medida de eficiencia a utilizar. En el ámbito de los sistemas de salud, la medida perfecta de eficiencia debería ser los casos evitados de enfermedad y muerte, más que la cantidad de servicios producidos. Las desventajas antes planteadas ponen incluso en duda sobre la factibilidad de la estimación de la eficiencia misma<sup>67</sup> e incluso se argumenta que los intentos hasta ahora son de poco valor para la orientación de las políticas públicas. No obstante los esfuerzos para la medición de la eficiencia sigue teniendo valor para la academia y para los tomadores de decisiones en todos los niveles donde se enfrentan a la tarea de asignar recursos escasos<sup>68</sup>.

## **Metodología**

### **Diseño del estudio**

Los datos para este trabajo provienen de un estudio transversal realizado en 2011 en 51 hospitales públicos mexicanos de áreas urbanas pertenecientes a los 3 principales subsistemas de atención: el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), el Instituto de Seguridad Social para los Trabajadores del Estado (ISSSTE) y los hospitales atendidos por los Servicios Estatales de Salud de las entidades federativas (SESA). El estudio fue comisionado por la Dirección General de Evaluación del Desempeño de la Secretaría de Salud al Centro de Investigación en Sistemas de Salud del Instituto Nacional de Salud Pública. El objetivo principal del estudio fue medir los tiempos de espera por los que transcurre un paciente para recibir alguno de los procedimientos electivos que se seleccionaron como rastreadores clínicos, incluyendo la mastografía. Se recolectó una muestra de los últimos 30 expedientes clínicos de cada procedimiento por unidad, distribuidos en 51 hospitales generales o de alta especialidad en 15

ciudades. Se seleccionaron aleatoriamente localidades urbanas donde existiera al menos un hospital general o de alta especialidad de cada uno de los 3 subsistemas públicos, ya que un objetivo específico del estudio era evaluar la presencia de oportunidades para el intercambio de servicios entre instituciones.

La información para el presente trabajo provino del componente del estudio que recolectó información a nivel unidad para cuantificar la productividad de las áreas quirúrgicas y de diagnóstico por imagen. Se aplicó un cuestionario a los jefes de servicio y responsables de operación de las áreas donde se obtuvo la cantidad de recursos físicos y humanos. El número de procedimientos quirúrgicos y de imagen diagnóstica realizados, cancelados y urgentes de 2011 se obtuvo de bitácoras de servicio e informes de utilización de servicios del hospital. También se preguntó a los responsables de las áreas de Imagenología el número de pacientes esperando ser atendidos al momento de la entrevista, así como aspectos relacionados con la gestión de las listas de espera, tales como la existencia de un responsable principal de la administración de las listas de espera y valoraciones cualitativas de la dirección médica acerca de la eficiencia con que son utilizados los recursos. El equipo nacional de encuestadores fue capacitado en la ciudad de México, donde los investigadores responsables instruyeron sobre el contenido del expediente clínico ambulatorio y hospitalario, métodos de selección de expedientes, conceptos de gestión de listas de espera y las posibles fuentes de información para el cuestionario a nivel unidad.

### **Construcción de variables**

Se utilizó la información obtenida a nivel unidad sólo para aquellos hospitales de la muestra que ofrecían el servicio de mastografía (n=38). Las variables de interés fueron la cantidad de recursos de trabajo (médicos radiólogos, técnicos de Imagenología, número de mastógrafos, número total de equipos de radiología, además de la cantidad mensual de mastografías que fueron realizadas en el periodo. No se contó con información sobre el número de horas que el equipo

dedica a la provisión específica de mastografías. Se generaron variables dicotómicas para indicar si el hospital pertenecía al IMSS, ISSSTE o SESA. También se construyeron variables dicotómicas para indicar si la entidad federativa de cada hospital se catalogaba como de ingresos altos, medios o bajos, según datos del ingreso promedio per cápita de 2011 por entidad<sup>69</sup>.

Se agrupó la cantidad producida de mastografías en cada unidad en trimestres, por lo que se consideraron 4 observaciones por cada unidad. La cantidad de recursos físicos y humanos al momento de la medición no refleja posibles cambios en los últimos 12 meses en la cantidad de factores de trabajo. Dada la poca variabilidad en el número de mastógrafos entre unidades (sólo 1 hospital contaba con 2 mastógrafos), expresamos el número de mastografías producidas por trimestre como la razón de mastografías por mastógrafo.

## Análisis estadístico

Para la estimación de la eficiencia técnica relativa en la producción de mastografías se utilizó la siguiente estrategia empírica:

### 1. Método paramétrico

Se modeló la tecnología factores de trabajo – cantidad de mastografías por trimestre utilizando distintas formas funcionales flexibles. La relación entre la cantidad de factores de trabajo ( $X_1, X_2$ ) y la cantidad producida ( $Y_i$ ) de servicios (mastografías) se puede expresar como:

$$Y_i = f(X_i, \beta_i)$$

Donde  $\beta$  es un vector de parámetros a ser estimado por MCO que difiere en tamaño, significancia e interpretación dependiendo de la función especificada. En el caso de la Cobb-Douglas, los parámetros son las elasticidades de sustitución;

en los modelos no lineales, la interpretación no es directa. Dado que entre radiólogos y técnicos de Imagenología no es factible asumir sustituibilidad, mucho menos de grado 1, para este análisis la forma Cobb-Douglas fue descartada como candidata a especificación de tecnología para la producción de mastografías.

Se generaron transformaciones monotónicas de las variables para especificar distintas formas funcionales (Cuadro II), que fueron estimadas por mínimos cuadrados ordinarios (MCO), corrigiendo los errores estándar por la correlación intraconglomerados (dado que se construyeron 4 observaciones por unidad). Para seleccionar al modelo con el mejor ajuste, se tomó en cuenta el valor de  $R^2$  y el criterio de Akaike<sup>70</sup>, que describe el compromiso entre sesgo y varianza en la especificación del modelo.

$$AIC = 2k - 2 \log(L)$$

Donde  $k$  es el número de variables a estimar y  $L$  es el valor maximizado de la función de verosimilitud para el modelo estimado. Dado un conjunto de candidatos de especificación de la tecnología entre factores de trabajo y la cantidad producida de mastografías, se elige el modelo con el menor valor de AIC.

El tamaño de muestra del subconjunto analítico no justifica el uso de las técnicas de fronteras estocásticas. Sin embargo, para hacer uso de una técnica econométrica y comparar su desempeño con una no-paramétrica, se eligió el método de COLS (Corrected Ordinary Least Squares) para la estimación del score de eficiencia, utilizando la especificación de la tecnología con el “mejor ajuste” en la sección 1. El proceso fue estimar los parámetros con la técnica OLS, y después el intercepto fue modificado sumando el mayor residual positivo que arrojó la ecuación estimada. Esto asegura que todos los puntos quedaran por debajo de la frontera. Así,  $u_i$  acumula la ineficiencia técnica en un término asimétrico. De este modo, la estimación de eficiencia para cada unidad está dada por:

$$\theta_i = \frac{y_i}{E(y_i|X_i, u_i) + \max(u_i|u_i > 0)}$$

Que resulta de encontrar la función distancia entre el valor observado  $y_i$  y el óptimo derivado del modelo econométrico  $y_i^*$  para la cantidad insumo-producción de mastografías.

## 2. Estimación del score de eficiencia técnica

### a. Método semi-paramétrico (frontera híbrida de producción)

Para identificar a las unidades eficientes, utilizamos una variante de la técnica propuesta por Wagstaff<sup>17</sup>, que comienza con una búsqueda por coordenadas de intensidad de factores de trabajo para identificar la unidad más productiva en cada “nivel” o coordenada *i-dimensional* si  $i$  denota al conjunto de factores de trabajo relevantes, utilizando un tamaño de pinza (*caliper*) y un tamaño de escalón entre búsquedas (*step*). Dada la naturaleza de los datos de este estudio, con un tamaño de muestra pequeño y poca variabilidad en el rango de ambos factores de producción, se utilizó el siguiente algoritmo: para cada nivel radiólogos ( $x_{1i}$ ) y técnicos de Imagenología ( $x_{2i}$ ) se identificó a la unidad con mayor cantidad producida ( $y_i^*$ ). De esta forma definimos a dos subconjuntos de unidades eficientes, uno con base en la cantidad de radiólogos y otro utilizando la información del número de técnicos de Imagenología por unidad. La intersección de ambos conjuntos define a las unidades catalogadas como “eficientes”, bajo nuestro algoritmo de búsqueda.

$$Eff(Y_i^*) = [\max(y_i|x_{1i}) \forall x_{1i} \in X_1] \cap [\max(y_i|x_{2i}) \forall x_{2i} \in X_2]$$

Con estas observaciones identificadas como “eficientes” se construyó una frontera semi-paramétrica. Se corrió una suavización LOWESS en Stata sobre estas observaciones utilizando un ancho de banda de 0.8, que considera un subconjunto centrado de  $0.8 \cdot N$  observaciones para calcular valores suavizados en los datos (es decir, no considera los puntos esquina). La suavización resulta de correr múltiples regresiones locales en un meta-modelo con base en los  $j$ -vecinos más cercanos (ponderados) a cada observación. Esta estimación es no-paramétrica en el sentido de que no estima coeficientes de un polinomio, sin embargo LOWESS proporciona una representación gráfica de la frontera de producción con un componente estocástico al permitir que ciertas observaciones definidas *ex ante* como eficientes (mediante nuestra variación del algoritmo de la función máximo), queden por abajo o por encima de la frontera. A las unidades catalogadas como eficientes bajo el algoritmo de búsqueda pero que después de la suavización quedaron por encima de la frontera, se les imputó el valor predicho por ésta. A dichos hospitales les llamamos unidades eficientes *ex post*.

Al haberse obtenido una suavización en un plano  $\mathbb{R}^2$ , el atributo no-paramétrico de LOWESS no impide poder calcular distancias verticales entre cada observación y la frontera con técnicas de interpolación lineal. De esta manera, la expresión para calcular el score de eficiencia técnica para cada unidad es:

$$\theta_i = \frac{y_i}{y_i^*}$$

Donde  $y_i^* = Eff(Y_i^*)|x_i$ . Esta medida de eficiencia  $\theta_i$  es consistente con la definición propuesta inicialmente por Debreu y Farrell. Así,  $\theta < 1$  indica presencia de ineficiencia técnica, mientras que las unidades eficientes tienen  $\theta = 1$ .

3. Análisis de concordancia del ranking de unidades entre métodos de estimación

Se ha documentado que los resultados del puntaje de eficiencia son muy sensibles al método de estimación utilizado. Por tal razón, se realizó un análisis de concordancia mediante pruebas de correlación de rango. Se esperaría que las unidades más eficientes clasificadas en un método también lo sean en otro, para así darse una idea de la robustez del modelo.

Para evaluar la consistencia entre métodos de estimación de puntajes de eficiencia técnica, se construyeron variables categóricas de los deciles de dicho puntaje y se realizaron pruebas de correlación Spearman y Kendall. Estas pruebas son útiles al permitir que al menos una de las variables de comparación sea de tipo categórica ordinal, y así se pudo evaluar la asociación entre dos variables ordinales, como una medida de “congruencia” entre métodos. Tanto la *rho* de Spearman como la *tau* de Kendall toman un rango de  $\pm 1$ , donde 1 indica concordancia perfecta (es decir, que cada unidad correspondiente a cierto decil bajo un método pertenece al mismo decil de eficiencia en el otro), -1 resulta cuando una “lista” es exactamente el opuesto de otra y 0 cuando ambas listas son independientes. El valor *tau* puede ajustarse por empates (*tau-b*) que generalmente hace que aumente el grado de concordancia entre ambas variables ordinales.

#### 4. Análisis de regresión del puntaje de eficiencia técnica sobre un conjunto de determinantes y restricciones a la eficiencia

El puntaje de eficiencia del modelo con mejor ajuste por los métodos paramétrico y semi-paramétrico se convirtió en la variable dependiente en la segunda etapa del análisis. De nuevo, el objetivo fue hacer una comparación más justa entre unidades y explorar si algunas variables organizacionales o del entorno ayudan a explicar variaciones en el puntaje de eficiencia técnica. La estimación se realizó por MCO, ajustando los errores estándar por el efecto del cluster.

## Resultados

### Descripción de la muestra analítica

Las características de los hospitales de la muestra analítica para el análisis de eficiencia técnica en la producción de mastografías se resumen en el Cuadro I. Al observar el número de camas censables, se encontró que los hospitales del IMSS incluidos en la muestra fueron más grandes que los del ISSSTE y SESA (256 contra 114 y 177, respectivamente [ $p < 0.01$ ]). En particular las unidades del ISSSTE tuvieron la menor cantidad promedio de infraestructura, en lo referente a camas no censables, número de quirófanos y equipos de radiología convencional.

Los hospitales del ISSSTE y los SESA tuvieron la menor cantidad media de radiólogos por unidad (6.2 y 6) y sólo el IMSS (9.3) se ubicó por encima de la media muestral (7.1 radiólogos por unidad). Por otro lado, las unidades de los SESA tuvieron la mayor cantidad media de técnicos de Imagenología (20), seguidos del IMSS (17.4) y el ISSSTE (12.3).

**Cuadro I.** Descripción de la muestra de hospitales públicos analizados en México, 2011

	Media muestral	IMSS (n=12)				ISSSTE (n=13)				SESA (n=13)				Valor p		
		Media	Error est.	Min	Max	Media	Error est.	Min	Max	Media	Error est.	Min	Max	IMSS - ISSSTE	IMSS - SESA	ISSSTE - SESA
Camas censables	179.0	255.6	24.7	145	1,184	114.2	5.0	75	204	177.5	9.1	44	250	0.00	0.00	0.00
Camas no censables	90.5	112.5	9.6	46	256	61.8	5.8	21	196	100.5	5.6	32	158	0.00	0.28	0.00
Quirófanos	5.5	6.1	0.3	4	10	4.0	0.2	2	7	6.5	0.3	2	10	0.00	0.26	0.00
Equipos de radiología convencional	2.1	2.4	0.1	1	4	1.8	0.1	-	3	2.0	0.1	1	4	0.01	0.11	0.40
Mastógrafos	1.0	1.1	0.0	1	2	1.0	-	1	1	1.0	-	1	1	0.08	0.08	-
Radiólogos	7.1	9.3	0.4	5	14	6.2	0.4	2	10	6.0	0.4	1	10	0.00	0.00	0.66
Técnicos de Imagen	16.5	17.4	1.0	12	32	12.3	0.9	4	30	20.0	0.9	8	33	0.00	0.05	0.00
Mastografías por mastógrafo <sup>(1)</sup>	573.7	498.6	56.9	-	1,385	523.7	39.4	-	1,061	688.7	68.3	-	1,670	0.72	0.10	0.08
Mastografías por radiólogo <sup>(2)</sup>	96.8	58.4	6.5	-	169	112.1	13.3	-	354	114.9	11.4	-	359	0.00	0.00	0.87
Total de estudios de imagen (año)	28,430	49,430	3,809.3	13,321	102,439	16,952	1,603.5	2,400	33,161	21,383	2,501.0	1,875	49,336	0.00	0.00	0.14
Tiempo de espera (semanas) <sup>(3)</sup>	6.2	5.0	0.4	0	8	7.4	0.6	1	12	6.2	1.6	0	23	0.00	0.89	0.52
Porcentaje de estudios urgentes <sup>(3)</sup>	36.2	29.0	3.3	3	65	31.3	2.0	1	50	47.4	2.3	14	81	0.53	0.00	0.00

(1) Cantidad de mastografías producidas, por trimestre

(2) Tiempo medio de espera por unidad (semanas) desde la programación del procedimiento hasta su realización

(3) De todos los estudios de imagen diagnóstica, incluyendo radiología convencional, tomografías, ultrasonidos, mastografías y otros

En general, las unidades incluidas en la muestra produjeron una media de 28,430 estudios de diagnóstico por imagen durante 2011 (incluyendo radiología convencional, tomografías, ultrasonidos, mastografías y otros). De nuevo, el IMSS realizó casi el triple de estudios que el ISSSTE ( $p < 0.01$ ) y más del doble que las unidades de los SESA ( $p < 0.01$ ).

La cantidad media de mastografías producidas por trimestre fue 573.7. Algunas unidades no produjeron mastografías en algunos trimestres a pesar de contar con el equipo. Se decidió considerarlas en la muestra analítica, a pesar de no contar con información cuantitativa para explicar las interrupciones en la provisión del servicio. No se observaron diferencias significativas en la cantidad producida entre las 3 instituciones analizadas ( $p > 0.05$ ). No obstante, las unidades del IMSS exhibieron una menor razón de mastografías interpretadas por radiólogo ( $p < 0.01$ ) y esto contrasta con que éstas produjeron más del doble de estudios de imagen diagnóstica en el periodo de análisis (incluyendo la radiología convencional, ultrasonidos y tomografías). También resalta que la muestra de hospitales atendidos por los SESA tuvieron la menor cantidad media de radiólogos (6) y la mayor cantidad de técnicos de Imagenología (20).

El tiempo promedio que las pacientes del estudio debieron esperar para realizarse una mastografía fue 6.2 semanas, desde la programación del procedimiento hasta su realización. El subsistema con el mayor tiempo medio de espera fue el ISSSTE, con 7.4 semanas. Aunque el tiempo de espera de los pacientes no forma parte del análisis de eficiencia técnica, es ilustrativo de la relación compleja que existe entre la demanda neta de servicios y la rapidez con que son provistos. Al compararse con el número medio de estudios de imagen producidos por cada subsistema, pareciera que a mayor cantidad producida, menor tiempo de espera.

## Resultados de la estimación paramétrica de la frontera de posibilidades de producción

Los resultados de la especificación de distintas formas funcionales flexibles para caracterizar la tecnología y conocer la relación entre factores de trabajo y cantidad de mastografías producidas se resumen en el Cuadro III.

**Cuadro III**  
Función de producción de mastografías  
bajo distintas formas funcionales, México 2011

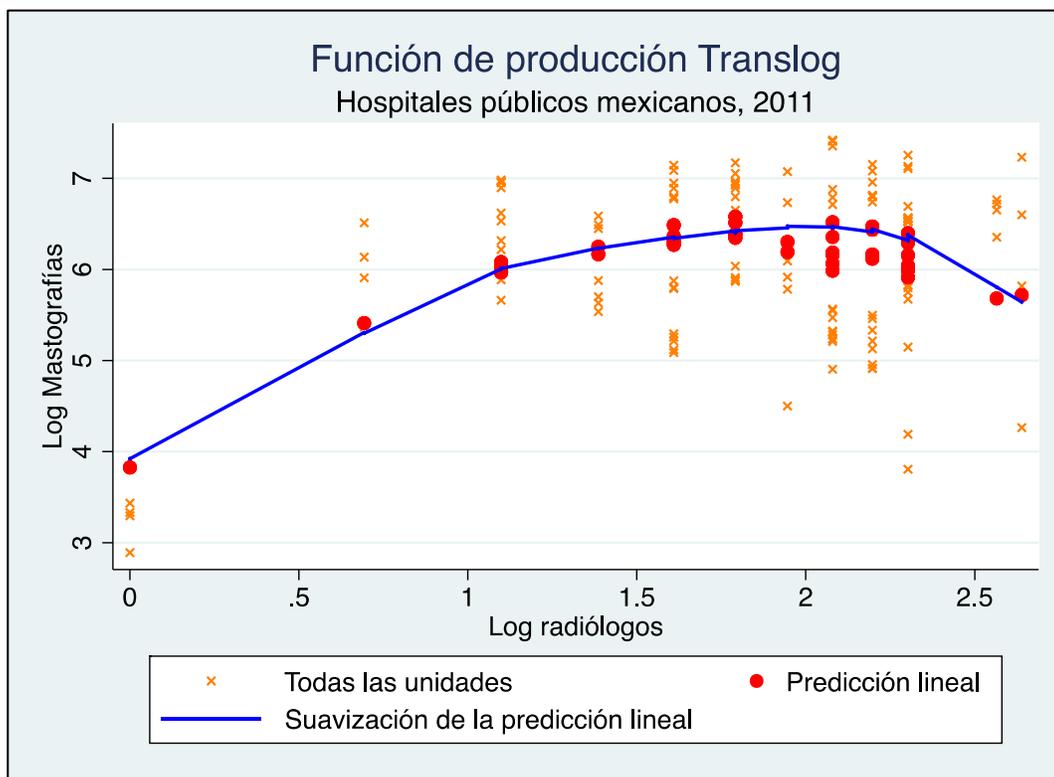
	Cuadrática Generalizada	Minflex Laurent - Leontief Generalizada	Minflex Laurent Translog	Translog	Leontief Generalizada
Radiólogos	29.88 [0.635]	4.432 [0.987]			
Radiólogos (sq)	-4.564 [0.469]				
Técnicos de imagen	20.124 [0.596]	37.493 [0.674]			
Técnicos (sq)	-0.694 [0.562]				
Radiólogos * Técnicos	2.706 [0.563]				-7.084 [0.903]
Raíz radiólogos		-539.119 [0.513]			40.6 [0.850]
Raíz técnicos de imagen		-453.193 [0.354]			84.604 [0.606]
Raíz radiólogos * técnicos		206.252 [0.272]			
(1/Rad)*(1/Tec)		5613.939 [0.295]	4.929 [0.284]		
Log radiólogos			-3.663 [0.383]	2.638 [0.032]*	
Log técnicos			-2.603 [0.430]	-0.526 [0.819]	
Log radiólogos (sq)			1.469 [0.354]	-1.735 [0.045]*	
Log técnicos (sq)			0.961 [0.220]	0.229 [0.696]	
Log radiólogos * log técnicos			0.006 [0.994]	0.117 [0.888]	
Observaciones	149	149	138	142	149
R-cuadrada	0.10	0.13	0.07	0.28	0.09
F	1.02	10.15	1.31	4.13	1.47
Akaike Information Criterion (AIC)	11.96	3.57	3.57	2.90	1.57

Valores p robustos en brackets

\* significativo al 5%; \*\* significativo al 1%

Se aprecia que la tecnología es muy sensible a la forma funcional que se especifique. El modelo Translog obtuvo la mayor  $R^2$  (0.28) y el cuarto menor valor de AIC (2.9) entre las 5 especificaciones funcionales. Se encontró que la variable radiólogos, expresada como logaritmo natural y el logaritmo al cuadrado alcanzaron la significancia estadística al 5%. El signo negativo del término al cuadrado (-1.735) sugiere la presencia de rendimientos decrecientes a escala, esto es, que a mayor cantidad de radiólogos aumenta la cantidad producida de mastografías en la muestra, pero la magnitud de este aumento es decreciente. El signo de los términos cuadráticos para radiólogos y técnicos también fue negativo en la especificación cuadrática generalizada. Este supuesto de concavidad se pre-especificó en el modelo al incluir variables transformadas, y el objetivo fue probar su significancia estadística. En la Figura 3 se exhibe esta concavidad en los datos predichos por la ecuación de regresión del modelo Translog.

**Figura 3**  
Distribución de la muestra vs datos ajustados por la regresión Translog



Los rendimientos a escala están impuestos exclusivamente por la tecnología subyacente. Ante un cambio proporcional en todos los factores de trabajo, analizando la magnitud del cambio en la cantidad producida es posible determinar si estos rendimientos son decrecientes, constantes o crecientes. En el caso de la muestra de hospitales que producen mastografías, los resultados sugieren que el cambio proporcional en la producción es menor al cambio proporcional en los factores de trabajo.

Se realizó el test Breusch-Pagan/Cook-Weisberg para hacer inferencia acerca de la varianza. Se rechaza la hipótesis nula ( $p\text{-value}=0.0163$ ) por lo que se infiere que el modelo es heteroscedástico. El test de Shapiro-Wilk también rechaza la hipótesis nula de que los residuales del modelo se distribuyen normalmente ( $p<0.01$ ).

### **Resultados de la estimación semi-paramétrica de la frontera de posibilidades de producción**

Después de caracterizar la tecnología, para definir al subconjunto de unidades eficientes con el enfoque semi-paramétrico, se identificó a la observación con mayor cantidad producida para cada nivel de factores de trabajo en la muestra. Aunque el factor más importante fue la cantidad de radiólogos según los resultados de la primera sección, también se utilizó la cantidad de técnicos para estratificar a la muestra y realizar la búsqueda de unidades eficientes.

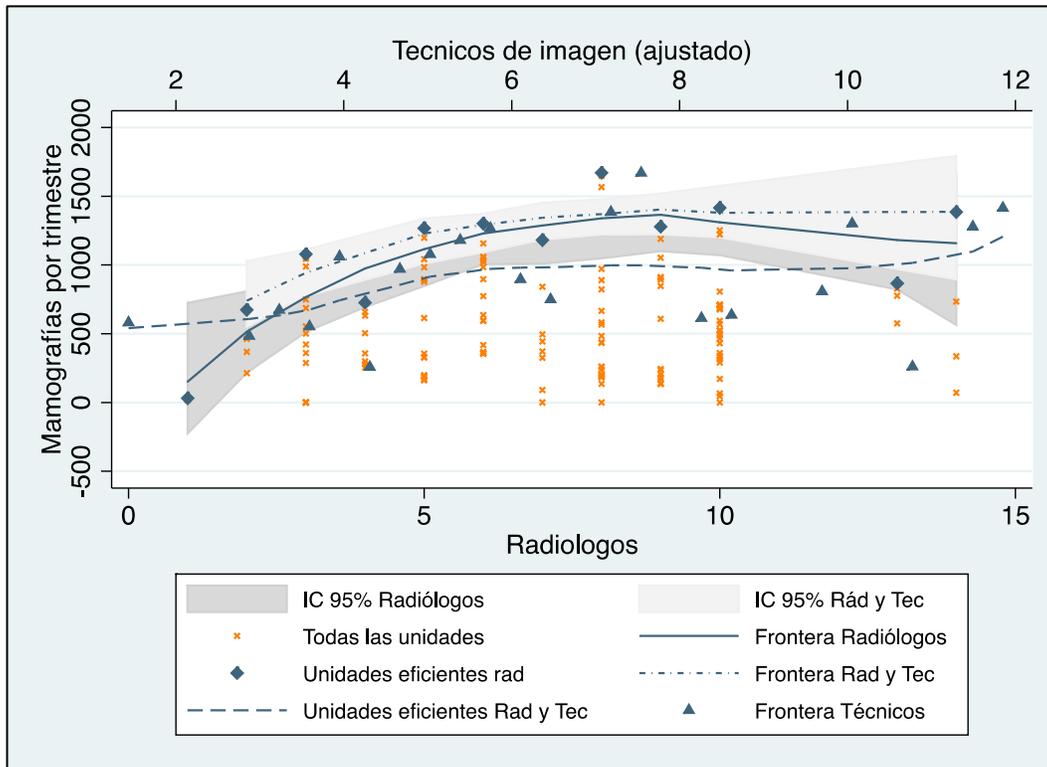
A las unidades que después de la suavización Lowess se ubicaron por encima de la frontera les imputamos el valor predicho por la suavización y las clasificamos como unidades eficientes *ex post*. Dado que el conjunto de unidades eficientes identificadas en el primer algoritmo de búsqueda incluyó a una observación por nivel de cantidad radiólogos y LOWESS descartó a ciertas unidades para pertenecer a la frontera, se corrió una interpolación lineal con Stata (módulo

*ipolate*) para obtener valores predichos para todos los niveles de intensidad de factores (técnicos y radiólogos).

Bajo el criterio de la cantidad de radiólogos, nuestro método de búsqueda identificó como eficientes a 12 de las 38 unidades analizadas. 21 hospitales fueron catalogados eficientes al identificar aquellos con la mayor cantidad de mastografías producidas para cada nivel de técnicos de Imagenología. Finalmente, 9 unidades fueron catalogadas como eficientes bajo ambos esquemas. Aunque se contó con 4 observaciones (trimestres) por unidad, las 9 observaciones eficientes pertenecieron a distinto hospital.

En la Figura 4 se muestran las fronteras de producción estimadas con LOWESS bajo los tres criterios antes descritos. Un primer hallazgo es que la frontera mastografías-técnicos parece ser estadísticamente indistinguible de una recta, y además subestima la eficiencia técnica al comparársele con las otras dos fronteras. Tanto en la frontera de radiólogos como en la que consideró la intersección de unidades eficientes, se aprecia una concavidad consistente con los resultados de la función de producción Translog.

**Figura 4**  
Fronteras semi-paramétricas de producción de mastografías



Construimos intervalos de confianza punto a punto para las fronteras de radiólogos y la intersección radiólogos-técnicos, con el módulo *running*<sup>71</sup> de Stata. Se aprecia que estadísticamente, ambas fronteras no son distintas. A partir de radiólogos se obtuvo entonces una frontera bien definida y a partir de ésta se estimaron los scores de eficiencia técnica. Este análisis nos permite cómodamente decidir que radiólogos es un buen criterio para modelar la frontera de posibilidades de producción en este conjunto de unidades.

### Resultados de la estimación del puntaje de eficiencia técnica

Los resultados de la estimación del nivel de eficiencia técnica, estimados con funciones distancia se resumen en el Cuadro IV. Con el método híbrido el valor medio en las unidades bajo estudio fue 0.48. La mitad de las unidades tuvo un score de eficiencia de 0.43 o menos, y el percentil 75 de la distribución se ubicó en 0.72. Este resultado indica que, colectivamente, esta muestra de hospitales está un 52% por debajo de su límite de producción. De eliminar por completo las

fuentes de ineficiencia, estas unidades podrían producir la misma cantidad de mastografías disminuyendo en un 52% la cantidad de médicos radiólogos y técnicos de Imagenología. También se observó que la media del puntaje de eficiencia técnica fue 0.43 en las unidades que no operan en su frontera de producción, lo que implica que dichas unidades podrían doblar la de mastografías producidas para alcanzar la frontera definida por sus contrapartes eficientes. Con el método COLS, la eficiencia promedio fue de 0.59. En general, los resultados sugieren que se podrían ahorrar recursos o bien incrementar la capacidad instalada para ofrecer el servicio si todas las unidades operaran eficientemente.

#### Cuadro IV

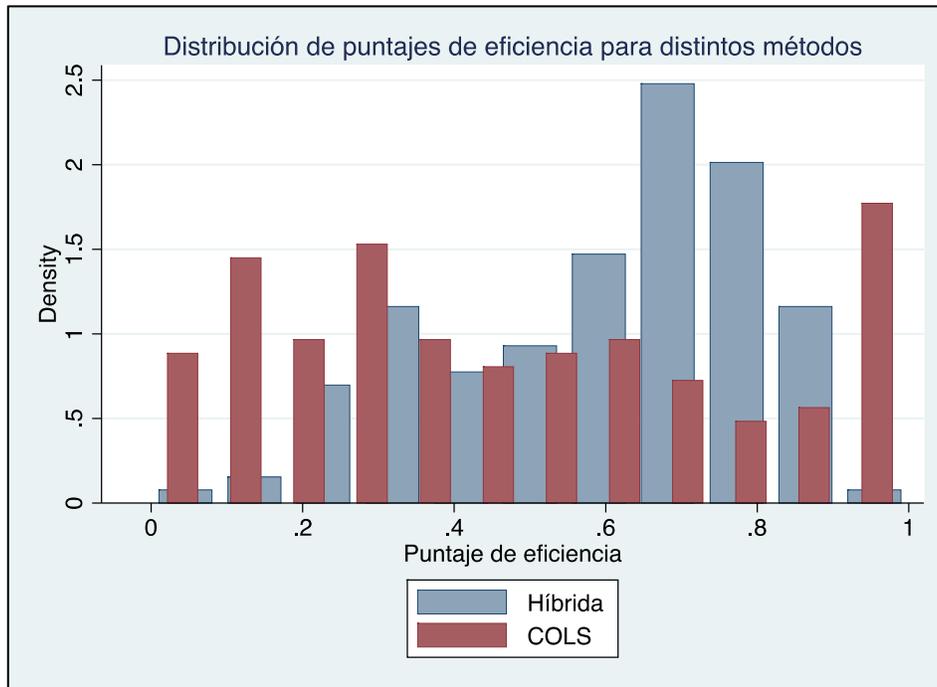
Comparación de scores de eficiencia entre métodos de estimación

	Frontera híbrida	COLS
Eficiencia media	0.483	0.591
Desv. est.	0.312	0.201
Mínimo	0.000	0.000
Máximo	1.000	1.000
Percentil 10	0.104	0.292
Percentil 25	0.195	0.451
Percentil 50	0.435	0.644
Percentil 75	0.729	0.747
Percentil 90	1.000	0.829
Eficientes	9	1
Rho de Spearman	0.92 (Prob >  t  = 0.0000)	
Tau-a de Kendall	0.73 (Prob >  z  = 0.0000)	
Tau-b de Kendall	0.82 (Prob >  z  = 0.0000)	

En la figura 3 se presenta la distribución del puntaje de eficiencia bajo ambos métodos. Bajo el método COLS aparece aproximadamente uniforme en el rango posible de valores mientras que en el híbrido, el centro de masa de los datos se ubica en el rango de 0.6 – 0.8.

#### Figura 3

Distribución del puntaje de eficiencia bajo los dos métodos de estimación



Entre ambos métodos, la concordancia entre los deciles de eficiencia tiene una media de 82%, igual al valor *tau-b* reportado en el Cuadro IV. En la muestra analizada, bajo ambas medidas de correlación, se rechaza la hipótesis nula de que ambas medidas de estimación de eficiencia son independientes ( $p\text{-val}<0.01$ ).

Los scores de eficiencia se convirtieron después en una variable dependiente que se intentó explicar con un conjunto de variables o restricciones relevantes (Cuadro V). En este análisis aprovechamos los conceptos de Coelli<sup>45</sup> y Wagstaff<sup>54</sup>.

**Cuadro V**  
Análisis de regresión sobre los puntajes de eficiencia

	<b>Frontera híbrida (semi- paramétrico)</b>	<b>Frontera COLS (paramétrico)</b>
Tercil 2 de cantidad producida <sup>(1)</sup>	0.295 [0.000]**	0.268 [0.000]**
Tercil 3 de cantidad producida <sup>(1)</sup>	0.672 [0.000]**	0.445 [0.000]**
Hospitales del ISSSTE <sup>(2)</sup>	0.081 [0.029]*	0.041 [0.126]
Hospitales de los SESA <sup>(2)</sup>	0.084 [0.013]*	-0.005 [0.861]
Hospitales en Entidad de ingresos medios <sup>(3)</sup>	0.034 [0.342]	0.067 [0.042]*
Hospitales en Entidad de ingresos altos <sup>(3)</sup>	0.066 [0.046]*	0.09 [0.012]*
Constante	0.061 [0.034]*	0.258 [0.000]**
Observaciones	149	142
R-cuadrada	0.82	0.805

<sup>(1)</sup> Categoría de referencia: Tercil 1 de cantidad producida

<sup>(2)</sup> Categoría de referencia: Hospitales del IMSS

<sup>(3)</sup> Categoría de referencia: Hospitales en Entidad de ingresos bajos

Coefficientes de regresión sin paréntesis, \* significativo al 5%; \*\* significativo al 1%

Valores *p* robustos en brackets

Se observa que bajo ambos modelos de estimación de eficiencia, un determinante importante es la escala de producción. Se crearon variables dicotómicas para indicar el tercil de cantidad producida en el que se ubicó cada unidad, y los resultados de la regresión mostraron que las unidades ubicadas en el segundo tercil fueron, dependiendo del método para calcular eficiencia, en promedio entre 27 y 30 puntos porcentuales más eficientes que aquellas ubicadas en el primer tercil ( $p\text{-val}<0.001$ ). Las unidades que pertenecieron al tercil superior fueron en promedio 67 y 45 puntos porcentuales más eficientes que las del primer tercil ( $p\text{-val}<0.001$ ).

Las unidades del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado (ISSSTE), exhibieron 8 puntos porcentuales más de eficiencia técnica

relativa ( $p\text{-val}<0.05$ ), comparadas con las del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). En el caso de las unidades de los Servicios Estatales de Salud (SESA), bajo el modelo híbrido se encontró una asociación positiva de 8 puntos porcentuales más de eficiencia técnica comparados con el IMSS ( $p\text{-val}<0.05$ ). En el modelo COLS, esta asociación es indistinguible de cero.

Las unidades ubicadas en estados de ingresos medios tuvieron en promedio 6.7 puntos porcentuales adicionales de eficiencia técnica, comparadas con aquellas pertenecientes a entidades de ingresos bajos ( $p\text{-val}<0.05$ ). Las unidades ubicadas en estados de ingresos altos, exhibieron consistentemente mayor eficiencia técnica relativa al grupo de comparación: 6.6 puntos en el modelo híbrido ( $p\text{-val}<0.05$ ) y 9 puntos en el modelo COLS ( $p\text{-val}<0.02$ ).

## Discusión

Los resultados del análisis de regresión sobre el puntaje de eficiencia técnica mostraron que éste está asociado positivamente con la escala de producción de mastografías. Las unidades ubicadas en los dos terciles superiores de la cantidad de mastografías producida tienen en promedio mayor eficiencia técnica ( $p<0.01$ ). Esto puede ser explicado porque las unidades que producen mayor cantidad de servicios (por iniciativa organizacional o porque se enfrentan a mayor demanda), mecanismos más ágiles de referencia y en general mejores sistemas de gestión derivados de la complejidad que representa administrar las listas de espera. También se encontró una asociación entre pertenecer a una entidad de ingresos altos y la eficiencia técnica relativa. Este hallazgo puede ser explicado por la mayor cobertura observada en los estados del norte del país<sup>30,31</sup> y el hecho que la mayor proporción de entidades del norte se ubicaron en la categoría de ingresos altos<sup>31</sup>.

Al hacerse un traslado paralelo de la recta de regresión en el método COLS, ésta no envuelve a los datos necesariamente de la mejor manera. Penaliza innecesariamente a unidades con residuales pequeños, y este ajuste puede ser problemático en presencia de heteroscedasticidad, como en el caso del modelo estimado. Aunque se realizaron pruebas de ajuste (normalidad de los residuales, homoscedasticidad), la estimación del score de eficiencia mediante el enfoque econométrico sigue siendo inherentemente determinista, ya que no es posible separar la ineficiencia del error idiosincrático o de posibles errores de medición.

En el análisis de eficiencia técnica de sistemas de salud es importante controlar por la calidad del servicio, mas no es claro cómo la calidad interactúa con el proceso productivo, esto es, el proceso de generación de datos es desconocido. El no incorporar una medida de calidad a los resultados resulta en estimaciones sesgadas, ya que desde la perspectiva de los costos, una unidad que atiende una mezcla de pacientes más complicados resulta ineficiente comparada con hospitales cuya mezcla es menos intensiva en recursos.

Más aún, cuando se intenta medir eficiencia distributiva, el factor calidad entra directamente en la función de costos. El problema es que la calidad es un concepto amplio y al igual que la eficiencia técnica son procesos no observables. Desde la perspectiva teórica, una pregunta fundamental pendiente de responder es si la calidad es algo que los hospitales producen junto con otros bienes o servicios o bien entra como insumo en la producción, junto con el personal y equipo<sup>72</sup>. Este problema se vuelve mayor si el objetivo es medir la eficiencia desde la perspectiva de los costos, ya que la inversión que las unidades hacen en mantenimiento de los equipos y entrenamiento del personal pudiera ser captado como ineficiencia si no se define una medida integral de eficiencia. Una ventaja de los servicios de tamizaje es que se cuenta con medidas duras como la sensibilidad y especificidad de las pruebas, y así es posible construir una medida de calidad intermedia en lo que se refiere a la adecuada detección de casos positivos de

cáncer. La intención final de producir más mastografías y mejor interpretadas es evitar las muertes con un diagnóstico oportuno.

## Conclusiones

Mediante un simple modelo empírico, la estimación de los niveles actuales de eficiencia técnica relativa en la producción de mastografías de una muestra de unidades públicas de México reveló una amplia variabilidad en productividad. De acuerdo a nuestros resultados, estos hospitales podrían incrementar su nivel de producción de servicios de diagnóstico para cáncer de mama sin incrementar la capacidad instalada, sugiriendo un potencial para mejorar la cobertura. Si la eficiencia en la producción fuera maximizada, los recursos liberados podrían ser invertidos en distintos aspectos como mayor infraestructura, incremento en la frecuencia de tamizaje en población de alto riesgo o entrenamiento del personal para mejorar la calidad del diagnóstico.

Bajo nuestros enfoques semi-paramétrico y paramétrico, la alta variabilidad observada en el desempeño en productividad de las unidades brinda evidencia *prima facie* de que el sistema de salud mexicano sufre de pérdidas significativas de recursos (y potencialmente beneficios en salud a pacientes) debido a la presencia de ineficiencia productiva en la realización de mastografías. Por lo tanto, el logro de las metas de cobertura de tamizaje de cáncer de mama en el país dependen de manera importante de cómo entendemos la eficiencia técnica y cómo mejorarse a través de reingeniería y políticas públicas.

México cuenta con alrededor de 650 mastógrafos, lo que arroja una disponibilidad de 38.7 mastógrafos por millón de mujeres de 40 años y más. Estos mastógrafos generan un promedio de 4.5 mamografías por millón de habitantes para el grupo de riesgo de 50-69 años<sup>73</sup>. La cifra promedio de mamografías en los países de la OCDE es de 19.9 por millón de habitantes<sup>74</sup>. Existen en el país 2,700 radiólogos

certificados y sólo 43 de ellos con certificación específica en imagenología de las glándulas mamarias.

Existen importantes obstáculos al logro de la cobertura efectiva de detección de cáncer de mama en México. Desde la perspectiva de la economía de la salud, la interacción de los determinantes de la oferta y demanda de servicios, en un mercado con pocos incentivos para la optimización<sup>68</sup>, información asimétrica e incertidumbre, como en el diagnóstico y en el pronóstico del tratamiento<sup>75</sup>.

La preocupación por la eficiencia para prestar servicios de tamizaje para cáncer de mama no se deriva de una postura únicamente tecnócrata sino también de un argumento moral, ya que no es ético que un sistema niegue a otras personas la posibilidad de obtener beneficios en salud sin costo extra para los proveedores de servicios<sup>76</sup>.

El sistema nacional de salud mexicano se encuentra bajo rediseño<sup>77</sup>, con miras hacia una integración funcional que garantice la portabilidad de derechos y que a su vez, genere mejoras en la eficiencia. Los servicios personales de salud deben prestarse con calidad técnica, respeto hacia los derechos de los pacientes y bajo un esquema de uso racional de recursos<sup>78</sup>. Así, una pregunta importante para los tomadores de decisiones es si las unidades prestadoras de servicios de salud en el país están produciendo eficientemente.

Es importante enfatizar que en ausencia de más y mejores datos para factores de trabajo, como el número de horas-hombre efectivas destinadas a la realización de mastografías como medida real de la productividad laboral, estos resultados son más indicativos que medidas definitivas de eficiencia técnica. Las conclusiones de este trabajo apuntan hacia focos problemáticos que sirven para formular otras preguntas de investigación.

## Limitaciones

Este estudio presenta algunas limitaciones sustanciales que estudios futuros deberán de superar. Las principales son el pequeño tamaño de muestra que limita la generalización de los hallazgos y la selección no aleatoria de las unidades bajo análisis. Tanto los técnicos de Imagenología como los radiólogos realizan e interpretan, respectivamente, otros tipos de estudios como la radiología convencional, ultrasonidos y tomografías. No se contó con información suficiente para aislar la proporción del tiempo que el recurso humano dedica a producir mastografías y sus interpretaciones. Además, no fue posible determinar a qué grado la ineficiencia es explicada por variaciones en el tamaño y características de la demanda (como las barreras al acceso a la mastografía). No obstante estas importantes limitantes del presente trabajo, los resultados son indicativo de que se debe incrementar el esfuerzo para recolectar datos más detallados que mejoren la calidad del análisis.

La aproximación a una función analítica de producción debe realizarse con cautela dado que la manufactura es de naturaleza discontinua. Por esta razón, las aplicaciones econométricas para modelar fronteras de producción se han documentado con mayor frecuencia en problemas de agricultura o industrias de generación de energía o transporte de fluidos, donde es más realista asumir una medida continua de producción y consecuentemente el efecto en la variable de respuesta a cambios marginales en el uso de los factores<sup>55</sup>.

En resumen, existen sutiles pero importantes detalles técnicos a considerar para elegir las variables idóneas en el modelo econométrico. La especificación debe ser capaz de aislar el componente de ineficiencia de variables potencialmente observables, como el tamaño de la demanda y su caracterización epidemiológica, (como mayor prevalencia de factores de riesgo individuales y del ambiente), los costos en que incurren los pacientes para obtener el servicio o los mecanismos de

referencia; y las no observables como la distribución de la auto-percepción del riesgo en la población diana o el nivel de esfuerzo del personal responsable de realizar e interpretar los estudios. Además, todo modelo que intente medir eficiencia debe ser evaluado por su capacidad de manejar adecuadamente la variación entre hospitales en los parámetros técnicos del modelo, es decir, del proceso productivo. Esto apunta hacia la incorporación de un enfoque ingenieril con mediciones de tiempos y movimientos de la producción de mastografías e incorporando una medida de calidad del diagnóstico.

## **Consideraciones éticas**

Los aspectos éticos de este estudio fueron aprobados por la Comisión de Bioética del Instituto Nacional de Salud Pública. No se recolectó información que identificara al paciente para el componente de tiempos de espera, ni a los miembros del equipo de atención entrevistados en el cuestionario a nivel unidad.

## Referencias

- 
- <sup>1</sup> Curado MP. Breast cancer in the world: incidence and mortality. *Salud Publica Mex*. 2011 Sep-Oct;53(5):372-84.
- <sup>2</sup> Globocan Breast Cancer Fact Sheet. Breast Cancer Incidence and Mortality in 2008. Disponible en: <http://globocan.iarc.fr/factsheets/cancers/breast.asp>
- <sup>3</sup> Most frequent cancers: women. LYON: IARC; 2008 [cited 2008 18 de noviembre]; Available from: <http://globocan.iarc.fr/factsheets/populations/factsheet.asp?uno=900>.
- <sup>4</sup> Knaul FM, Nigenda G, Lozano R, Arreola-Ornelas H, Langer A, Frenk J. 2009. "Cáncer de mama en México: una prioridad apremiante". *Salud Pública de México*, vol. 51, sup. 2, pp. 335-344.
- <sup>5</sup> Institute for Health Metrics and Evaluation. *The Global Burden of Disease: Generating Evidence, Guiding Policy*. Seattle, WA: IHME, 2013.
- <sup>6</sup> Dumitrescu RG, Cotarla I. Understanding breast cancer risk -- where do we stand in 2005? *J Cell Mol Med*. [Research Support, U.S. Gov't, Non-P.H.S. Review]. 2005 Jan-Mar;9(1):208-21.
- <sup>7</sup> Mahoney MC, Bevers T, Linos E, Willett WC. Opportunities and strategies for breast cancer prevention through risk reduction. *CA Cancer J Clin*. [Review]. 2008 Nov-Dec;58(6):347-71.
- <sup>8</sup> Reeves KW, McLaughlin V, Fredman L, Ensrud K, Cauley JA. Components of metabolic syndrome and risk of breast cancer by prognostic features in the study of osteoporotic fractures cohort. *Cancer Causes Control*. [Research Support, N.I.H., Extramural]. 2012 Aug;23(8):1241-51.
- <sup>9</sup> Parkin DM. 1. The fraction of cancer attributable to lifestyle and environmental factors in the UK in 2010. *Br J Cancer*. [Introductory
- <sup>10</sup> Burke JP, Barry M, Kell MR. More on screening mammography. *The New England journal of medicine*. [Comment Letter]. 2011 Jan 20;364(3):281-2; author reply 5-6.
- <sup>11</sup> Valencia-Mendoza, A., Sánchez-González, G., Bautista-Arredondo, S., Torres-Mejía, G., & Bertozzi, S. M. (2009). Costo-efectividad de políticas para el tamizaje de cáncer de mama en México. *Salud Publica Mex*, 51(s2).
- <sup>12</sup> Bassett, L. W., R. H. Gold, et al. (1993). History of the technical development of mammography. Syllabus: A Cateorical Coursein Physics: Technical Aspects of Breast Imaging. A. G. Haus and M. J. Yaffe. Chicago, Radiological Society of North America: 9-20.

- 
- <sup>13</sup> Donegan, W. L. (1995). Introduction to the history of breast cancer. *Cancer of the Breast*. W. L. Donegan and J. S. Spratt. Philadelphia, W.B. Saunders Company: 1-15.
- <sup>14</sup> Smith, R. A. (2011). "International programs for the detection of breast cancer." *Salud Publica Mex* 53(5): 394-404.
- <sup>15</sup> Dodd, G. D. (1992). "American Cancer Society guidelines on screening for breast cancer. An overview." *Cancer* 69(7 Suppl): 1885-1887.
- <sup>16</sup> Shapiro, S. (1997). "Periodic screening for breast cancer: the HIP Randomized Controlled Trial. Health Insurance Plan." *J Natl Cancer Inst Monogr* 22: 27-30.
- <sup>17</sup> Tabar, L., S. W. Duffy, et al. (1999). "The natural history of breast carcinoma: what have we learned from screening?" *Cancer* 86(3): 449-462.
- <sup>18</sup> Brandan M, Villaseñor Y. (2006). Detección del cáncer de mama: estado de la mamografía en México". *Cancerología* 1: 147-162.
- <sup>19</sup> Bright, K., M. Barghash, et al. (2011). "The role of health system factors in delaying final diagnosis and treatment of breast cancer in Mexico City, Mexico." *Breast* 20 Suppl 2: S54-59.
- <sup>20</sup> INEGI. 2010. *Censos de Población y Vivienda, 1950-1970, 1990, 200 y 2010*. México.
- <sup>21</sup> Mishra, S. I., R. Bastani, et al. (2007). "Results of a randomized trial to increase mammogram usage among Samoan women." *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 16(12): 2594-2604.
- <sup>22</sup> Torres-Mejía G, Villaseñor-Navarro Y, et al. (2011). Validez y reproducibilidad de la interpretación mamográfica por radiólogos mexicanos, mediante el sistema BI-RADS. *RIC* 63(2).
- <sup>23</sup> Unger-Saldana, K. and C. B. Infante-Castaneda (2011). "Breast cancer delay: a grounded model of help-seeking behaviour." *Soc Sci Med* 72(7): 1096-1104.
- <sup>24</sup> Dowling, E. C., C. Klabunde, et al. (2010). "Breast and cervical cancer screening programme implementation in 16 countries." *J Med Screen* 17(3): 139-146.
- <sup>25</sup> Li, C. I., K. E. Malone, et al. (2003). "Differences in breast cancer stage, treatment, and survival by race and ethnicity." *Arch Intern Med* 163(1): 49-56.
- <sup>26</sup> Livaudais, J. C., G. D. Coronado, et al. (2010). "Educating Hispanic women about breast cancer prevention: evaluation of a home-based promotora-led intervention." *J Womens Health (Larchmt)* 19(11): 2049-2056.
- <sup>27</sup> Shtern F and Winfield D, Eds. (1999). *Report of the Joint Working Group on Telemammography/Teleradiology and Information Management*. Washington, D.C., U.S. Public Health Service's Office on Women's Health National Cancer Institute American College of Radiology.

- 
- <sup>28</sup> Sheybani, E. O. and R. Sankar (2002). "ATMTN: a telemammography network architecture." *IEEE Trans Biomed Eng* 49(12): 1438-1443..
- <sup>29</sup> Lawrence G, Kearins O, Lagord C, et al. 2007. The second all breast cancer report. West Midlands Cancer Intelligence Unit.
- <sup>30</sup> Olaiz-Fernández G, Rivera-Dommarco J, Shamah-Levy T, Rojas R, Villalpando-Hernández S, Hernández-Avila M, Sepúlveda-Amor J. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2006. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública, 2006.
- <sup>31</sup> Gutiérrez JP, Rivera-Dommarco J, Shamah-Levy T, Villalpando-Hernández S, Franco A, Cuevas-Nasu L, Romero-Martínez M, Hernández-Ávila M. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados Nacionales. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública (MX), 2012.
- <sup>32</sup> Martínez, S., C, M., Carrasquilla, G., Guerrero, R., C, M., Gómez-Dantés, H., C, M., et al. (2011). Cobertura efectiva de las intervenciones en salud de américa latina y el Caribe: métrica para evaluar los sistemas de salud. *Salud Pública de México*, 53(123).
- <sup>33</sup> Base de datos abierta: National Breast Screening Programme Statistics [Internet]. England National Health System 2010-2011 – [citado en Mayo 4, 2012]. Disponible en: <http://www.ic.nhs.uk/statistics-and-data-collections/screening/breast-screening/breast-screening-programme--england-2010-2011>
- <sup>34</sup> Secretaría de Salud. Programa de Acción: Cáncer de Mama. México, SS, 2002.
- <sup>35</sup> López-Carrillo L, Torres-Sánchez L, et al. (2001). Identificación de lesiones mamarias malignas en México. *Salud Pub Mex* 43(3): 199-202.
- <sup>36</sup> Secretaría de Salud 2011. NORMA Oficial Mexicana NOM-041-SSA2-2011, Para la prevención, diagnóstico, tratamiento, control y vigilancia epidemiológica del cáncer de mama. Diario Oficial de la Federación, México.
- <sup>37</sup> Healthor (2007 ). Keeping Oregonians Healthy: Preventig Chronic Diseases by Reducing Tobacco Use, Improving Diet, and Promoting Physical Activity and Preventive Screenings. Oregon Department of Human Services Public Health Division Health Promotion and Chronic Disease Prevention Program. , Oregon Department of Human Service.
- <sup>38</sup> Smith R (2007). "Introduction- The evaluation of service screening. ." *Seminars in breast diseases the context of healthcare utilization: assessing environmental and providerrelated* 10: 57-60.
- <sup>39</sup> Knaul, F. M., González-Pier, E., Gómez-Dantés, O., García-Junco, D., Arreola-Ornelas, H., Barraza-Lloréns, M., ... & Frenk, J. (2012). The quest for universal health coverage: achieving social protection for all in Mexico. *The Lancet*.

- 
- <sup>40</sup> Salinas-Martínez AM, Amaya-Alemán MA, Arteaga-García JC, Núñez-Rocha GM, Garza-Elizondo ME. Eficiencia técnica de la atención al paciente con diabetes en el primer nivel. *Salud Pública de México*, 2009; 51(1).
- <sup>41</sup> Ávila L, Hernández P, Cruz A, Zurita B, Terres A, Cruz C. Análisis de productividad, calidad y costos en laboratorios de primer nivel: la biometría hemática. *Revista de Salud Pública* 1999, 33(2): 163-70.
- <sup>42</sup> Torres-Mejía G, Campero L, Atienzo E, et al. 2011. The Latin American Early Detection Initiative for Breast Cancer (LAEDI BRACA) Mexico City Pilot Project. Instituto Nacional de Salud Pública, México.
- <sup>43</sup> Donabedian, A. (1990). The seven pillars of quality. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, 114(11), 1115.
- <sup>44</sup> Murray CJL. 2009. Assessing health system performance using information on effective coverage of interventions. Health Information System Knowledge Hub, Working Paper Series 3. Brisbane, Australia: School of Population Health, University of Queensland.
- <sup>45</sup> Coelli, T. J., Rao, D. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Springer Science+ Business Media.
- <sup>46</sup> Debreu, G. The Coefficient of resource utilization. *Econometrica* 1951; **19**: 273 – 292.
- <sup>47</sup> Farrell, M.J. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society Series A* 1957: **120**(3): 253 – 281.
- <sup>48</sup> Shephard RW, 1953. "Cost and production functions". Princeton Univ NJ.
- <sup>49</sup> Charnes, A., Cooper, W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- <sup>50</sup> Aigner, D., Lovell, C., & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production models. *Journal of Econometrics*, 6, 21-37.
- <sup>51</sup> Aragon, Y., Daouia, A., & Thomas-Agnan, C. (2005). Nonparametric frontier estimation: A conditional quantile-based approach. *Econometric Theory*, 21, 358–389.
- <sup>52</sup> Liu C, Laporte A, Ferguson BS. The quantile regression approach to efficiency measurement: Insights from Monte Carlo Simulations. *Health Econ*, 2008; 17:1073-1087.
- <sup>53</sup> Wilson, P., & Jadlow, J. (1982). Competition, profit incentives, and technical efficiency in the provision of nuclear medicine services. *Bell Journal of Economics*, 13, 472-482.
- <sup>54</sup> Wagstaff, A. (1989). Estimating efficiency in the hospital sector: A comparison of three statistical cost frontier models, *Applied Economics*, 21, 659-672.

- 
- <sup>55</sup> Worthington A. 2004. "Frontier Efficiency Measurement in Healthcare: A Review of Empirical Techniques and Selected Applications". *Medical Care Research and Review* 61(2), pp. 1-36.
- <sup>56</sup> Jacobs R. 2000. *Alternative Methods to Examine Hospital Efficiency: Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis*. The University of York, Centre for Health Economics. Discussion paper no. 177.
- <sup>57</sup> Kneip, A., Simar, L., & Wilson, P. (2008). Asymptotics and consistent bootstraps for DEA estimators in non-parametric frontier models, *Econometric Theory*, 24, 1663–1697.
- <sup>58</sup> Kneip, A., Simar, L., & Wilson, P. (2009). A computationally efficient, consistent bootstrap for inference with nonparametric DEA estimators. Discussion paper #0903, Institut de Statistique, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium.
- <sup>59</sup> Kittelsen, S. (1999). Monte Carlo simulations of DEA efficiency measures and hypothesis tests. Unpublished working paper, memorandum no. 09/99, Department of Economics, University of Oslo, Norway.
- <sup>60</sup> Schmidt P, Lin T. 1984. "Simple tests of alternative specifications in stochastic frontier models." *Journal of Econometrics*, vol. 24, pp. 349-361.
- <sup>61</sup> Varian, H. R. (1992). *Microeconomic analysis* (Vol. 2). New York: Norton.
- <sup>62</sup> Diewert WE. "An application of the Shepard Duality Theorem: A Generalized Leontief Production Function". *J Polit Econ* 79(1971):461-507.
- <sup>63</sup> Diewert WE, Wales TJ. "Flexible Functional Forms and Global Curvature Conditions". *Econometrica* 55(1987):43-68.
- <sup>64</sup> Smith PC, Street A. 2004. "Measuring the efficiency of public services: the limits of analysis". Centre for Health Economics, University of York.
- <sup>65</sup> Konstantinos, G., Kien, T., & Vangelis, T. (2003). On the choice of functional form in stochastic frontier modeling. *Empirical Economics*, 28, 75-100.
- <sup>66</sup> Wagstaff, A., & Wang, L. C. (2011). A hybrid approach to efficiency measurement with empirical illustrations from education and health, Vol. 1 of 1. *World Bank Policy Research working paper ; no. WPS 5751*. Accesado desde: [http://econ.worldbank.org/external/default/main?pagePK=64165259&piPK=64165421&theSitePK=469372&menuPK=64166093&entityID=000158349\\_20110803110203](http://econ.worldbank.org/external/default/main?pagePK=64165259&piPK=64165421&theSitePK=469372&menuPK=64166093&entityID=000158349_20110803110203)
- <sup>67</sup> Newhouse JP. 1994. Frontier estimation: how useful a tool for health economics? *Journal of Health Economics* 13: 317–322.
- <sup>68</sup> Jacobs R, Smith PC, Street A. 2006. A comparison of SFA and DEA. In: *Measuring*

---

Efficiency in Health Care. Cambridge University Press: Cambridge, 151–167.

<sup>69</sup> INEGI. 2006. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa 2001-2006. Sistema de Cuentas Nacionales de México.

<sup>70</sup> Bedrick EJ, Tsai C-L. Model Selection for Multivariate Regression in Small Samples. *Biometrics* 1994; 50(1):226-231.

<sup>71</sup> Stata Technical Bulletin. Pointwise confidence intervals for running. Authors: Peter Sasieni, Imperial Cancer Research Fund, London, UK. Patrick Royston, Imperial College School of Medicine, UK.

<sup>72</sup> Mutter, R. L., Rosko, M. D., Greene, W. H., & Wilson, P. W. (2011). Translating Frontiers Into Practice: Taking the Next Steps Toward Improving Hospital Efficiency. *Medical Care Research and Review*, 68(1 suppl), 3S-19S.

<sup>73</sup> Gómez-Dantés, O., Sesma, S., Becerril, V. M., Knaul, F. M., Arreola, H., & Frenk, J. (2011). Sistema de salud de México. *Salud pública de méxico*, 53(suplemento 2).

<sup>74</sup> OECD: Health at a glance 2007. OECD indicators. Paris: OECD, 2007.

<sup>75</sup> Landon, B. E., I. B. Wilson, et al. (1998). "A conceptual model of the effects of health care organizations on the quality of medical care." *JAMA* 279(17): 1377-1382.

<sup>76</sup> Kirigia JM, Sambo LG, Scheel H. 2001. "Technical efficiency of public clinics in Kwazulu-natal province of South Africa". *East African Medical Journal*, 78(3): S1-S13.

<sup>77</sup> Frenk, J., González-Pier, E., Gómez-Dantés, O., Lezana, M. Á., & Knaul, F. M. (2012). Reforma integral para mejorar el desempeño del sistema de salud en México.

<sup>78</sup> Plan Nacional de Salud 2007-2012 [Internet]. Secretaría de Salud, México. Disponible en:  
[http://www.conadic.salud.gob.mx/pdfs/programas/pns\\_version\\_completa.pdf](http://www.conadic.salud.gob.mx/pdfs/programas/pns_version_completa.pdf)