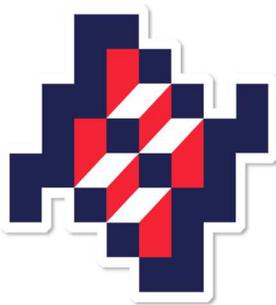


**INSTITUTO NACIONAL DE SALUD PÚBLICA**



**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ÁREA DE CONCENTRACIÓN EN ECONOMÍA  
DE LA SALUD**

**ALUMNO:  
JUAN DAVID USCANGA CASTILLO**

**MATRÍCULA:  
2013141905**

**GENERACIÓN:  
2013 - 2015**

**TÍTULO DE ARTÍCULO:  
ANÁLISIS COSTO EFECTIVIDAD DE LA INTERVENCIÓN CON ESTUFAS  
EFICIENTES DE LEÑA EN MUJERES EN RIESGO DE DESARROLLAR EPOC  
SECUNDARIO A HUMO DE LEÑA EN MICHOACÁN**

**COMITÉ DE TESIS:  
DIRECTOR:  
MTRO. SERGIO BAUTISTA ARREDONDO**

**ASESORES:  
DRA. ASTRID SCHILMANN HALBINGER  
DR. GILBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ**

**Cuernavaca, Morelos; septiembre 2015**

## Contenido

Resumen.....	3
Introducción.....	4
Métodos .....	8
Población y tamaño de muestra .....	9
Escenarios a comparar .....	9
Modelo .....	10
Parámetros del modelo.....	10
Resultados.....	16
Discusión.....	19
Referencias.....	22
Anexos.....	25

## **Resumen**

El uso de combustibles sólidos para cocinar es uno de los diez factores prevenibles que contribuyen a la carga global de la enfermedad. En el año 2010 se estimó que cerca del 20% de la población mexicana era usuaria de estos combustibles sólidos. La exposición a contaminantes como son las partículas finas PM<sub>2.5</sub> generadas por la ineficiente combustión está asociada con el desarrollo de enfermedades respiratorias como la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) que afecta a las mujeres que cocinan con biomasa. La EPOC fue la cuarta causa de muerte en mujeres mayores de 60 años en el 2012 en México. Para combatir la contaminación intramuros diversos estudios señalan que la intervención con estufas eficientes contribuyen a la reducción de la exposición de humo de leña. Sin embargo, existen pocos estudios que midan el impacto en salud de este tipo intervenciones. El objetivo de esta investigación es evaluar los efectos y los costos en salud de un programa de estufas de leña en la región Purépecha de Michoacán para evitar nuevos casos de EPOC en mujeres jóvenes que utilizan combustibles sólidos para cocinar; así como también evaluar el efecto incremental de un escenario con reparación; y un escenario sin implementación del programa. Se diseñó un modelo Markov de tipo probabilístico para efectuar el análisis comparativo de los tres escenarios. Los resultados muestran que el programa de intervención con estufas eficientes con un componente de reparación es el que presenta un menor número de casos detectados de EPOC para una cohorte simulada de mil mujeres con una probabilidad del 27.5% de que una mujer desarrolle la enfermedad, en comparación con 30.8% del escenario de estufa sin reparación y 36.8% de casos para el escenario de no intervención. Tomando como referencia al escenario de no intervención se encontró que el escenario con componente de reparación evita 25.3% más de casos; mientras que el escenario sin el componente evita 16.1% de casos en comparación con la no intervención. Se concluye que los escenarios de estufa estándar y con componente de reparación son altamente costo efectivos dado que el costo de reducir un punto porcentual el número de casos es menor al 1 PIB per cápita.

**Palabras clave:** Costo-efectividad, estufas de leña, EPOC, casos evitados, modelo de Markov, reparación.

## **Introducción**

De acuerdo con la OMS, la EPOC es la cuarta causa de muerte a nivel mundial y la presencia de nuevos casos está en aumento(1). La EPOC es una enfermedad inflamatoria crónica en las vías respiratorias inferiores que tiene como principales consecuencias la continua hospitalización y las discapacidades(2)(3). Además se caracteriza por la limitación al flujo de aire que no es totalmente reversible y usualmente progresiva(4). Se estima que para los países desarrollados, la prevalencia de esta enfermedad se encuentra entre el 3% y el 6% para población mayor a 50 años(5); mientras que, en los países como los latinoamericanos presentan prevalencias altas como el caso de Uruguay con el 19.7% y México con el 7.8% para población mayor a 40 años(6). En el caso mexicano, se ha presentado un incremento en las tasas de mortalidad para esta enfermedad, entre el 2001 y el 2005 aumentó del 15.2 al 19.0 muertes por cada 100 mil habitantes(7).

En el año 2012, la EPOC fue la cuarta causa de muerte en México en mujeres mayores de 60 años por debajo de otras enfermedades crónico degenerativas como son la diabetes mellitus y enfermedad isquémica del corazón(7). Además del incremento en muertes, otra consecuencia del desarrollo de la EPOC son los altos costos para atender a los pacientes.

Un estudio en el 2001 por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) calculó que los costos promedio por paciente por año superan los \$73 mil pesos(8). En otro estudio llevado a cabo por el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER) se estimó que el gasto por paciente con EPOC por cada día de hospitalización es de \$2,290; en el área de urgencias la atención cuesta \$3 mil; y dependiendo la gravedad del paciente los costos pueden llegar hasta los \$400 mil en terapia intensiva(9).

El factor de riesgo principal para desarrollar EPOC es el tabaquismo, mientras que el segundo factor es la exposición al humo de leña, principalmente en las regiones rurales de países como México, Colombia, Nepal y Nueva Guinea(5). Se estima que cerca de la mitad de la población mundial utiliza combustibles de biomasa para cocinar como son el carbón, la madera, el estiércol y residuos de cultivo. A la

contaminación que se genera en hogares donde se utilizan los combustibles de biomasa para cocinar y/o el carbón se le conoce como contaminación intradomiciliaria(10). La combustión de este tipo de combustibles emite humo que contiene varios contaminantes del aire, tal como las  $PM_{2.5}$  (material particulado con un diámetro menor de  $2.5 \mu m$ ), dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono (CO)(11). Las emisiones por la quema de estos combustibles incrementan la probabilidad de desarrollar EPOC, infecciones respiratorias, asma y cáncer en vías respiratorias(10)(12).

Estudios de la OMS señalan que el uso de combustibles sólidos esta entre los diez principales factores de riesgo prevenibles que contribuyen a la carga global de la enfermedad en todo el mundo(13). Se ha calculado que más de 1.5 millones de muertes por año a nivel mundial son atribuibles al uso de combustibles sólidos en el hogar de ellos cerca de 1 millón se deben a enfermedad respiratoria aguda en niños menores de 5 años(13). En México, cerca de 20 millones de personas utilizan biomasa para cocinar(14). Se estima que el 80% de los hogares en la región Purépecha de Michoacán utilizan leña para cocinar(15). En regiones de África subsahariana y el sur de Asia se utilizan los combustibles sólidos entre el 80 y el 90% de los hogares(16).

Las estufas eficientes de biomasa se han diseñado e implementado en diferentes partes del mundo a partir de mediados de 1970 como una alternativa para reducir los impactos negativos por el uso de biomasa en fogones abiertos en diferentes ámbitos como son la salud y seguridad de los usuarios, la deforestación, contaminación del aire y cambio climático por emisión de gases de efecto invernadero(15)(17). Es importante señalar que generalmente, en la literatura cuando se habla de una “estufa” no se refiere a la tecnología tradicional (fogón tradicional o abierto) y normalmente se acompaña de los adjetivos calificativos “mejorada” o “eficiente” para indicar que se trata de una nueva tecnología(15). Una de las estufas que se ha utilizado en México para reducir la contaminación intramuros se llama Patsari. El nombre de esta estufa proviene de la lengua purépecha que significa “la que guarda calor”, y es una tecnología mejorada en base a la estufa Lorena, que ha sido ya implementada anteriormente en México y

en mayor medida en Guatemala(18). El diseño de Patsari resultó de la colaboración de investigadores y técnicos, así como comentarios de promotores y usuarias. Lo innovador de la estufa Patsari en comparación con Lorena es que se construye usando un molde metálico; tiene hornillas secundarias y túneles; se incluye una cámara de combustión; y tiene chimenea(18).

El Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiable (GIRA) es la Organización No Gubernamental (ONG) que ha desarrollado el proyecto de las estufas Patsari en México para promover el uso de energía sustentable desde mediados de los años 90 en colaboración con el Centro de Investigación en Ecosistemas de la UNAM. Hasta este momento se ha intervenido con 20 mil estufas alrededor del país, tan solo en la región Purépecha cerca de 1 mil 500(19). Existen algunos estudios sobre los beneficios de la intervención con estufas eficientes en el mundo. En el 2004 en Ghana se llevó a cabo un estudio que demostró que las características socioeconómicas de las mujeres influye en la elección de uso de estufa para cocinar. Los pobres se ven más afectados por los problemas de salud respiratorios debido a su gran dependencia de los combustibles sólidos en comparación con sus homólogos ricos. La pobreza y la falta de educación son los principales factores que influyen en la elección de combustible para cocinar, lugar de cocina y que afectan la salud respiratoria en Accra(20).

Entre el 2008 y 2009 se hizo un estudio piloto para promover la intervención y la compra de estufas con tecnología mejorada en 10 villas en Kenia. Las mujeres participantes reportaron como principales beneficios el usar menos leña, ahorro de costos de combustibles, reducción de humo, mejorar en la eficiencia de cocción de los alimentos y reducción de la irritación en los ojos(16).

En otro estudio realizado durante el 2005 y el 2006 en tres distritos de Uganda, los resultados en salud representaron el 7.36% del total de los beneficios económicos. El valor económico del tiempo ahorrado por hogar fue cercano a los 270 mil euros, el gasto en salud evitado de los hogares superó los 360 mil euros; mientras que los costos evitados por el sistema de salud fueron aproximadamente 140 mil euros(21).

En un estudio realizado en el 2010 en aldeas de la provincia de Guizhou en el sureste de China el beneficio individual de reducir la presencia nuevos casos de EPOC tuvo dos objetivos, uno fue el ahorro en gasto de tratamiento y el otro fue la reducción del riesgo individual de desarrollar EPOC. Mediante la intervención de estufas eficientes se estimaron entre 2870 y 4100 casos evitados de EPOC por cada año(22).

En México, el proyecto Patsari implementó una encuesta de la contaminación del aire en interiores sin considerar los casos evitados de EPOC, obteniendo como resultados que la reducción de las quemaduras del 84% atribuibles a la estufa, ya que los casos reportados por quemaduras en las mujeres y los niños se redujo de 49 (usando fogón tradicional) a 8 casos con la Patsari. El porcentaje de hogares con miembros que sufren de enfermedad respiratoria aguda (medida con la tos) se redujo 74% con fogón tradicional a 30% adoptando la Patsari, Molestias en los ojos se redujo de 70% en los hogares con fogón abierto a 8% con la intervención(23)(19).

A pesar de que hay estudios que hacen estimaciones de riesgo y que probablemente seguirán encontrando otros daños sobre la salud, el reto es encontrar formas para reducir la exposición al riesgo y mejorar la salud. Existen combustibles alternativos como el gas de petróleo licuado (gas LP) que es fácil de utilizar y produce menos emisiones de contaminante. Sin embargo, es caro, no es accesible para todos y es hasta ajeno a la tradición familiar de modo de cocinar, además de que por malas condiciones de infraestructura no es viable en países en desarrollo sobre todo en zonas rurales(24).

La reducción a la exposición de partículas finas que se puede lograr usando estufas eficientes de leña, muestra un efecto protector con una menor caída en la función pulmonar que indica una disminución en el riesgo a desarrollar EPOC en una población de mujeres jóvenes. Para observar los beneficios en salud hace falta analizar una reducción sostenida de la exposición de humo de leña(25).

Para los fines de este estudio, es de interés analizar el nivel de exposición al humo de leña debido a que las enfermedades con mayor asociación a la contaminación

intramuros son las infecciones respiratorias, bronquitis crónicas en niños y la EPOC en mujeres(26).

Existe información para una cohorte de mujeres rurales jóvenes en la región Purépecha de Michoacán con datos longitudinales que completan un seguimiento a mediano plazo. Los resultados de un estudio previo para la misma población demuestran beneficios en salud obtenidos por la introducción de estufas Patsari en el costo plazo con una tasa de retorno costo-beneficio estimada entre 11.4:1 y 9:1 dólares(19).

En este documento se busca principalmente, evaluar los beneficios en salud y los costos de un programa de estufas de leña para evitar nuevos casos de EPOC en mujeres que utilizan combustibles sólidos para cocinar en Michoacán y el efecto incremental de un componente de reparación y la no intervención. Para tal efecto, se generó un modelo de Markov de tipo probabilístico que permite modelar los escenarios a comparar, la parametrización del mismo y finalmente, hacer un análisis costo efectividad incremental de los escenarios.

### **Métodos y Materiales**

Se realizó un Análisis Costo Efectividad (ACE) que es una forma de evaluación económica en la que se examinan tanto los costos como las consecuencias de los programas o tratamientos sanitarios(27)(28). El ACE puede utilizarse para determinar el tamaño o composición de una estrategia que sea más efectiva en función de los costos(29). En este estudio la intervención es reemplazar el uso del fogón tradicional por estufas con tecnología más sofisticada, además de ofrecer un componente de reparación. Los costos son iguales a la construcción e instalación de la estufa, mientras que los beneficios de interés están expresados en casos evitados de EPOC en mujeres para mediar el impacto en salud.

Dado que la EPOC es una enfermedad que se desarrolla después de una exposición crónica a la contaminación del aire se analizó un horizonte temporal de 8 años para estimar los costos y beneficios.

## **Población y tamaño de muestra**

Se retomaron los datos del estudio “Desarrollo tecnológico de estufas eficientes de leña y evaluación integral de sus impactos en el nivel de vida y familias rurales”, donde se incluyeron a 6 localidades de la región Purépecha de Michoacán, de las cuales se cuenta con información para una muestra de 257 mujeres que participaron en el estudio de seguimiento y contestaron al cuestionario sobre adherencia a la intervención.

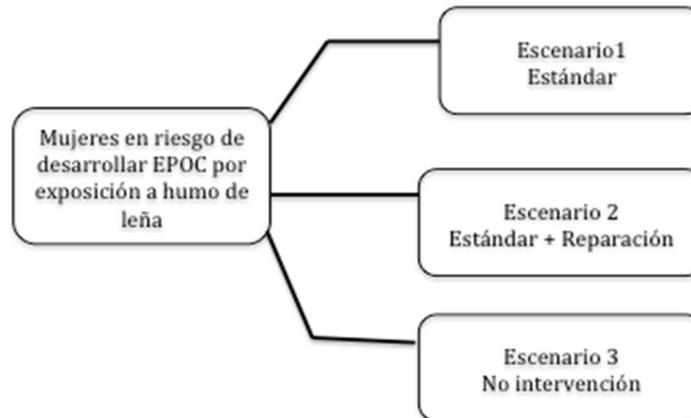
Al grupo de seguimiento se le hizo un recordatorio del uso de la estufa desde mediados del año 2006 hasta el 2011. A su vez, se tienen registros de auto reporte del uso de la estufa entre el 2012 y el 2013, así como también se realizaron pruebas de función pulmonar a mediano plazo.

## **Escenarios a comparar**

En este estudio se analizaron y compararon tres escenarios (ver figura 1), considerando al escenario 1 como el status quo, el cual es comparado con dos escenarios que se describen a continuación, donde el escenario 2 incluye un componente de reparación de la estufa:

- a) Escenario 1.- es la intervención estándar, se refiere a que la estufa es entregada y solamente hay un monitoreo que permite conocer quién usa o no la implementación. Normalmente en los programas oficiales no hay un seguimiento de esto.
- b) Escenario 2.- es la alternativa incremental del escenario estándar, es decir, además de entregar la estufa en este escenario se les repara la estufa a todas aquellas mujeres que cada año reportan abandono o destrucción de la estufa con el fin de que esto no sea un impedimento para que utilicen la intervención.
- c) Escenario 3.- Se usa esta alternativa para estimar el número de casos que desarrollarían la enfermedad en ausencia de programa, es decir, que suceden si toda la cohorte cocina solamente con fogón tradicional. En el análisis sirve como escenario de referencia.

Figura 1. Escenarios a comparar en el ACE



### **El modelo**

Se utilizó un modelo de Markov representado en forma de árbol de decisión (cycle-tree). Se trata de un modelo estocástico de una enfermedad en el que se asume que el paciente se encuentra siempre en uno de un número finito de estados de salud, los cuales deben ser mutuamente excluyentes y exhaustivos(30). El diseño del modelo consiste en tres brazos, donde cada brazo representa uno de los tres escenarios ver figuras 1, 2 y 3 del anexo 1). Para que el modelo sea probabilístico se utilizaron distribuciones en los parámetros. El Diseño del modelo, así como las simulaciones de Monte Carlo se realizaron con el software TreeAge Pro. En el anexo 2 se muestra la forma en que se insertaron los datos en el software.

### **Parámetros y datos del modelo**

#### **Estados iniciales**

Los estados iniciales se refieren a la proporción de cohorte que al comienzo de los ciclos del estudio (año cero) se encuentran distribuidos en cada uno de los estados, es este caso, que porcentaje de la cohorte inició en cada uno de los patrones de uso. De tal manera, que se analizaron cuatro estados: 1) Patsari; 2) combinado; 3) fogón; y 4) enfermas de EPOC. Este último estado es conocido como "estado de absorción" del modelo, que se refiere a que el individuo que a través de los ciclos llega a este sitio ya no cambia o regresa a otro.

Los ciclos en este estudio son anuales y el primero es el año 2005. Para este año los estados iniciales son los siguientes: 60% Patsari, 40% combinado, 0% tanto

para fogón como para enfermas de EPOC. Esta información sobre la adopción y uso inicial en la cohorte se describe en Pine(31).

### Nivel de exposición al contaminante

Se estimó el nivel de exposición a contaminantes presentes en el humo de biomasa en función del tipo del patrón de uso de dispositivos reportado para cocinar, uso exclusivo de estufa Patsari, uso combinado de estufa y fogón o uso de fogón tradicional. La información obtenida a través de un cuestionario retrospectivo permitió conocer el patrón de uso para cada año durante el periodo 2005 al 2013. La concentración del contaminante PM<sub>2.5</sub> se estimó a partir de un estudio de exposición a corto plazo (2005-2006), donde 78 hogares de la localidad de Comachuen fueron monitoreados durante 24 horas del día(23).

En el modelo se asignó una distribución gamma para cada nivel de exposición dado cada patrón de uso. Se obtuvieron las medias y las desviaciones estándar (ver cuadro 1), utilizando el valor promedio de los estadísticos.

Cuadro 1. Media y desviación estándar de concentraciones anuales promedio de PM<sub>2.5</sub> en µg/m<sup>3</sup> para cada año (N=257 mujeres, Michoacán, México).

Año	Patsari	Combinado	Fogón
2005	89.06 (10.41)	121.60 (13.36)	491.10 (43.27)
2006	90.83 (10.43)	120.75 (13.57)	486.91 (42.20)
2007	90.38 (10.67)	120.37 (13.69)	483.19 (50.77)
2008	90.18 (10.17)	119.79 (13.88)	475.02 (55.87)
2009	89.52 (10.50)	116.41 (15.44)	471.78 (56.48)
2010	84.95 (11.04)	115.79 (15.60)	467.11 (60.88)

2011	84.42 (11.21)	116.12 (15.16)	464.94 (61.99)
2012	83.63 (10.79)	112.77 (16.13)	462.89 (61.73)
2013	85.35 (12.33)	114.30 (15.77)	461.80 (60.94)
Promedio	87.59 (10.84)	117.55 (14.73)	473.86 (54.90)

### Desarrollo de EPOC

Para que una persona desarrolle la EPOC debe estar constantemente expuesta al contaminante dado que se trata de una enfermedad crónica. Se utilizó el modelo exposición respuesta (IER)(32) del estudio de Carga Global de la Enfermedad (Global Burden of Diseases, GBD) (ecuación 1) para encontrar los riesgos relativos (RR) de la población de acuerdo a su nivel de exposición.

$$RR_{IER}(Z) = 1 + \alpha \left\{ 1 - \exp \left[ -\gamma (Z - Z_{cf})^\delta \right] \right\} \quad (1)$$

donde z es el nivel de exposición al contaminante medido en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $z_{cf}$  es el nivel de contaminante para el contra-factual, utilizando un valor de  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se utilizó un rango para los parámetros de la ecuación a través de STATA para obtener los valores que minimizan el error cuadrático medio, obteniendo los valores de  $\alpha=30$ ,  $\gamma=0.0025$  y  $\Delta=0.55$ .

Una vez obtenido los valores de los parámetros, entonces se sustituyeron en la ecuación del modelo para obtener finalmente los RR por patrón de uso, obteniendo los siguientes valores que se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Riesgo relativo de EPOC para diferentes niveles de exposición al humo de leña de acuerdo a patrones de uso

Patrón de uso	Expo	Z-Zcf	RR
patsari	87.59	80.59	1.089
combinado	117.55	110.55	1.093
fogón	473.86	466.86	2.604

Finalmente, como se muestra en el cuadro 3 el RR se multiplicó por la prevalencia de la población no expuesta a humo de leña (7.7%)(6) para obtener la probabilidad de desarrollar EPOC en los expuestos al humo de leña.

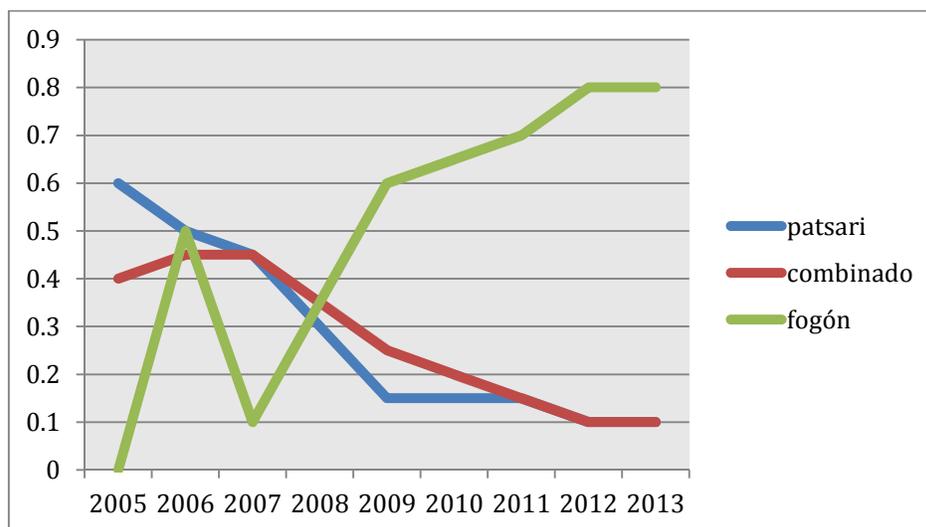
Cuadro 3. Probabilidad individual de desarrollar EPOC para datos puntuales representativos para cada patrón de uso

	usuarias Patsari	usuarias combinado	usuarias fogón
prevalencia en no expuestos a humo de leña 7.7%	0.084	0.084	0.201

### Continuación en uso de la estufa

La información obtenida del estudio permite observar los cambios en los patrones de uso a través del tiempo de seguimiento, tal como se muestra en la figura 2. Al inicio de la intervención hay una adherencia del 60% durante el primer año la cual va disminuyendo con el paso del tiempo, al igual que el uso combinado que inicia al 40%, en cambio el uso de fogón aumenta con el paso del tiempo, esto debido a factores como que el tiempo promedio de vida de al estufa es de 4 años, así como al hecho de que gran porcentaje de estufas son destruidas o simplemente abandonadas.

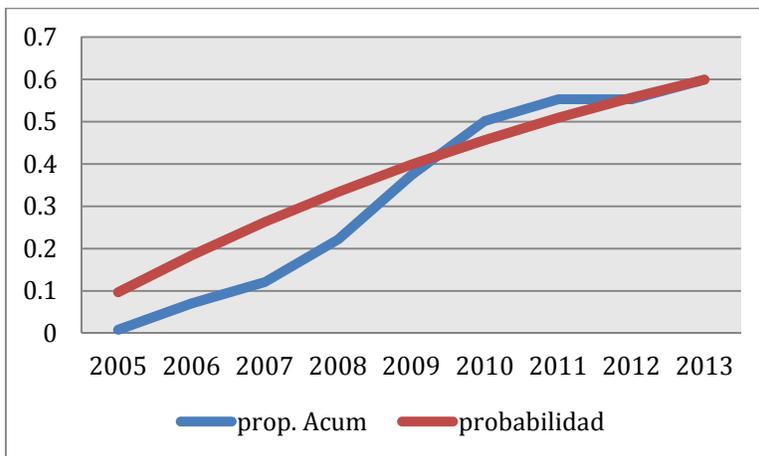
Fig. 2. Prevalencia de patrones de uso en el seguimiento



### No continuación del uso de estufa

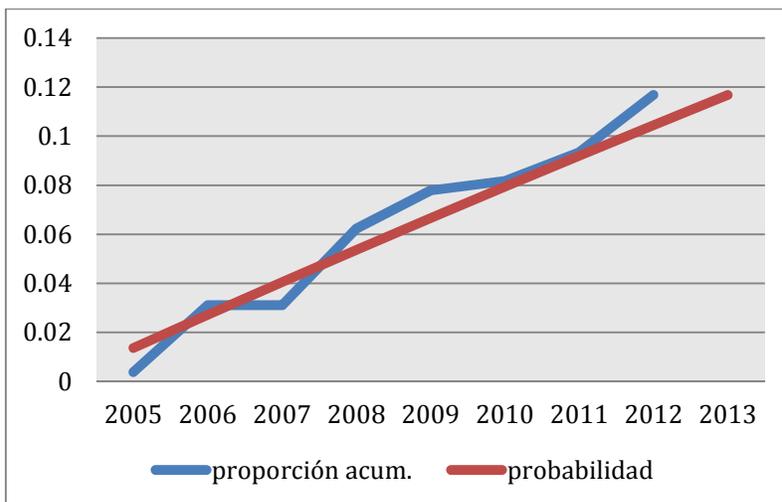
Se consideró que una mujer no continúa usando la estufa cuando reportaron haberlas abandonado o destruido, tal como se muestra en la figura 3. Cerca del 40% abandona o destruyó la estufa a la mitad del seguimiento, lo que significa que la vida útil promedio de la estufa Patsari es de 4 años(33).

Fig. 3. Tasa de abandono y de destrucción de la estufa



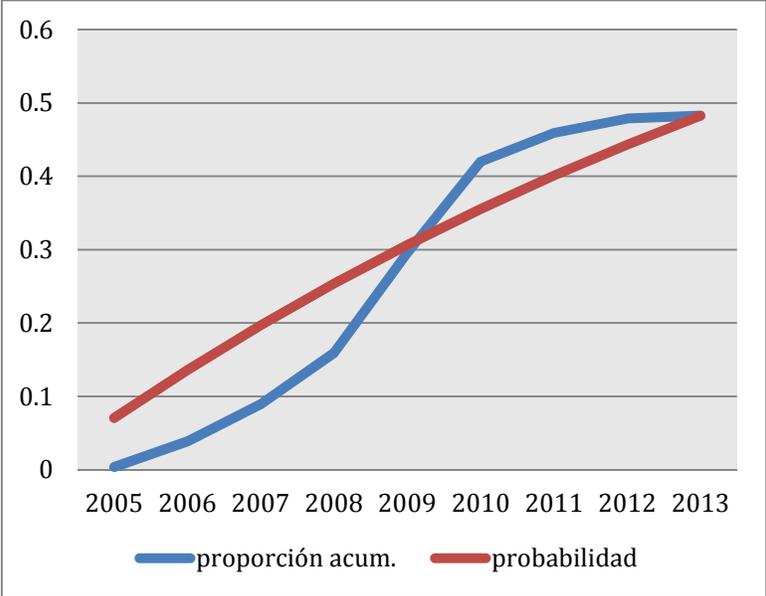
Posteriormente, se clasificó en aquellas mujeres que abandonaron y aquellas que destruyeron por separado. La tasa de abandono por todo el periodo fue baja, ya que al término del seguimiento está por debajo del 12%.

Fig. 4. Tasa de abandono de la estufa



Por otro lado, la tasa de destrucción presenta una mayor proporción; por ejemplo para el 2009 cerca del 30% de las mujeres reportan la destrucción de la estufa.

Fig. 5. Tasa de destrucción de estufa



**Reparación o no reparación**

Para el escenario 1 no se da la opción de reparar, es decir, es lo que comúnmente ocurre en este tipo programas donde la estufa es entregada por la financiadora y la estufa se deja de utilizar cuando se abandona o se destruye. Por otro lado, en el escenario 2 se asume que se realiza un monitoreo anual y se ofrece la reparación de todas las mujeres cuando es necesario.

**Costos de intervención**

Los costos están considerados como directos e indirectos, los primeros son a los que se incurren por el hecho de instalar la estufa en el hogar, en este caso son los materiales y la mano de obra. Por otro lado, los costos indirectos son aquellos en los que se incurre después de instalada la estufa y que van a variar de acuerdo al escenario de intervención. De acuerdo con la información proporcionada por el Dr. Víctor Berrueta de GIRA los costos de la intervención se muestran en el cuadro 4.

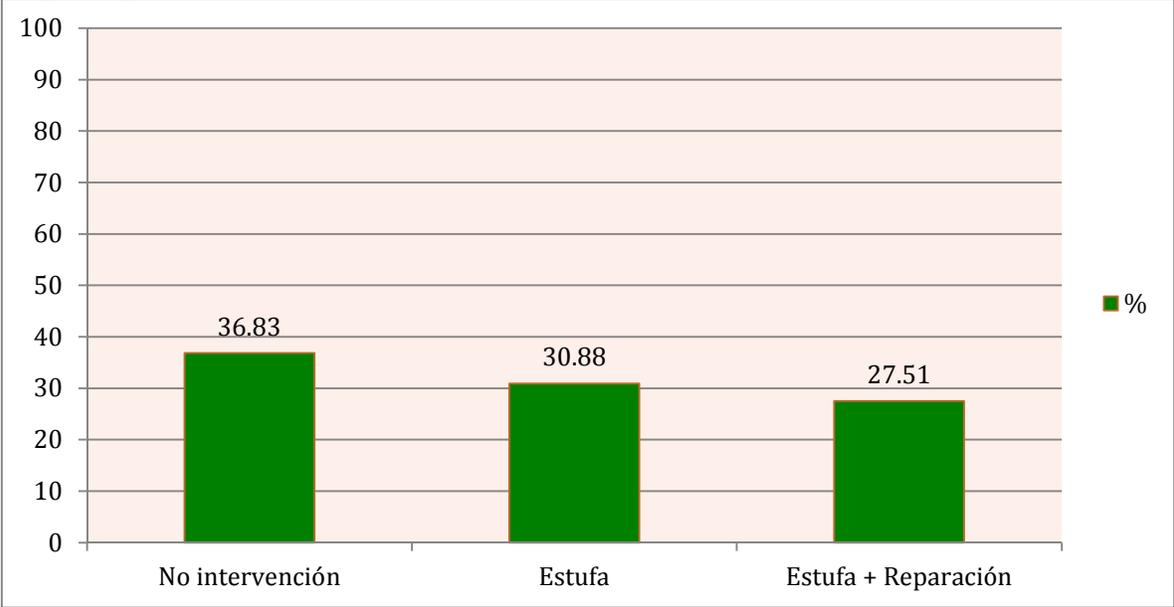
Cuadro 4. Costos de intervención de estufa en pesos

Costo por estufa	pesos mexicanos 2015
<b>Costos directos</b>	
Costos de mano de obra	550.00
Costos de material	1090.00
<b>Costos Indirectos</b>	
costo promedio de entrenamiento	40.00
costo promedio de monitoreo	300.00
<b>Total de Costos</b>	<b>\$ 1,980.00</b>

### Resultados

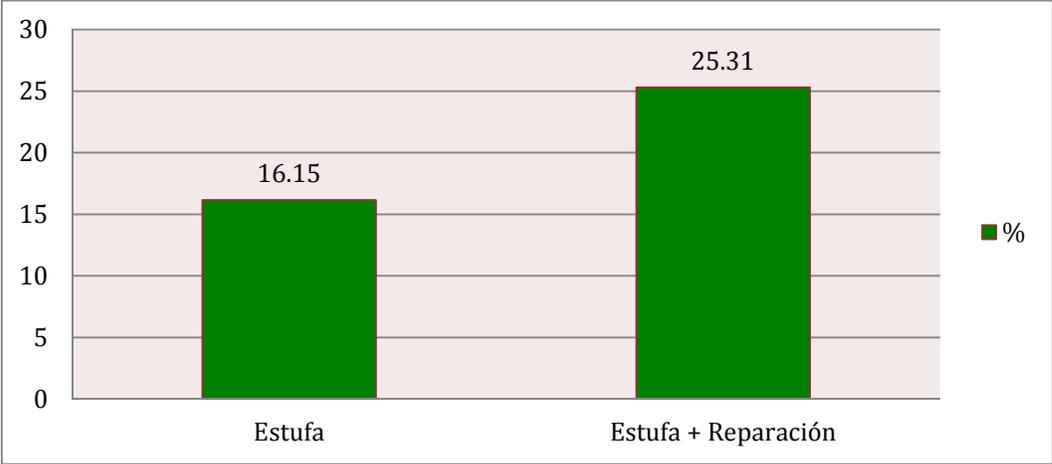
Se realizaron simulaciones de Monte Carlo de segundo orden de 1000 x 1000 (mil ensayos para una muestra de mil mujeres) para obtener las efectividades, costos, diferenciales y RCEI que se resumen en el cuadro 5. La medida de efectividad que se obtiene de manera directa de las simulaciones es la probabilidad que existe de que las mujeres de la cohorte desarrollen la enfermedad EPOC, lo que también puede ser visto como la prevalencia de casos que se encontraron en al cohorte. Por tanto, para el escenario 3, tomado como referencia, se encontró una prevalencia de enfermedad del 36.8% en una cohorte simulada de mil mujeres; mientras que en el escenario 1 se encontró una prevalencia del 30.1%; finalmente para el escenario 2 con el componente de reparación se encontró una prevalencia de 27.5% de casos de EPOC (ver figura 6).

Figura 6. Probabilidad de desarrollar EPOC en una cohorte simulada de 1,000 mujeres por escenario.



Dado que el resultado en salud de interés son los casos evitados de EPOC, se realizó un análisis con respecto al escenario de no intervención. Se encontró que en el escenario estándar de entrega de estufa se evitan 16.15% más de casos que en el escenario de no intervención. Por su parte, en el escenario donde existe el componente de reparación (escenario 2) se evitan 25.31% más de casos en comparación con la no intervención (ver figura 7).

Figura 7. Porcentaje de casos evitados por escenario respecto a la no intervención



Por otro lado, los costos promedio por mujer para cada escenario, donde el escenario 2 resulta ser el más costoso con un promedio de \$6,796 superando al escenario 1 que tiene un costo promedio de \$2,390. El escenario 3 no presenta costos ya que se asume que en este no se entregan estufas y por tanto no se incurre en costos.

Para comparar los escenarios se utilizó la Razón Costo Efectividad Incremental (RCEI) como se muestra en el cuadro 5, se encontró que reducir en 1 punto porcentual la prevalencia de enfermos del escenario 1 con respecto a la no intervención tiene un costo de \$401 pesos; mientras que, reducir en un punto porcentual la prevalencia de enfermas de EPOC tiene un costo de \$728 pesos.

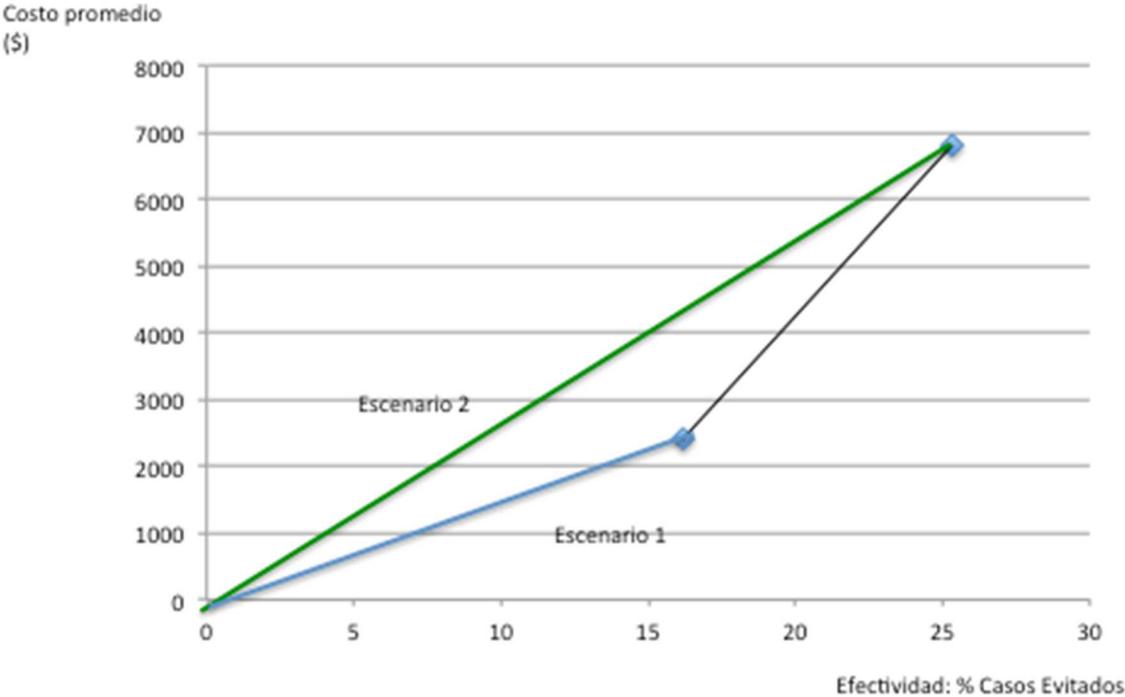
Cuadro 5. Resultados por escenario, diferencial entre escenarios y RCEI de la simulación de Monte Carlo de segundo orden

	No intervención (Escenario 3)	Estufa estándar (Escenario 1)	Estufa + Reparación (Escenario 2)
Probabilidad de desarrollar EPOC	0.368 (0.337, 0.399)	0.309 (0.280, 0.337)	0.275 (0.248, 0.303)
Reducción de casos de EPOC (p.p.)	-	5.956 (5.831, 6.082)	9.328 (9.2086, 9.448)
Costo promedio por hogar con intervención(\$)	0	2390.587 (2370.27, 2410.90)	6796.673 (6532.45, 7060.89)
Costo por reducción de 1 punto porcentual de casos de EPOC		\$401.35	\$728.64

\*Intervalos de confianza al 95%

Finalmente, en la figura 8 se muestra un plano costo-efectividad donde se puede ver que ambos escenarios de interés son más efectivos, pero también más costosos que el escenario de referencia, la no intervención. Utilizando el PIB per cápita como disponibilidad a pagar, se concluye que ambos escenarios son altamente costo efectivos dado que ninguno rebasa el 1 PIB per cápita que para México es de \$177,156 pesos<sup>1</sup>.

Figura 8. Plano Costo- Efectividad



**Discusión**

Las intervenciones de estufas eficientes tienen poco historial de evaluación sobre el terreno, incluso para los resultados relativamente básicos, tales como las tasas de adopción o el ahorro de combustible.

De los datos tomados del estudio se puede ver que una fracción importante de los hogares no adopta la tecnología. Las tasas de adopción aumentan para las personas que ya tenían acceso a gas LP.

<sup>1</sup> Con información del Banco Mundial, PIB per cápita de México \$10, 360 dólares. Convertidos a pesos mexicanos a precios del día lunes 14 de septiembre: 1 dólar = 17.10 pesos.

No se tiene la contaminación medida, se trabaja con estimaciones, por lo que la relación no es directa con EPOC, se tienen que hacer supuestos del daño pre-clínico al riesgo de desarrollar la enfermedad.

Una fuerte limitante en el estudio es la carencia de información sobre prevalencia ajustada por enfermedad, únicamente se conto con datos del estudio platino y que son datos para población mayor a 40 años.

El tiempo de sobrevivencia de la estufa es de aproximadamente 4 años, lo que puede estar provocando aumentos en las tasas tanto de abandono como de destrucción antes o a mitad del horizonte temporal.

El hecho de que el uso combinado de estufa y combinado sea inevitable dificulta la diferenciación entre los escenarios, ya que el nivel de exposición acumulado entre el cocinar sólo con estufa Patsari y uso combinado son parecidos a través del tiempo, la diferencia se nota al analizar cualquiera de estos patrones con el uso exclusivo de fogón.

En el modelo se tiene la limitante de que los estados de Markov no son etapas de la enfermedad, más bien se trata de la proporción de cohorte por patrón de uso lo que no permite hacer conclusiones directas de la medida de efectividad.

La principal ventaja del modelo Markov implementado es que se no se utilizaron datos puntuales, más bien se utilizaron distribuciones de probabilidad, lo que permite analizar incertidumbre en los parámetros como un análisis de sensibilidad.

Una de las principales fortalezas de este trabajo es el contar con información del estudio de seguimiento, con lo cual se pudo analizar el comportamiento de cambios de patrón de uso para cocinar. A su vez, en la función de riesgo a desarrollar EPOC se medio la acumulación promedio de exposición al contaminante dependiendo al patrón de uso en cada uno de los ciclos.

Una fortaleza de este trabajo es que se contó un información detallada de los costos de la intervención con estufa Patsari, ya que para estufas diseminadas en otras partes del mundo no existe más que información de los costos totales, tal y como lo presenta la organización Global Alliance for Clean cookstoves en su website.

Además, en este documento se intentó hacer un análisis costo efectivo del seguimiento de la intervención y son escasos los estudios que se han hecho, en el caso de México sólo hay un estudio de costo beneficio de la misma población en estudio pero para un año.

El escenario 3 (sin intervención), sirve para respaldar la idea de que a pesar de que los programas de estufas eficientes implementados hasta el momento no dan un seguimiento del funcionamiento del mismo, se sigue comprobando que este tipo de intervenciones son necesarias ya que contribuyen a la disminución de exposición del contaminante, y por tanto a disminuir el riesgo de desarrollar la enfermedad.

Para mejorar este estudio, sería necesario conocer la supervivencia de una persona con EPOC para años de vida ganados que sería otra medida de resultado que nos permitiría identificar el costo por año de vida ganado y tomar una decisión entre los escenarios en base al PIB per cápita tal y como lo sugiere la Sociedad Internacional de Farmacoeconomía e Investigación de Resultados (ISPOR, por su siglas en inglés).

## Referencias

1. Chronic Respiratory Diseases [Internet]. World Health Organization. Available from: <http://www.who.int/respiratory/copd/burden/en/index.html>
2. Holland AE, Mahal A, Hill CJ, Lee AL, Burge AT, Moore R, et al. Benefits and costs of home-based pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease - a multi-centre randomised controlled equivalence trial. *BMC Pulm Med* [Internet]. 2013 Jan;13:57.
3. Boland MRS, Tsiachristas A, Kruis AL, Chavannes NH, Rutten-van Mólken MPMH. The health economic impact of disease management programs for COPD: a systematic literature review and meta-analysis. *BMC Pulm Med* [Internet]. 2013 Jan;13:40.
4. Rabe KF, Hurd S, Anzueto A, Barnes PJ, Buist S a., Calverley P, et al. Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2007 Sep 15 [cited 2015 Jun 26];176(6):532–55.
5. Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias [Internet]. Available from: [http://www.iner.salud.gob.mx/contenidos/clinica\\_epoc.html](http://www.iner.salud.gob.mx/contenidos/clinica_epoc.html)
6. Menezes A (coordinadora). Proyecto Latinoamericano de Investigación en Obstrucción Pulmonar. *Asoc Latinoamericana del Tórax* [Internet]. 2006;138.
7. Ganancia en la esperanza de vida 1990-2012 y principales causas de muerte 2012, en México y las entidades federativas. Consejo Nacional de la Población. 2012.
8. Ramírez A, Sansores R. Guías para el diagnóstico y tratamiento de la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica. *Neumol Cir Torax*. 2012;71(1).
9. Ramirez V. Panorama epidemiológico e impacto económico actual. *Neumol Cir Torax*. 2007;66:13–6.
10. Frenk, Julio. Gómez O. El sistema de salud de México. primera ed. Nostra Ediciones; 2008.
11. WHO Air quality guidelines for particular matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary risk assessment. 2006;22.
12. Larsen B, Hutton G, Kkanna N. The Challenge of Air Pollution. 2009 p. 59.

13. Smith KR, Mehta S M-FM. Indoor air pollution from household use of solid fuels. Comparative quantification of Health risks: Global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors. 2004;1437–95.
14. Serrano-Medrano M, Arias-Chalico T, Ghilardi A, Masera O. Spatial and temporal projection of fuelwood and charcoal consumption in Mexico. *Energy Sustain Dev* [Internet]. Elsevier Ltd; 2014 Apr [cited 2014 Jul 13];19:39–46.
15. Díaz R, Becerril V, Masera O. Estufas de leña. *Red Mex Bioenergía*. 2011;3(Cuadernos Temáticos sobre Bioenergía):36.
16. Bailis R, Cowan A, Berrueta V, Masera O. Arresting the Killer in the Kitchen: The Promises and Pitfalls of Commercializing Improved Cookstoves. *World Dev* [Internet]. 2009 Oct [cited 2014 Jun 4];37(10):1694–705.
17. Ruiz-Mercado I, Masera O, Zamora H, Smith KR. Adoption and sustained use of improved cookstoves. *Energy Policy* [Internet]. Elsevier; 2011 Dec [cited 2014 Jul 11];39(12):7557–66.
18. Schilmann, Astrid. Riojas H. Evaluación del impacto en la salud posterior a la introducción de estufas eficientes de leña: Seguimiento a mediano plazo en mujeres rurales. Instituto Nacional de Salud Pública; 2011.
19. García-Frapolli E, Schilmann A, Berrueta VM, Riojas-Rodríguez H, Edwards RD, Johnson M, et al. Beyond fuelwood savings: Valuing the economic benefits of introducing improved biomass cookstoves in the Purépecha region of Mexico. *Ecol Econ* [Internet]. 2010 Oct [cited 2014 Jun 4];69(12):2598–605.
20. Kwasi B, Markku K. Factors affecting the choice of cooking fuel, cooking place and respiratory health in the Accra metropolitan area, Ghana. *Environ Heal Accra Metrop Area, Ghana*. 2004;33.
21. Habermehl H. Economic evaluation of the improved household cooking stove dissemination programme in Uganda the years 2005 and 2006. 2007;(May).
22. Aunan K, Alnes LWH, Berger J, Dong Z, Ma L, Mestl HES, et al. Energy for Sustainable Development Upgrading to cleaner household stoves and reducing chronic obstructive pulmonary disease among women in rural China — A cost-benefit analysis ☆. 2013;17:489–96.
23. Cynthia AA, Edwards RD, Johnson M, Zuk M, Rojas L, Jiménez RD, et al. Reduction in personal exposures to particulate matter and carbon monoxide as a result of the installation of a Patsari improved cook stove in Michoacan Mexico. *Indoor Air* [Internet]. 2008 Apr [cited 2014 Jun 11];18(2):93–105.

24. Smith KR, Rogers J, Cowlin SC. Household Fuels and Ill-Health in Developing Countries : by What improvements can be brought by LP Gas ? Paris, France: World LP Gas Association; 2005.
25. Schilmann, Astrid. Riojas H et al. El uso de estufas eficientes de leña y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) en mujeres. Mesa temática: Impacto a la salud. 2014.
26. Perez-Padilla R, Schilmann a, Riojas-Rodriguez H. Respiratory health effects of indoor air pollution. *Int J Tuberc Lung Dis* [Internet]. 2010 Sep;14(9):1079–86.
27. Drummond, Michael. Sculpher M et al. *Methods for the Economic Evaluacion of Health care Programmes*. third. New York: Oxford University Press; 2005.
28. Kobelt G. *Health Economics : An Introduction to Economic Evaluation Third Edition*. third. London, UK: Offife of Health Economics Research; 2013.
29. Reynolds J, Gaspari C. *Métodos de investigaciones operativas: Análisis de costo-efectividad*. PRICOR. Wisconsin, USA: Center for Human Services; 1986.
30. Terrés R. Introducción a la utilización de los modelos de Markov en el análisis farmacoeconómico. *Farm Hosp*. 2000;24(4):241–241.
31. Pine K, Edwards R, Maser O, Schilmann A, Marrón-Mares A, Riojas-Rodríguez H. Adoption and use of improved biomass stoves in Rural Mexico. *Energy Sustain Dev* [Internet]. 2011 Jun [cited 2015 Apr 30];15(2):176–83.
32. Burnett RT, Iii CAP, Ezzati M, Olives C, Lim SS, Mehta S, et al. An Integrated Risk Function for Estimating the Global Burden of Disease Attributable to Ambient Fine Particulate Matter Exposure. 2014;3(4):397–404.
33. Schilmann A. Evaluación de impacto en la salud respiratoria, de mujeres residentes de áreas rurales, posterior a la introducción de estufas eficientes de leña Patsari. Instituto Nacional de Salud Pública; 2014.

# ANEXO 1

## Diseño del modelo

Figura 1. Brazo del escenario 1: intervención estándar

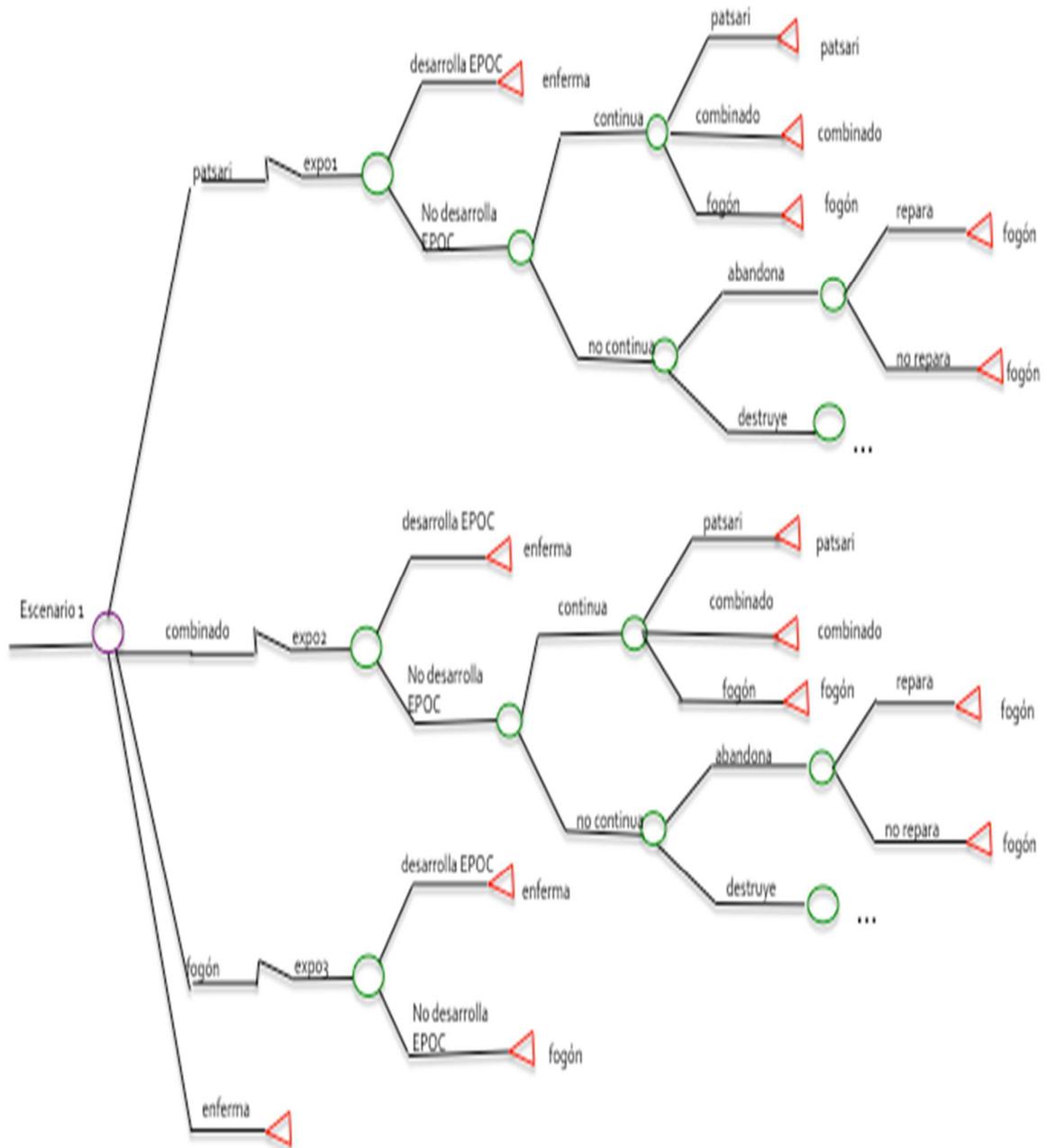


Figura 2. Brazo del escenario 2: Estándar más reparación

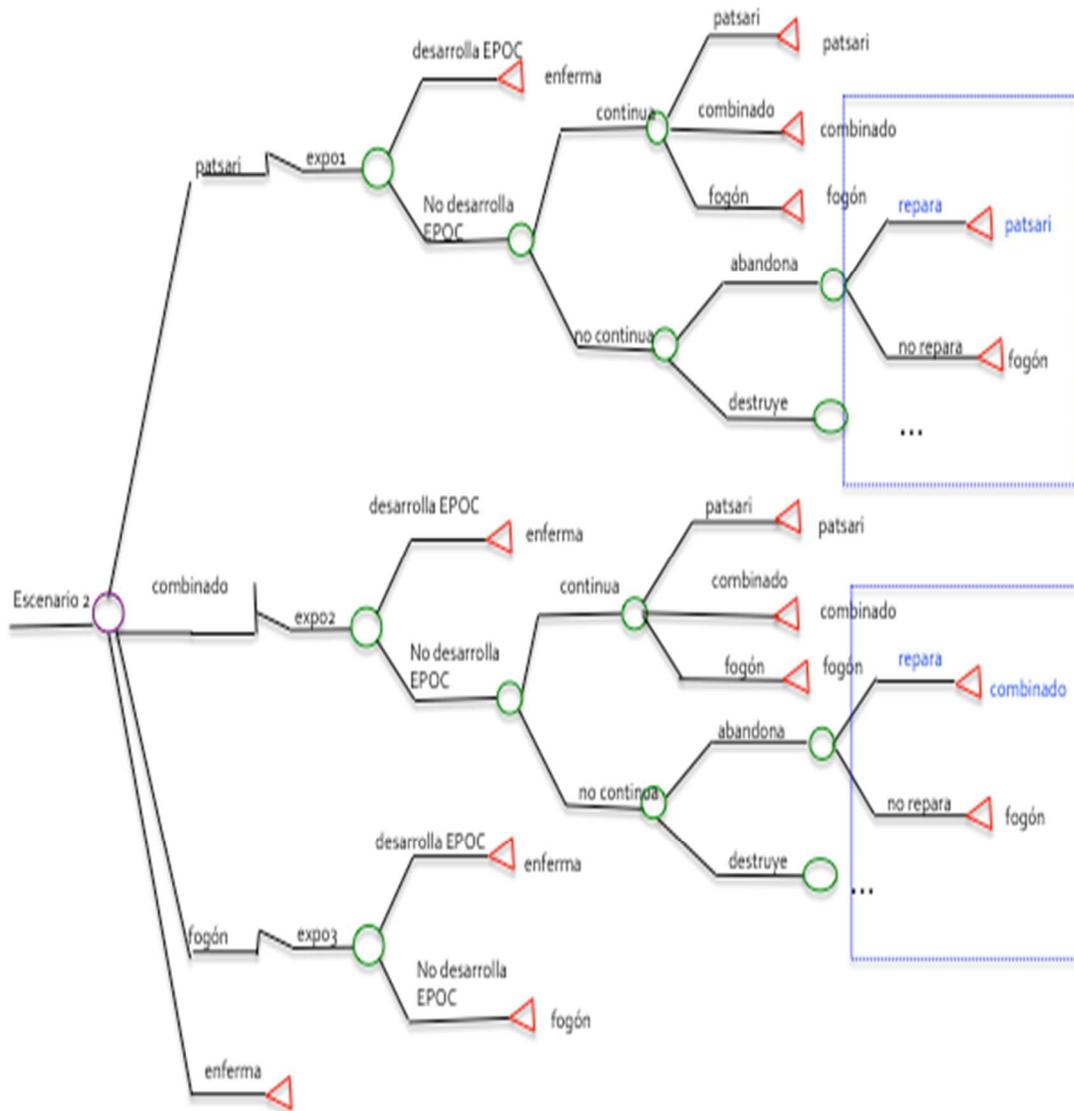
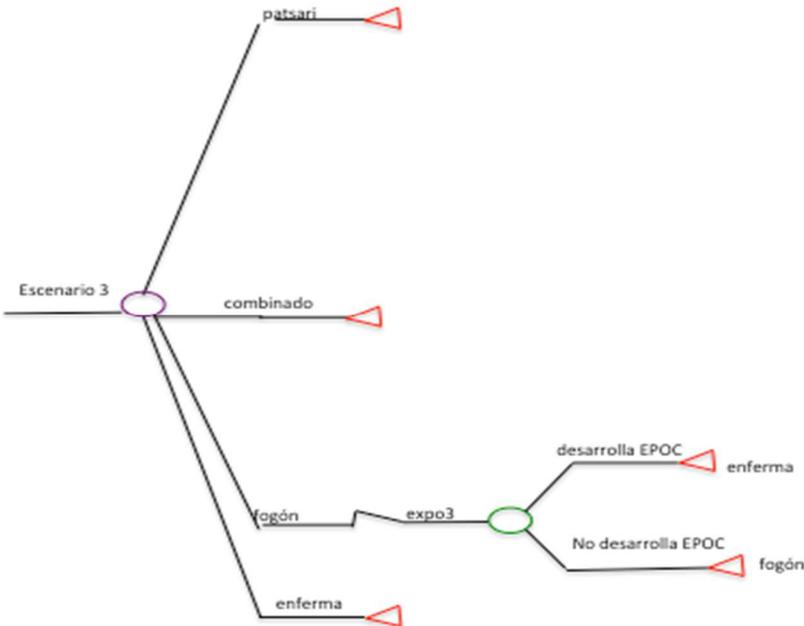


Fig. 3. Brazo 3: Sin intervención (toda la cohorte usa fogón).



## ANEXO 2

### Manual de inserción de datos y parámetros del modelo en el software TreeAge Pro 2008

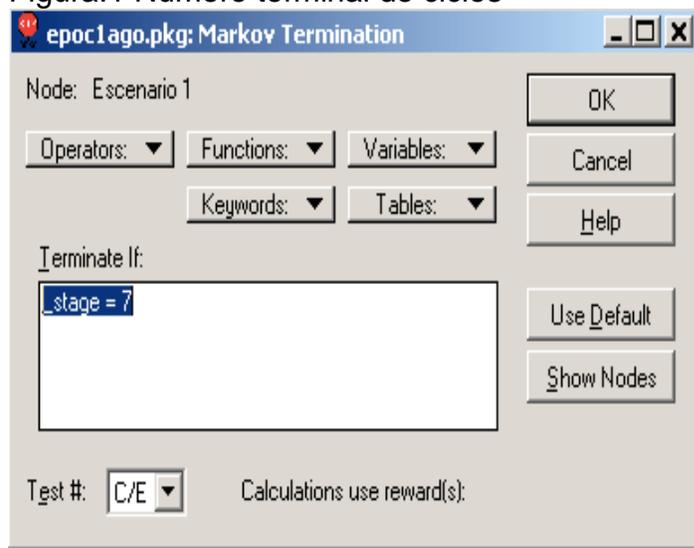
El diseño del modelo se presenta en el anexo 1, donde se muestra un modelo de tipo Cycle Tree, es decir, un modelo de Markov representado en forma de árbol de decisión.

#### Escenarios

Los escenarios o alternativas son tres, y en el diagrama llevan por nombre: Escenario 1, Escenario 2 y Escenario 3.

En cada escenario se programa el número de ciclos que se llevaran a cabo, en este caso son 8 los años de seguimiento, la fig. 1 muestra el numero 7 ya que el software contabiliza el cero también.

Figura.1 Número terminal de ciclos



#### Nodo de modelo de Markov

Después de etiquetar cada escenario en el modelo, se cambia el tipo de nodo con el click derecho y se selecciona en el menú “cambio de nodo” seleccionando la opción “Markov” (en el software aparece como un icono circular de color morado con una M en el centro).

#### Estados iniciales

En un modelo de Markov los estados iniciales nos muestran la proporción de cohorte que comienzan en cada uno de los posibles estados, para este caso los estados iniciales son los siguientes:

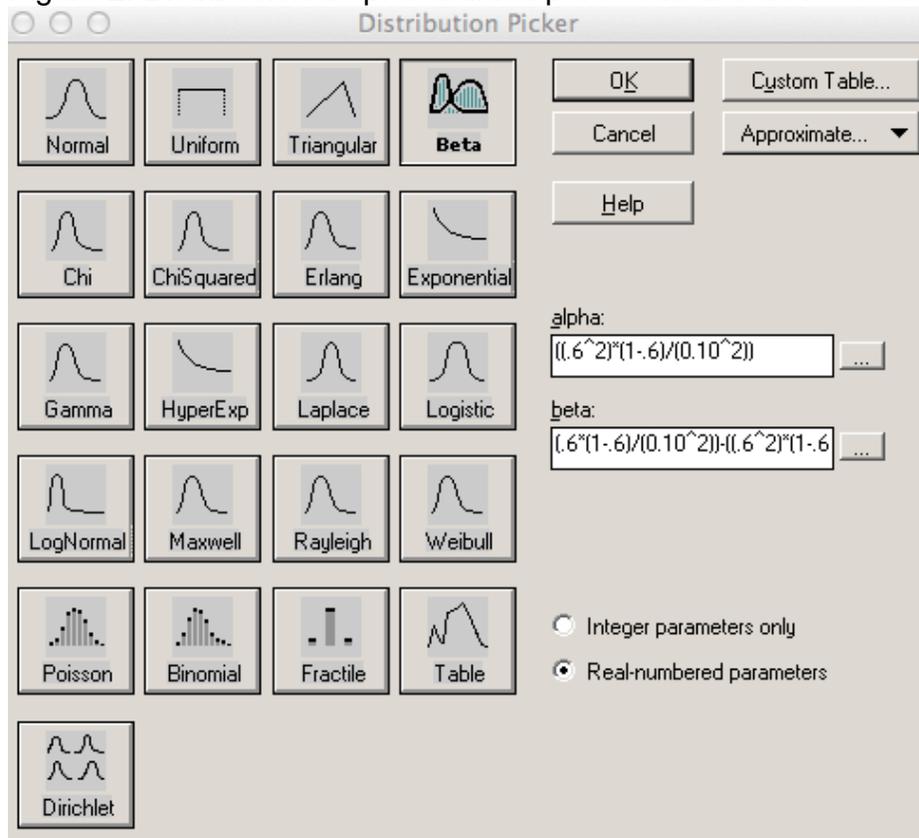
Cuadro 1. Valor en proporción del estado inicial por escenario

Estado Inicial	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
patsari	0.60	0.60	0
combinado	0.40	0.40	0
fogón	0	0	1
enfermos epoc	0	0	0

El estado enfermos EPOC y muertes son conocidos como *estados de absorción* ya que una vez que una mujer de la cohorte llega ahí, ya no puede regresar a otro estado.

Los estados iniciales se insertan en el modelo creando una distribución beta (ver figura 2) teniendo como valor medio la proporción que muestra el cuadro 1 y una desviación estándar de 0.10.

Figura 2. Distribución de probabilidad para cada uno de los estados iniciales

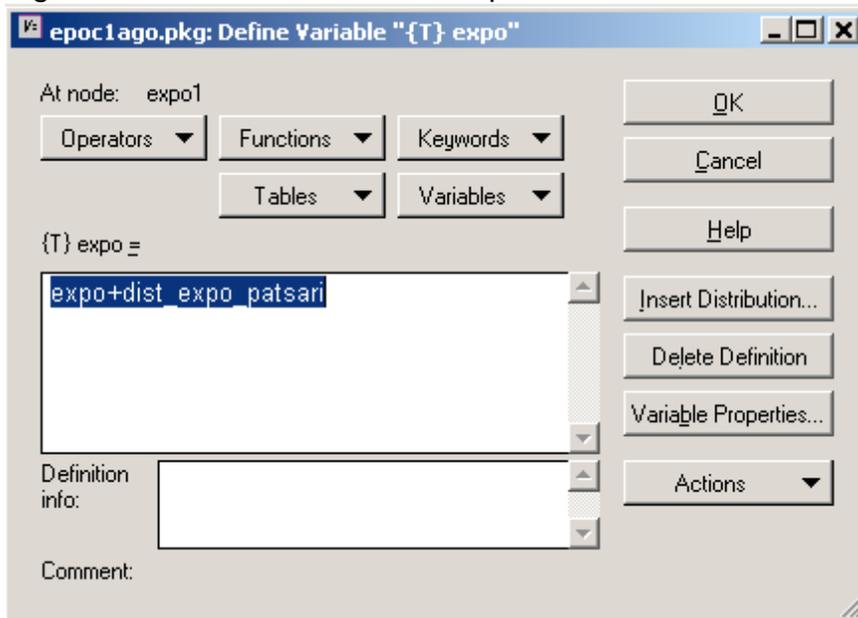


### Exposición

Dependiendo del estado inicial en el que se encuentre la cohorte tendrán un cierto nivel de exposición al contaminante, por lo que, en el diagrama los distintos niveles de exposición para cada patrón de uso están etiquetados como expo1, expo2 y expo3 que se refiere a que reportaron haber cocinado con patsari, combinado y fogón, respectivamente.

Dado que la EPOC es una enfermedad crónica que para desarrollarse, una persona necesita estar expuesta constantemente y acumular contaminante. Para representar esta acumulación, se creó una variable llamada “expo”, con la cual la cohorte va sumando cada ciclo un nuevo nivel de exposición. La figura 3 ejemplifica la acumulación de contaminante que tendrá una mujer a través de los ciclos cuando haya reportado cocinar con la estufa patsari.

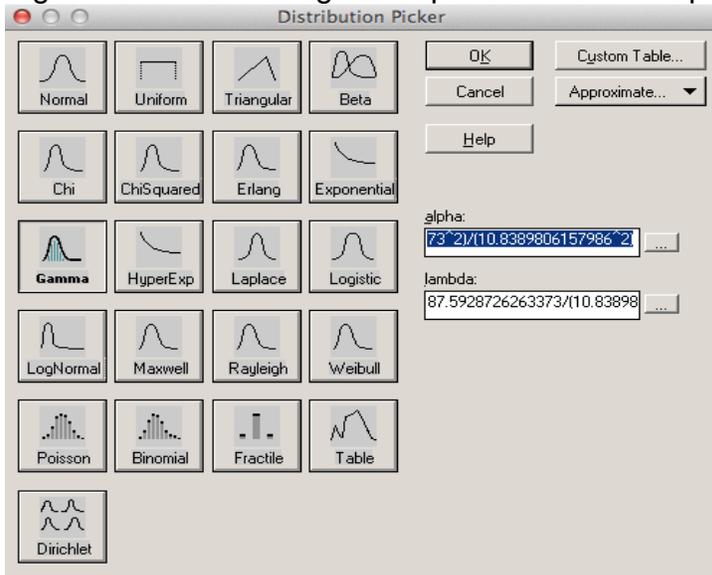
Fig. 3 Acumulación del nivel de exposición al contaminante



Como se aprecia en la figura anterior, se programó la suma de la exposición (expo) que tuvo en el ciclo anterior más la exposición del ciclo presente (dist\_expo\_patsari).

Se utilizó distribución gamma para cada una de las distribuciones utilizadas por patrón de uso como se muestra en la figura 4, posteriormente los valores de las medias y de la desviación estándar se agregan seleccionando la opción “approximate”, dichos valores se presentan en el cuadro 2.

Figura 4. Distribución gamma para el nivel de exposición



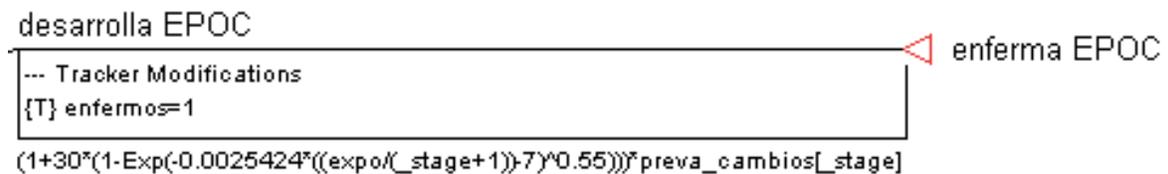
Cuadro 2. Medias y desviación estándar por patrón de uso

Patsari	Combinado	Fogón
dist_expo_patsari	dist_expo_comb	dist_expo_fogon
87.59 (10.84)	117.55 (14.74)	473.86 (54.90)

### Desarrollo de la EPOC

Para encontrar la probabilidad de desarrollar la enfermedad se programa el modelo exposición respuesta y se multiplica por una tabla de prevalencia ajustada por edad. Dicha función se sustituye con los valores de los parámetros encontrados como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Programación de la función de riesgo de desarrollar EPOC



La tabla de prevalencia ajustada por edad se presenta en la figura 6 , donde en cada ciclo hay un incremento de 0.5% en la probabilidad de desarrollar la enfermedad.

Figura 6. Tabla de prevalencia ajustada por edad

Index	Value
0	0.005
1	0.01
2	0.015
3	0.02
4	0.025
5	0.03
6	0.035
7	0.04

### No desarrollo de EPOC y Continúa

En el diagrama la proporción de mujeres que no desarrolla la enfermedad y que continua siendo expuesta al contaminante a través del tiempo puede mantenerse en su patrón de uso o cambiar para el siguiente ciclo.

En el software se programó que la probabilidad de continuar usando algún aparato sea el complemento (#) de aquella cohorte que no desarrolla, y que abandonó y destruyó su estufa patsari.

El cambio de patrón de uso a través del tiempo en el seguimiento se insertan a través de tablas nombradas: patsari\_seg, comb\_seg, y fogon\_seg. La figura 7 muestra la tabla de los cambios reportados en el uso de patsari en el seguimiento.

Figura 7. proporción de cohorte que utiliza patsari para cocinar en el seguimiento.

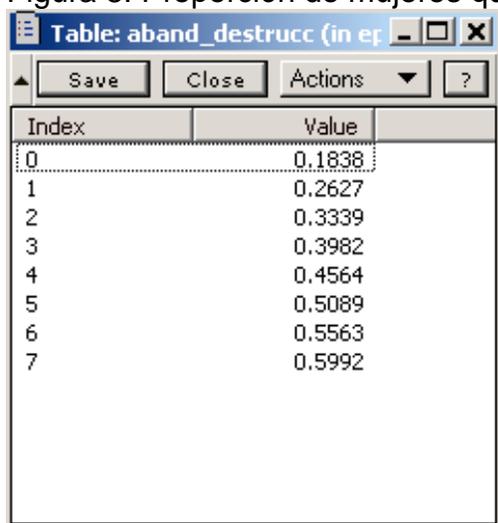
Index	Value
0	0.277778
1	0.281746
2	0.2460317
3	0.1541502
4	0.12749
5	0.104
6	0.1098039
7	0.0794979

### No desarrollo de EPOC y No Continuación de uso de patsari

Esta parte del modelo se conforma por la cohorte que de acuerdo al estudio reportó haber abandonado y destruido la estufa patsari.

Se insertó una tabla como se muestra en la figura 8 que corresponde a la suma de proporción de mujeres que reportaron haber abandonado y destruido la estufa para cada año del seguimiento.

Figura 8. Proporción de mujeres que abandonaron y destruyeron



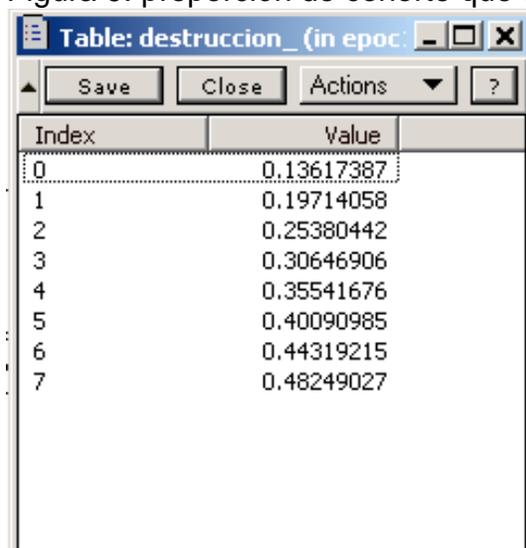
Index	Value
0	0.1838
1	0.2627
2	0.3339
3	0.3982
4	0.4564
5	0.5089
6	0.5563
7	0.5992

### Destruye

Posteriormente, se considera solo a la proporción de mujeres que reportaron haber destruido su estufa y el complemento se encuentra en abandono.

De igual manera se insertó una tabla con representando la proporción para cada año del seguimiento. La figura 9 muestra para cada ciclo la proporción de mujeres que reportaron haber destruido la estufa patsari.

Figura 9. proporción de cohorte que destruyó su estufa



Index	Value
0	0.13617387
1	0.19714058
2	0.25380442
3	0.30646906
4	0.35541676
5	0.40090985
6	0.44319215
7	0.48249027

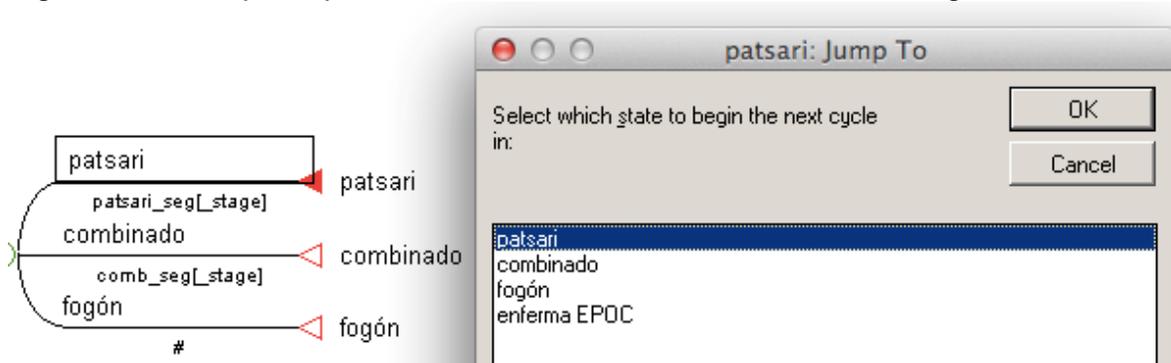
### Repara / No Repara

Para la siguiente etapa del modelo aparece la opción de reparación o no reparación, en el escenario 1 no se tiene esta oportunidad; mientras que, es en el escenario 2 donde se propone que a toda parte de la cohorte que haya reportado destruir o abandonar se les repara la estufa a todas.

### Salto de la cohorte para comenzar el siguiente ciclo

En la parte final del esquema para cada escenario aparece un nodo desenlace (expresado con un triángulo) que para este caso al tratarse de un modelo Markov esta parte final sirve para programar en el modelo, como se aprecia en la figura 10, en que estado inicial comenzará la cohorte para el siguiente ciclo o si permanecerá en el mismo estado.

Figura 10. Salto para permanecer o cambiar de estado inicial el siguiente ciclo



### Costos

Los costos están insertados en el modelo en pesos mexicanos, dichos costos son: costo de material, costo de mano de obra, costo de entrenamiento y costo de monitoreo. Todos los costos fueron creados como distribuciones gamma, teniendo como valor medio su precio y una desviación de 0.10.

Una ventaja importante del modelo es que permite que el costo sea generado en el momento en que se necesite ya sea en el ciclo adecuado o el número de veces en que se incurra.

El costo inicial de la estufa es cobrado en una sola exhibición como se muestra en la figura 11, de tal manera se programa con un condicional (if) para que este costo se genere en el primer ciclo únicamente.

Figura 11. costo inicial de la estufa

epoc1ago.pkg: Markov Transition Rewards

Node: expo1

Operators: Functions: Variables: Keywords: Tables:

efectividad:

costo\_manobra:

costo\_material:

costo\_promo:

costo\_monito:

costo\_entrena:

Transition Rwd Z:

Transition Rwd B:

Transition Rwd G:

Buttons: OK, Cancel, Show Nodes, Insert Distribution..., Help

Dicho costo inicial aparecen en el escenario 1 y escenario 2, pero no en el escenario 3 ya que en este último se parte de que no hay intervención; por lo que ninguna mujer de la cohorte tiene estufa patsari.

Para conocer durante el seguimiento la situación del uso o no de la estufa patsari, así como de los comportamientos de cambios de patrón de uso es necesario realizar un monitoreo, el cual es indispensable para la efectividad de la intervención. Como muestra la figura 12 el costo de monitoreo es generado para el escenario 1 y 2 en aquella parte de la cohorte que en el año que se encuentren reportaron haber cocinado con patsari o un uso combinado.

Figura 12. Costo de monitoreo en escenarios 1 y 2

epoc1ago.pkg: Markov Transition Rewards

Node: no desarrolla EPOC

Operators: Functions: Variables: Keywords: Tables:

efectividad:

costo\_manobra:

costo\_material:

costo\_promo:

costo\_monito:

costo\_entrena:

Transition Rwd Z:

Transition Rwd B:

Transition Rwd G:

Buttons: OK, Cancel, Show Nodes, Insert Distribution..., Help

Por otro lado, es en el escenario 2 en la única alternativa en que se puede incurrir en el costo de reparación, cuando esto sucede se vuelve a generar el costo de material y de mano de obra, tal como muestra la figura 13 existe también una tasa de descuento del 5% ya que conforme pasa el tiempo el costo final no será siempre el mismo.

Figura 13. costos de reparación con tasa de descuento

