



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS
LICENCIATURA EN ACTUARÍA

La fecundidad adolescente en México: comparativo de las tasas específicas de fecundidad desagregadas mediante el uso del polinomio de William Brass.
Estado de México-Puebla.

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIATURA EN
ACTUARÍA

PRESENTA:

ARIADNNA CELINA MENCHACA PUEBLA

DIRECTORA DE TESIS:

M.C. BRENDA ZAVALA LÓPEZ

Julio, 2019

A mis padres, Norma y Alejandro; a mi hermano Sergio y a mi prima Malena.

Agradecimientos

Gracias a Dios por guiarme y darme la fortaleza necesaria para salir adelante, así como por otorgarme la oportunidad de cumplir una meta más en mi vida.

Es imposible expresar con palabras toda la gratitud que siento hacia a mis padres por brindarme su amor, paciencia y apoyo incondicional en todo momento, gracias por su manera de educarme, por su ejemplo y por los valores que me han inculcado a lo largo de mi vida. Gracias por darme todo a manos llenas y por siempre confiar en mí. Sin ustedes no hubiera sido posible haber llegado hasta el punto en el que me encuentro actualmente.

Gracias a mi hermano Sergio, por guiarme con su ejemplo de tenacidad y esfuerzo, por cada uno de sus consejos y por mostrarme que con trabajo y dedicación es posible lograr cualquier objetivo que uno se planteé.

Gracias a mi prima Malena, por ser la persona que ha sido conmigo, haber cuidado de mí desde que fui pequeña, por estar pendiente de mí y apoyarme en cada una de las etapas de mi vida.

Quiero agradecer a mi directora de tesis, la Mtra. Brenda Zavala López, por guiarme en la realización de este trabajo, por sus consejos y su dedicación durante este proceso. Gracias por las enseñanzas que me otorgó en cada una de sus clases y por ayudarme a expandir mis horizontes hacia este campo de la actuaría, que es la Demografía.

Así mismo, gracias a la Dra. Martha Miranda Muñoz, al Mtro. José Asunción Hernández y al Mtro. Mario Abraham Morales Serrano, por el tiempo empleado en la revisión de esta tesis y por tan valiosos comentarios que sin duda ayudaron a pulir en gran medida a este trabajo.

Índice General

Introducción.....	1
Objetivos.....	4
Capítulo 1. Conceptos básicos.	6
1.1 Datos agrupados.....	6
1.2 Modelos de supervivencia.	8
Capítulo 2. La fecundidad adolescente.	15
2.1 Definición de fecundidad y otros conceptos relacionados.....	15
2.2 Fecundidad adolescente: consecuencias y factores.	16
Capítulo 3. Indicadores demográficos.	20
3.1 Tasa bruta de natalidad.	21
3.2 Tasa de fecundidad general.....	22
3.3 Tasa específica de fecundidad.	23
3.4 Tasa global de fecundidad.	25
3.5 Edad media de fecundidad.....	26
3.6 Tasa bruta de reproducción.....	27
3.7 Tasa neta de reproducción.	28
Capítulo 4. Panorama de la fecundidad adolescente.....	31
4.1 Fecundidad adolescente en el ámbito internacional.....	31
4.2 Fecundidad adolescente en México.	41
Capítulo 5. El polinomio de Brass.....	51
5.1 Introducción al polinomio.....	51
5.2 Estructura del polinomio.....	54
5.3 Ejemplificación del uso del polinomio.	57
Capítulo 6. Implementación del polinomio de fecundidad y resultados.....	63
6.1 Evolución de la tasa de fecundidad adolescente para el Estado de México (2000, 2005, 2010 y 2015).	64
6.2 Evolución de la tasa de fecundidad adolescente para el estado de Puebla (2000, 2005, 2010 y 2015).	66
6.3 Comparativo de las tasas de fecundidad adolescente Estado de México-Puebla. (2000, 2005, 2010, 2015).	68
Conclusiones.....	78

Referencias bibliográficas.....	80
Anexo A. Tabla abreviada de mortalidad femenina.^a México 2010.	84
Anexo B. Polinomio de William Brass.....	85
Anexo C. Obtención de las tasas de fecundidad por edad mediante el uso del polinomio de Brass para el Estado de México.	91
Anexo D. Obtención de las tasas de fecundidad por edad mediante el uso del polinomio de Brass para el estado de Puebla.	99

La fecundidad adolescente en México: comparativo de las tasas específicas de fecundidad desagregadas mediante el uso del polinomio de William Brass. Estado de México-Puebla.

Introducción.

El embarazo que ocurre en las mujeres que se encuentran en la adolescencia repercute en gran manera en su trayectoria de vida ya que impide un desarrollo psicosocial idóneo, se asocia con resultados deficientes en materia de salud, afecta las oportunidades educativas y laborales, lo cual se traduce en la contribución de la continuidad de los ciclos intergeneracionales de pobreza, exclusión y marginación, pues los hijos e hijas de madres adolescente también presentan mayor riesgo de pobreza y resultados deficientes en materia de salud, lo que incluye al embarazo precoz. A pesar de que la región de América Latina y el Caribe ha tenido un crecimiento económico y un progreso social en varios frentes, la tasa de fecundidad en adolescentes sigue siendo muy elevada, razón por la que es considerada como la segunda región con mayor tasa de embarazos adolescentes en el mundo, donde las jóvenes provenientes de familias ubicadas en el quintil inferior de riqueza cuentan con un nivel educativo inferior y en su mayoría pertenecen a comunidades indígenas. (OPS/OMS, UNICEF, UNFPA, 2018).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), a nivel mundial, las complicaciones presentadas durante el embarazo y el parto se encuentran entre las principales causas de muerte en mujeres adolescentes entre 15 a 19 años, el riesgo de muerte materna es menor en las mujeres que tienen 20 años o más y va incrementando en las madres que dan a luz a menor edad.

De las 252 millones de jóvenes adolescentes de este grupo de edad, se calcula que 38 millones son sexualmente activas, pero no desean convertirse en madres, de las cuáles cerca de 15 millones utilizan algún tipo de método anticonceptivo moderno, mientras que las 23 millones restantes, reportan tener una necesidad insatisfecha de métodos anticonceptivos¹ y por ende se encuentran en riesgo de tener un embarazo no deseado. Lo anterior representa una situación alarmante ya que conlleva a abortos que resultan ser aún más peligrosos para este grupo. Mundialmente, se calcula que cada año se practican alrededor de 5.6 millones de abortos en adolescentes de 15 a 19 años, de los cuáles el 50% son considerados como abortos peligrosos, ya que son efectuados por personas que no cuentan con los conocimientos apropiados y/o se realizan en un ambiente que no cumple con los requisitos sanitarios mínimos (Darroch, 2016).

¹ Se refiere al número de mujeres expuestas al riesgo de embarazarse, que en un momento determinado refieren su deseo de limitar o espaciar un embarazo, pero no usan un método anticonceptivo en ese mismo momento.

El tema de la fecundidad en adolescentes de la República Mexicana, ha cobrado mucha importancia debido a dos factores: en primer lugar, a que las mujeres adolescentes de 15 a 19 años representan al grupo con mayor volumen y en segundo lugar a que si bien, a nivel nacional, la tasa de fecundidad ha tenido una reducción, esta merma no ha resultado ser tan significativa para el grupo de adolescentes en comparación con la que han presentado las mujeres que se encuentran en diferentes grupos de edad. Debido a lo anterior y a que el embarazo adolescente es un fenómeno que tiene una incidencia importante en el país, además de traer consigo múltiples consecuencias no sólo para la madre sino también para su hijo como lo son: mayor probabilidad de tener bajo peso al nacer, mayor mortalidad infantil, baja cobertura de servicios médicos, menores habilidades y capacidades de aprendizaje; mayores problemas de conducta durante la infancia y en la vida adulta, por mencionar algunas; es un tema que se ha vuelto de atención prioritaria en la agenda pública del país. Las mujeres que tuvieron un embarazo en la adolescencia terminan su periodo reproductivo hasta con 3 hijos o más que aquellas mujeres que iniciaron su maternidad después de los 19 años (Menkes, Suárez, 2003). México, en comparación con otros países en igualdad de circunstancias socioeconómicas, presenta altas tasas de embarazo y maternidad adolescente, este hecho ha causado consternación pese a que se cuenta con información sobre los métodos anticonceptivos, mismos que no se utilizan apropiadamente, a su vez gracias a la evolución de la sociedad y las políticas de información se tiene el conocimiento de los riesgos y consecuencias en el proyecto de vida de los adolescentes. Es en este sentido que resulta de interés analizar lo que ha sucedido con la fecundidad en las jóvenes adolescentes a través de los años.

En México, se han hecho diversas encuestas en hogares elaboradas con la finalidad de conocer los niveles y tendencias de los principales componentes de la dinámica sociodemográfica de la población, entre las que destaca la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica (ENADID), la cual tiene como propósito captar información sobre los niveles y estructura de la fecundidad, mortalidad y migración, así como otros temas que aluden a la población, los hogares y las viviendas de México. La información que se proporciona en esta serie de encuestas ha sido utilizada en el presente trabajo para tener un contexto amplio del panorama de la fecundidad, sin embargo, para obtener información sobre edades individuales y realizar comparaciones entre estas, se ha recurrido a la utilización de un método de estimación propuesto por el Dr. William Brass, quien fue un demógrafo, estadístico y matemático, obtuvo reconocimiento gracias a que hizo importantes contribuciones al conocimiento en muchos campos, siendo mejor conocido por el desarrollo de un cuerpo de técnicas analíticas para la estimación de las tasas de fecundidad y mortalidad en países que carecen de sistemas integrales del registro de nacimientos y defunciones, y donde se recopilan datos en censos y encuestas pueden, los cuales pueden estar sesgados severamente por los errores de respuesta. El método utilizado consiste en la aplicación de un polinomio de tercer grado para desagregar las tasas específicas de fecundidad (las cuáles usualmente son presentadas en grupos quinquenales de edad) a edades individuales y de esta manera analizar a mayor detalle el comportamiento de la fecundidad para cada una de las edades que conforman el grupo de adolescentes, siendo para fines prácticos de este trabajo, el rango de mujeres de 15 a 19 años.

A pesar de que hay algunos estudios que mencionan al polinomio de fecundidad como una alternativa para la estimación de las tasas de fecundidad para edades individuales, no se han utilizado datos reales para la implementación del mismo y para el posterior estudio de las tasas que se obtienen mediante esta técnica, por ende, en este trabajo se busca realizar una contribución en este sentido.

Se eligieron al Estado de México y Puebla para realizar un análisis de las tasas de fecundidad adolescente, debido a que forman parte de las entidades que concentran mayor volumen de adolescentes de entre 10 y 19 años (intervalo de edades dentro del cual se encuentra el grupo de interés para el presente análisis), más aún, el Estado de México con 2,915,076 jóvenes en este rango de edad y junto con seis entidades² más, entre ellas Puebla (1,217,936); agrupan prácticamente a la mitad (48.1%) de la población de entre 10 y 19 años en el país.³

A efecto de lo anterior, para obtener los datos necesarios que permitan estimar dichas tasas de fecundidad, la información que sirve de base para este análisis proviene de los Censos de Población y Vivienda durante 1980, 1990, 2000 y 2010, así como los Conteos de Población y Vivienda para 1995 y 2005, que tienen como uno de los objetivos principales el de contabilizar a la población residente del país. Así mismo, se utilizó la información de los registros administrativos sobre natalidad, gracias a los que se permite caracterizar el fenómeno de la fecundidad en México.

² Las cinco entidades restantes que junto con el Estado de México y Puebla agrupan casi la mitad del total de jóvenes adolescentes de entre 10 y 19 años en el país son: Veracruz (1,470,766), Jalisco (1,460,259), Distrito Federal (1,281,645), Guanajuato (1,148,421) y Chiapas (1,093,821).

³ Consejo Estatal de Población del Estado de México (COESPO, 2017).

Objetivos.

El presente trabajo tiene como objetivo general realizar una comparación de las tasas de fecundidad adolescente por edades individuales, sin embargo, ya que no es usual hallar dichas tasas en tal formato, debido a la dificultad de encontrar los datos necesarios y a la incomodidad de manejar una serie de 35 tasas (considerando el periodo de fertilidad de 15-49 años), dichas cifras se aproximarán utilizando el polinomio de fecundidad propuesto por el Dr. William Brass. Inicialmente se busca tener un contexto de cuál ha sido el comportamiento del grupo completo de mujeres en edad fértil, con el fin de tener conocimiento de las edades exactas en las que se han registrados los cambios de mayor magnitud en la tasa de fecundidad. Posteriormente se pretende elaborar una comparación de las tasas obtenidas, teniendo como enfoque al Estado de México y Puebla, particularmente para el grupo de mujeres de 15 y 19 años. Lo anterior tiene la finalidad de realizar un análisis para concluir si la tasa para cada una de las edades que se encuentran en dicho rango ha ido en aumento o si de lo contrario, ha existido un decremento durante el periodo de tiempo establecido en esta investigación, el cuál comprenderá a partir del año 2000 al 2015.

Para alcanzar este objetivo general se persiguen una serie de objetivos específicos que se van desarrollando a lo largo del presente trabajo.

En primera instancia se busca enlistar las principales medidas de tendencia central y de dispersión para datos agrupados y dar un ejemplo del cálculo de cada una de ellas con el propósito de lograr una mejor comprensión de estas y de su significado. Posteriormente, debido a la dificultad de tener un único concepto de fecundidad, se pretenden exponer algunas de las definiciones que han surgido desde diferentes puntos de vista. Aunado a lo anterior, se es necesario agregar otros conceptos que guardan una relación muy estrecha con la fecundidad y sirven como determinantes de ella y de este modo lograr una mejor comprensión de este concepto.

Así mismo se busca exponer el significado de fecundidad adolescente, por lo cual, primero se requiere definir el concepto de adolescencia desde variados ángulos de la ciencia y describir los principales factores que conllevan al embarazo adolescente en México, así como las repercusiones biológicas y psicosociales que trae consigo.

También se desean abordar las principales medidas de tipo transversal que son útiles para la cuantificación y el análisis de la fecundidad mostrando ejemplos utilizando datos de la República Mexicana, específicamente para el año 2010. Lo anterior con el fin de otorgar al lector mayor claridad del cálculo de cada una de las medidas utilizando datos reales y a su vez entender cuál es el significado de cada resultado.

Otro tema que se persigue es el de otorgar un panorama global de la fecundidad adolescente tanto en el ámbito internacional, como en el nacional, mostrando estadísticas que dejan ver la problemática por la que atraviesa el mundo en general, y el país en particular, en este tema y mostrar aspectos como la evolución de las tasas de fecundidad a lo largo de los años así como exponer estadísticas acerca de temas como lo son el uso y lugar de obtención de los

métodos anticonceptivos, nivel de escolaridad de las madres adolescentes, el promedio de hijos nacidos vivos, entre otros aspectos relevantes.

Posteriormente, se tiene la finalidad de proporcionar una descripción del polinomio de fecundidad empleado por el Dr. William Brass, su utilidad en la demografía y la obtención de cada valor del polinomio. Se busca contrastar las tasas de fecundidad de edades individuales, que se obtuvieron con ayuda del polinomio, contra las tasas específicas de fecundidad para cada grupo quinquenal y de esta manera proceder con la comparación de las tasas de fecundidad específicas por edad entre el Estado de México y Puebla.

Capítulo 1. Conceptos básicos.

En este apartado se describen las principales medidas de tendencia central y de dispersión para datos agrupados, las cuáles son útiles para la elaboración de estadísticas e indicadores relacionados con la fecundidad. Además, se presenta una breve definición de lo que son los modelos de supervivencia, enfatizando un tipo de modelo de supervivencia que es la llamada “Tabla de vida”, describiendo así, cada una de sus propiedades. Cabe mencionar que algunos conceptos y medidas que se encuentran presentes en esta sección serán de utilidad para los cálculos presentados en este documento.

1.1 Datos agrupados.

Los datos agrupados son aquellos datos dispuestos en una distribución de frecuencia, se encuentran agrupados en categorías o intervalos de clase mutuamente excluyentes que indican el número de observaciones en cada categoría o intervalo.

Las medidas de tendencia central son medidas estadísticas que tienen como finalidad resumir en un solo valor a un conjunto de valores. Representan un centro en torno al cual se encuentra ubicado el conjunto de los datos. Las medidas de tendencia central más utilizadas para datos agrupados y que a continuación se describen son: media, mediana y moda.

i) Media (\bar{X})

Cuando la variable de interés es de tipo discreto, es decir, las clases o categorías asumen solo ciertos valores, por ejemplo: 1, 2, 3, 4, 5, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i n_i}{n} \quad (1)$$

Donde X_i representa el valor de cada categoría, n indica el número total de datos en la muestra y n_i representa a cada una de las frecuencias correspondientes a los diferentes valores de X_i .

Cuando la variable de interés es de tipo continuo, es decir, se encuentra agrupada por intervalos, es necesario determinar, por cada intervalo, un valor medio que lo represente. Dicho valor es conocido como marca de clase (X_c), es decir, el punto medio del intervalo y se obtiene sumando los límites reales del intervalo y posteriormente dividiéndolos entre 2. Habiendo realizado lo anterior se procede a aplicar la fórmula (1), pero esta vez reemplazando X_i por X_c , es decir:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_c n_i}{n} \quad (2)$$

ii) Mediana (X_{med})

Si la variable es de tipo discreto la mediana será el valor de la variable que corresponde a la frecuencia acumulada que supere a $n/2$. En caso de que la variable sea de tipo continuo, es necesario, identificar la frecuencia acumulada que supere en forma inmediata a $n/2$, y luego aplicar la siguiente fórmula:

$$X_{med} = LI + \frac{[\frac{n}{2} - N_{i-1}]}{n_i} A_i \quad (3)$$

Donde LI es el límite inferior del intervalo de clase que contiene la mediana, n indica el número total de datos en la muestra, N_{i-1} representa la frecuencia acumulada del intervalo anterior y A es la amplitud del intervalo, es decir, la diferencia entre el límite inferior y el límite superior de cada intervalo.

iii) Moda (X_{mod})

Para la variable de tipo discreto, la moda se denomina como el valor de la variable X_i que tenga la mayor frecuencia absoluta, es decir, el valor que predomina en la distribución de datos o el que más se repite en el conjunto de datos inicial. Un grupo de datos puede no tener moda, tener una moda (unimodal), dos modas (bimodal) o más de dos modas (multimodal).

Para la variable de tipo continua, la moda es la marca de clase X_c que tenga la mayor frecuencia absoluta.

Por otro lado, las medidas de dispersión miden el grado de dispersión de los valores de la variable, en otras palabras, las medidas de dispersión pretenden evaluar en qué medida los datos difieren entre sí. Las medidas de dispersión más utilizadas y que a continuación se definen son: varianza y desviación estándar.

iv) Varianza (S^2)

Para el cálculo de la varianza cuando se trata de una variable de tipo discreto, se utiliza la fórmula:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 n_i}{n-1} \quad (4)$$

Cuando los datos se encuentran agrupados en intervalos de clase, se utiliza la fórmula (4) sustituyendo a X_i por la marca de clase, es decir, X_c , de esta manera se obtiene la siguiente fórmula:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_c - \bar{X})^2 n_i}{n-1} \quad (5)$$

v) Desviación estándar (S)

La desviación estándar es la raíz positiva de la varianza y mide la variabilidad de los datos en las unidades en que se midieron originalmente.

$$S = \sqrt{S^2} \quad (6)$$

1.2 Modelos de supervivencia.

Un modelo de supervivencia es una distribución de probabilidad para un tipo particular de variable aleatoria, en el contexto actuarial, un modelo de supervivencia puede ser la variable aleatoria que representa el tiempo de vida futuro de una entidad que existía en el momento 0. Un ejemplo de un modelo de supervivencia es la distribución de la variable aleatoria que representa el tiempo de vida de una bombilla, donde la luz sobrevive mientras se encuentre encendida y el momento de fallo ocurre cuando la bombilla se funde.

Frecuentemente un modelo de supervivencia se encuentra resumido en forma de tabla, la cual se conoce como “Tabla de vida”.⁴ Esta tabla se define como una tabla de valores numéricos de $S(x)$ para ciertos valores de x (Cunningham, 2012).

Para la creación de una tabla de vida se inicia con un grupo de recién nacidos, el cual en términos actuariales es conocido como “cohorte”. El número original de individuos en dicha cohorte se denota por l_0 y es llamado “radix”.

Denotando por $\mathcal{L}(x)$ al número de sobrevivientes de la cohorte en la edad x y etiquetando a cada recién nacido por j , para $j = 1, 2, \dots, l_0$ se define la siguiente función indicadora:

$$I_j = \begin{cases} 1 & \text{si el recién nacido sobrevive a la edad } x \\ 0 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

⁴ Alternativamente, también se le conoce como “Tabla de mortalidad”.

Entonces se tiene que:

$$\mathcal{L}(x) = \sum_{j=1}^{l_0} I_j \quad (7)$$

Asumiendo que X_j , que indica el número de años que deben transcurrir hasta que el recién nacido j fallezca; tiene una distribución común especificada por la función de supervivencia $S(x)$, se tiene que $I_j \sim Bernoulli$ donde $p = P(X > x) = S(x)$ para cada j y por consiguiente:

$$E(I_j) = S(x). \quad (8)$$

De esta manera, el número esperado de individuos sobrevivientes a la edad x , provenientes de la cohorte inicial, es decir l_0 , se define de la siguiente manera:

$$l_x = E[\mathcal{L}(x)] = \sum_{j=1}^{l_0} E(I_j) = l_0 * S(x). \quad (9)$$

Igualmente, se define ${}_n\mathcal{D}_x$ como el número de fallecimientos ocurridos entre las edades de x y $x + n$, correspondientes a l_0 . De manera similar a la lógica de obtención de l_x , se tiene que:

$${}_n d_x = E[{}_n\mathcal{D}_x] = (S(x) - S(x + n)) * l_0 = l_x - l_{x+n}. \quad (10)$$

Donde $S(x) - S(x + n)$ representa la probabilidad de que un recién nacido fallezca entre las edades x y $x + n$. Es decir, ${}_n d_x$ denota el número esperado de personas que fallecen entre el intervalo de edades $[x, x + n)$.

A continuación, se muestra un ejemplo de una tabla de vida.

Edad	l_x	d_x
0	100,000	501
1	99,499	504
2	98,995	506
3	98,489	509
4	97,980	512
5	97,468	514

Fuente: A Reading of the Theory of Life Contingency Models: A Preparation for Exam MLC/3L. 2012.

Es posible convertir la tabla vida en una tabla de funciones de supervivencia por medio de la formula $S(x) = l_x/l_0$, obteniéndose entonces una tabla como la siguiente:

Edad	$S(x)$
0	1.00000
1	0.99499
2	0.98995
3	0.98489
4	0.97980
5	0.97468

Fuente: A Reading of the Theory of Life Contingency Models: A Preparation for Exam MLC/3L. 2012.

Con el número de personas que fallecen es posible calcular la probabilidad de que una persona de edad x fallezca antes de alcanzar la edad $x + n$, la cual se define de la siguiente manera:

$${}_nq_x = \frac{S(x) - S(x+n)}{S(x)} = \frac{l_0(S(x) - S(x+n))}{l_0 * S(x)} = \frac{{}_nd_x}{l_x}. \quad (11)$$

Derivado de lo anterior, se tiene la probabilidad de que una persona de edad x sobreviva a la edad $x + n$, definida como:

$${}_np_x = 1 - {}_nq_x = \frac{l_x - {}_nd_x}{l_{x+n}} = \frac{l_{x+n}}{l_x}. \quad (12)$$

Como se mencionó anteriormente l_x representa el número de personas que sobreviven a la edad x , por lo tanto, la derivada, indica la tasa anual a la cual l_x va cambiando, es decir, proporciona la tasa anual a la que ocurre el fallecimiento a la edad x . Esta derivada es negativa debido a que l_x es una función decreciente. Dividiendo la derivada negativa de l_x entre l_x se obtiene la tasa relativa instantánea de fallo mejor conocida como fuerza de mortalidad a la edad x , y se expresa de la siguiente manera:

$$\mu_x = -\frac{S'(x)}{S(x)} = -\frac{l_0 * S'(x)}{l_0 * S(x)} = \frac{-\frac{d}{dx}l_x}{l_x} \quad (13)$$

O bien, realizando un cambio de variable se obtiene:

$$\mu_{x+t} = \frac{-\frac{d}{dt}l_{x+t}}{l_{x+t}} \quad (14)$$

Esta forma de expresar a la fuerza de mortalidad suele ser frecuentemente utilizada.

En términos actuariales, T_x representa el total de años de vida esperados que le restan por vivir a un individuo de edad x . De esta manera, al valor esperado de la variable aleatoria T_x dado que la persona se encuentra con vida a la edad x , se le llama esperanza de vida completa y se refiere a los años que le restan por vivir a una persona de edad x , la cual es denotada por:

$$e_x^o = E[T_x] = \int_0^{\infty} t * {}_t p_x \mu_{x+t} dt = \int_0^{\infty} {}_t p_x dt \quad (15)$$

Sustituyendo:

$${}_t p_x = \frac{l_{x+t}}{l_x} \quad (16)$$

Se tiene que:

$$e_x^o = \frac{1}{l_x} \int_0^{\infty} l_{x+t} dt = \frac{1}{l_x} \int_x^{x+n} l_y dy = \frac{T_x}{l_x} \quad (17)$$

El concepto de esperanza de vida completa puede ser restringido para un periodo temporal. Sea $e_{x:\overline{n}|}^o$ la esperanza de vida completa temporal, es decir, los años que le restan por vivir a una persona de edad x durante los próximos n años. Lo anterior se expresa de la siguiente manera:

$$e_{x:\overline{n}|}^o = \int_0^n {}_t p_x dt = \frac{1}{l_x} \int_0^n l_{x+t} dt = \frac{T_x - T_{x+n}}{l_x} \quad (18)$$

Antes de continuar con el siguiente concepto, es importante definir primero la variable aleatoria discreta $K(x)$ la cual surge de la premisa de que para cada x existe un entero positivo k tal que $k - 1 < T(x) \leq k$, de esta manera se define la variable aleatoria $K_x = k$ que se refiere al intervalo de tiempo de fallecimiento para una persona de edad x , es decir, $K_x = k$ indica que el fallecimiento de una persona de edad x ocurrirá en el k^{th} intervalo $(k - 1, k]$. De esta manera se define la variable aleatoria discreta $K(x)$ que representa los años completos vividos después de la edad x . Es decir, $K(x)$ es la parte entera de $T(x)$, $K(x) = [T(x)]$. Por ejemplo, sea $T(x) = 67.35$ entonces $K(x) = 67$.

De acuerdo con lo anterior la esperanza de vida truncada, se refiere al número esperado de años completos que le restan por vivir a un individuo de edad x , simbolizada por:

$$e_x = \sum_{k=1}^{\infty} k p_x = \frac{1}{l_x} \sum_{k=1}^{\infty} l_{x+k} \quad (19)$$

Restringiendo dicha suma a un cierto número de años n , se tiene que:

$$e_{x:\overline{n}|} = \sum_{k=1}^n k p_x = \frac{1}{l_x} \sum_{k=1}^n l_{x+k} \quad (20)$$

Lo cual representa el número esperado (o promedio) de años completos vividos en el intervalo $(x, x + n]$ por un individuo perteneciente a l_x . Por otro lado, como se mencionó anteriormente $T(x)$, representa el total de años de vida esperados que le restan por vivir a un individuo de edad x , definido como:

$$T_x = \int_x^{\infty} l_y dy \quad (21)$$

Así, la diferencia entre $T(x)$ y $T(x + n)$ representa el total de años vividos durante las edades de x y $x + n$, por las personas pertenecientes a l_x . Esta medida se denota como:

$${}_n L_x = T(x) - T(x + n) \quad (22)$$

Pero se tiene que:

$$e_{x:\bar{n}|}^o = \frac{T_x - T_{x+n}}{l_x} \quad (23)$$

De esta manera:

$${}_nL_x = l_x * e_{x:\bar{n}|}^o \quad (24)$$

Otra forma de ver a ${}_nL_x$ se obtiene de la siguiente manera:

$${}_nL_x = T(x) - T(x+n) = \int_x^\infty l_y dy - \int_{x+n}^\infty l_y dy = \int_x^{x+n} l_y dy \quad (25)$$

Y realizando el cambio de variable de $t = y - x$, se obtiene que:

$${}_nL_x = \int_0^n l_{x+t} dt \quad (26)$$

El concepto de tasa central de mortalidad es denotado como:

$${}_nm_x = \frac{\int_0^n {}_tp_x * \mu_{x+t} dt}{\int_0^n {}_tp_x dt} \quad (27)$$

Pero se tiene que:

$${}_tp_x = \frac{l_{x+t}}{l_x} \quad (28)$$

Por lo cual:

$${}_nm_x = \frac{\int_0^n l_{x+t} * \mu_{x+t} dt}{\int_0^n l_{x+t} dt} \quad (29)$$

Resolviendo la integral del numerador, se tiene:

$$\int_0^n l_{x+t} * \mu_{x+t} dt = l_x - l_{x+n} = {}_n d_x \quad (30)$$

De esta manera, utilizando la ecuación 26, se tiene que:

$${}_n m_x = \frac{{}_n d_x}{{}_n L_x} \quad (31)$$

Es decir, la tasa central de mortalidad se refiere a la tasa de muertes por años vivido en el intervalo x y $x + n$.

Capítulo 2. La fecundidad adolescente.

En este apartado se presentan distintas definiciones que aluden al concepto de fecundidad, así mismo se definen algunos conceptos básicos que se encuentran estrechamente relacionados con ella y por ende son necesarios para su análisis y comprensión. Posteriormente, para profundizar en el tema de fecundidad adolescente, primero se describe el concepto de adolescencia, el cuál es visto desde ciertas perspectivas disciplinarias como lo son la sociología, la psicología y la biología, además de la definición oficial de fecundidad adolescente que ha sido adaptada por organizaciones reconocidas mundialmente como: el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), la OMS y la Organización Panamericana de la Salud (OPS). Además, se describen los principales factores que conllevan al embarazo adolescente en México y las repercusiones biológicas y psicosociales que se encuentran detrás de la fecundidad en los jóvenes.

2.1 Definición de fecundidad y otros conceptos relacionados.

De acuerdo con el Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) no existe un único concepto de fecundidad debido a la variedad de determinantes biológicos y sociales que la rodean. Es importante señalar que, además, en este concepto, influye un conjunto de factores estructurales e individuales relacionados con las políticas nacionales de población, las políticas de salud en general y de salud reproductiva en particular, las condiciones de vida de las parejas y en especial de las mujeres, expresadas en la educación, la actividad económica y el ingreso.

De acuerdo con Freedman *et al.* (1976) la fecundidad es el número de nacimientos producidos en una población y periodo de tiempo determinado. Henry (1976) define a la fecundidad como el conjunto de fenómenos cuantitativos que está directamente ligados a la procreación. Pressat (1973) menciona que la fecundidad hace referencia a las circunstancias de la procreación humana.

Siguiendo el planteamiento de Welti (1997) la fecundidad se define, desde un punto de vista individual, como la capacidad efectiva⁵ de una mujer, un hombre o una pareja, de “producir” un nacimiento. El concepto de natalidad, a diferencia de la fecundidad, se refiere a la producción de nacimientos por el conjunto de una población. En términos operativos, la fecundidad se relaciona con el número de hijos que cada mujer tiene a lo largo de su periodo de fertilidad mientras que la natalidad se vincula con la cantidad de nacimientos ocurridos, en cierto periodo de tiempo, en una población con relación al total de personas que la componen.

Independientemente de las definiciones anteriores, los demógrafos han llegado al acuerdo de que la fecundidad está relacionada con el resultado final del proceso reproductivo, es decir, con el nacimiento de un niño, de esta manera se reconoce que su estudio tiene que realizarse tomando en cuenta cada una de sus etapas, considerando aspectos cuantitativos, las

⁵ Se habla de fecundidad efectiva al referirse a un nacido vivo.

determinaciones sociales y de otra índole sobre sus niveles, así como los cambios históricos que ha experimentado (CELADE, PROLAP y UNAM 1997).

Otro concepto que se encuentra íntimamente ligado al de fecundidad es el de fertilidad, que de acuerdo Valdés (2000) se refiere a la capacidad fisiológica que tiene una persona o pareja para producir un hijo vivo, contrario al concepto de infertilidad que es la incapacidad de concebir un hijo.

La diferencia entre fecundidad y fertilidad⁶ radica en que la primera hace referencia a lo real, es decir, al resultado efectivo de la reproducción mientras que la fertilidad hace referencia a lo posible, es decir a la capacidad de tener hijos independientemente de si se han tenido antes o si se llegará a tenerlos algún día. Se puede ser fértil pero no haber tenido ningún hijo todavía, y se puede haber tenido hijos (ser fecundo) y, en cambio, haber perdido posteriormente la fertilidad (tras la menopausia las mujeres dejan de ser fértiles, pero su fecundidad es la que tuvieron anteriormente y no cambia por ello).

Por otro lado, la fecundabilidad es la probabilidad que tiene una mujer para lograr un embarazo durante la etapa de su ciclo menstrual en que es fértil. Una pareja sin problemas de fertilidad y con relaciones sexuales regulares y no protegidas tiene una probabilidad de conseguir un embarazo por ciclo ovulatorio de alrededor de un 25% (Yen, Jaffe y Barbieri, 2001).

2.2 Fecundidad adolescente: consecuencias y factores.

Para hablar de fecundidad adolescente es importante primero profundizar en el concepto de adolescencia. Las primeras aproximaciones conceptuales datan de la segunda mitad del siglo pasado a partir de la obra del psicoanalista Stanley Hall (Pineda, 1999). El término proviene del latín del verbo “*adolesco, adolescere*” que significa crecer (Cornellá, 1999), de acuerdo con la RAE, se refiere al periodo de la vida humana subsecuente a la niñez, pero precedente a la juventud.⁷

El concepto de adolescencia se encuentra definido conceptual y funcionalmente desde distintos ángulos disciplinarios, desde la sociología es considerada una representación sociocultural, que se originó en un momento histórico determinado, y que ha venido cambiando de acuerdo con las grandes transformaciones sociales. Desde esta perspectiva, se la entiende como una relación social transitoria establecida en el ciclo vital humano en el periodo entre la infancia y como adulto. Se dice que es una relación social porque no puede entenderse sino como parte de la interrelación generacional humana establecida en un determinado periodo del ciclo vital. Es transitoria porque el contenido fundamental de esta relación humana está orientado a que los adolescentes adquieran los conocimientos y habilidades básicas para pasar a la etapa de adulto (UNFPA-INIM-CASC, 1999).

⁶ Es importante tener cuidado con el cruce de los significados entre los idiomas inglés y español. En el ámbito anglosajón sus significados son exactamente opuestos, de modo que “fertility” equivale a “fecundidad” en castellano, y “fecundity” a “fertilidad”.

⁷ La anticoncepción: implicaciones en el embarazo adolescente, fecundidad y salud reproductiva en México. ENADID 2014.

Desde el punto de vista psicológico, la adolescencia es una etapa de experimentación, de tanteos y errores. Es una fase en la que los estados afectivos se suceden con rapidez y pueden encontrarse disociados de cualquier causa aparente, aspecto que desorienta enormemente a los adultos. La misma disciplina considera que el comportamiento de los adolescentes está caracterizado por una inestabilidad en los objetivos, los conceptos y los ideales, derivada de la búsqueda de una identidad propia. Es además la etapa en la que comienzan los primeros coqueteos, con los que se descubren los juegos de seducción y los sentimientos amorosos en las relaciones interpersonales con otras personas. Progresivamente las experiencias sexuales directas van sustituyendo al flirteo, como consecuencia de las transformaciones en las representaciones sociales y el desarrollo de los métodos anticonceptivos (Clark, Clemes y Bean, 2000).

Desde el campo de la biología médica, la OPS y la OMS definen la adolescencia como la etapa que transcurre entre los 10 y los 19 años, y que se desarrollaría en dos fases: la adolescencia temprana, desde los 10 a los 14 años, y la tardía, desde los 15 a los 19 años. En cierto tramo etario la adolescencia se superpone con la juventud, entendida como el periodo comprendido entre los 15 y los 24 años. La juventud es una categoría psicológica que coincide con la etapa post pubertad de la adolescencia, ligada a los procesos de interacción social en la definición de la identidad y a la asunción de responsabilidades. Es por ello que la condición de juventud no es uniforme, ya que varía de acuerdo con el grupo social que se considere (OPS y OMS, 1995).

De acuerdo con la UNICEF, la adolescencia es una etapa entre la niñez y la edad adulta, que cronológicamente se inicia por los cambios puberales y que se caracteriza por profundas transformaciones biológicas, psicológicas y sociales, muchas de ellas generadoras de crisis, conflictos y contradicciones, pero esencialmente positivas (MINSAP, 2002).

Aunque con propósitos analíticos, diversas organizaciones internacionales como las Naciones Unidas, consideran como adolescentes a los individuos entre los 10 y 19 años de edad, para analizar la fecundidad adolescente en este estudio, nos centraremos en las mujeres de 15 a 19 años, y la definiremos como los nacimientos ocurridos de las mujeres en dicho rango de edad.

De acuerdo con el Manual de la Adolescencia en la Organización Panamericana de la Salud (OPS), el embarazo en la adolescencia se define como la gestación que ocurre durante los dos años posteriores al inicio de la primera menstruación, cuando el adolescente es dependiente tanto social como económicamente de sus padres (Silber, 1992).

La OMS define al embarazo adolescente como un tipo de gestación prematura, y por ende de riesgo, no solo por las posibles dificultades que se presentan durante la gestación y el parto para esta población que interrumpe su proceso de maduración biológica, sino porque los embarazos ocurren en su mayoría en comunidades con gran vulnerabilidad donde es latente la falta de cuidados o de acceso a los mismos o su elevado costo y/o su escasa calidad, lo cual resulta determinante ante el peligro de sufrir lesiones, hemorragias, infecciones, abortos peligrosos, eclampsia (hipertensión grave con convulsiones), o complicaciones derivadas de enfermedades preexistentes que durante el embarazo se agravan y pueden desencadenar la mortalidad materna e infantil (OMS, 2015).

De acuerdo con Valdés (2000) las causas del embarazo en adolescentes en México son:

- Los valores culturales predominantes en México en relación con la sexualidad y la reproducción biológica, para que la primera sea socialmente aceptada. Conforme a esto, la sexualidad no debiera desempeñarse antes o fuera de una unión consensual, preferentemente del matrimonio, lo cual tiene implicaciones por la falta de preparación en los adolescentes para que puedan tomar las precauciones necesarias con objeto de evitar embarazos no deseados.
- El papel predominante que ocupa la maternidad y la formación de una familia en la población mexicana. La fuerza que tiene la maternidad ejerce presiones tanto en varones como en mujeres para la práctica de su sexualidad y para enfrentar un posible embarazo sin contemplar las consecuencias.
- La desigualdad de género, misma que da paso a que las mujeres sean inducidas a tener relaciones sexuales por coerción del varón, la cual puede ir desde presiones, amenazas hasta abuso sexual y/o violación. Gran parte de los embarazos no deseados de mujeres adolescentes son producto de este tipo de acciones.

En los sectores pobres de la población, un factor importante es la falta de acceso a la educación y por consiguiente de tener un trabajo, los que impide la realización personal, lo que causa que las mujeres tiendan a formar una familia siendo muy jóvenes.

Por otro lado, en los sectores no pobres de la población, la propagación de la adolescencia, debido a la extensión de la escolarización, tiene como consecuencia una mayor interacción entre los jóvenes, lo cual, sin una correcta educación sexual y reproductiva, lleva a la ocurrencia de embarazos no deseados antes de la unión o el matrimonio.

La importancia del estudio de la reproducción a temprana edad proviene de numerosas razones, que implican distintos enfoques y maneras de abordaje. Las adolescentes no están preparadas para dar a luz, ni social ni biológicamente. Desde una aproximación social, fundamentalmente porque esa etapa de la vida debe destinarse a la formación, y en general esa no es una actividad compatible con las responsabilidades que derivan de la maternidad. Biológicamente, y como lo han demostrado numerosos estudios, la fecundidad adolescente se asocia a mayores riesgos de morbilidad y mortalidad materna, de complicaciones en el parto, de mortalidad infantil, y a peores condiciones de salud del niño (Naciones Unidas, 1989; Flórez y Núñez, 2003). A nivel mundial, las dificultades presentadas durante el embarazo y el parto se encuentran como la segunda causa de muerte entre las mujeres adolescentes de 15 a 19 años. Los riesgos para estas mujeres pueden ser aumento de peso, hipertensión, preeclampsia, anemia, infecciones de transmisión sexual y desproporciones cefalopélvicas, estas últimas son las causantes de muerte para la madre y el bebé (Reyes, 2014).

En algunos casos los impactos emocionales del embarazo adolescente como lo son la disminución de la autoestima, percepción negativa de la condición de felicidad, entre otros, conforman otro aspecto relevante y complejo, el cual supone un riesgo mayor para considerar la posibilidad de un aborto.

Por otro lado, hay una incidencia en el aumento de las desigualdades de género, porque la maternidad temprana suele amarrar a las mujeres a un rol reproductivo y doméstico (Di Cesare y Rodríguez, 2006), esto disminuye las oportunidades de progreso personal, social y profesional de las madres. Estas desventajas sociales favorecen a la transmisión intergeneracional de la pobreza, acentuando los procesos de desigualdad y exclusión social (Villagómez, 2008). El embarazo en la adolescencia se asocia con la interrupción o abandono de la educación formal, que lleva a la pérdida de oportunidades para el desarrollo de capacidades que permitan a las adolescentes acceder a una mejor calidad de vida. La baja escolaridad que alcanzan estas adolescentes y la dificultad para reinsertarse en el sistema escolar tienen un efecto negativo en la formación del capital humano y la capacidad de forjarse un mejor futuro (INSP, 2015).

Capítulo 3. Indicadores demográficos.

A lo largo del tiempo ha habido una evolución respecto a las medidas que son utilizadas para la cuantificación de la fecundidad, debido a su complejidad, principalmente por ser de carácter repetitivo, es decir; una mujer, un hombre o una pareja pueden tener más de un hijo, aunado a eso, el proceso reproductivo, como anteriormente se mencionó involucra a dos personas, un hombre y una mujer. Usualmente las medidas de la fecundidad son tasas que relacionan los nacimientos con la población que los produce o, dicho de otra manera, los eventos que ocurren en una población expuesta al riesgo de producirlos o experimentarlos (Welti, 1997).

Antes de calcular cualquier indicador se debe especificar qué es lo que se desea medir, por ejemplo, el número de partos o nacimientos vivos. Por lo general se toma en cuenta como unidad de análisis únicamente al nacido vivo en lugar del parto, debido a que lo importante es medir el efecto final que se produce en la fecundidad. También es importante identificar a que población se quiere realizar la medición de fecundidad, puede ser a toda la población o únicamente a mujeres. Si el estudio parte de la mujer como unidad de análisis, entonces la población de estudio estará delimitada por las mujeres en edad fértil, es decir, mujeres con edades de entre 15 y 50 años exactamente (15 a 49 años cumplidos). En general la mayoría de las tasas suelen calcularse tomando como unidad a la mujer, ya que a pesar de que para concebir un hijo se requiere también de un hombre, la mujer cobra mayor importancia en las siguientes etapas del periodo reproductivo. Aunado a lo anterior, otras razones que sirven de justificación para la elección de la unidad de análisis a la mujer son el periodo de fertilidad definido que tienen las féminas y el hecho de que la identificación de la madre siempre es más sencilla que la del padre.

Así mismo, existen dos tipos de análisis, de tipo transversal y longitudinal. El análisis transversal estudia a la fecundidad de acuerdo con el nivel, es decir, a los valores absolutos de las tasas calculadas para un periodo de tiempo específico y a la estructura, que muestra cómo se distribuye la fecundidad total de acuerdo con estas variables. Para este tipo de análisis la dimensión más importante es el tiempo en que ocurren los acontecimientos. En cambio, en el análisis longitudinal, se hace estudio de la fecundidad siguiendo la experiencia real de una cohorte de mujeres durante su periodo fértil. El nivel de fecundidad evaluado al final del periodo fértil es denominado como la intensidad de la fecundidad y a la distribución de los nacimientos durante dicho periodo se le denomina calendario (Welti, 1997).

En este apartado se expondrán las medidas más importantes de tipo transversal que son utilizadas para la cuantificación y el análisis de la fecundidad. De igual forma, se presentan ejemplos del cálculo de cada una de ellas para una mejor comprensión de las mismas.

3.1 Tasa bruta de natalidad.

La tasa bruta de natalidad (b^Z) es el cociente entre el número de nacimientos ocurridos durante un cierto periodo de tiempo y la población total a mitad de dicho periodo. Esta medida indica el número de nacimientos en cierta población por cada mil habitantes durante ese lapso, el cual es comunmente de un año, por tal motivo esta tasa también suele ser conocida como “Tasa Anual Media de Natalidad.” Se calcula de la siguiente manera:

$$b^Z = \frac{B^Z}{\bar{N}^Z} * 1,000 \quad (32)$$

donde B^Z indica el número total de nacimientos ocurridos durante el año Z y \bar{N}^Z se refiere a la población total a mitad del año Z (al 30 de junio de dicho año).

En algunas ocasiones, para contar con mayor exactitud de la tasa se suele calcular para un periodo de tres años, centrado en el año de interés a estudiar. Una manera consiste en calcular las tasas de los tres años usando la formula 32 y promediarlas, sin embargo, lo más común es tomar como numerador al promedio de los nacimientos ocurridos en los 3 años y dividirlos por la población total a mitad del año intermedio, es decir, del año de interés en el estudio.

A manera de ilustración, se tienen datos sobre los nacimientos ocurridos en la República Mexicana para los años 2008, 2009 y 2010:

Tabla I. Nacimientos y población media de la República Mexicana. 2009-2011

Año	Número total de nacimientos	Población a mitad del año
2009	2,270,016	112,095,338
2010	2,270,264	113,748,671
2011	2,269,060	115,367,452

Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos de los indicadores demográficos de la República Mexicana, CONAPO

$$\text{Promedio de los nacimientos} = \frac{2,270,016+2,270,264+2,269,060}{3} = 2,269,780$$

De esta manera tenemos que:

$$b^{2010} = \frac{2,269,780}{113,748,671} * 1,000 = 19.95 \approx 20$$

Por lo tanto, para el año 2010 había 20 nacimientos por cada mil habitantes.

La tasa bruta de natalidad tiene la ventaja de ser fácil de calcular e interpretar, sin embargo, su principal limitación surge debido a que esta tasa mide la natalidad, entendida como la frecuencia relativa de nacimientos con respecto de toda la población y no solo a aquella

población expuesta al riesgo de procrear (mujeres en edad fértil) de modo que la comparación de dicha tasa para diferentes áreas o regiones (o incluso en la misma área o región pero en diferentes momentos) puede arrojar diferencias que no están completamente explicadas por variaciones reales en el nivel de la fecundidad, sino que por diferencias en las estructuras por sexo y edad de las poblaciones analizadas. En este tipo de casos se habla de factores extrínsecos a la fecundidad, es decir, a factores que al variar no influyen en los niveles de fecundidad, pero sí afectan al índice usado para medir dicho nivel. Por tal motivo, si se quiere estudiar a las diferencias de fecundidad se recomienda usar otro tipo de medidas, las cuáles se explican más adelante.

3.2 Tasa de fecundidad general.

La tasa de fecundidad general (TFG) es el cociente entre los nacimientos ocurridos en un lapso de tiempo (normalmente un año) y la población femenina en edad fértil en dicho periodo de tiempo⁸. Esta tasa indica la cantidad de nacimientos por cada mil mujeres en edad fértil ocurridos durante cierto periodo de tiempo. Su fórmula de cálculo es:

$$TFG = \frac{B^Z}{{}_{35}\overline{NF}_{15}^Z} * 1,000 \quad (33)$$

donde B^Z indica el número total de nacimientos ocurridos durante el año Z y ${}_{35}\overline{NF}_{15}^Z$ la población femenina en edad fértil (15 a 49 años) a mediados del año Z .

Para el caso del país, se estimó que a mediados del 2010, había un total de 30,703,546⁹ mujeres con edades de entre 15 y 49 años, así:

$$TFG = \frac{2,270,016}{30,703,546} * 1,000 = 73.93 \approx 74$$

De esta manera se concluye que para el año 2010 hubo 74 nacimientos por cada mil mujeres en edad fértil.

La tasa bruta de natalidad es equivalente a la tasa de fecundidad general multiplicada por la proporción de mujeres en edad fértil. Es decir, si en la fórmula de la tasa de fecundidad general se divide el numerador y el denominador entre la población total, se obtiene que:

$$TFG^Z = \frac{B^Z / \overline{N}^Z}{\overline{NF}_{(15-49)}^Z / \overline{N}^Z} = \frac{b^Z}{PMEF^Z} \quad (34)$$

⁸ En general la edad fértil se considera en el intervalo de 15-49 años, sin embargo, en otros países se considera de 15-44 años ó 10-49 años.

⁹ Cifra obtenida de acuerdo con el INEGI. 2010. Población. Tabulados interactivos.

Despejando se tiene que:

$$b^Z = TFG^Z * \overline{PMEF}^Z \quad (35)$$

Donde \overline{PMEF}^Z indica la proporción de mujeres en edad fértil (15 a 49 años) respecto a la población total de la región o área estimada a mediados del año Z.

Por lo tanto, la tasa bruta de natalidad no es una medida neta de fecundidad, ya que toma en cuenta para su cálculo a la proporción de mujeres en edad fértil, y depende de la estructura por edad y sexo de la población. Por tal motivo no se recomienda el uso de esta medida para medir las diferencias de fecundidad entre dos o más poblaciones con distintas estructuras por edad y sexo.

3.3 Tasa específica de fecundidad.

La tasa específica de fecundidad por edad representa la frecuencia con que ocurren los nacimientos de hijos de mujeres de un grupo de edad determinado, con respecto a las mujeres del mismo grupo de edad. Esta tasa muestra cómo se distribuye la fecundidad de las mujeres a lo largo de su periodo fértil y es de utilidad para propósitos analíticos. Se expresa de la siguiente manera:

$$f_x^Z = \frac{B_x^Z}{\overline{NF}_x^Z} \quad (36)$$

Donde B_x^Z representa al número de nacimientos de los hijos de mujeres de edad x que ocurrieron durante el año Z y \overline{NF}_x^Z indica la población femenina de edad x a mitad del año Z.

Estas tasas por edades simples no suelen ser muy utilizadas, lo cual se debe a la dificultad de encontrar los datos necesarios y la incomodidad de trabajar con una serie de 35 tasas (considerando el periodo de fertilidad de 15-49 años), debido a esto, dichas tasas se presentan generalmente por grupos quinquenales de edad. Para este tipo de casos, la fórmula queda de la siguiente manera:

$${}_5f_x^Z = \frac{{}_5B_x^Z}{{}_5\overline{NF}_x^Z} \quad (37)$$

Donde ${}_5B_x^Z$ representa al número de nacimientos de los hijos de mujeres de entre edades de x y $x + 5$ que ocurrieron durante el año Z y ${}_5\overline{NF}_x^Z$ indica a la población femenina de edades entre x y $x + 5$ a mitad del año Z .

Al calcular las tasas por grupos quinquenales, los nacimientos de mujeres menores de 15 años suelen agregarse al de 15-19 años, grupo para el cual esta tasa se denomina como “Tasa de Fecundidad Adolescente”. Por su parte, los nacimientos que aparecen en mujeres de más de 50 años se asignan al grupo de 45-49 años, en este grupo la fecundidad generalmente suele ser bastante baja.

A continuación, se muestra, el cálculo de las tasas de fecundidad por grupos quinquenales de edad, para el año 2010.

Tabla II. Cálculo de las tasas específicas de fecundidad por grupos quinquenales para la República Mexicana. 2010

Grupo de edad	Número total de nacimientos	Población femenina	Tasa de fecundidad ${}_5f_x^{2010}$
15-19	464,102	5,505,991	0.0843
20-24	748,723	5,079,067	0.1474
25-29	624,181	4,582,202	0.1362
30-34	418,695	4,444,767	0.0942
35-39	205,503	4,328,249	0.0475
40-44	49,430	3,658,904	0.0135
45-49	5,128	3,104,366	0.0017
Total	2,515,762	30,703,546	0.5248

Nota: En los grupos de 15-19 y 45-49 años, para este ejercicio, no se tomaron en cuenta los registros de mujeres menores de 15 años y mayores de 50 respectivamente.

Fuente: Elaboración propia con base a datos de nacimientos provenientes de los registros administrativos de natalidad y población del INEGI para el año 2010.

Así, la tasa de fecundidad de las mujeres del grupo de 30-34 años puede calcularse de la siguiente manera:

$${}_5f_{30}^{2009} = \frac{418,695}{4,444,767} = 0.0942$$

Este resultado se interpreta, en ausencia de partos múltiples y de no más de un parto en el año, como la proporción de mujeres del grupo de edad específico que tuvieron un hijo durante el periodo de referencia; para este ejemplo en particular, alrededor de un 10% de mujeres de edades entre 30 y 34 años tuvieron un hijo en el 2010. Al expresar este resultado por mil, se tendría que, en el país, para el año 2010, hubo aproximadamente 94 nacimientos por cada mil mujeres del grupo de edad de 30 a 34 años. Esta medida puede interpretarse como el número

medio de nacimientos por mujer de 30 a 34 años, para el año de 2010, por lo cual se dice que es una medida promedio de la fecundidad de todo el grupo de edad.

Para estudiar la estructura por edad de fecundidad suelen calcularse dos indicadores: la distribución porcentual de las tasas de fecundidad, la cual se calcula dividiendo la tasa de cada grupo de edad por la suma de las tasas; y, por otra parte, la edad media o mediana de la fecundidad, medida de la cual se hablará más adelante.

3.4 Tasa global de fecundidad.

La tasa global de fecundidad (TGF^Z) es el promedio de niños que nacen vivos durante la vida de una mujer o un grupo de mujeres, si todos sus años reproductivos transcurrieran conforme a las tasas de fecundidad por edad de un año determinado asumiendo que no hay mortalidad de la mujer durante el periodo de tiempo de su vida fértil. Esta tasa es una medida resumen de la suma de todas las tasas de fecundidad específicas por edad, multiplicada por la longitud de cada intervalo, si las tasas son quinquenales, deberán multiplicarse por cinco, lo cual se expresa de la siguiente manera:

$$TGF^Z = 5 * \sum_{X=15}^{45} {}_5f_X^Z \quad (38)$$

Representa una de las medidas más importantes, ya que responde a la pregunta sobre el número de hijos que las mujeres tienen, es decir, esta medida se refiere a la capacidad de reproducción que tienen las mujeres, por lo cual se utiliza internacionalmente para realizar comparaciones permitiendo estimar el nivel de reemplazo de generaciones, es decir, cuantos hijos van a reemplazar a sus padres.

Para el año 2010, en la República Mexicana, de acuerdo con los datos de la tabla II se tiene que:

$$\begin{aligned} TGF^{2010} &= 5 * \sum_{X=15}^{45} {}_5f_X^{2010} = 5 * ({}_5f_{15}^{2010} + {}_5f_{20}^{2010} + {}_5f_{25}^{2010} \\ &\quad + {}_5f_{30}^{2010} + {}_5f_{35}^{2010} + {}_5f_{40}^{2010} + {}_5f_{45}^{2010}) \\ &= 5 \\ &\quad * (0.0843 + 0.1474 + 0.1362 + 0.0942 + 0.0475 + 0.0135 + 0.0017) \\ &= 5 * 0.5248 = 2.6238 \end{aligned}$$

Por la tanto se concluye que, de acuerdo con los datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) del año 2010, cada mujer que inició su vida reproductiva en ese año tendrá en promedio 2.7 hijos. El nivel de reemplazo de la pareja se alcanza cuando la tasa llega a un valor de 2.1, lo cual indica que los padres serán reemplazados por 2 hijos. El 0.1 se refiere a la mortalidad infantil. Debido a que no todos los niños llegan a la edad adulta.

3.5 Edad media de fecundidad.

La edad media de fecundidad se denota (EMF^Z) y se calcula multiplicando las tasas de fecundidad por edad por el punto medio del intervalo de edad y dividiendo la suma de estos valores por la sumatoria de las tasas de fecundidad. Se obtiene mediante la siguiente formula:

$$EMF^Z = \frac{\sum_{X=15}^{45} ({}_5f_X^Z * {}_5X_x^Z)}{\sum_{X=15}^{45} {}_5f_X^Z} \quad (39)$$

Donde ${}_5X_x^Z$ representa el punto medio del intervalo de edad $\frac{x+x+5}{2}$ para el año Z .¹⁰
Calculando la EMF^Z para la población del país en el año 2010, se tiene que:

Tabla III. Cálculo de la edad media de fecundidad para la República Mexicana. 2010.

Grupo de edad	${}_5X_x^{2010}$	Tasa de fecundidad ${}_5f_x^{2010}$	${}_5f_x^{2010} * {}_5X_x^{2010}$
15-19	17.5	0.0843	1.475
20-24	22.5	0.1474	3.316
25-29	27.5	0.1362	3.745
30-34	32.5	0.0942	3.061
35-39	37.5	0.0475	1.781
40-44	42.5	0.0135	0.057
45-49	47.5	0.0017	0.080
Total		0.5248	14.034

Fuente: Elaboración propia con base a datos provenientes de los registros administrativos de natalidad y población del INEGI para el año 2010.

Con los datos de la tabla III, se tiene que:

$$EMF^Z = \frac{14.034}{0.5248} = 26.7$$

Por lo tanto, en promedio una mujer tiene sus hijos a los 26.7 años.

La interpretación de este índice es analítica, ya que entrega un valor que no existe en realidad. En efecto, se refiere a la edad a la que, en promedio, se situarían todos los nacimientos de cada mujer. Esto suponiendo que las mujeres tuvieran todos sus hijos en un solo momento del tiempo y no en distintos lapsos.

¹⁰ En caso de disponerse de las tasas de fecundidad por edades simples, es decir, de un año, el cálculo de esta medida se vuelve mucho más confiable, debido a que el punto medio del intervalo de la edad, en este caso uno, será mucho más exacto que la edad definida como punto medio de los grupos quinquenales.

El margen de variación que presenta este indicador oscila entre 26 y 30 años (CELADE, 1987); más aún, en ausencia de datos para el cálculo de este indicador se recomienda el uso del valor estándar de 27.5 años. Un valor bajo de esta medida implica que la fecundidad se concentra en edades más jóvenes; en cambio una edad media más elevada se obtiene en países donde la fecundidad ocurre más tardíamente.

3.6 Tasa bruta de reproducción.

La tasa bruta de reproducción (TBR^Z) es la suma de las tasas específicas por edad, tomando en cuenta solamente el nacimiento de las niñas. Esta tasa se interpreta como el número de hijas que en promedio tendría una cohorte¹¹ de mujeres durante su periodo reproductivo, si las tasas de fecundidad por edad del periodo considerado se mantuvieran constantes y suponiendo que la mortalidad es nula antes del tiempo del periodo fértil.

Esta tasa es calculada con las tasas de fecundidad por grupos quinquenales de edad y se expresa de la siguiente manera:

$$TBR^Z = 5 * \sum_{x=15}^{49} {}_5f_x^Z(f) \quad (40)$$

Donde ${}_5f_x^Z(f)$ representa la tasa de fecundidad por edad, calculada tomando en cuenta únicamente a los nacimientos de las niñas.

Sin embargo, lo más común es utilizar una proporción teórica de nacimientos femeninos que se supone la misma para los diferentes grupos de edad. Esta proporción (K), se obtiene bajo el supuesto de un promedio de 105 nacimientos masculinos por cada 100 femeninos. De este modo, suponiendo un total de 205 nacimientos, 100 de ellos resultarían ser femeninos, así tenemos que:

$$K = \frac{100}{205} = 0.4878 \quad (41)$$

De esta manera 0.4878 es la proporción de nacimientos femeninos sobre el total de alumbramientos. Así, la tasa bruta de reproducción puede escribirse de la siguiente manera:

$$TBR^Z = 5 * \sum_{x=15}^{45} {}_5f_x^Z * K = K * 5 * \sum_{x=15}^{45} {}_5f_x^Z \quad (42)$$

Entonces tenemos que:

$$TBR^Z = K * TGF^Z \quad (43)$$

¹¹ Se le llama cohorte al conjunto de personas, o parejas, que han vivido un mismo acontecimiento demográfico. Una generación es una cohorte cuyo acontecimiento demográfico ha sido el nacimiento.

Para el ejemplo que se ha venido manejando, calculando la TBR^Z , se obtiene:

$$TBR^Z = 0.4878 * 2.6238 = 1.279$$

Esta tasa calcula cuantas mujeres van a reemplazar a sus madres ya que para su cálculo solamente se toman en cuenta a los nacimientos femeninos, de esta manera el resultado que se obtuvo indica que teniendo como premisa que no existe mortalidad femenina, una generación hipotética de mujeres sería reemplazada por una nueva, de una magnitud 28 por ciento mayor.

De acuerdo con Welti, utilizar esta tasa como medida de reemplazo de las generaciones subsecuentes podría acarrear errores, debido a que su cálculo fue por medio de tasas de un periodo lo cual solo representa la situación de la fecundidad en ese lapso específico y no necesariamente la experiencia real que vivirá una cohorte de mujeres. Así mismo, por consecuencia de la inercia demográfica¹² se necesita que una tasa bruta de reproducción se mantenga bajo el nivel de reemplazo durante muchos años para provocar una reducción demográfica.¹³

3.7 Tasa neta de reproducción.

Similar a la tasa bruta de reproducción, la tasa neta de reproducción se refiere a la tasa neta de nacimientos femeninos, con la diferencia de que en este caso entra en juego la mortalidad que experimentarán estas mujeres, es decir se toma en cuenta el hecho de que pueden fallecer antes de transcurrir sus años de reproducción. Esta medida representa la capacidad de una población de autorreemplazarse por medio del nacimiento de mujeres, futuras procreadoras. Como medida transversal define el reemplazo de una generación por la siguiente, suponiendo que no existirán cambios en la mortalidad y la fecundidad. Para su cálculo se requiere de las tasas de fecundidad por edades y de una tabla de vida que permita obtener las probabilidades de mortalidad femenina desde el nacimiento hasta diferentes edades del periodo fértil. Se calcula de la siguiente de la manera:

$$TNR^Z = 5 * K \sum_{x=15}^{45} {}_5f_x^Z(f) * {}_{x+2.5}P_0(f) \quad (44)$$

Donde ${}_{x+2.5}P_0(f)$ es la probabilidad de supervivencia femenina entre el nacimiento y la edad $x + 2.5$ años, que es el punto medio de cada uno de los grupos quinquenales:

¹² El Banco Mundial (2007) define a la inercia demográfica como la tendencia de mantener el crecimiento demográfico por un cierto tiempo aun cuando la fecundidad ha alcanzado el nivel de reemplazo, debido a la concentración relativamente alta de población en edad de procrear. La causa de este fenómeno radica en las altas tasas de fecundidad en el pasado, que se traducen en una gran cantidad de personas jóvenes. Mientras estas cohortes pasan por la edad reproductiva, el número de nacimientos superará el número de fallecimientos, incluso si la fecundidad se mantiene en un nivel bajo.

¹³ Carlos Welti, Demografía I, 1997.

$${}_{x+2.5}P_0(f) = \frac{l_{(x+2.5)}(f)}{l_0} = {}_5L_x(f)/(5 * l_0) \quad (45)$$

Luego ${}_5L_x(f)$ representa el tiempo vivido entre las edades x y $x + 5$ años en la tabla de mortalidad femenina, correspondiente al periodo analizado.

En la tabla IV se presenta el cálculo de la TNR usando los datos de la tabla III y la tabla de mortalidad femenina de México para el año 2010 (ver Anexo A).

A continuación, se describen, en forma más detallada, los pasos para el cálculo de la tasa:

- 1) Tasas de fecundidad por edad (datos de la tabla III.)
- 2) Tasas de fecundidad por edad, tomando en cuenta únicamente a los nacimientos femeninos, la cual es resultado del producto de la columna (1) por el factor $K = 0.4878$.
- 3) Número medio de nacimientos femeninos entre las edades x y $x + 5$ años.
- 4) Los años vividos por una población entre las edades x y $x + 5$ años, tomada de la tabla de mortalidad abreviada (CELADE, 2010).
- 5) Probabilidad de supervivencia femenina entre el nacimiento y la edad $x + 2.5$.
- 6) Número esperado de nacimientos femeninos en cada grupo de edad que sobrevivirán a la edad de la madre al momento del parto.

La tasa neta de reproducción para México en 2010 es igual a 1.24 hijas por mujer. Es decir, suponiendo que la fecundidad y la mortalidad se mantienen constantes, un grupo de 1,000 mujeres en edad fértil sería reemplazado por una nueva generación de 1,240 mujeres, es decir, 24% más grande que la original.

Tabla IV. Cálculo de la Tasa Neta de Reproducción. 2010.

Grupo de edad	${}_5f_x^{2010}$	$K * {}_5f_x^{2010}$	$5 * {}_5f_x^{2010}$	${}_5L_x$	${}_{x+2.5}P_0$	$[5 * {}_5f_x^{2010} * {}_{x+2.5}P_0]$
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
15-19	0.0843	0.0411	0.2056	487,671	0.9753	0.2005
20-24	0.1474	0.0719	0.3595	486,714	0.9734	0.3499
25-29	0.1362	0.0664	0.3321	485,448	0.9708	0.3224
30-34	0.0942	0.0459	0.2297	483,794	0.9675	0.2222
35-39	0.0475	0.0231	0.1158	481,520	0.9630	0.1115
40-44	0.0135	0.0065	0.0329	478,200	0.9564	0.0314
45-49	0.0017	0.0008	0.0041	473,178	0.9463	0.0038
Total	0.5248	0.2556	1.2799	----	----	1.2420

Fuente: Elaboración propia con base a datos provenientes de los registros administrativos de natalidad y población del INEGI para el año 2010.

Una forma rápida de calcular esta tasa se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$TNR^Z = TBR^Z * {}_mP_0 \quad (46)$$

Donde ${}_mP_0$ es la probabilidad de supervivencia femenina desde el nacimiento hasta la edad media de fecundidad.¹⁴

De acuerdo con cálculos previos, la TBR^Z es igual a 1.279 y la EMF^Z igual a 26.7, de esta manera ${}_{26.7}P_0$ es igual a 0.9708, sustituyendo estos datos en la fórmula anterior tenemos que:

$$TNR^{2010} = 1.279 * 0.9708 = 1.2416 \approx 1.242$$

Es posible apreciar que haciendo uso de cualquiera de las dos fórmulas (44 y 46) para el caso de la TNR^Z se obtienen valores muy similares. En este caso la diferencia entre la TBR^Z y la TNR^Z es de 3.7%, valor que indica el efecto reductor que posee la mortalidad en los grupos de mujeres nacidas en un periodo dado.

¹⁴ En caso de no contar con la edad media de fecundidad, para el cálculo de la tasa neta de reproducción, se puede utilizar una edad media de fecundidad de 27.5 años.

Capítulo 4. Panorama de la fecundidad adolescente.

En este apartado se presenta, en primera instancia, una visión general de la fecundidad adolescente a nivel internacional, realizando comparaciones de las tasas de embarazo adolescente entre diversos países y otorgando un panorama general respecto a los aspectos más relevantes que sirven para tener una idea de lo que está sucediendo alrededor del mundo. Así mismo, de manera más detallada se realiza un análisis de la fecundidad adolescente, pero esta vez a nivel nacional, mostrando la evolución de la tasa de fecundidad a través de los años, realizando comparaciones por entidad federativa y presentando estadísticas sobre ciertos puntos de importancia acerca de los jóvenes adolescentes que han comenzado a procrear. Gracias a lo anterior, se puede tener una visión sobre la situación actual por la que atraviesa el país en términos de esta problemática.

4.1 Fecundidad adolescente en el ámbito internacional.

Un gran número de adolescentes menores de 20 años son sexualmente activos, de acuerdo con el Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA) en América Latina y el Caribe, aproximadamente el 60% de estos jóvenes no utiliza métodos anticonceptivos, el 90% de los embarazos no planeados de jóvenes se manifiestan en países en desarrollo, de los cuales el 38% sucede en Latinoamérica, principalmente en grupos sociales con altos índices de marginación.

A nivel internacional, los adolescentes menores de 16 años corren riesgo de defunción materna cuatro veces más alto que las mujeres de 20 a 30 años, y la tasa de mortalidad de sus neonatos es de aproximadamente un 50% mayor.¹⁵ Para las adolescentes de 18 años o menos que se convierten en madres, la probabilidad de que su bebé muera durante el primer año de vida es de un 60%, y en caso de que sobreviva existe una mayor probabilidad de que sufra bajo peso al nacer, desnutrición o retraso en el desarrollo físico y cognitivo (UNICEF, 2007). Entre el 11% y 20% de los embarazos en adolescentes son el resultado directo de una violación. Antes de los 15 años, gran parte de las experiencias de la primera relación sexual en las mujeres son de carácter no voluntarios, el 60% de las jóvenes que tuvieron relaciones sexuales antes de esta edad fueron obligadas por hombres que en promedio eran 6 años mayores que ellas (OPS, OMS, 2015).

El embarazo adolescente se comporta de forma diferente en cada país, como se puede apreciar en la tabla V, algunos países como Suiza, Dinamarca, China, Japón y Singapur tienen una menor incidencia de embarazos adolescentes, sin embargo, países como Zambia, Somalia, Nicaragua, Guatemala, Angola, y República Democrática del Congo presentan una alta incidencia.

¹⁵ Boletín de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2009), <https://www.who.int/bulletin/volumes/87/6/09-020609/es/>

Tabla V. Índice del embarazo en adolescentes por cada mil habitantes (1995-2016).

País	1995	2000	2005	2010	2015	2016
Afganistán	165	154	129	99	73	69
Angola	207	197	186	172	157	154
Argentina	71	67	64	64	63	63
Australia	20	18	17	16	14	13
Guyana	91	97	96	91	88	87
Bélgica	10	11	10	8	5	5
Brasil	84	80	72	68	64	63
República Dominicana	112	110	109	104	97	96
Canadá	22	17	14	12	10	10
Suiza	6	5	5	4	3	3
China	12	9	8	7	7	7
República Democrática del Congo	125	125	129	130	126	125
Bolivia	92	90	84	76	70	69
Colombia	83	85	73	60	52	49
Costa Rica	87	75	67	61	56	55
Cuba	69	57	48	49	46	45
Alemania	14	13	11	9	7	7
Dinamarca	8	7	6	5	4	4
España	9	9	11	10	9	9
Francia	10	10	10	10	9	9
Guatemala	123	112	96	83	74	72
India	84	67	51	36	26	25
Japón	4	5	5	5	4	4
México	82	79	73	68	63	61
Nicaragua	134	118	108	98	88	87
Panamá	96	91	89	87	84	83
Perú	70	65	57	53	49	48
Puerto Rico	73	68	57	47	40	38
Portugal	21	20	18	14	10	10
Honduras	122	112	99	84	74	72
Arabia Saudita	46	27	16	11	9	8
Singapur	8	8	7	5	4	4
Somalia	117	127	127	117	104	102
Tailandia	48	43	42	48	52	52
Uruguay	69	65	62	59	56	55
Haití	65	56	49	43	39	38
Estados Unidos	55	46	41	33	22	21
Venezuela	94	93	91	89	86	86
Sudáfrica	85	74	63	54	46	44
Zambia	146	142	126	105	89	86

Fuente: Elaboración propia con base a los indicadores del desarrollo mundial, Banco Mundial.

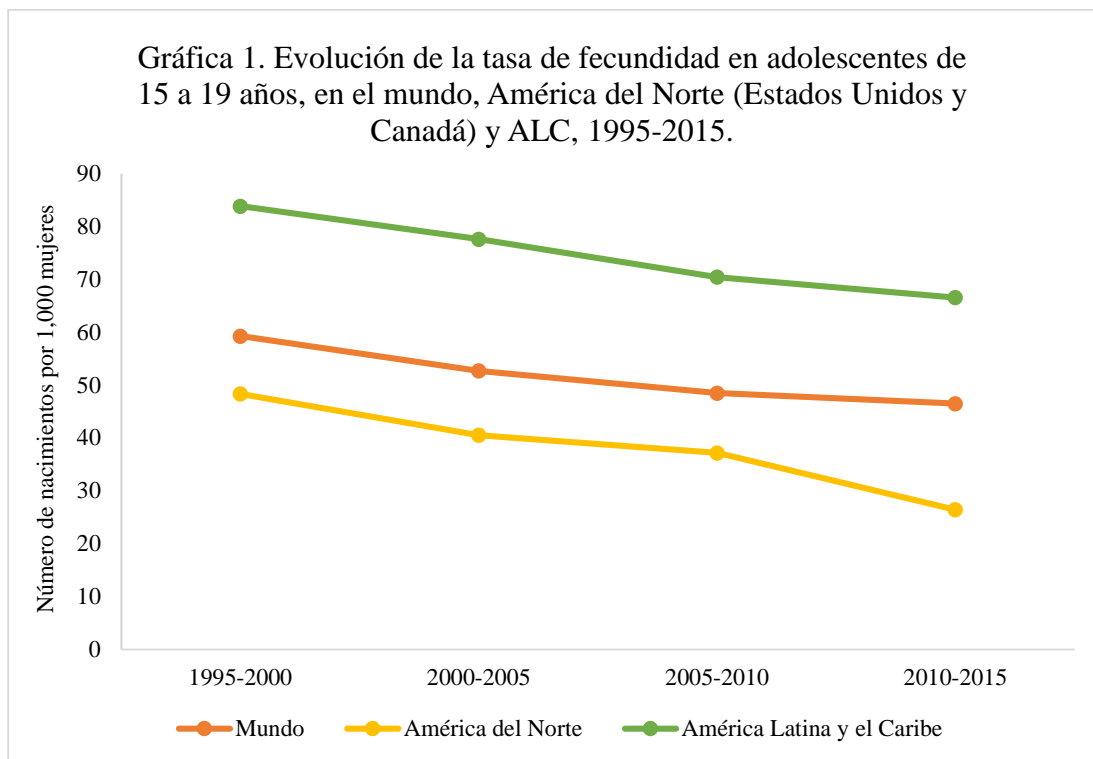
Sin embargo, a pesar de que México presenta un índice de embarazo adolescente menor que los países antes mencionados, se puede considerar un país con alto grado de incidencia.

Diversas instituciones internacionales, entre ellas la OMS considera primordial que se integren medidas que promuevan prácticas saludables y preventivas en los adolescentes para protegerlos de los riesgos de la salud sexual. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha reconocido la necesidad de la elaboración y ejecución de políticas y programas nacionales de salud para los adolescentes, de esta forma se cumplirían los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), principalmente en dos temas fundamentales que son la reducción del embarazo adolescente y detener la propagación del VIH/SIDA (Promajoven, 2012).

De acuerdo con CEPAL, la región de América Latina y el Caribe es considerada como la segunda región con mayor tasa de embarazo adolescente (OPS, 2018). La tasa mundial de embarazos adolescentes se estima en 46 nacimientos por cada 1,000 madres de entre 15 y 19 años, en América Latina y el Caribe es de 66.5 por 1,000, la cual solo es superada solamente por la de África Subsahariana (OMS, UNICEF, UNFPA, 2018).

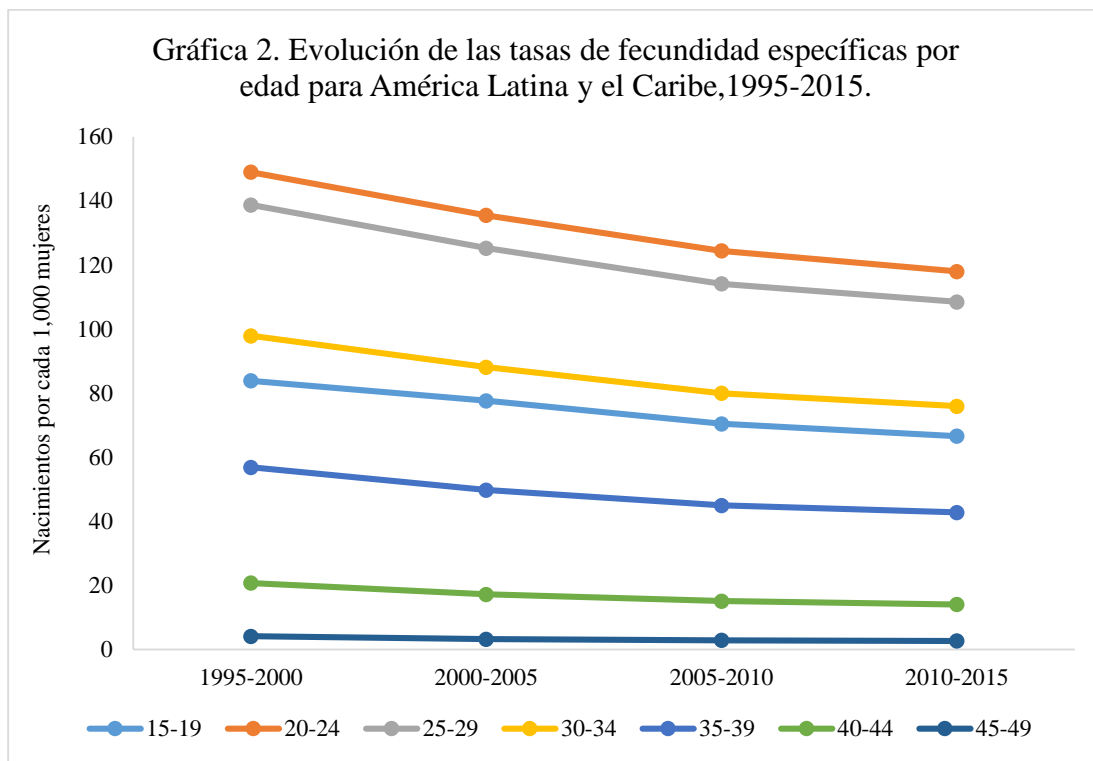
En la gráfica 1 se muestra la evolución de las tasas de fecundidad adolescente en el mundo, América del Norte y América Latina y el Caribe para el periodo de 1995 a 2015. Es posible observar que para la tasa de fecundidad de adolescentes en Estados Unidos y Canadá se encuentra por debajo del promedio anual y han disminuido de forma constante a lo largo de los últimos años. En Estados Unidos, se registró un récord en la disminución de la tasa de fecundidad adolescente, del 8% entre 2014 y 2015, en todos los grupos étnicos. Esta disminución se atribuye principalmente a que hubo una reducción de los jóvenes sexualmente activos y por otra parte el aumento del uso de métodos anticonceptivos, así como al aumento en el número de programas enfocados en la prevención del embarazo adolescente.¹⁶

¹⁶ Hamilton BE, Mathews TJ. Continued declines in teen births in the United States, 2015. NCHS data brief, no. 259. Hyattsville, MD: National Center for Health Statistics; 2016.



Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos de las Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Población, 2015.

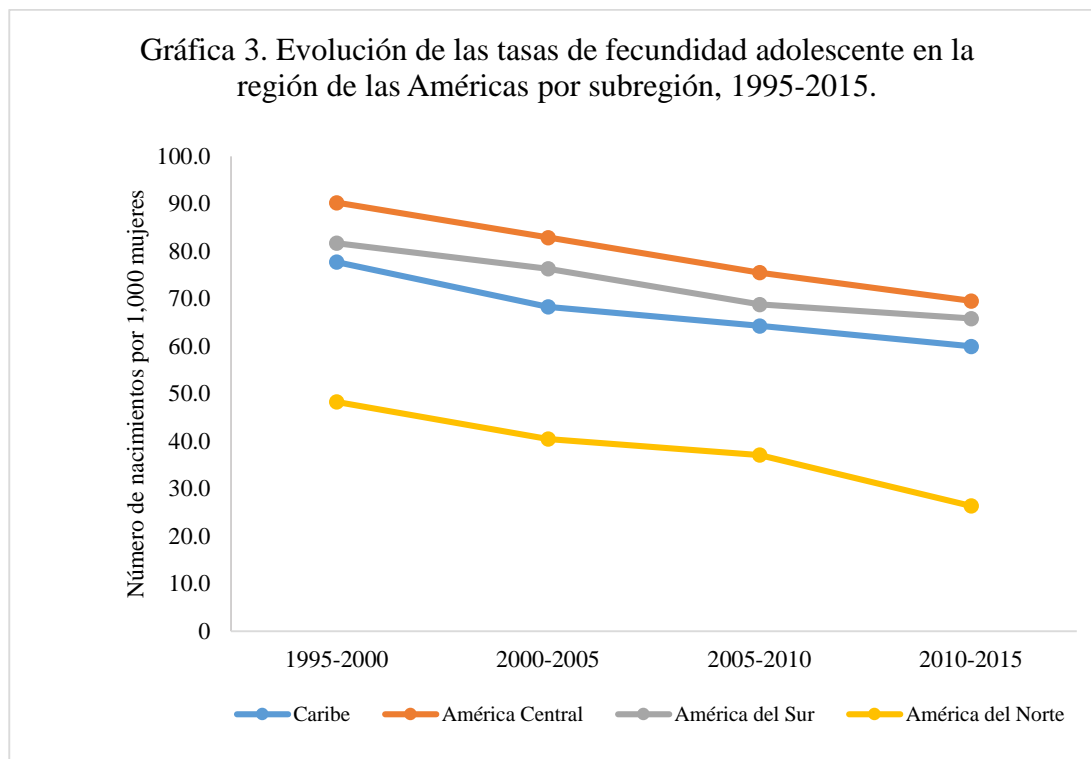
De acuerdo con la gráfica 1, de igual manera, para América Latina y el Caribe, aunque menos pronunciada que en la región de América del Norte, existió una disminución en la tasa de fecundidad para este periodo de tiempo, pero se aprecia como el ritmo de esta baja en la tasa ha sido mucho menor en las adolescentes de 15 a 19 años que en las mujeres adultas. Debido a lo anterior, los embarazos en adolescentes en esta región representan una proporción mayor del número total de nacimientos.



Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos de las Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Población, 2015.

La gráfica 2 muestra que alrededor de un 15% de todos los embarazos registrados en América Latina y el Caribe corresponden a mujeres que son menores de 20 años. Es importante comentar que los grupos de 35 a 39; 40 a 44; y de 45 a 49 años son los que muestran menor número de nacimientos (ver gráfica 2).¹⁷

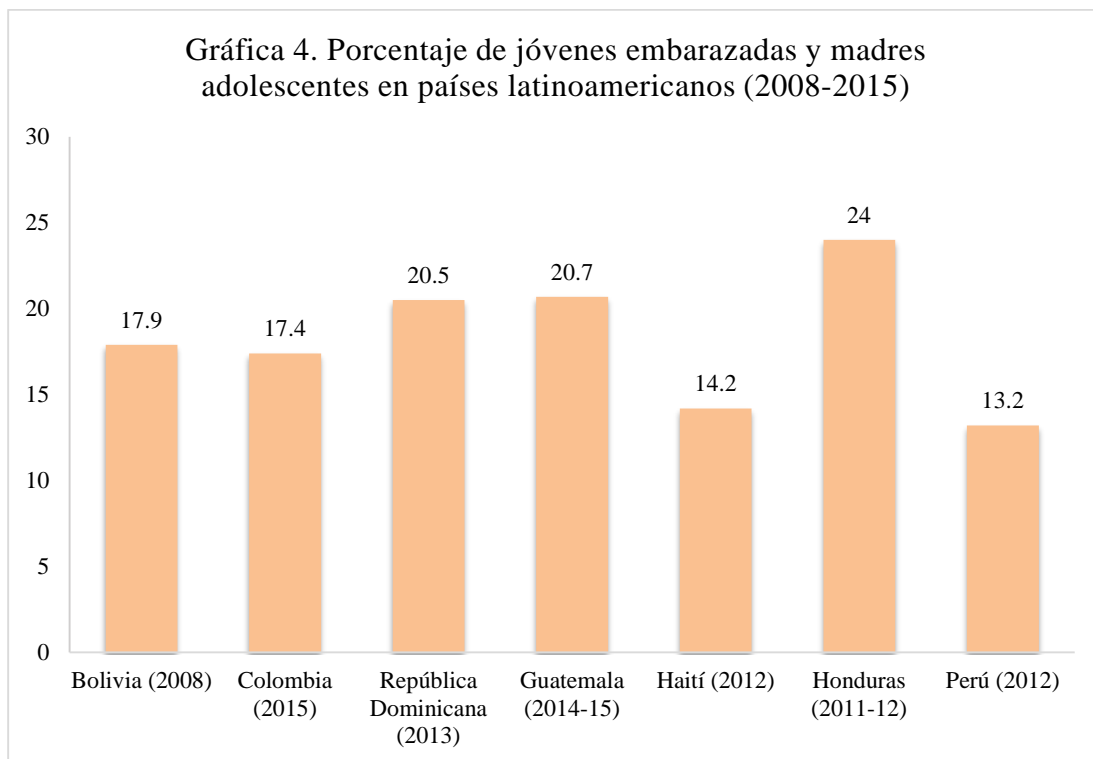
¹⁷ Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Población, 2015.



Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos de las Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Población, 2015.

En esta región, se pone en manifiesto la diferencia en la tasa de fecundidad entre las subregiones que la conforman, en la gráfica 3, se aprecia que América Central presenta la tasa más alta, seguida de América del Sur, el Caribe y por último América del Norte.

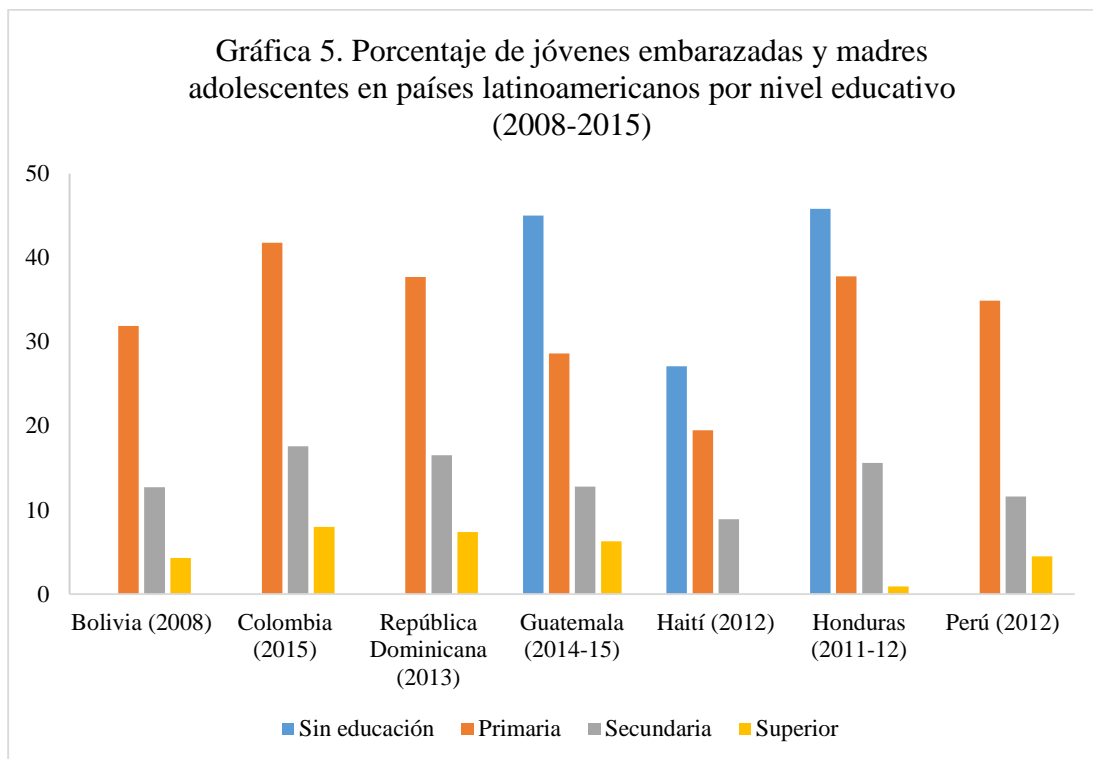
A pesar de que cerca del 90% de los jóvenes de América Latina y el Caribe reportaron conocer al menos un método anticonceptivo, entre el 48% y 53% de los jóvenes sexualmente activos nunca han usado métodos anticonceptivos (OPS, OMS, 2015).



Fuente: Elaboración propia con base a datos provenientes de las Encuestas de Demografía y Salud (DHS), www.measuredhs.com.

De acuerdo con la información proporcionada por las encuestas de demografía y salud (DHS) para los años 2008 - 2015 (ver gráfica 4), en esta región existe una proporción considerable de adolescentes que son madres o se encuentran a punto de serlo.

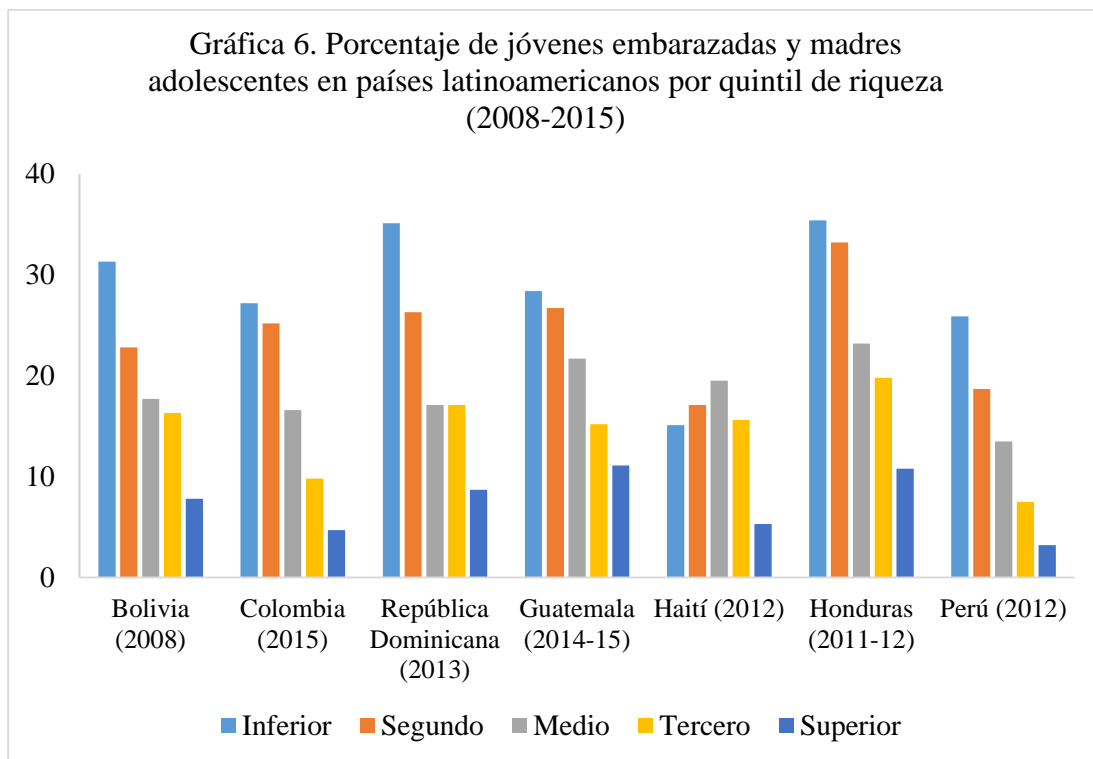
Una de las grandes preocupaciones que ocurren durante el embarazo adolescente es el abandono escolar y por ende la dificultad para integrarse al mercado laboral por parte de los jóvenes, debido a la falta de compatibilidad entre el embarazo y la crianza, con la educación y la inserción laboral. El logro de la autonomía económica para las jóvenes que se convierten en madres adolescentes suele ser poco probable debido a que la mayoría de estas jóvenes viven con sus padres o suegros y suelen dedicarse al trabajo doméstico. Estas jóvenes, muchas veces no asisten a la escuela y tampoco ingresan al mercado de trabajo. Según la UNFPA, en América Latina el 11.8% de las adolescentes señalan al embarazo como el motivo principal de abandonar la escuela, mientras que, en el caso de los varones, el porcentaje es de 2.3%. En la gráfica 5 podemos observar la situación escolar de los jóvenes al momento de haber iniciado su proceso reproductivo.



Fuente: Elaboración propia con base a datos proveniente de las Encuestas de Demografía y Salud (DHS), www.measuredhs.com.

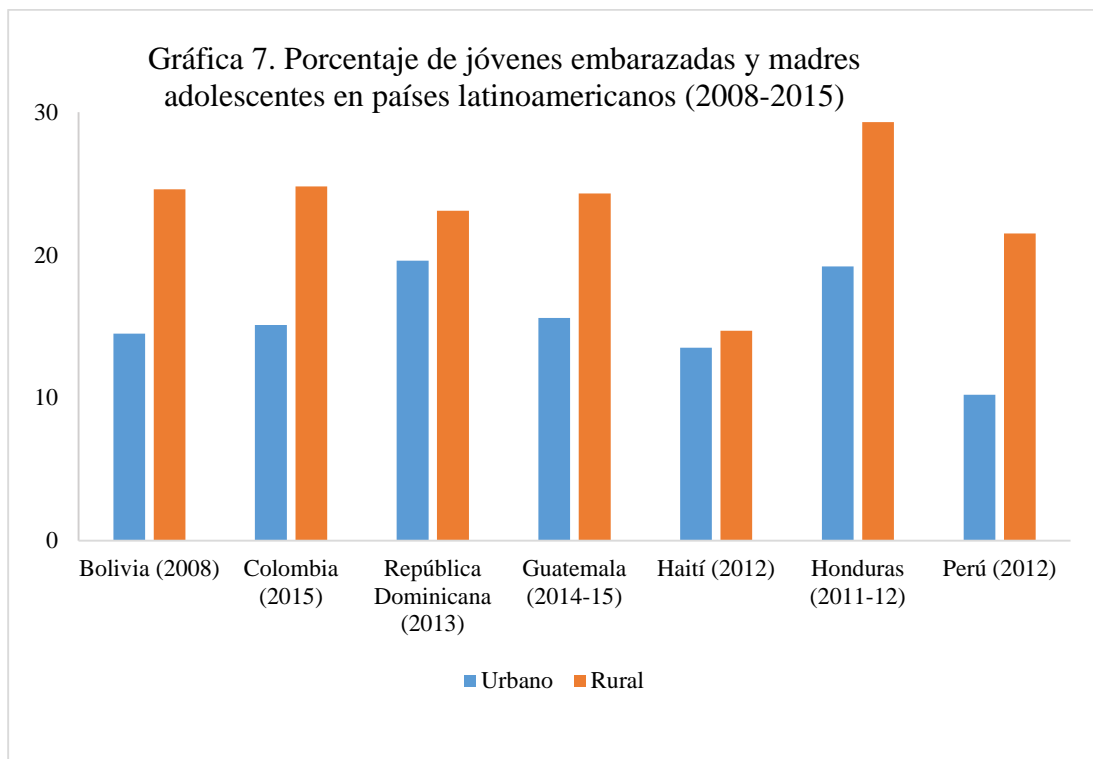
En estos países, la probabilidad de concebir hijos es hasta cuatro veces mayor en las adolescentes que no han recibido educación o han recibido educación primaria que en las que han recibido educación secundaria.¹⁸

¹⁸ Informe de consulta técnica: Acelerar el progreso hacia la reducción del embarazo en la adolescencia en América Latina y el Caribe (2016), OPS, OMS, UNFPA Y UNICEF.



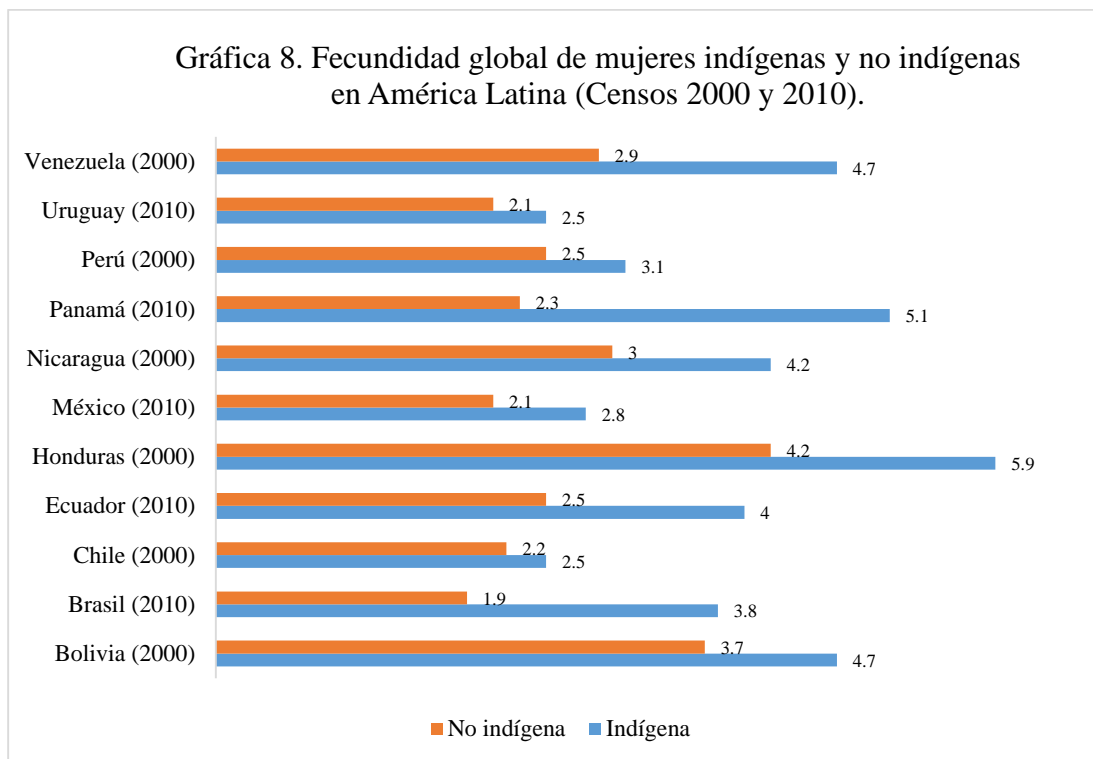
Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos de las Encuestas de Demografía y Salud (DHS), www.measuredhs.com.

En la gráfica 6 se observa que la mayor parte de las jóvenes que son madres o están a punto de serlo se encuentran en el primer quintil, es decir en las poblaciones más pobres, este porcentaje llega a ser hasta 5 veces mayor en comparación con el porcentaje de jóvenes que se encuentran en el quintil más rico.



Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos de las Encuestas de Demografía y Salud (DHS), www.measuredhs.com.

Así mismo, en la gráfica 7 se puede apreciar que el porcentaje de adolescentes que han iniciado su proceso reproductivo es mayor en las zonas rurales. Otro factor, es la relación existente entre los índices de pobreza y altos niveles de fecundidad, ya que, en todos los países de Latinoamérica, los mayores índices de fecundidad se presentan entre las mujeres que tienen un menor nivel socioeconómico, donde sobresalen las mujeres indígenas (Promajoven, 2012).

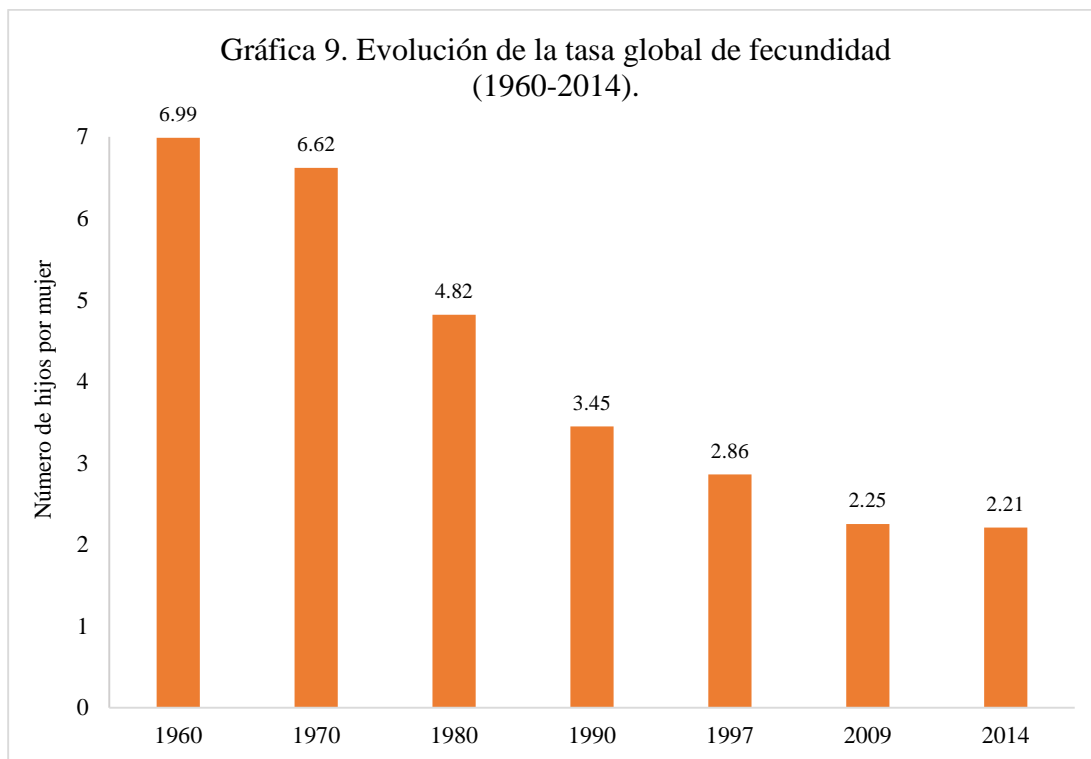


Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos de BID/CELADE. La Población Indígena y Afrodescendiente a partir de los Censos 2000 y 2010.

En la gráfica 8 se observa que tomando datos de los censos de 2000 y 2010, prevalece siendo mayor la tasa global para mujeres indígenas respecto de las que no lo son.

4.2 Fecundidad adolescente en México.

El embarazo adolescente en el país cobra cada vez más importancia debido a dos razones fundamentales, por un lado a que las mujeres de 15 a 19 años de edad constituyen el grupo de mayor tamaño entre los grupos quinquenales de mujeres en edad fértil y por otra parte a que la disminución de la fecundidad en adolescente es menor que en otros grupos de edad, tanto por su bajo uso de anticonceptivos como por el aumento en el porcentaje de la población adolescente que ha sido alguna vez sexualmente activa.



Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos de la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica 1997, 2009 y 2014 (INEGI) e Indicadores Demográficos de la República Mexicana 1960, 1970 y 1980 (CONAPO).

La gráfica 9, desde una panorámica general, muestra la fecundidad global en México, donde resulta fácil observar que en las últimas décadas se ha presentado una disminución constante desde finales de la década de 1960, donde la tasa global llegó a ser de siete hijos por mujer (Vélez, 2013). La tasa fue reduciendo de forma constante, hasta llegar a ser de 2.21 por mujer para el año 2014.

La tasa global de fecundidad, muestra grandes diferencias por entidades federativas. El estado que mayor tasa de fecundidad global presenta es Chiapas con 2.9 hijos por mujer, en contraste, la Ciudad de México con 1.47 hijos por mujer es la entidad que presenta la menor tasa del país, la cual desde registros arrojados por la ENADID 1997, presenta una tasa menor a dos hijos por mujer (1.91 hijos), descendiendo a 1.78 de acuerdo con la ENADID 2009.

Si bien, como se mencionó anteriormente la fecundidad en el país ha disminuido en los últimos años para todos los grupos de edad, la fecundidad en las adolescentes de 15 a 19 años tuvo una disminución en menor porcentaje. De acuerdo con un informe de la Estrategia Nacional para la Prevención del Embarazo en Adolescentes (ENAPEA, 2015), uno de los principales factores por los cuales el embarazo adolescente tiene gran importancia es debido a que entre las mujeres con edad fértil 15 a 49 años, el grupo mismo grupo de las adolescentes

cuenta con el mayor número de mujeres, las cuales representan el 16.7% del total¹⁹ (ver tabla VI).

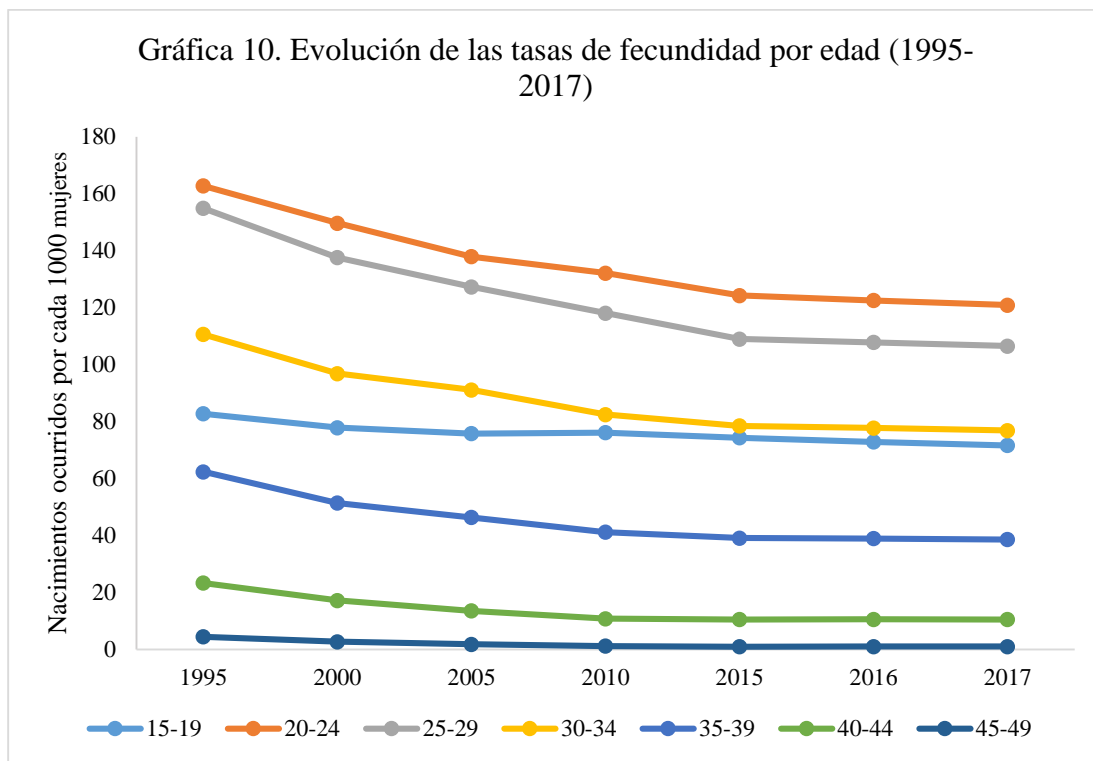
Tabla VI. Mujeres de 15 a 49 años por grupo quinquenal de edad (2014)

Grupo quinquenal de edad	Número de mujeres	Porcentaje (%)
15 a 19 años	5 334 837	16.7
20 a 24 años	5 012 009	15.7
25 a 29 años	4 523 545	14.1
30 a 34 años	4 440 888	13.9
35 a 39 años	4 568 198	14.3
40 a 44 años	4 331 424	13.5
45 a 49 años	3 779 397	11.8
Total	31 990 298	100

Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos de la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica 2014 (INEGI).

De acuerdo con estimaciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO), entre los años de 1974 y 2009 los jóvenes de 15 a 19 años redujeron su tasa de fecundidad en 47%, es decir, hubo una reducción de 131 hijos a 69.5 hijos por cada 1,000 mujeres, en contraste, las mujeres del grupo de edad de entre 35 a 39 años presentaron una reducción en 77% y en las del grupo de edad de 40 a 49 años de 88% (ENADID 2009, CONAPO 2014).

¹⁹ INEGI. Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica, (ENADID, 2014).



Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos de las estimaciones del CONAPO.
Tasa específica de fecundidad.

La gráfica 10, muestra la evolución que han presentado las tasas de fecundidad por edad para el periodo de 1995 a 2017; se aprecia una disminución en todos los grupos de edad, sin embargo y como se mencionó anteriormente, para el grupo de 15 a 19 años fue menor, teniendo una reducción de 83 a 72 hijos por cada mil mujeres. En contraste, para el grupo de 20 a 24 años y 25 a 29 años, se presentó una reducción de 163 a 121 hijos y 155 a 106 hijos respectivamente.

La disminución en menor parte de la tasa de fecundidad adolescente se debe a la falta de oportunidades para mayores niveles de escolaridad y la falta de empleos que permitan mantener los estudios al mismo tiempo (ENAPEA, 2015). Otro factor es el aumento de la actividad sexual y falta de uso de algún método anticonceptivo. El porcentaje de mujeres de 15 a 19 años que se encuentran sexualmente activas es de 56.3% (ENADID 2014). La edad promedio de inicio de la vida sexual en las mujeres de edad fértil es de 18.7 años, para quienes fueron madres durante su adolescencia, se reduce a 16.2 años, y para quienes no lo fueron es 20.6 años. De igual manera, existe una diferencia importante en la edad promedio al inicio de la vida conyugal en los dos grupos de población descritos, en tanto que la edad de la primera unión de las mujeres en edad fértil es de 20.2 años, la edad media de las madres adolescentes es bastante menor: 16.9 años, y en las mujeres que tuvieron hijos después de su adolescencia el promedio es de 22.4 años.

La tasa de fecundidad adolescente cambia conforme la entidad federativa. Para el periodo 1995-2017, Hidalgo, Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Quintana Roo y Tabasco fueron las entidades que presentaron mayores reducciones en su tasa. Por el contrario, Zacatecas, Nuevo León, Jalisco, Colima, Ciudad de México, Aguascalientes y Coahuila tuvieron un aumento (ver tabla VII).

Tabla VII. Tasa de fecundidad en adolescentes de 15 a 19 años por entidad federativa (1995-2017)

	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Nacional	83	78	76	76	74	73	72
Aguascalientes	74	73	75	80	78	78	78
Baja California	83	80	80	84	69	67	66
Baja California Sur	94	85	79	74	73	72	71
Campeche	105	92	82	74	84	84	82
Coahuila	90	89	93	101	100	99	97
Colima	78	72	70	70	74	72	70
Chiapas	125	109	97	86	92	90	88
Chihuahua	103	95	90	88	83	80	78
Ciudad de México	48	48	49	54	50	50	49
Durango	89	85	85	88	79	75	73
Guanajuato	71	69	69	71	76	74	72
Guerrero	93	88	86	88	84	80	78
Hidalgo	106	94	85	77	76	74	72
Jalisco	55	59	66	77	71	69	68
Estado de México	79	74	72	73	66	65	64
Michoacán	88	83	80	79	83	82	80
Morelos	85	77	72	68	73	73	72
Nayarit	102	97	97	101	88	85	84
Nuevo León	57	60	67	78	67	66	65
Oaxaca	103	89	78	67	75	74	73
Puebla	94	86	82	79	83	82	80
Querétaro	75	68	63	59	65	64	62
Quintana Roo	97	87	81	76	72	70	69
San Luis Potosí	82	77	76	77	70	69	69
Sinaloa	85	80	79	81	78	75	73
Sonora	94	86	81	78	72	69	67
Tabasco	109	95	84	75	80	79	77
Tamaulipas	86	80	77	78	72	72	71
Tlaxcala	91	82	75	69	80	78	76
Veracruz	94	86	82	80	79	78	76
Yucatán	81	73	66	61	67	66	64
Zacatecas	72	71	73	77	77	76	75

Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos de las estimaciones del CONAPO. Tasa Específica de Fecundidad y Nacimientos, 1950-2050

En el país existen alrededor de 1.4 millones de adolescentes que hablan alguna lengua indígena, de las cuales el 54.9% manifestaron ser sexualmente activas. Las entidades con mayor porcentaje de adolescentes hablantes de lengua indígena son: Chiapas con 29% y Guerrero con 28%; Chihuahua, San Luis Potosí, Oaxaca, Michoacán, Veracruz, Puebla e Hidalgo tienen un porcentaje mayor a 19% es decir, más del triple del promedio nacional 6.3%. La permanencia de estos jóvenes en la escuela suele ser menor, alrededor del 35% de jóvenes con edades de entre 10 a 19 años y del 50% de jóvenes de entre 15 y 17 años no asisten a la escuela.²⁰ Existe una mayor propensión de embarazo adolescente en la población hablante de lengua indígena, ya que 54.0% de las mujeres en edad fértil con esta condición fueron madres durante su adolescencia, porcentaje superior a quienes no hablan lengua indígena, con 45.9 por ciento.²¹ De acuerdo con datos presentados en el Boletín de la Comisión Nacional de Arbitraje Médico (CONAMED) y la OPS para julio-agosto 2017, la tasa de fecundidad adolescente, para hablantes de lengua indígena, se estima en 82 nacimientos por cada 1000 mujeres, la cuál supera a la tasa que presentan las adolescentes no hablantes de lengua indígena con 61.4 nacimientos.

La ubicación aislada y dispersa dificulta el acceso a los servicios educativos y de salud, lo cual marca situaciones de rezago social y marginación; la población de localidades rurales cuenta con un menor acceso a medios que les ayuden a controlar el número de hijos y el esparcimiento entre ellos, por lo cual la tasa global de fecundidad para estas mujeres es mayor, por un hijo, en comparación con las que viven en áreas urbanas. El porcentaje de jóvenes adolescentes de 15 a 19 años que alguna vez han estado embarazadas es diferente por tamaño de localidad, de acuerdo con los datos de la ENADID 2014, para las localidades con menos de 15,000 habitantes este porcentaje es de 20.5%, por el contrario, para localidades con 15,000 o más la tasa se reduce a un 14.9%.

Los datos de la ENADID 2014 muestran que de las jóvenes de 15 a 19 han iniciado su vida sexual, sólo el 54% afirmaron haber usado algún tipo de protección en su primera relación, porcentaje que tuvo un aumento en comparación con el registrado para el año 2009, ya que para ese momento solamente el 37.6% de jóvenes dijeron haber usado algún método durante su primer encuentro sexual, esto deja en evidencia que a través de los años ha existido un progreso en el uso de métodos anticonceptivos en la primera relación sexual.

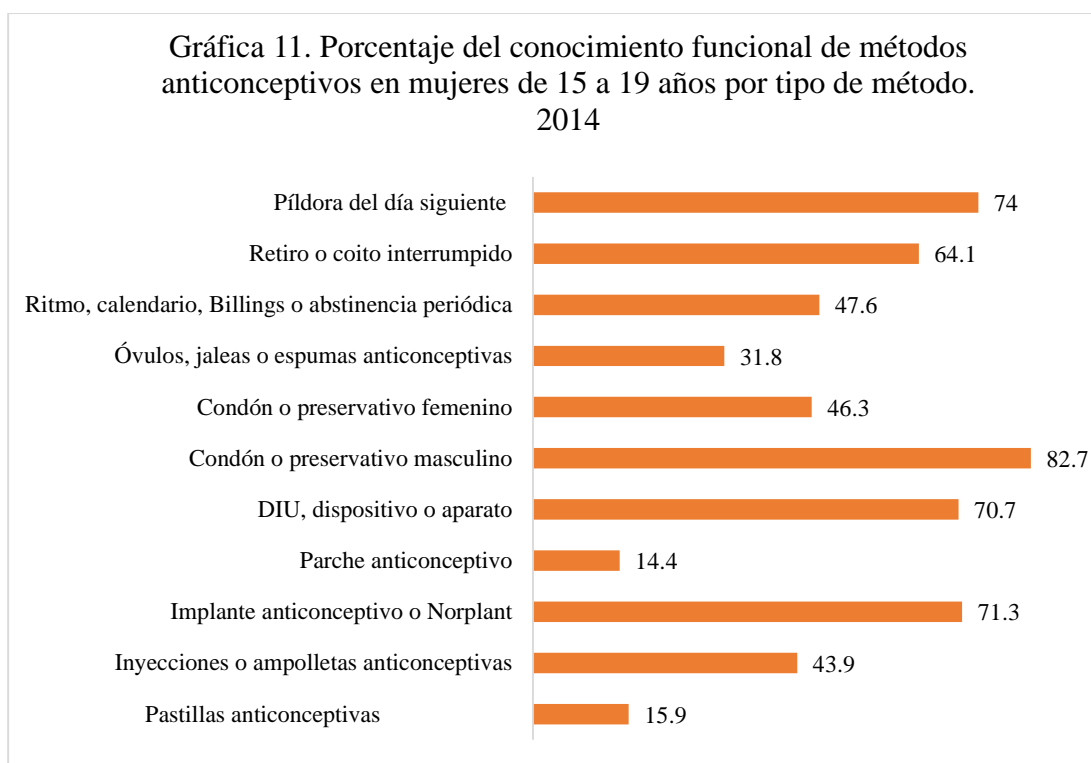
El método anticonceptivo más utilizado en la primera relación sexual es el condón (91.6%), seguido de métodos hormonales (6.5%) que incluyen pastillas o píldoras, inyecciones, implantes subdérmicos, parches corporales y píldoras de emergencia; otros métodos no hormonales (2.2%) como DIU de cobre, condón femenino y espermicidas; y por último métodos tradicionales (1.8%) entre los que se encuentran ritmo, calendario, Billings o abstinencia periódica y retiro o coito interrumpido (ENADID, 2014).

Del 46% de las mujeres que dijo no haber hecho uso de ningún tipo de protección durante su primer encuentro sexual, el 17.1% argumentó que no tenía conocimiento alguno sobre los

²⁰ Documento oficial de la Estrategia Nacional para la Prevención del Embarazo en Adolescentes, ENAPEA.

²¹ La anticoncepción: implicaciones en el embarazo adolescente, fecundidad y salud reproductiva en México. ENADID 2014.

métodos anticonceptivos, el 17.9% dijo que tenía deseos de embarazarse, el 32.9% no uso ningún método porque no tenía planes de mantener relaciones sexuales, el 17.4% confiaba en que no iba a quedar embarazada y por último el 12.7% debido a que su pareja sexual no estaba de acuerdo en hacer uso de algún método anticonceptivo.



Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos de la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica (ENADID) 2014. INEGI.

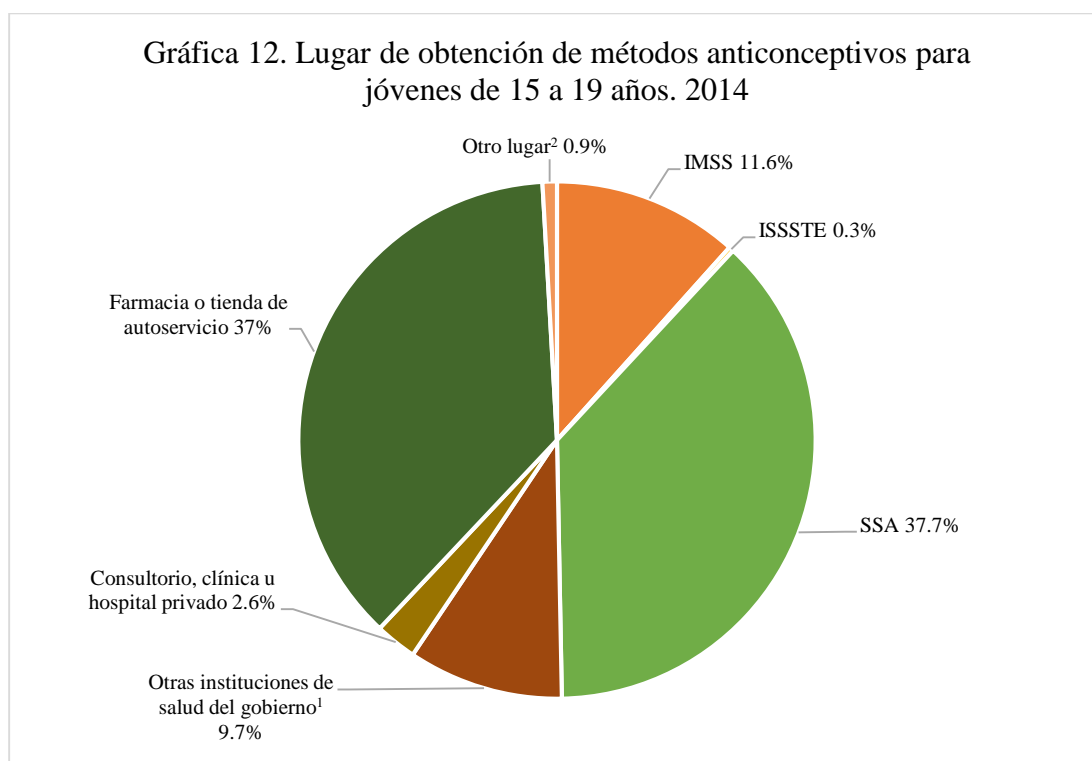
Conforme a la gráfica 11, los métodos anticonceptivos de los cuáles las adolescentes de 15 a 19 años tienen menor conocimiento sobre su funcionamiento son el parche y pastillas anticonceptivos, por el contrario, los métodos más conocidos son el condón masculino, la pastilla del día siguiente, el implante anticonceptivo o Norplant y el DIU.

Los adolescentes de 15 a 19 años, en comparación con el grupo de mujeres de 20 a 49 años, presentan un porcentaje menor en el uso de métodos anticonceptivos, de acuerdo con la ENADID 2014, cinco de cada diez mujeres de 15 a 19 años que se encuentran en unión reportaron usar métodos anticonceptivos (51.5%), mientras que para el grupo de 20 a 49, 7 de cada 10 mujeres (73.2%), usan algún método. De manera similar, el porcentaje de jóvenes de 15 a 19 años sexualmente activas que usan algún método anticonceptivo (59%) es menor respecto al grupo de 20 a 49 años (76.5%).²²

²² La anticoncepción: implicaciones en el embarazo adolescente, fecundidad y salud reproductiva en México. ENADID 2014.

De acuerdo con cifras del CONAPO, las mujeres sexualmente activas²³ del grupo de 15 a 19 años son las que tienen un porcentaje mayor (28%) de necesidad insatisfecha en comparación con los demás grupos de edad.

En cuanto al lugar de obtención de los métodos anticonceptivos de los adolescente, para el 2014, de acuerdo con datos de la ENADID, se registró como fuente principal la SSA (Secretaría de Salud) con un 37.7%, seguido de las farmacias o tiendas de autoservicios con un 37%, IMSS con un 11.6%, otras instituciones de salud del gobierno que incluye a parteras con un 9.7%, en un consultoría, clínica u hospital privado con 2.6%, otro lugar, que incluye IMSS-Oportunidades y Seguro Popular con 0.9% y finalmente el ISSSTE con 0.3%. Lo anterior indica que ha existido un fortalecimiento en las estrategias de acceso de métodos anticonceptivos para los adolescentes por parte las instituciones de salud del sector público debido a que cifras de la ENADID 2009 indicaron que para ese momento la principal fuente de obtención de métodos anticonceptivos eran las farmacias o tiendas de autoservicios (46.1%), superando a la Secretaría de Salud que solo tenía un 29.6% (ver gráfica 12).

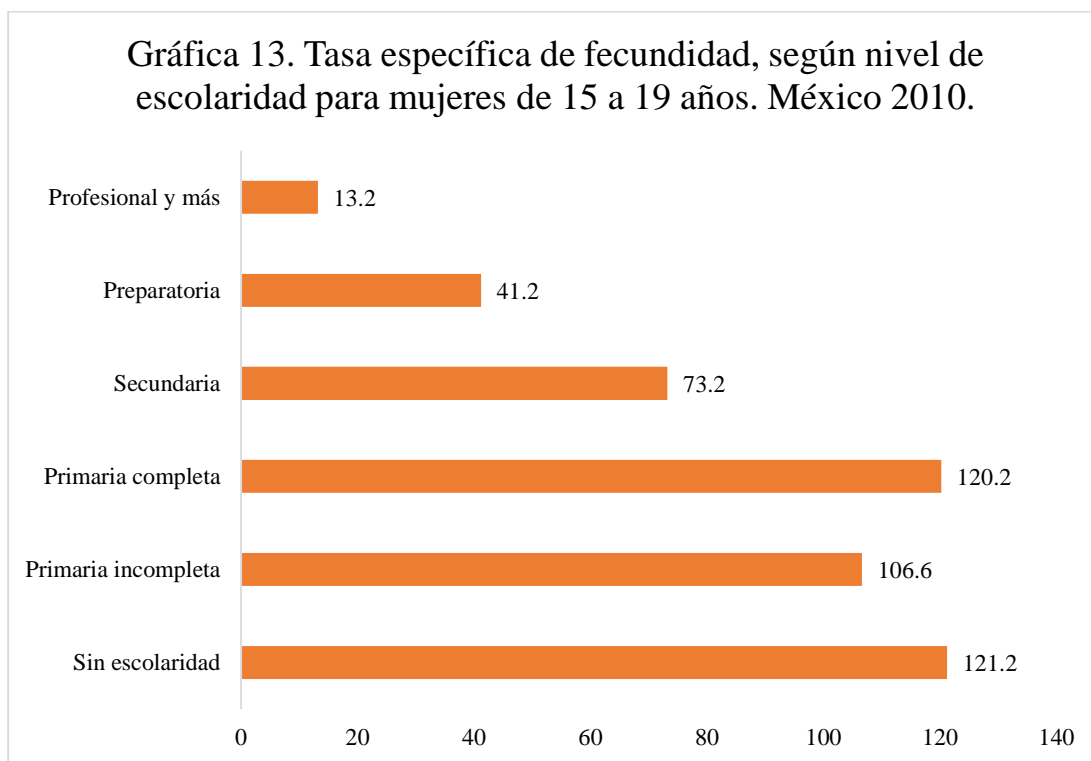


¹ incluye parteras. ² incluye IMSS-Oportunidades y Seguro Popular. Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos de la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica (ENADID) 2014. INEGI.

Datos obtenidos del Censo de Población y vivienda 2010, la ENADID 2009 y los certificados del nacimiento del SINAC, muestran que las diferencias principales en la fecundidad adolescente se dan de acuerdo con el nivel de escolaridad, condición de habla de lengua indígena y tamaño de la localidad.

²³ Se considera sexualmente activo a quien tuvo su última relación sexual durante el último mes al momento de ser entrevistado.

Gráfica 13. Tasa específica de fecundidad, según nivel de escolaridad para mujeres de 15 a 19 años. México 2010.



Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos del Censo de Población y Vivienda 2010 (INEGI) y Dirección General de Información en Salud (DGIS).

En la gráfica 13, se puede apreciar que la tasa de fecundidad de las jóvenes que tienen la primaria completa o una menor escolaridad es casi tres veces mayor respecto de las jóvenes que han asistido a la preparatoria. Actualmente, terminar la primaria ya no resulta un factor protector contra el embarazo en la adolescencia. La tasa de fecundidad cae por debajo del promedio nacional solamente cuando terminaron la secundaria y continuaron estudiando

De la misma manera, ser madre adolescente afecta el desarrollo futuro de los jóvenes, datos de la ENADID 2014 arrojan que la edad promedio de abandono escolar de las mujeres en edad fértil es distinta de acuerdo con la condición de embarazo adolescente; para las mujeres que reportaron haber tenido su primer hijo después de los 19 años, es de 18 años, por otro lado, las que fueron madres antes de los 19 años, abandonaron la escuela aproximadamente a los 15 años. De forma similar, una de cada tres madres adolescentes, abandonaron la escuela debido a que se embarazaron o se unieron, por otro lado, solamente el 14% de las mujeres que no fueron madres durante su adolescencia reportaron abandono escolar por estos motivos (ENADID, 2014).

El promedio de hijos nacidos vivos varía de acuerdo al momento en que las mujeres tuvieron su primer hijo, de acuerdo con datos de la ENADID para el año 2014, el promedio de hijos nacidos vivos para las mujeres en edad fértil 15 a 49 años es de 1.7 por mujer, sin embargo, para las mujeres que fueron madres en su adolescencia, el promedio sube a 2.9 hijos y para las mujeres que no tuvieron hijos durante su adolescencia, este promedio es de 2.2 hijos por

mujer. También se ha comprobado que las mujeres que comenzaron a procrear a edades tempranas suelen tener mayor número de hijos en comparación con las mujeres que iniciaron su reproducción sexual posteriormente, ya que el 51.7% de las mujeres que fueron madres en la adolescencia tienen tres o más hijos, mientras que el porcentaje para las mujeres que no lo fueron es de 10.2%.

Capítulo 5. El polinomio de Brass.

En este apartado se da una breve descripción que explica de donde surgió el polinomio de fecundidad propuesto por el Dr. William Brass, así como la justificación de cada una de las variables por las que dicho polinomio está compuesto.

Para que el lector tenga una idea más clara de la manera en la cual se implementa el polinomio y se obtienen las tasas para edades individuales, se presenta un ejemplo para la República Mexicana utilizando datos del Censo de Población y Vivienda 2010 y de los registros administrativos de natalidad reportados por el INEGI para dicho año.

Este ejercicio explica paso a paso la manera en la que se obtienen cada una de las raíces que componen al polinomio para que una vez aplicado dicho método se puedan contrastar las tasas de fecundidad de edades individuales que se obtuvieron contra las tasas específicas de fecundidad para cada grupo quinquenal, las cuáles se obtienen gracias a la fórmula expuesta en la sección 3.3 del presente estudio.

5.1 Introducción al polinomio.

En la demografía es usual el ajuste de funciones que permitan describir y proyectar las variables demográficas. Las funciones polinomiales son uno de los tipos de funciones más usadas, las cuáles son de suma importancia en el análisis numérico (Mina A, 2012). Uno de los polinomios empleados en el ajuste de fenómenos demográficos es el desarrollado por William Brass para la fecundidad.

El profesor William Brass, nació en Edinburgh el 5 de septiembre de 1921 y falleció el 11 de noviembre de 1999, fue un distinguido demógrafo, estadístico y matemático. Realizó importantes contribuciones en muchos campos, sin embargo, es mejor conocido por desarrollar un conjunto de técnicas analíticas para la estimación de las tasas de fecundidad y mortalidad enfocadas a países con carencias de un sistema integral del registro de nacimientos y defunciones, y donde se recopilan datos por medio de censos y encuestas, los cuales pueden estar sesgados debido a los errores de respuesta.

El polinomio sugerido por el Dr. Brass surgió como parte de una alternativa que fue ideada para la estimación del número de nacimientos y su incidencia de acuerdo con la edad de la madre, teniendo como principal objetivo la adaptación y aplicación de métodos para extraer las mejores estimaciones acerca de la fecundidad según datos discretos y/o imprecisos (CELADE, 1974). Lo anterior, a causa de la falta de conocimientos exactos acerca de los nacimientos, debido a la inexistencia de registros ininterrumpidos y completos sobre este suceso para la población de África.

Dicha estimación parte del hecho de la deficiencia que presentan específicamente dos tipos de datos recabados en un gran número de censos y encuestas en África: el primero, conocido como información “actual”, se refiere a los nacimientos en un periodo actual, es decir, el número de hijos nacidos vivos, según la edad de la madre, durante un periodo de referencia al censo o encuesta (periodo que generalmente es de un año); y el segundo, conocido como

información “retrospectiva” que apela al número de hijos nacidos vivos por mujer, de acuerdo a la edad de las misma, al momento del censo o encuesta.

La experiencia señala que para la información “actual” existe dificultad por parte del informante (independientemente de su edad) en precisar si los nacimientos se produjeron o no durante el periodo de referencia. De esta manera se detectó que en ciertas encuestas existió una tendencia por parte de las mujeres a declarar nacimientos que ocurrieron con anterioridad al periodo de referencia, y a su vez en otros casos hubo omisión de la declaración de nacimientos que en efecto correspondía a dicho periodo.²⁴

Por otro lado, para la información “retrospectiva” se hallan errores en la integridad de la declaración sobre todo para mujeres mayores. El número de hijos nacidos vivos es comunicado con exactitud por mujeres más jóvenes, ya que estos sucesos han ocurrido recientemente y por lo general el total de niños nacidos por cada una de ellas no es mayor a dos o tres, por lo cual no se presentan dificultades de contar una gran cantidad de hijos en una sociedad que no enumera; los niños vivos sobrevivirán hasta la época del censo, es decir, estarán presentes en las entrevistas y un número muy bajo será omitido a consecuencia de que han crecido y abandonaron el hogar (CELADE, 1974). Es importante hacer mención que la experiencia de la fecundidad actual corresponde realmente a edades ligeramente menores que las tabuladas. Este desplazamiento es sugerido ya que dado que los nacimientos comunicados realmente ocurrieron a lo largo del año anterior; se establece que las madres eran medio año menores cuando dieron a luz que en la época del censo. Cuando los datos sobre nacimientos usados para el cálculo de la fecundidad actual provienen del registro civil, este problema no se presenta, ya que por lo general se espera que los nacimientos se registren cerca del momento en que ocurren y, por lo tanto, que la edad registrada de la madre sea la edad que tenía cuando dio a luz (Manual X, ONU, 1986). Cabe resaltar que todos los datos de nacimientos que se utilizarán para realizar los cálculos en el presente trabajo son datos provenientes del INEGI y corresponden a edades de las madres al momento del nacimiento del hijo, por lo cual no es necesario realizar el desplazamiento de medio año en sus edades.

Con estos dos tipos de información (“retrospectiva” y “actual”), tomadas de forma excluyente, se pueden realizar estimaciones de fecundidad ya que, aunque presenten errores, estos son totalmente distintos.

Para la información “actual”, la tasa de fecundidad específica se encuentra definida de la siguiente manera:

$$f_i = \frac{\text{Hijos tenidos durante el año anterior al censo, por mujeres de edad } i}{\text{Número de mujeres de edad } i} \quad (47)$$

Donde $i = 1, 2, \dots, 7$. La tasa de fecundidad para un intervalo de edades es un valor medio por año (periodo de referencia seleccionado). De esta manera f_1 representa la tasa media de

²⁴ Introducción al estudio de la fecundidad. Zulma C. Camisa. CELADE, San José, Costa Rica. (1975).

fecundidad de las mujeres de 15-20 años; f_2 , por su parte, la tasa media de fecundidad de las mujeres de 20-25 años, etc.

Para la información “retrospectiva”, el promedio de hijos nacidos por mujer de edad i esta definido como:

$$P_i = \frac{\text{Hijos nacidos por mujeres de edad } i}{\text{Número de mujeres de edad } i} \quad (48)$$

Donde $i = 1, 2, \dots, 7$, se elige la letra P porque los demógrafos se refieren al número de hijos nacidos que ha tenido una mujer como a su “paridez”, de esta manera P_1 se refiere a la paridez media de las mujeres de 15-20 años; P_2 , de las mujeres de 20-25 años, y así sucesivamente.

El valor acumulado de las tasas específicas f_i multiplicadas por la amplitud del intervalo, es decir, por 5, proporciona el promedio de hijos nacidos vivos por mujer a la edad final del intervalo. Estos resultados pueden interpretarse como el número promedio de hijos que tendría una mujer si hubiera estado sujeta a esas tasas de fecundidad desde el inicio de su vida reproductiva hasta el límite superior del último grupo de edad incluido en la acumulación (Manual X, ONU, 1986). Es decir, si los grupos de edades son de 15-20, 20-25 años, etc., el valor acumulado de las f dan el promedio de hijos nacidos vivos a las edades de 20, 25 años, etc., siempre que se haya realizado la corrección por desplazamiento o bien se utilizan edades exactas de las madres al momento de que dieron a luz (en caso de que no se haya realizado dicha corrección, el valor acumulado de las f serán el promedio de hijos nacidos vivos a las edades de 19.5, 24.5 años, etc.) (CELADE, 1974).

A partir de estas tasas específicas de fecundidad acumuladas (\emptyset_i) se pueden realizar comparaciones con la fecundidad acumulada a lo largo de la vida de las mujeres (P_i) con el fin de obtener un factor de ajuste para el nivel de las tasas específicas de fecundidad (f_i), las cuales una vez ajustadas, proporcionan una mejor estimación de la verdadera fecundidad actual.

Al tratarse de datos agrupados por grupos quinquenales de edad, las tasas específicas de fecundidad acumuladas proporcionan una estimación (F_i) del promedio de hijos nacidos vivos de mujeres que han alcanzado el límite superior de cada grupo de edad, estas estimaciones no son comparables con la paridez media (P_i), ya que estas reflejan la experiencia combinada de mujeres de distintas edades.

Debido a lo expuesto anteriormente es necesario emplear algún procedimiento para estimar el promedio de la fecundidad acumulada dentro de cada grupo de edad a partir de la fecundidad acumulada hasta el límite superior de los grupos considerados.

El Dr. Brass enfrentó este problema utilizando un modelo polinómico de fecundidad para calcular la relación entre la paridez media y la fecundidad acumulada de grupos sucesivos de

edad para una gama de localizaciones del modelo con respecto a la edad (Manual X, ONU, 1986).

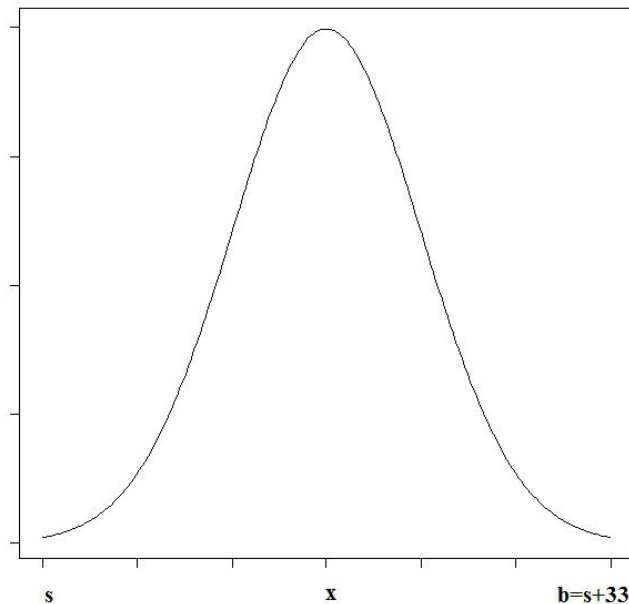
5.2 Estructura del polinomio.

En dicho polinomio se observa que el número de parámetros desconocidos se pueden reducir mediante la imposición de restricciones con la siguiente función que resulta satisfactoria para su aplicación a la fecundidad:

$$\begin{aligned} f(x) &= c(x - S) (S + 33 - x)^2 \\ &= c(x - S) (b - x)^2 \quad \text{con } b = S + 33 \end{aligned} \quad (49)$$

Donde $f(x)$ es la tasa de fecundidad específica de las mujeres de x años de edad, S es la edad del comienzo del periodo de reproducción y c es una constante que varía con el nivel de fecundidad.

La función se restringe para que sea tomada como cero cuando x queda fuera del rango de S a $S + 33$. Entre estos límites la forma es parecida a las distribuciones empíricas con una pronunciada subida en las tasas que siguen a la edad S , una cumbre y posteriormente un descenso más gradual hasta el fin de la reproducción; la media y la moda se hallan más cerca del límite superior que del inferior. El valor 33 está relacionado con el intervalo del periodo reproductivo, es un promedio entre distintas observaciones, la experiencia dice que este valor puede oscilar entre 30 y 36.



Fuente: La Demografía en la formación del actuario. Material de apoyo didáctico. A Mina. (2012).

Para desagregar las tasas específicas en edades individuales se utilizan los siguientes elementos.²⁵

La descendencia final (D) se refiere a la suma de todas las tasas de fecundidad específica que van desde la edad donde comienza el periodo reproductivo (S) y durante 33 años (valor adoptado por el Dr. Brass), y se calcula de la siguiente manera:

$$D = \int_S^b f(x) dx = \int_S^b c(x - S)(b - x)^2 dx \quad (50)$$

Obteniendo, de esta forma que:

$$D = \frac{c(b - S)^4}{12} \quad (51)$$

Otro elemento importante que tomar en cuenta para el cálculo de la edad media de la fecundidad acumulada denotada por \bar{X} , la cual representa la edad a la cual en promedio las mujeres tienen a todos sus hijos, se parte de la siguiente ecuación:

$$\bar{X} = \frac{\int_S^b x f(x) dx}{D} = \frac{\int_S^b xc(x - S)(b - x)^2 dx}{\int_S^b c(x - S)(b - x)^2 dx} \quad (52)$$

Resolviendo la integral, se obtiene que:

$$\bar{X} = \frac{3S + 2b}{5} \quad (53)$$

Y, por último, para el cálculo de la desviación estándar, la cual nos indica la dispersión que presentan nuestros datos con respecto a la edad media de fecundidad (\bar{X}), se procede a resolver la siguiente integral:

²⁵ Para consultar el desarrollo de cada integral ver anexo B. Polinomio de William Brass.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\int_S^b (x - \bar{x})^2 f(x)}{D}} = \sqrt{\frac{\int_S^b (x - \bar{x})^2 c (x - S)(b - x)^2 dx}{\int_S^b c (x - S)(b - x)^2 dx}} \quad (54)$$

De esta manera se tiene que:

$$\sigma = \frac{b - S}{5} \quad (55)$$

De esta forma, es posible obtener los valores de S , b y c los cuáles resultan mediante un despeje de las ecuaciones anteriores:

$$S = \bar{X} - 2\sigma \quad (56)$$

$$b = \bar{X} + 3\sigma \quad (57)$$

$$c = \frac{12D}{(b - S)^4} \quad (58)$$

5.3 Ejemplificación del uso del polinomio.

A continuación, se utilizan datos provenientes del INEGI y de CONAPO para la República Mexicana correspondientes al año 2010 con la finalidad de ejemplificar el uso del polinomio del Dr. Brass y la obtención de cada uno de los elementos involucrados en esta técnica.

El cálculo de la edad media de fecundidad (\bar{X}) para la República Mexicana, correspondiente al año 2010, se realizó previamente en el apartado 3.5, donde se tenía que:²⁶

$$\bar{X} = \frac{14.034}{0.5248} = 26.7406$$

De igual forma, el cálculo de la tasa global de fecundidad (D), se obtiene como se describe a continuación:

$$\begin{aligned} D &= 5 * \sum_{X=15}^{45} {}_5f_X^{2010} = 5 * ({}_5f_{15}^{2010} + {}_5f_{20}^{2010} + {}_5f_{25}^{2010} \\ &\quad + {}_5f_{30}^{2010} + {}_5f_{35}^{2010} + {}_5f_{40}^{2010} + {}_5f_{45}^{2010}) \\ &= 5 \\ &\quad * (0.0843 + 0.1474 + 0.1362 + 0.0942 + 0.0475 + 0.0135 + 0.0017) \\ &= 5 * 0.5248 = 2.6238 \end{aligned}$$

Para la desviación estándar se tiene que:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{X=15}^{45} ({}_5f_x^{2010} * ({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2)}{\sum_{X=15}^{45} {}_5f_X^{2010}}}$$

Sustituyendo en la fórmula anterior con los valores de la tabla VIII, se obtiene que:

²⁶ Es importante notar que en la sección 3.5, antes de introducir al polinomio de fecundidad del Dr. Brass, la edad media de fecundidad era denotada por EMF^Z en lugar de \bar{X} , la tasa global de fecundidad se expresaba como TGF^Z en lugar de D sin embargo más adelante se mostrará que para ambos casos, utilizando las fórmulas expuestas en dicha sección o bien las correspondientes al polinomio del Dr. Brass, se obtiene el mismo resultado.

$$\sigma = \sqrt{\frac{22.6150}{0.5247}} = \sqrt{43.0958} = 6.5647$$

De esta manera, es posible obtener las variables que forman parte del polinomio, las cuáles se obtienen como se muestra a continuación:

$$S = \bar{X} - 2\sigma = 26.7406 - 2(6.5647) = 13.6111$$

$$b = \bar{X} + 3\sigma = 26.7406 + 3(6.5647) = 46.4348$$

$$c = \frac{12D}{(b - S)^4} = \frac{12(2.6238)}{(46.4348 - 13.6111)^4} = .00002712$$

Los valores de \bar{X} , D y σ también se pueden obtener usando las fórmulas 53, 51 y 54 respectivamente, de esta forma con el objetivo de verificar las cifras que se obtuvieron anteriormente, se tiene que:

$$\bar{X} = \frac{3S + 2b}{5} = \frac{3(13.6111) + 2(46.4348)}{5} = 26.7406$$

$$D = \frac{c(b - S)^4}{12} = \frac{.00002712(46.4348 - 13.6111)^4}{12} = 2.6238$$

$$\sigma = \frac{b - S}{5} = \frac{46.4348 - 13.6111}{5} = 6.5647$$

Tabla VIII. Cálculo de las tasas específicas de fecundidad por edad mediante el uso del polinomio de Brass.

Grupo de edad	Población femenina	Número total de nacimientos	${}_5X_x^{2010}$	${}_5f_x^{2010}$	${}_5X_x^{2010} * {}_5f_x^{2010}$	$({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$	${}_5f_x^{2010} * ({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$
15-19	5,505,991	464,102	17.5	0.0843	1.4751	85.3889	7.1975
20-24	5,079,067	748,723	22.5	0.1474	3.3168	17.9828	2.6509
25-29	4,582,202	624,181	27.5	0.1362	3.7460	0.5767	0.0786
30-34	4,444,767	418,695	32.5	0.0942	3.0615	33.1706	3.1247
35-39	4,328,249	205,503	37.5	0.0475	1.7805	115.7644	5.4964
40-44	3,658,904	49,430	42.5	0.0135	0.5742	248.3583	3.3552
45-49	3,104,366	5,128	47.5	0.0017	0.0785	430.9522	0.7119
Total	30,703,546	2,515,762		0.5248	14.0325		22.6151

Nota: En los grupos de 15-19 y 45-49 años, para este ejercicio, no se tomaron en cuenta los registros de mujeres menores de 15 años y mayores de 50 respectivamente. Fuente: Elaboración propia con base a datos de nacimientos provenientes de los registros administrativos de natalidad y población del INEGI para el año 2010.

De esta manera, aplicando el polinomio, el cual fue definido en la fórmula (49) y sustituyendo los valores de c, b y S en dicha fórmula se obtiene que:

$$f(x) = 00002712(x - 13.6111) (46.4348 - x)^2$$

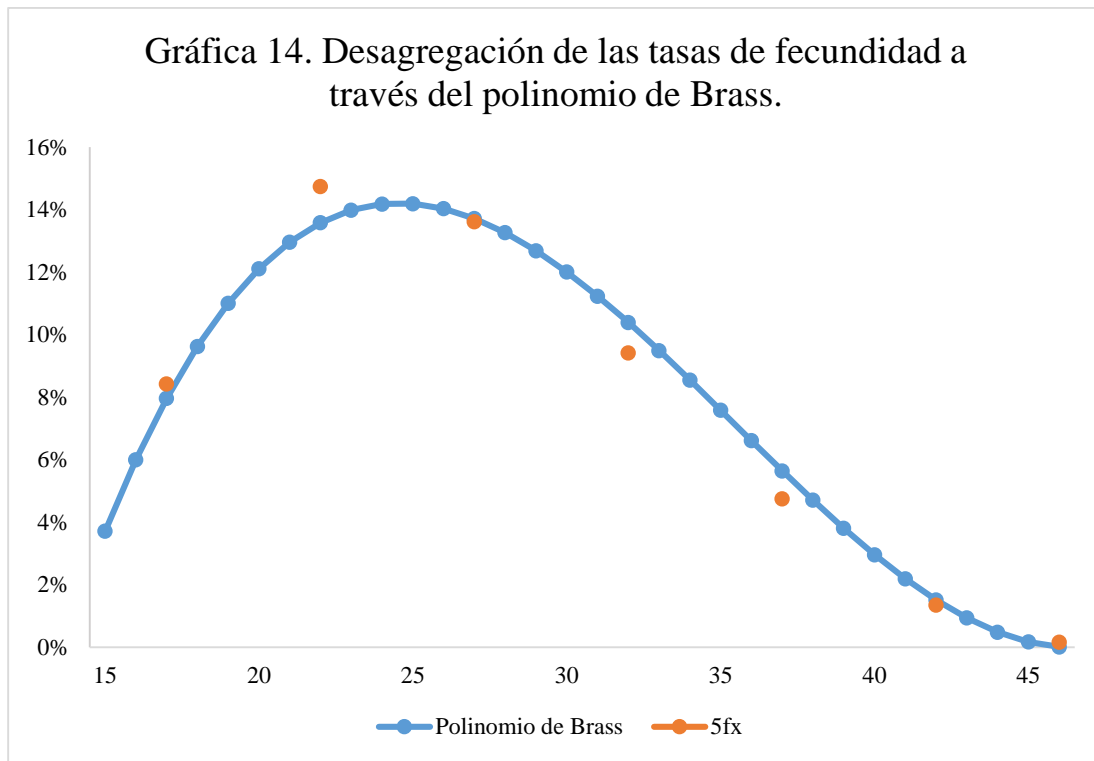
Obsérvese que esta función polinómica puede ser evaluada entre los valores de S a $S + 32.8237$, es decir, para toda x que se encuentre entre los valores de 13.6111 a 46.4348 (sin embargo, para efectos del ejercicio se tomará como límite inferior la edad de 15 años). Así, las tasas de fecundidad desagregadas a partir del polinomio de Brass son las que se muestran en la tabla IX.

Tabla IX. Tasas de fecundidad desagregadas a partir del polinomio de Brass.

x	$f(x)$
15	0.037226106
16	0.060020308
17	0.079641968
18	0.096253834
19	0.110018655
20	0.121099177
21	0.129658148
22	0.135858317
23	0.139862432
24	0.141833239
25	0.141933488
26	0.140325926
27	0.137173301
28	0.13263836
29	0.126883852
30	0.120072525
31	0.112367126
32	0.103930404
33	0.094925106
34	0.085513979
35	0.075859773
36	0.066125235
37	0.056473112
38	0.047066152
39	0.038067105
40	0.029638716
41	0.021943735
42	0.015144909
43	0.009404986
44	0.004886714
45	0.00175284
46	0.000166113

Fuente: Elaboración propia con base a los resultados obtenidos mediante la implementación del polinomio de Brass.

Gráficamente la bondad de ajuste es:



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados obtenidos mediante la implementación del polinomio de Brass.

En la gráfica 14, se comparan las tasas de fecundidad obtenidas por medio de la aplicación del polinomio de Brass y las tasas que se obtuvieron para los grupos quinquenales de forma discreta a través de la fórmula (37), como es posible apreciar, utilizando el polinomio se tiene un buen ajuste de estas tasas, siempre que sea empleado para el rango de edad para el cuál previamente se ha definido.

Capítulo 6. Implementación del polinomio de fecundidad y resultados.

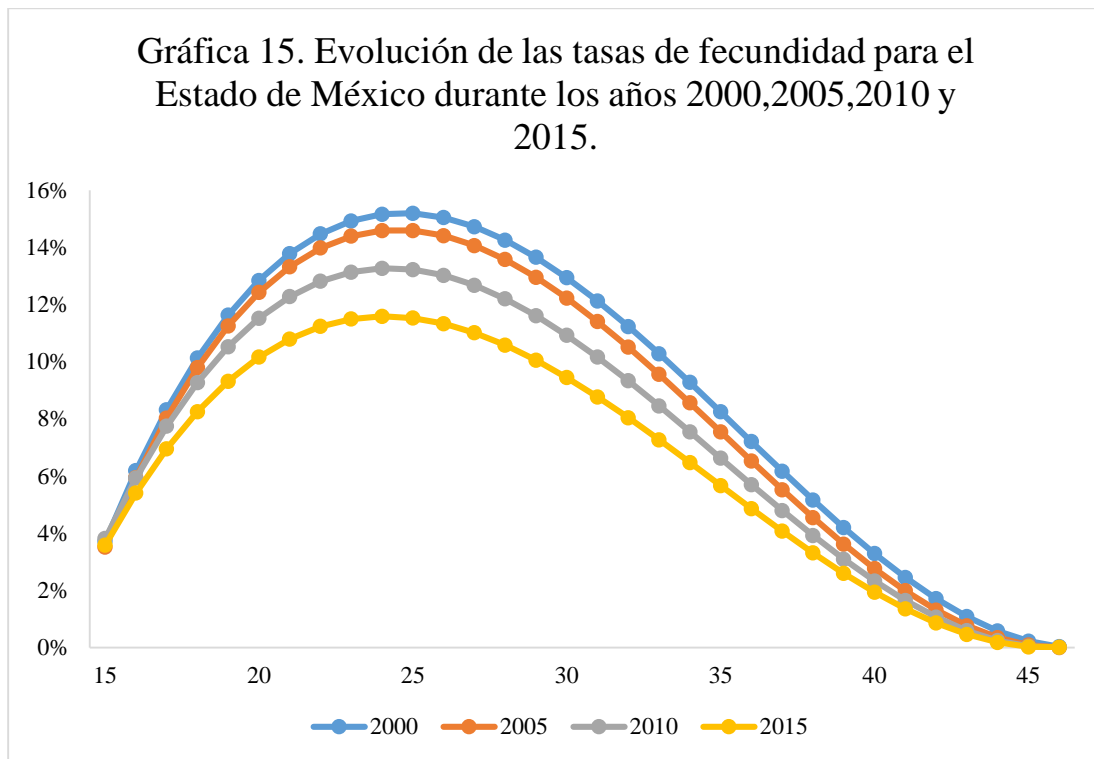
En esta sección se procede a realizar la implementación del polinomio de fecundidad utilizando datos provenientes de los Censos de Población y Vivienda para los años 2000 y 2010, así como el Conteo de Población y Vivienda para el año 2005, la Encuesta Intercensal 2015 y la información procedente de los registros administrativos sobre natalidad. La obtención de las tasas específicas de fecundidad se realiza con el objetivo de poder observar la manera en la que han ido evolucionando para el Estado de México y Puebla teniendo como enfoque a los años 2000, 2005, 2010 y 2015.

Inicialmente se busca tener un panorama general del comportamiento de las tasas obtenidas para todo el grupo de mujeres en edad fértil en ambas entidades, esto con el objetivo de observar en que edades se dieron las disminuciones más importantes en la fecundidad considerando a todas las mujeres expuestas. Posteriormente se elabora una comparación de las tasas tomando en cuenta únicamente al grupo de mujeres adolescentes, consideraron a aquellas jóvenes de entre 15 y 19 años. Este análisis se realiza bajo dos enfoques:

- El primer enfoque se centra en realizar una comparación de las tasas entre ambas entidades, para cada uno de los años de estudio, teniendo como finalidad observar en qué entidad federativa se registraron tasas más elevadas de fecundidad de acuerdo con cada uno de los periodos.
- En el segundo enfoque se busca analizar el comportamiento de las tasas, pero en esta ocasión para cada una de las edades que conforman el intervalo de mujeres adolescentes, gracias a lo cual se podrá argumentar si ha existido una disminución en la tasas y de ser así, que edades fueron las que lograron bajar en mayor medida su porcentaje de embarazos y en qué estado ocurrieron estas reducciones.

6.1 Evolución de la tasa de fecundidad adolescente para el Estado de México (2000, 2005, 2010 y 2015).

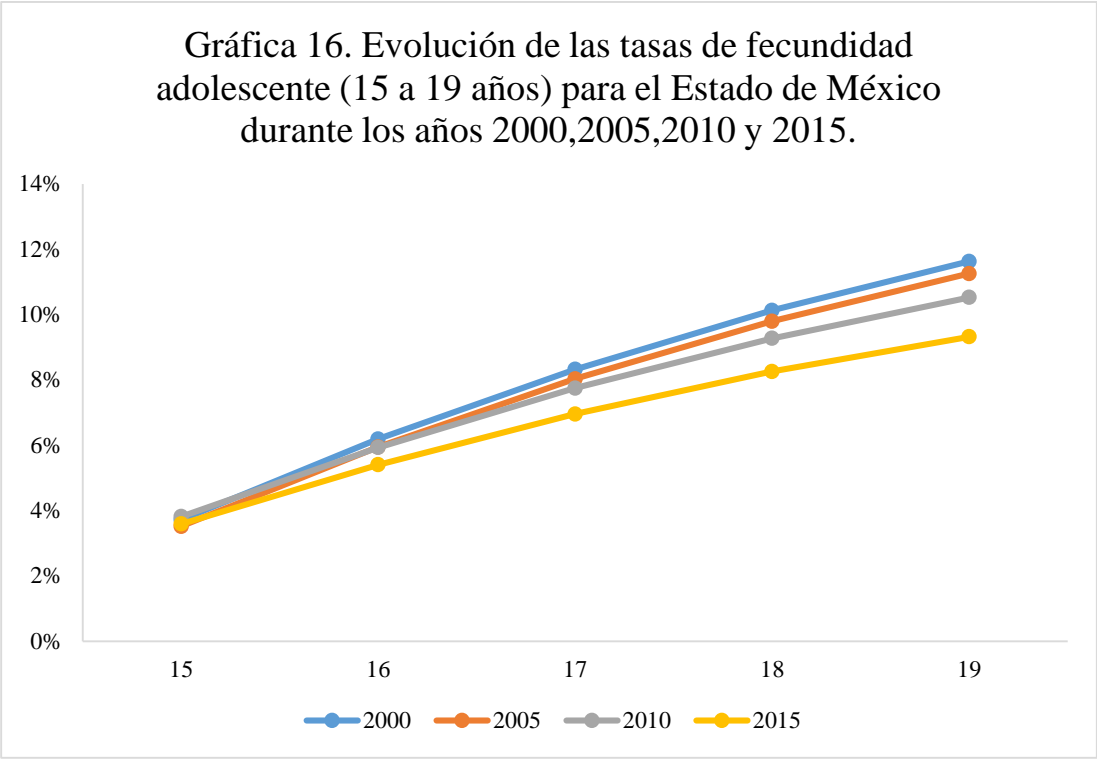
Usando información proveniente del INEGI para el Estado de México y haciendo uso del polinomio de Brass se puede apreciar que existió un descenso en las tasas de fecundidad para todo el grupo de mujeres en edad fértil²⁷ durante los cuatro momentos analizados 2000, 2005, 2010 y 2015 (ver gráfica 15). Sin embargo, la disminución más significativa se produce entre las mujeres con edades de 24 a 30 años, siendo, en particular, el grupo de mujeres de 27 años las que presentan el mayor descenso en la tasa, con una reducción de alrededor del 4% (ver Anexo C).



Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI obtenidos en los Censos de Población y Vivienda de los años 2000 y 2010, Censo de Población y Vivienda 2005 y Encuesta Intercensal 2015.

²⁷ Cabe recordar que para el presente trabajo se tomará la edad de 15 años como rango inferior para la edad fértil, por otro lado, el rango superior se encuentra delimitado por el valor para el cuál el polinomio del Dr. Brass está definido, el cuál en los 4 periodos fue de 46 años.

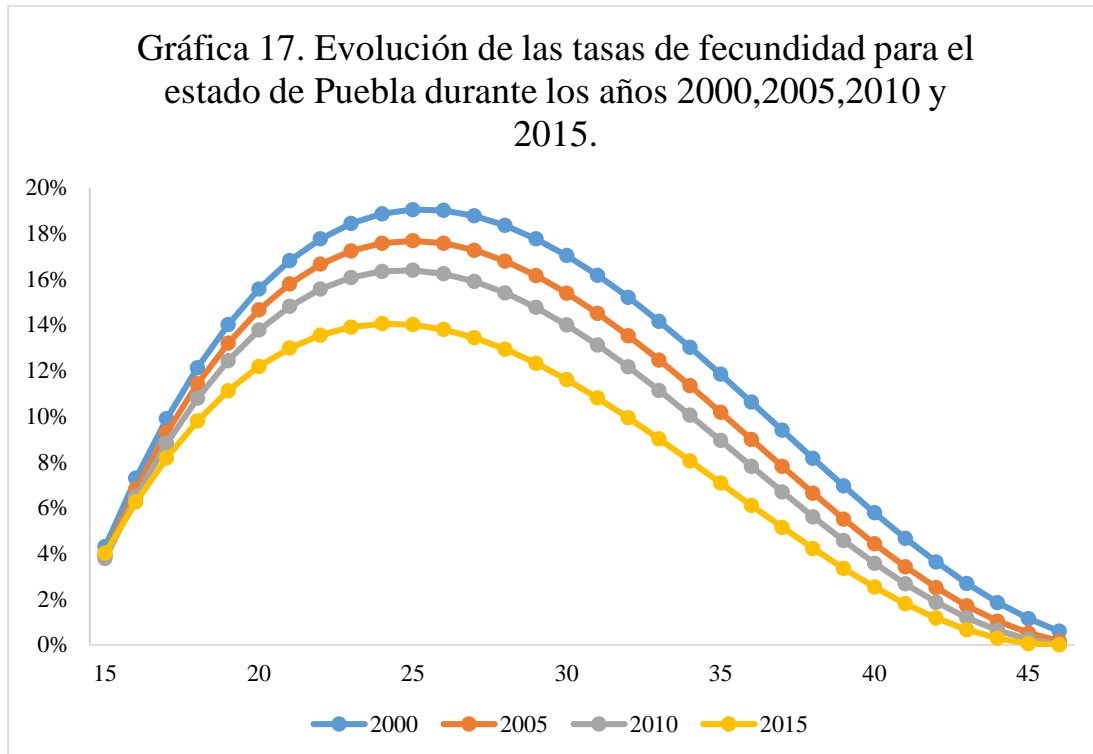
En contraste, la disminución en la tasa de fecundidad para las mujeres con edades de entre 15 y 19 años no resultó ser tan significativa (ver gráfica 16), la mayor reducción en la tasa que fue registrada para este grupo de edades corresponde a las mujeres de 19 años, descendiendo un 2%. Es importante notar que para el grupo de 15 años no existió una reducción importante a través del tiempo, más aún, dicho decremento no ha sido uniforme.



Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI obtenidos en los Censos de Población y Vivienda de los años 2000 y 2010, Censo de Población y Vivienda 2005 y Encuesta Intercensal 2015.

6.2 Evolución de la tasa de fecundidad adolescente para el estado de Puebla (2000, 2005, 2010 y 2015).

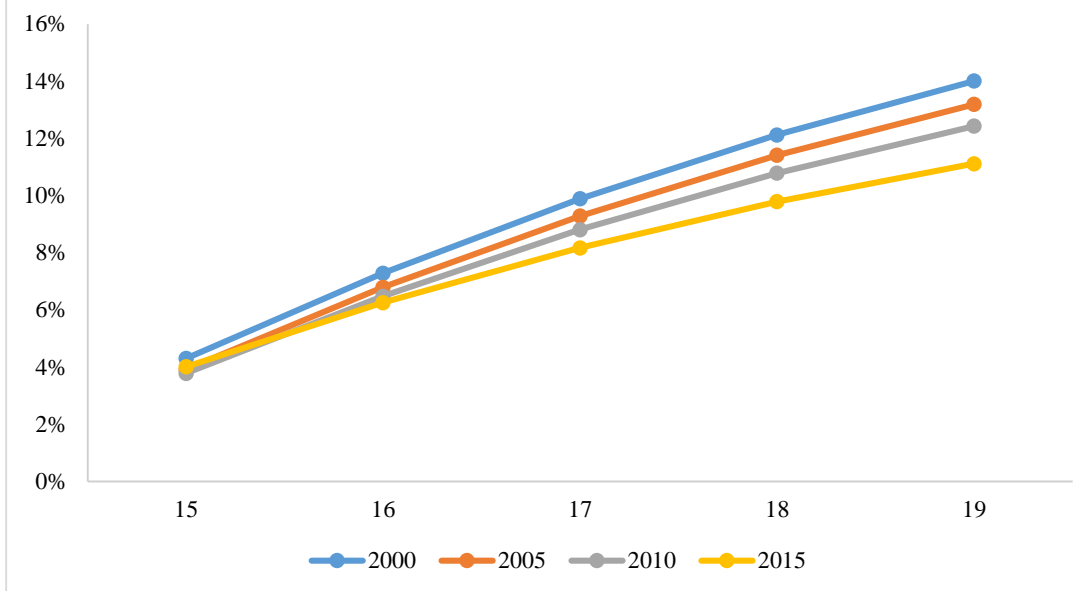
Para poder observar la evolución que han tenido las tasas de fecundidad en el estado de Puebla, se procedió de manera análoga a lo realizado para el análisis del Estado de México utilizando información tomada del INEGI (ver anexo D), donde de forma similar, existió una reducción en la tasa a través de los años, como es posible observar en la gráfica 17, dicha disminución se presenta en mayor magnitud en el grupo de 27 a 32 años, en el cuál la reducción más grande que fue de 5.4% ocurrió en el grupo de mujeres de 29 años.



Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI obtenidos en los Censos de Población y Vivienda de los años 2000 y 2010, Censo de Población y Vivienda 2005 y Encuesta Intercensal 2015.

Teniendo como enfoque al grupo de mujeres de 15 a 19 años se aprecia, de igual forma una disminución en la tasa de fecundidad a través del tiempo, sin embargo, dicha disminución no resulta ser tan representativa (ver gráfica 18) en comparación con los otros grupos de edad, para este grupo de mujeres adolescentes el descenso más grande en la tasa (2.8%) se vio reflejado en las jóvenes de 19 años, donde a lo largo de los 4 momentos observados la tasa fue descendiendo de manera constante, caso contrario a lo sucedido con el grupo de adolescente de 15 años, donde si bien, la tasa decreció un 0.28%, no lo hizo de manera constante.

Gráfica 18. Evolución de las tasas de fecundidad adolescente (15 a 19 años) para el estado de Puebla durante los años 2000,2005,2010 y 2015.



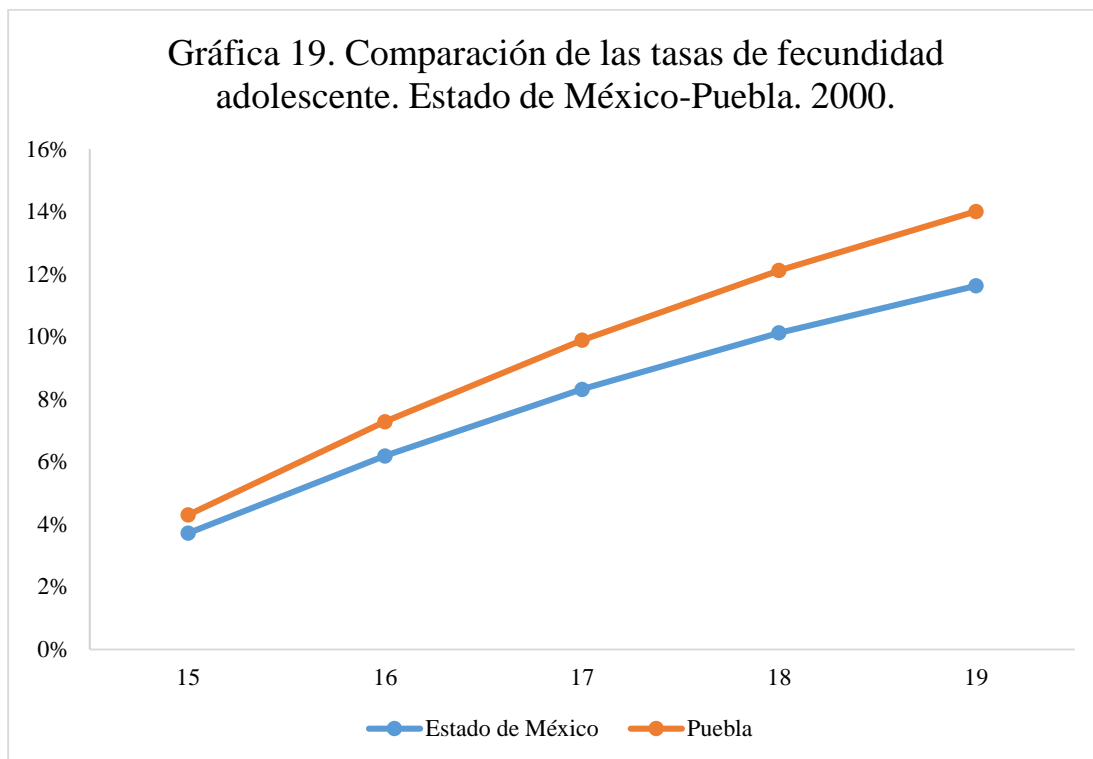
Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI obtenidos en los Censos de Población y Vivienda de los años 2000 y 2010, Censo de Población y Vivienda 2005 y Encuesta Intercensal 2015.

6.3 Comparativo de las tasas de fecundidad adolescente Estado de México-Puebla. (2000, 2005, 2010, 2015).

Anteriormente fue posible observar que, para el Estado de México y Puebla, las tasas de fecundidad tuvieron una disminución a lo largo del periodo de 15 años que fue analizado, la cual se hizo presente en todas las edades del periodo reproductivo de las mujeres, aunque se debe destacar que en el grupo de jóvenes adolescentes de 15 a 19 años la merma en las tasas no resultó ser tan significativa si se compara con las disminuciones obtenidas mujeres de otros grupos quinquenales, lo cual es concordante con lo que se ha venido mencionando a lo largo del documento, de acuerdo con la literatura disponible.

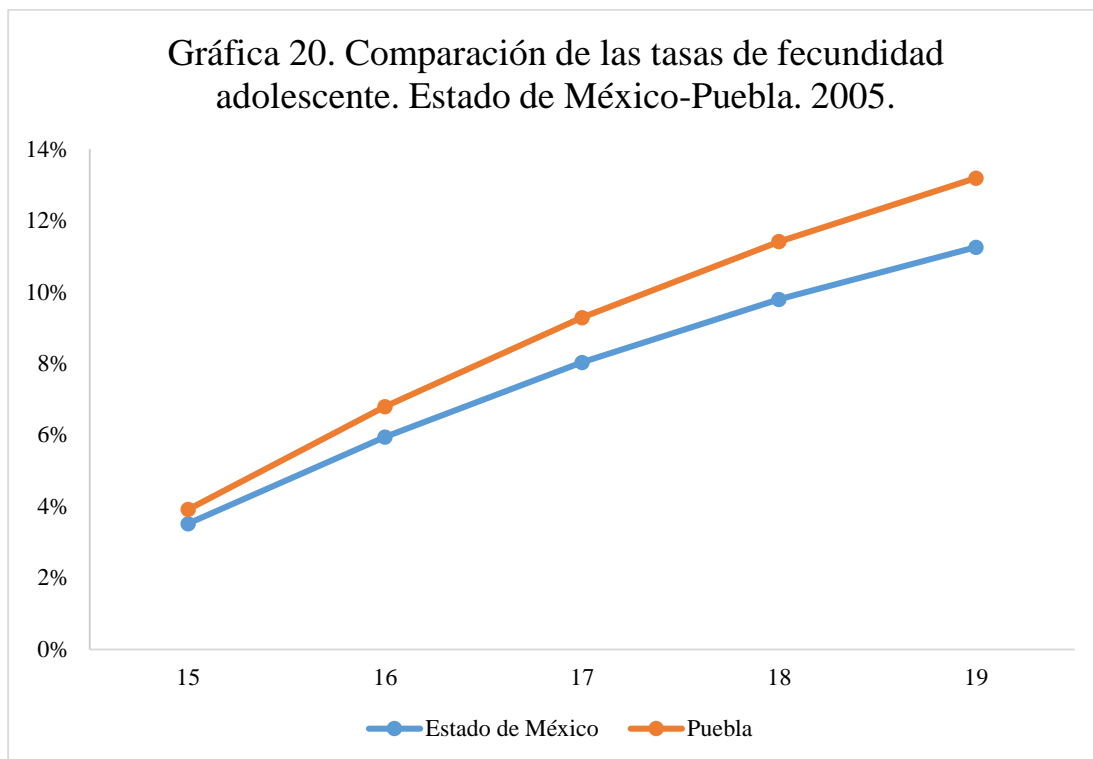
A continuación, se realizarán dos tipos de enfoques para observar el comportamiento de las tasas de fecundidad en el grupo de mujeres adolescentes, para el Estado de México y Puebla.

El primer enfoque se centrará en realizar una comparación de las tasas entre ambas entidades para cada uno de los años que forman parte del periodo de estudio (2000, 2005, 2010, 2015), lo anterior tiene la finalidad de ver en qué entidad federativa se registró un mayor índice de fecundidad y poder encontrar algún patrón, en caso de existir, de su comportamiento. Desde otro ángulo, el segundo enfoque tendrá como objetivo analizar el comportamiento de las tasas, para ambos estados, por cada una de las edades específicas que integran al intervalo de adolescentes a través del tiempo, gracias a lo cual se logrará observar si efectivamente la fecundidad para cada edad individual ha disminuido, en qué edad del rango se presenta la mayor reducción y, por último, cuál estado es el que ha logrado bajar sus tasas en mayor medida durante el tiempo analizado.



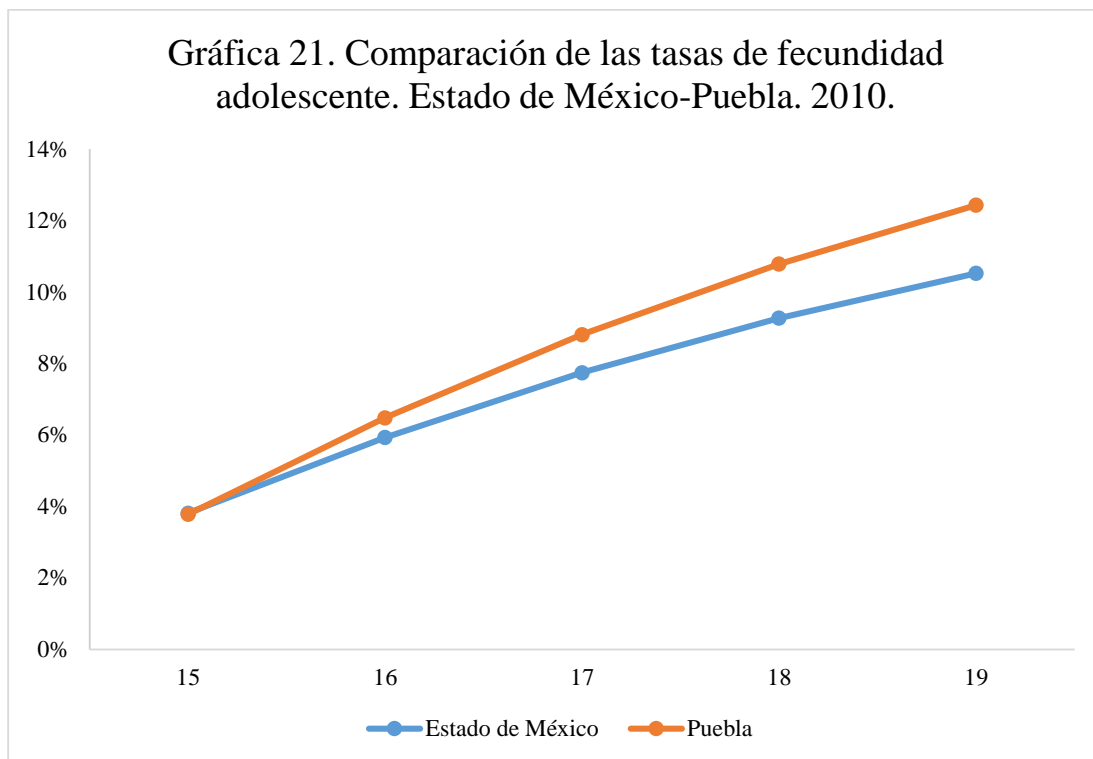
Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI obtenidos en los Censos de Población y Vivienda de los años 2000 y 2010, Censo de Población y Vivienda 2005 y Encuesta Intercensal 2015.

Iniciando con la primer perspectiva, al comparar el comportamiento de las tasas específicas de fecundidad adolescente durante el año 2000 para ambas entidades (ver gráfica 19) se observa que las tasas más altas en todas las edades son las que corresponden al estado de Puebla, la diferencia de tasas se encuentra más pronunciada conforme va aumentando la edad de las adolescentes, lo que se traduce a que la diferencia para el grupo de 15 años entre ambas tasas es mínima, de solo un 0.58%, contrario a lo que sucede para las mujeres que se encuentran al final de la adolescencia, esto es en las mujeres de 19 años, donde la diferencia incrementa a un 2.4%.



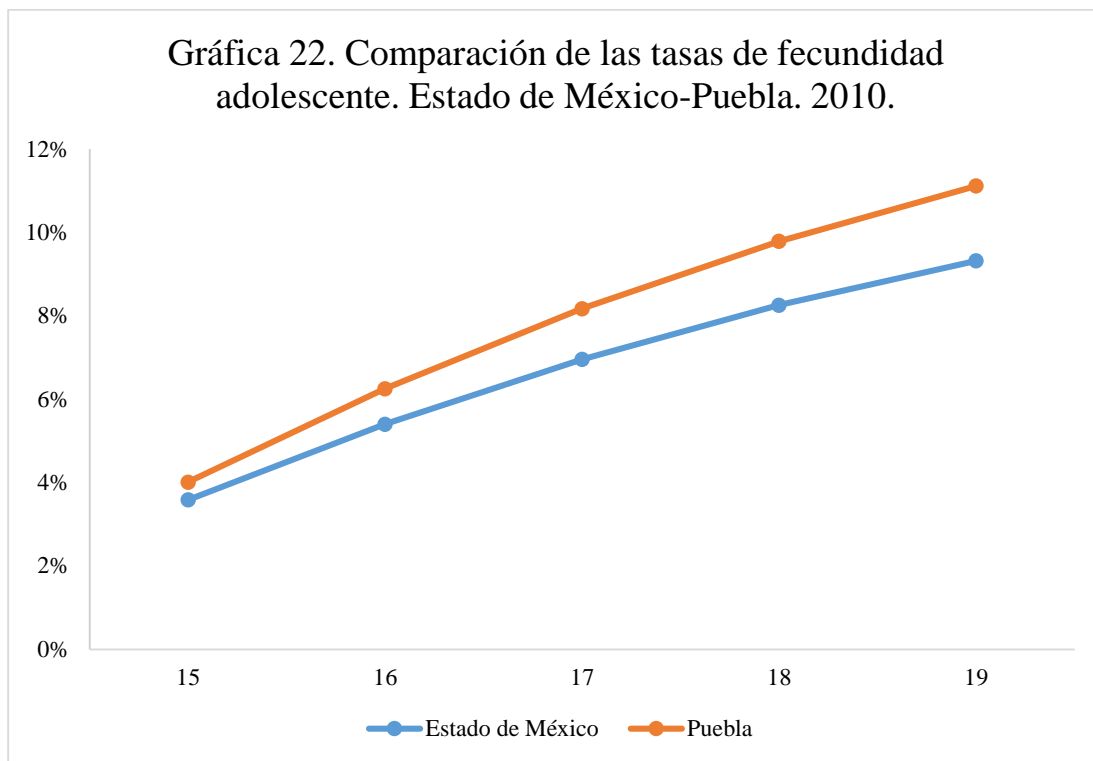
Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI obtenidos en los Censos de Población y Vivienda de los años 2000 y 2010, Censo de Población y Vivienda 2005 y Encuesta Intercensal 2015.

Una situación similar ocurre para el año 2005 (ver gráfica 20), de igual modo se tiene un registro de tasas más altas en Puebla, también es posible apreciar que, como en el caso anterior, las diferencias entre las tasas de fecundidad se fueron haciendo mayores conforme aumentó la edad de las mujeres. Es posible notar que la menor diferencia se obtuvo para las jóvenes de 15 años, donde en el Estado de México la tasa fue de 3.5%, menor a la registrada en Puebla de 3.9%. A su vez, la mayor diferencia de tasas que fue de 2% se vio reflejada en el grupo de mujeres de 19 años.



Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI obtenidos en los Censos de Población y Vivienda de los años 2000 y 2010, Censo de Población y Vivienda 2005 y Encuesta Intercensal 2015.

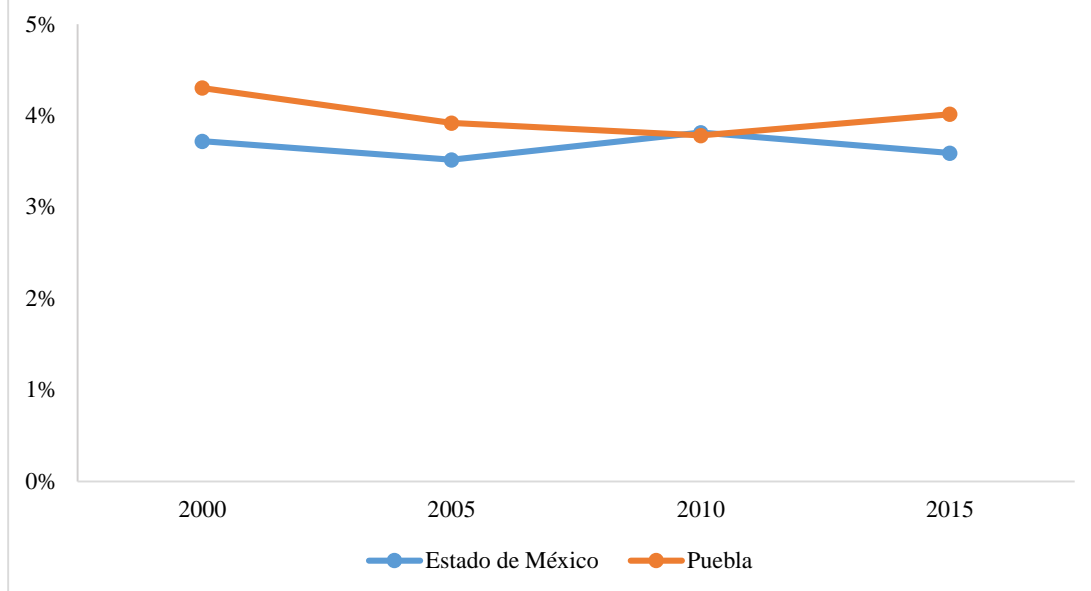
Para el 2010, del mismo modo ocurre que como en años anteriores, la tasa de fecundidad es más alta en Puebla que en el Estado de México, sin embargo, en esta ocasión ocurre una singularidad en la tasa registrada por las jóvenes de 15 años, debido a que, para este año en específico, la tasa para las adolescentes en el Estado de México fue de 3.8%, superó ligeramente a la tasa correspondiente al estado de Puebla donde se registró una cifra del 3.7% (ver gráfica 21). Respecto al tema de las diferencias de tasas entre ambos estados, se conserva el patrón observado en los periodos anteriores, donde las discrepancias entre estas cifras fueron más acentuadas conforme la edad de la adolescente aumentó.



Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI obtenidos en los Censos de Población y Vivienda de los años 2000 y 2010, Censo de Población y Vivienda 2005 y Encuesta Intercensal 2015.

En la gráfica 22 se observa para el año 2010, que las tasas mantienen el mismo comportamiento que los otros años. Nuevamente es fácil observar que las tasas de fecundidad siguen siendo mayores en Puebla que en el Estado de México. De nueva cuenta, las diferencias se incrementan a medida que la edad avanza, en este caso se tiene que la menor diferencia registrada de 0.4% sucede para las jóvenes de 15 años y la mayor para las de 19 años siendo de alrededor de 1.8%.

Gráfica 23. Comportamiento de las tasas de fecundidad para el grupo de mujeres de 15 años durante el periodo 2000-2015. Estado de México-Puebla

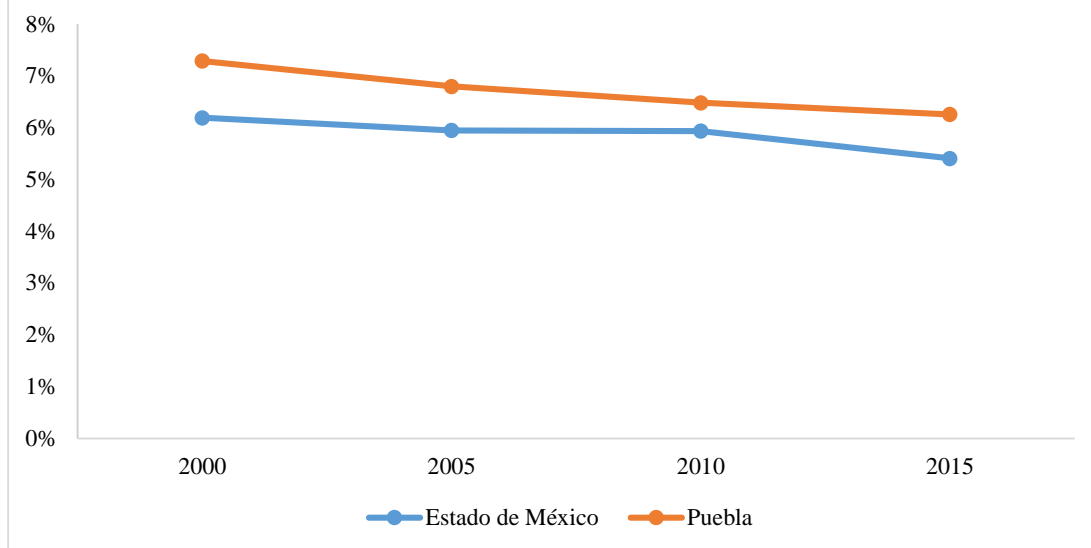


Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI obtenidos en los Censos de Población y Vivienda de los años 2000 y 2010, Censo de Población y Vivienda 2005 y Encuesta Intercensal 2015.

De manera análoga, procediendo a realizar las comparaciones bajo el esquema del segundo enfoque, comparando las tasas entre ambas entidades para cada una de las edades que conforman el intervalo de jóvenes adolescentes de 15 a 19 años, a través de los años de estudio, se puede apreciar que en todos los casos existió una reducción en las tasas de fecundidad.

Iniciando con el grupo de jóvenes de 15 años, es posible apreciar que la reducción ocurrida fue de menos de un punto porcentual, en ambas entidades, siendo el Estado de México el que menor reducción presentó, donde la tasa pasó de 3.7% en el año 2000 a 3.5% en el año 2015. En contraste, Puebla pasó de tener una tasa del 4.3% en el 2000 a 4% en el 2015. Un punto importante que notar es que en ambos estados la disminución de las tasas no registró tener una tendencia decreciente a lo largo del periodo, es decir, ambas tasas sufrieron un aumento durante el tiempo observado, para el Estado de México este aumento ocurrió en el año 2010 donde la tasa incrementó un 0.3%, similarmente ocurrió en Puebla con un alza en la tasa del 0.2%, lo que se traduce a que las tasas más bajas ocurrieron en años distintos al 2015, para el caso del Estado de México este hecho ocurrió en 2005 donde la menor tasa registrada fue del 3.5% y para Puebla en el año 2010 con 3.7% (ver gráfica 23).

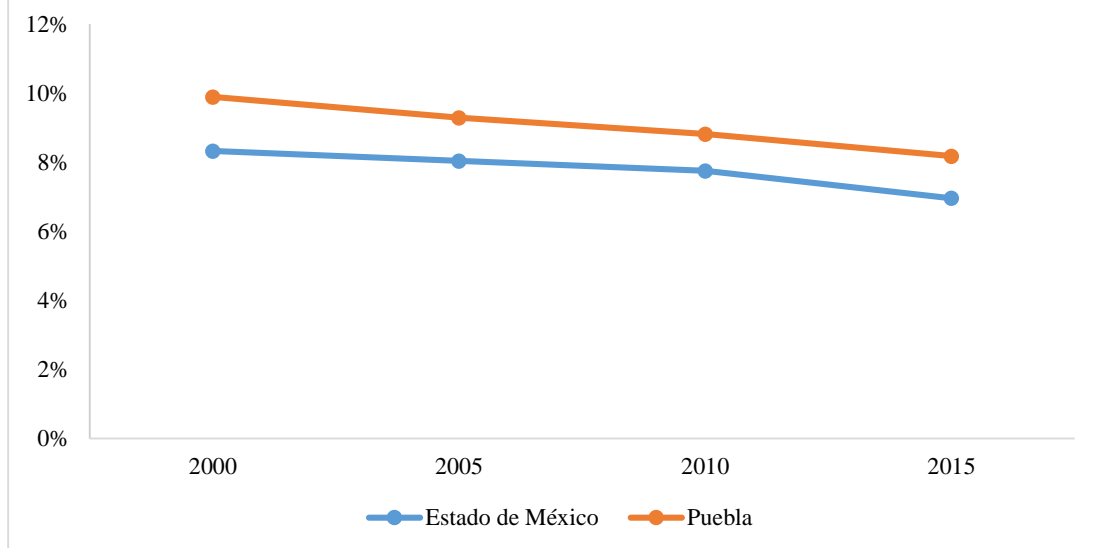
Gráfica 24. Comportamiento de las tasas de fecundidad para el grupo de mujeres de 16 años durante el periodo 2000-2015. Estado de México-Puebla



Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI obtenidos en los Censos de Población y Vivienda de los años 2000 y 2010, Censo de Población y Vivienda 2005 y Encuesta Intercensal 2015.

Para el grupo de jóvenes de 16 años, de manera similar al caso anterior, la mayor reducción en la tasa de fecundidad la presenta el estado de Puebla, pasando de tener una tasa de fecundidad del 7.3% en el año 2000 a un 6.2% en el 2015, lo que significa que la tasa tuvo una reducción ligeramente superior a un punto porcentual. En ese mismo sentido, el Estado de México solamente logró disminuir su tasa en un 0.8% (ver gráfica 24), pasando de un 6.2% en el año 2000 a un 5.4% en el 2015. Vale la pena notar que, para el Estado de México, durante los años 2005 y 2010 la tasa se mantuvo prácticamente sin cambio ya que la reducción fue demasiado minúscula (0.01%). Las mermas que sufrieron ambas entidades en sus respectivas tasas de fecundidad fueron disminuyendo progresivamente a lo largo del periodo de estudio.

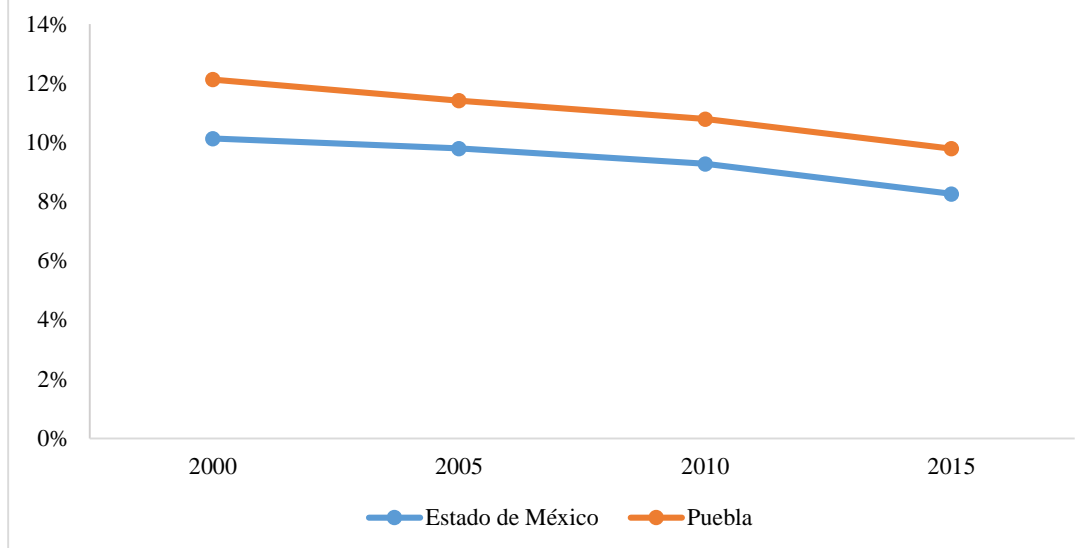
Gráfica 25. Comportamiento de las tasas de fecundidad para el grupo de mujeres de 17 años durante el periodo 2000-2015. Estado de México-Puebla



Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI obtenidos en los Censos de Población y Vivienda de los años 2000 y 2010, Censo de Población y Vivienda 2005 y Encuesta Intercensal 2015.

Para el grupo de jóvenes de 17 años, se presentó un descenso constante en la tasa de fecundidad para ambos estados, donde Puebla pasó de tener una tasa del 9.9% a un 8.2% con una reducción del 1.7%, superando al Estado de México donde la baja en la tasa fue de un 1.3%, lo que significa que la tasa pasó de un 8.3% a un 7%. La tasa en ambos estados mostró una tendencia decreciente. El periodo en el que se registró el mayor decremento sucedió del año 2010 al 2015 para ambas entidades (ver gráfica 25).

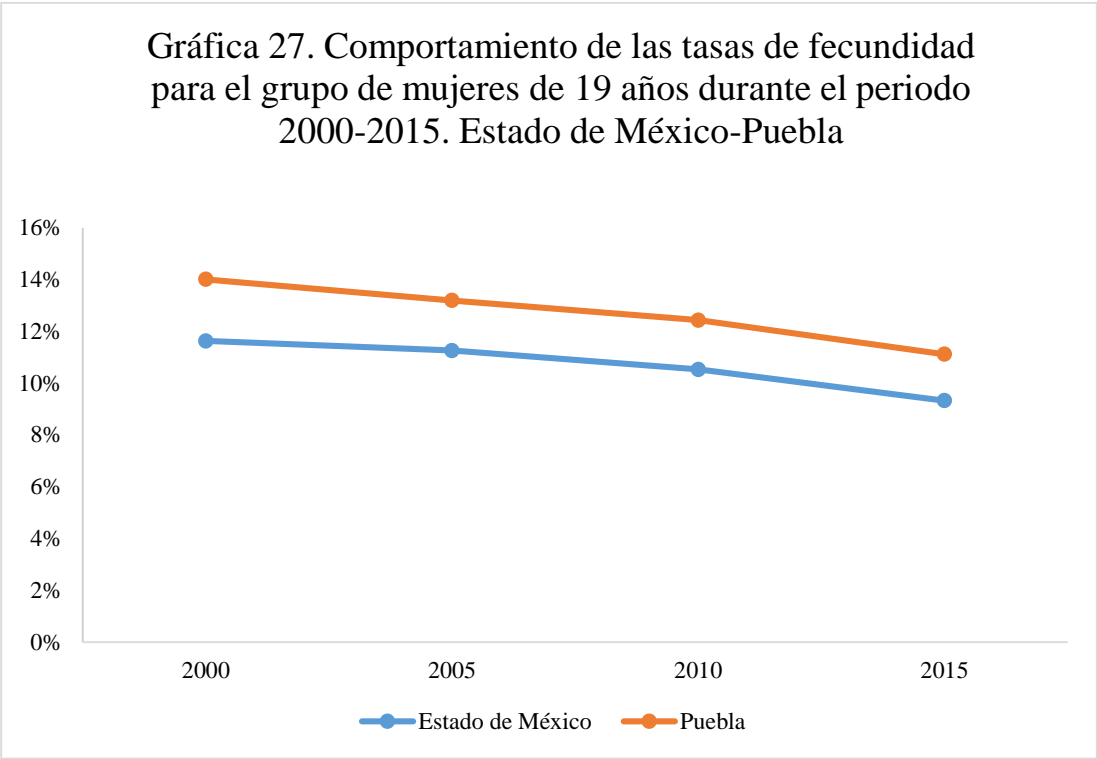
Gráfica 26. Comportamiento de las tasas de fecundidad para el grupo de mujeres de 18 años durante el periodo 2000-2015. Estado de México-Puebla



Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI obtenidos en los Censos de Población y Vivienda de los años 2000 y 2010, Censo de Población y Vivienda 2005 y Encuesta Intercensal 2015.

La merma de la tasa de fecundidad para las jóvenes del grupo de 18 años continúa teniendo el mismo patrón de reducción que el caso anterior, es decir, para ambos estados, la tasa presenta una tendencia decreciente, de igual forma es el estado de Puebla el que durante el periodo observado registró una mayor disminución en la tasa, ya que durante el año 2000, la tasa se mantenía en un 12.1% disminuyendo un 2.3%, lo que implica que en el 2015 la tasa era de 9.8% mientras que en el Estado de México la tasa pasó de ser del 10.1% a 8.2% lo que significa una merma del 1.8% (ver gráfica 26).

Finalmente, la mayor reducción en las tasas de fecundidad acontecida en ambos estados fue la que se registró para el grupo de las mujeres mayores del intervalo considerado, es decir aquellas jóvenes de 19 años. La tasa de fecundidad tuvo una tendencia decreciente en las dos entidades. Como sucedió en todas las edades, el decremento mayor lo tuvo Puebla, que pasó de tener una tasa de 14% en el año 2000 a 11% en el 2005, registrando una merma de 3%, a diferencia el Estado de México sufrió una reducción del 2.3%, es decir, la tasa pasó del 11.6% en el año 2000 a 9.3% en el 2015. El periodo en el que se registró la baja más grande de las tasas ocurrió del año 2010 al 2015, la cual fue superior al 1% para los dos estados (ver gráfica 27).



Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI obtenidos en los Censos de Población y Vivienda de los años 2000 y 2010, Conteo de Población y Vivienda 2005 y Encuesta Intercensal 2015.

Conclusiones.

En esta tesis se realizó una estimación de las tasas de fecundidad adolescente para edades individuales, las cuáles fueron aproximadas mediante el uso del polinomio de fecundidad propuesto por el Dr. William Brass. Una vez obtenidas las tasas mencionadas, se elaboró una comparación entre ellas, focalizando dicho cotejo exclusivamente para el Estado de México y Puebla, para el grupo de mujeres de 15 y 19 años, el cual se estableció como grupo de estudio en el presente escrito. Lo anterior se efectuó no sin antes examinar el comportamiento de las tasas de fecundidad para todo el grupo de mujeres en edad fértil, ya que de esta manera se logró conseguir un mejor contexto de la evolución que ha tenido la fecundidad a lo largo de los años, gracias a lo que se pudo verificar que en efecto la fecundidad en general había sufrido un decremento en todos los grupos quinquenales, sin embargo, la menor disminución se había presentado para las mujeres de 15 a 19 años. Gracias a la obtención de las tasas específicas para cada edad individual fue posible distinguir exactamente en qué edades se habían presentado los mayores decrementos en la fecundidad durante el periodo 2000-2015 para cada uno de los estados, donde resultó evidente que el mayor decremento se suscitó, en ambos estados, dentro del grupo de mujeres de 25 a 32 años, específicamente en las mujeres de 27 años para el Estado de México y 29 años para Puebla. Ahora bien, centrando la atención al grupo de adolescente, se tiene que la disminución más importante, tuvo lugar en ambas entidades para las jóvenes de 19 años, esto indica que no ha existido un cambio significativo para las adolescentes más jóvenes las cuáles son más vulnerables a sufrir en mayor medida las consecuencias que conlleva un embarazo y la crianza de un hijo.

Efectuando la comparación de las tasas de fecundidad adolescente para estos estados, se pretendió evaluar la evolución que se ha presentado desde dos tipos de enfoque. El primero fue focalizado en comparar las tasas por cada uno de los años de estudio, donde se pudo apreciar que en todos los años es el estado de Puebla el que presenta tasas mayores de fecundidad, salvo por una excepción ocurrida en el año 2010, donde las jóvenes de 15 años tuvieron una tasa de fecundidad mayor en el Estado de México. Es importante mencionar que durante los tres primeros años de estudio (2000, 2005, 2010) la diferencia registrada entre las tasas de Puebla y el Estado de México fue haciéndose cada vez menor, sin embargo, para el 2015, las disparidades entre tasas presentaron un aumento.

A pesar de que las tasas registradas fueron más altas en Puebla, gracias al segundo enfoque de comparación donde se estudia la evolución de la fecundidad, pero en esta ocasión para cada una de las edades individuales, se determinó que fueron las adolescentes de esta entidad las que mayor reducción tuvieron en la tasa. De forma más específica fue en el grupo de las jóvenes de 19 años donde la tasa sufrió una mayor merma, con un decremento de más del 2% en los dos estados. Por el contrario, las mujeres de 15 años conforman el grupo para el cuál la fecundidad decayó en menor medida, lo cual se cumplió para ambos estados. Además de observar cuál fue el grupo de edad que logró reducir más su tasa de fecundidad, fue posible apreciar que sucedió con dichas tasas de periodo a periodo, donde un hecho relevante fue que, para el grupo de 15 años, ocurrieron pequeñas variaciones en cuanto a la disminución mostrada en los dos estados, para el caso particular del Estado de México, este hecho se hace

presenta cuando del periodo 2005 al 2010 la tasa sufre un aumento, un acontecimiento similar ocurre para Puebla, sin embargo, esto sucedió del 2010 al 2015 donde la tasa se incrementó en un 0.23%.

En este sentido es válido afirmar que la reducción en la fecundidad adolescente no ha sido del todo satisfactoria, es cierto que los niveles de fecundidad bajaron, sin embargo, como se logró apreciar, es en las mujeres más jóvenes donde la tasa no mostró una reducción significativa. Este hecho se encuentra respaldado gracias a los resultados obtenidos por medio de los dos enfoques de comparación que se muestran en este escrito.

Debido a que este tema es de suma importancia para el país, el Gobierno Federal puso en marcha en Marzo de 2015 la Estrategia Nacional para la Prevención del Embarazo en Adolescentes (ENAPEA), en la que se contemplan objetivos específicos como el de promover el desarrollo humano y las oportunidades de las y los adolescentes; crear un entorno que favorezca decisiones libres y acertadas sobre su proyecto de vida y el ejercicio de su sexualidad; incrementar la oferta y la calidad de la información y los servicios de salud sexual y reproductiva, así como una educación integral en sexualidad en todos los niveles educativos, de gestión pública o privada. Las metas que persigue en este programa son: lograr que en el 2030 se reduzca a la mitad la actual tasa de fecundidad entre las adolescentes mexicanas de 15 a 19 años de edad, y erradicar el embarazo en niñas menores de 15 años.

Aún es precipitado realizar un análisis con la finalidad de comprobar si esta iniciativa ha surgido efecto en la fecundidad del país, sin embargo, se abre una línea de investigación que será posible atacar en el futuro, ya que gracias a la implementación del polinomio del Dr. Brass se puede identificar en que edades individuales esta impactando en mayor sentido esta estrategia de prevención, y en que edades hace falta implementar otro tipo de acciones para lograr un mejor resultado en la disminución de estas tasas. A continuación, se presentan algunas interrogantes que podrían abordarse más a detalle gracias a la obtención de tasas de fecundidad individuales con respecto a la ENAPEA:

- ¿Qué logros se han obtenido en materia de reducción de las tasas de embarazo en las mujeres de 15 a 19 años?
- ¿Qué edad específica es en la que el programa ha tenido mayor/ menor impacto?
- ¿Qué entidades han sido las más beneficiadas con la estrategia?

Referencias bibliográficas.

- Arkansas Tech University. *A reading of the Theory of Life Contingency Models: A Preparation for Exam MLC/3L*. Preliminary Draft.
- Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF) /Banco Mundial. (2007). *Cuestiones de población en el siglo XXI*. Washington, D.C.
- Banco Mundial. (2000). Tasa de fertilidad en adolescentes (nacimientos por cada 1.000 mujeres entre 15 y 19 años de edad). Disponible en: https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.ADO.TFRT?end=2016&name_desc=false&start=2000&view=chart
- Brass, W. (1974). *Métodos para estimar la fecundidad y la mortalidad en poblaciones con datos limitados*. Santiago de Chile: CELADE.
- Camisa, Z. (1982). *Introducción al estudio de la fecundidad*. Santiago, Chile: CELADE
- Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE), Programa Latinoamericano de Actividades en Población (PROLAP), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (1997), *Demografía*, México, primera edición.
- Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE)-División de Población de la CEPAL (2007). *Fecundidad adolescente en Nicaragua: tendencias, rasgos emergentes y orientaciones de política*. Santiago de Chile.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2007). *Desafíos: Boletín de la infancia y adolescencia sobre el avance de los objetivos de Desarrollo del Milenio*. Nueva York.
- Comisión Estatal de Población del Estado de México (COESPO). (2017). *Embarazo Adolescente*.
- Comisión Nacional de Arbitraje Médico (CONAMED). (2017). *Boletín CONAMED-OPS*.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). *Indicadores demográficos de México de 1950-2050*. Disponible en: http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Mapa_Ind_Dem18/index_2.html
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2006). *México en cifras. Tabulados básicos*. Disponible en: http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Tabulados_basicos?page=3
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). *Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050*. Disponibles es: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050>

- Cunningham, R. (2012). *Models for quantifying risk* (5th ed.). Winsted, CT: ACTEX Publications, Inc.
- Darroch JE, Woog V, Bankole A, Ashford LS. (2016). Adding it up: cost and benefits of meeting the contraceptive needs of adolescents. Nueva York: Guttmacher Institute.
- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Población. (ONU). (2015). *World population prospects: the 2015 revision*. Age-specific fertility rates by major area, region and country, 1950-2100. Nueva York. Disponible en: <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Fertility/>
- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Población. (ONU). (2015). *World fertility patterns 2015* - Data booklet. Disponible en: www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/fertility/worldfertility-patterns-2015.pdf
- Emagister. Medidas de tendencia central. (2019). Disponible en: https://www.emagister.com/uploads_courses/Comunidad_Emagister_66885_66885.pdf
- Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA). (2007). Framework for Action on Adolescents and Youth. Opening Doors with Young People: 4 keys. Nueva York, EUA.
- Gobierno de la República. (2017). *Guía para la implementación de la Estrategia Nacional para la Prevención del Embarazo en Adolescentes en las Entidades Federativas*. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo General de Población y Vivienda, 1980.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo General de Población y Vivienda, 1990.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo de Población y Vivienda, 1995.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica, 1997.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo General de Población y Vivienda, 2000.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo de Población y Vivienda, 2005.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica, 2009.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo de Población y Vivienda, 2010.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica, 2014.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Encuesta Intercensal, 2015.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Registros Administrativos. Población, 1985-2017.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Registros Administrativos. Natalidad, 1895-2020.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). La anticoncepción: implicaciones en el embarazo adolescente, fecundidad y salud reproductiva en México, Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica 2014 (ENADID).
- Menkes C., Suárez L. (2003). Sexualidad y embarazo adolescente en México. *Papeles de Población*, 9(35).
- Mina, A (2012). *La demografía en la formación del actuario*. México: UNAM.
- National Center for Health Statistics. (NCHS). (2016). Continued Declines in Teen Births in the United States, 2015. NCHS Data Brief No. 259. Hyattsville, MD. Disponible en: <https://www.cdc.gov/nchs/products/databriefs/db259.htm>
- Observatorio Demográfico: América Latina y el Caribe. (2017). Tablas de Mortalidad. Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE)-División de Población de la CEPAL, revisión de 2017. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42361/1/S1700661_mu.pdf
- Organización Panamericana de la Salud (OPS), Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). (2018). *Acelerar el progreso hacia la reducción del embarazo en la adolescencia en América Latina y el Caribe. Informe de consulta técnica*. Washington D.C.
- Organización Mundial de la Salud. (OMS). (2009). *Boletín de la Organización Mundial de la Salud: Embarazo en adolescentes: un problema culturalmente complejo*.
- Quevedo, F. (2011). Medidas de tendencia central y dispersión. *Medwave*, 11(03). doi: 10.5867/medwave.2011.03.4934
- Tecnológico Nacional de México. (TecNM). (2019). Tratamiento para datos agrupados. Disponible en: <http://www.itchihuahua.edu.mx/academic/industrial/sabaticorita/private/03Tratami>

[ento%20para%20Datos%20Agrupados.htm](#)

Valdéz, L. (2000). *Población reto del tercer milenio*. Editorial Miguel Ángel Porrúa. México: UNAM.

Walti, C. (1997). *Demografía I*. México: UNAM.

Yen, S., Jaffe, R., Barbieri, R., & Cohen, M. (2001). *Endocrinología de la reproducción*. Buenos Aires, Arg.: Médica Panamericana.

Anexo A. Tabla abreviada de mortalidad femenina.^a México 2010.

Edad	n	${}_n m_x$	${}_n q_x$	l_x	${}_n d_x$	${}_n L_x$	${}_{x+5} P_x$	T_x	e_x
0	1	0.017	0.017	100,000	1,697	98,503	0.981 ^b	7,851,797	78.5
1	4	0.001	0.004	98,303	410	392,143	0.997 ^c	7,753,294	78.9
5	5	0.000	0.002	97,893	156	489,076	0.999	7,361,151	75.2
10	5	0.000	0.001	97,737	122	488,381	0.999	6,872,075	70.3
15	5	0.000	0.002	97,615	162	487,671	0.998	6,383,695	65.4
20	5	0.000	0.002	97,453	221	486,714	0.997	5,896,023	60.5
25	5	0.001	0.003	97,232	285	485,448	0.997	5,409,310	55.6
30	5	0.001	0.004	96,947	377	483,794	0.995	4,923,861	50.8
35	5	0.001	0.006	96,570	533	481,520	0.993	4,440,067	46.0
40	5	0.002	0.008	96,037	795	478,200	0.989	3,958,548	41.2
45	5	0.003	0.013	95,243	1,214	473,178	0.984	3,480,347	36.5
50	5	0.004	0.020	94,028	1,872	465,463	0.974	3,007,170	32.0
55	5	0.006	0.031	92,157	2,878	453,589	0.960	2,541,706	27.6
60	5	0.010	0.049	89,279	4,365	435,480	0.938	2,088,117	23.4
65	5	0.016	0.076	84,913	6,471	408,390	0.904	1,652,637	19.5
70	5	0.025	0.118	78,443	9,233	369,131	0.853	1,244,247	15.9
75	5	0.039	0.179	69,209	12,404	315,037	0.781	875,116	12.6
80	5	0.061	0.267	56,805	15,160	246,126	0.683	560,079	9.9
85	5	0.095	0.384	41,645	16,011	168,197	0.561	313,954	7.5
90	5	0.146	0.528	25,634	13,547	94,303	0.421	145,757	5.7
95	5	0.223	0.687	12,087	8,306	39,672	0.229 ^d	51,453	4.3
100	ω	0.321	1.000	3,781	3,781	11,782		11,782	3.1

Fuente: Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE)-División de Población de la CEPAL, revisión de 2017.

^a Elaboración mediante la interpolación de tablas de mortalidad implícitas en las estimaciones y proyecciones de la población.

^b $P(b, 5) = [L(0,1) + L(1,4)]/[5 * l(0)]$.

^c $P(0 - 4) = L(5,5)/[L(0,1) + L(1,4)]$.

^d $P(95, \omega) = T(100)/T(95)$.

Anexo B. Polinomio de William Brass.

$$D = \int_S^b c(x-S)(b-x)^2 dx = \frac{c}{12}(b-S)^4$$

Demostración:

$$\begin{aligned} \int_S^b c(x-S)(b-x)^2 dx &= c \int_S^b (x-S)(b^2 - 2xb + x^2) dx \\ &= c \int_S^b (xb^2 - 2x^2b + x^3 - b^2S + 2xbS - x^2S) dx \\ &= c \left[\frac{b^2x^2}{2} - \frac{2bx^3}{3} + \frac{x^4}{4} - b^2Sx + \frac{2bSx^2}{2} - \frac{Sx^3}{3} \right] \Big|_S^b \\ &= c \left[\frac{b^4}{2} - \frac{2b^4}{3} + \frac{b^4}{4} - b^3S + \frac{2b^3S}{2} - \frac{Sb^3}{3} - \frac{b^2S^2}{2} + \frac{2bS^3}{3} - \frac{S^4}{4} + b^2S^2 - \frac{2bS^3}{2} + \frac{S^4}{3} \right] \\ &= c \left[b^4 \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3} + \frac{1}{4} \right) + b^3S \left(-1 + 1 - \frac{1}{3} \right) + b^2S^2 \left(-\frac{1}{2} + 1 \right) + bS^3 \left(\frac{2}{3} - 1 \right) + S^4 \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{4} \right) \right] \\ &= c \left[b^4 \left(\frac{6-8+3}{12} \right) + b^3S \left(-\frac{4}{12} \right) + b^2S^2 \left(\frac{6}{12} \right) + bS^3 \left(-\frac{4}{12} \right) + S^4 \left(\frac{1}{12} \right) \right] \\ &= c \left[b^4 \left(\frac{1}{12} \right) + b^3S \left(-\frac{4}{12} \right) + b^2S^2 \left(\frac{6}{12} \right) + bS^3 \left(-\frac{4}{12} \right) + S^4 \left(\frac{1}{12} \right) \right] \\ &= \frac{c}{12} (b^4 - 4b^3S + 6b^2S^2 - 4bS^3 + S^4) = \frac{c}{12} (b-S)^4 \\ &\Rightarrow D = \frac{c}{12} (b-S)^4 \quad (b.1) \end{aligned}$$

$$\bar{X} = \frac{\int_S^b xc(x-S)(b-x)^2 dx}{\int_S^b c(x-S)(b-x)^2 dx} = \frac{3S+2b}{5}$$

Demostración:

$$\begin{aligned} \int_S^b xc(x-S)(b-x)^2 dx &= \int_S^b (x^2c - xcs)(b^2 - 2bx + x^2) dx \\ &= \int_S^b (b^2x^2c - 2bx^3c + x^4c - b^2xcS + 2bx^2cS - x^3cS) dx \\ &= c \left[\frac{b^2x^3}{3} - \frac{2bx^4}{4} + \frac{x^5}{5} - \frac{b^2x^2S}{2} + \frac{2bx^3S}{3} - \frac{x^4S}{4} \right] \Big|_S^b \\ &= c \left[\frac{b^5}{3} - \frac{2b^5}{4} + \frac{b^5}{5} - \frac{b^4S}{2} + \frac{2b^4S}{3} - \frac{b^4S}{4} - \frac{b^2S^3}{3} + \frac{2bS^4}{4} - \frac{S^5}{5} + \frac{b^2S^3}{2} - \frac{2bS^4}{3} + \frac{S^5}{4} \right] \\ &= c \left[b^5 \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2} + \frac{1}{5} \right) + b^4S \left(-\frac{1}{2} + \frac{2}{3} - \frac{1}{4} \right) + b^2S^3 \left(-\frac{1}{3} + \frac{1}{2} \right) + bS^4 \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3} \right) \right. \\ &\quad \left. + S^5 \left(-\frac{1}{5} + \frac{1}{4} \right) \right] \\ &= c \left[b^5 \left(\frac{10-15+6}{30} \right) + b^4S \left(\frac{-6+8-3}{12} \right) + b^2S^3 \left(\frac{-2+3}{6} \right) + bS^4 \left(\frac{3-4}{6} \right) \right. \\ &\quad \left. + S^5 \left(\frac{-4+5}{20} \right) \right] \\ &= c \left[b^5 \left(\frac{1}{30} \right) + b^4S \left(\frac{-1}{12} \right) + b^2S^3 \left(\frac{1}{6} \right) + bS^4 \left(-\frac{1}{6} \right) + S^5 \left(\frac{1}{20} \right) \right] \\ &= \frac{c}{(12)(5)} (2b^5 - 5b^4S + 10b^2S^3 - 10bS^4 + 3S^5) \quad (b.2) \end{aligned}$$

Pero se tiene que:

$$\begin{aligned} (3S+2b)(b-S)^4 &= (3S+2b)(b^4 - 4b^3S + 6b^2S^2 - 4bS^3 + S^4) \\ &= 3Sb^4 - 12b^3S^2 + 18b^2S^3 - 12bS^4 + 3S^5 + 2b^5 - 8b^4S + 12b^3S^2 - 8b^2S^3 + 2bS^4 \\ &= 2b^5 + b^4S(3-8) + b^3S^2(-12+12) + b^2S^3(18-8) + bS^4(2-12) + 3S^5 \\ &= 2b^5 - 5b^4S + 10b^2S^3 - 10bS^4 + 3S^5 \quad \text{que es igual a (b.2)} \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$\int_S^b xc(x-S)(b-x)^2 dx = \frac{c(3S+2b)(b-S)^4}{(12)(5)} \quad (b.3)$$

De esta manera se tiene que:

$$\bar{X} = \frac{\int_S^b xc(x-S)(b-x)^2 dx}{\int_S^b c(x-S)(b-x)^2 dx} = \frac{\frac{c(3S+2b)(b-S)^4}{(12)(5)}}{\frac{c(b-S)^4}{12}}$$

$$\Rightarrow \bar{X} = \frac{3S+2b}{5}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\int_S^b (x - \bar{X})^2 c(x - S)(b - x)^2 dx}{\int_S^b c(x - S)(b - x)^2 dx}} = \frac{b - S}{5}$$

Demostración:

$$\begin{aligned} \int_S^b (x - \bar{X})^2 c(x - S)(b - x)^2 dx &= \int_S^b c(x^2 - 2x\bar{X} + \bar{X}^2)(x - S)(b^2 - 2bx + x^2) dx \\ &= \int_S^b x^2 c(x - S)(b^2 - 2bx + x^2) dx - 2\bar{X} \int_S^b xc(x - S)(b^2 - 2bx + x^2) dx \\ &\quad + \bar{X}^2 \int_S^b c(x - S)(b^2 - 2bx + x^2) dx \end{aligned} \quad (b.4)$$

Resolviendo la primera integral, tenemos que:

$$\begin{aligned} \int_S^b x^2 c(x - S)(b^2 - 2bx + x^2) dx &= c \int_S^b (x^3 - x^2 S)(b^2 - 2bx + x^2) dx \\ &= c \int_S^b (x^3 b^2 - 2bx^4 + x^5 - x^2 S b^2 + 2bx^3 S - x^4 S) dx \\ &= c \left[\frac{b^2 x^4}{4} - \frac{2bx^5}{5} + \frac{x^6}{6} - \frac{Sb^2 x^3}{3} + \frac{2bSx^4}{4} - \frac{Sx^5}{5} \right] \Big|_S^b \\ &= c \left(\frac{b^6}{4} - \frac{2b^6}{5} + \frac{b^6}{6} - \frac{Sb^5}{3} + \frac{2Sb^5}{4} - \frac{Sb^5}{5} - \frac{b^2 S^4}{4} + \frac{2bS^5}{5} - \frac{S^6}{6} + \frac{S^4 b^2}{3} - \frac{2bS^5}{4} + \frac{S^6}{5} \right) \\ &= c \left(b^6 \left(\frac{1}{4} - \frac{2}{5} + \frac{1}{6} \right) + Sb^5 \left(-\frac{1}{3} + \frac{1}{2} - \frac{1}{5} \right) + b^2 S^4 \left(-\frac{1}{4} + \frac{1}{3} \right) + bS^5 \left(\frac{2}{5} - \frac{1}{2} \right) + S^6 \left(-\frac{1}{6} + \frac{1}{5} \right) \right) \\ &= c \left(b^6 \left(\frac{15 - 24 + 10}{60} \right) + Sb^5 \left(\frac{-10 + 15 - 6}{30} \right) + b^2 S^4 \left(\frac{-3 + 4}{12} \right) + bS^5 \left(\frac{4 - 5}{10} \right) \right. \\ &\quad \left. + S^6 \left(\frac{-5 + 6}{30} \right) \right) \\ &= c \left(b^6 \left(\frac{1}{60} \right) + Sb^5 \left(\frac{-1}{30} \right) + b^2 S^4 \left(\frac{1}{12} \right) + bS^5 \left(\frac{-1}{10} \right) + S^6 \left(\frac{1}{30} \right) \right) \\ &= \frac{c}{(12)(5)} (b^6 - 2b^5 S + 5b^2 S^4 - 6bS^5 + 2S^6) \quad (b.5) \end{aligned}$$

Pero sabemos que:

$$\begin{aligned}
 (b^2 + 2bS + 2S^2)(b - S)^4 &= (b^2 + 2bS + 2S^2)(b^4 - 4b^3S + 6b^2S^2 - 4bS^3 + S^4) \\
 &= b^6 - 4b^5S + 6b^4S^2 - 4b^3S^3 + b^2S^4 + 2b^5S - 8b^4S^2 + 12b^3S^3 - 8b^2S^4 + 2bS^5 + 2S^2b^4 \\
 &\quad - 8b^3S^3 + 12b^2S^4 - 8bS^5 + 2S^6) \\
 &= b^6 + b^5S(-4 + 2) + b^4S^2(6 - 8 + 2) + b^3S^3(-4 - 8 + 12) + b^2S^4(1 - 8 + 12) + bS^5(2 - 8) + 2S^6) \\
 &= b^6 - 2b^5S + 5b^2S^4 - 6bS^5 + 2S^6 \quad \text{que es igual a (b.5)}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$\int_S^b x^2 c(x - S)(b^2 - 2bx + x^2) dx = \frac{c(b^2 + 2bS + 2S^2)(b - S)^4}{(12)(5)} \quad (b.6)$$

De esta forma, usando las expresiones b. 1, b. 3 y b. 6 se obtiene que:

$$\begin{aligned}
 \int_S^b (x - \bar{X})^2 c(x - S)(b - x)^2 dx &= \int_S^b c(x^2 - 2x\bar{X} + \bar{X}^2)(x - S)(b^2 - 2bx + x^2) dx \\
 &= \int_S^b x^2 c(x - S)(b^2 - 2bx + x^2) dx - 2\bar{X} \int_S^b xc(x - S)(b^2 - 2bx + x^2) dx \\
 &\quad + \bar{X}^2 \int_S^b c(x - S)(b^2 - 2bx + x^2) dx \\
 &= \frac{c(b^2 + 2bs + 2S^2)(b - S)^4}{(12)(5)} - 2\bar{X} \left(\frac{c(3S + 2b)(b - S)^4}{(12)(5)} \right) + \bar{X}^2 \left(\frac{c(b - S)^4}{12} \right) \\
 &= \frac{c(b^2 + 2bs + 2S^2)(b - S)^4 - 2\bar{X}c(3S + 2b)(b - S)^4 + 5\bar{X}^2(b - S)^4}{(12)(5)} \\
 &= \frac{c(b - S)^4}{(12)(5)} [b^2 + 2bs + 2S^2 - 2\bar{x}(3S + 2b) + 5\bar{X}^2]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{c(b-S)^4}{(12)(5)} \left[b^2 + 2bs + 2S^2 - 2 \left(\frac{3S+2b}{5} \right) (3S+2b) + 5 \left(\frac{3S+2b}{5} \right)^2 \right] \\
&= \frac{c(b-S)^4}{(12)(5)} \left[b^2 + 2bs + 2S^2 - \frac{2}{5} (3S+2b)^2 + \frac{1}{5} (3S+2b)^2 \right] \\
&= \frac{c(b-S)^4}{(12)(5)} \left[b^2 + 2bs + 2S^2 - \frac{1}{5} (3S+2b)^2 \right] \\
&= \frac{c(b-S)^4}{(12)(5)} \left[b^2 + 2bs + 2S^2 - \frac{1}{5} (9S^2 + 12Sb + 4b^2) \right] \\
&= \frac{c(b-S)^4}{(12)(5)} \left[b^2 + 2bs + 2S^2 - \frac{9}{5} S^2 - \frac{12}{5} Sb - \frac{4}{5} b^2 \right] \\
&= \frac{c(b-S)^4}{(12)(5)} \left[\frac{1}{5} b^2 - \frac{2}{5} Sb + \frac{1}{5} S^2 \right] = \frac{c(b-S)^4}{(12)(5)} \left[\frac{1}{5} (b^2 - 2Sb + S^2) \right] \\
&= \frac{c(b-S)^4}{(12)(5)} \left[\frac{1}{5} (b-S)^2 \right] = \frac{c(b-S)^4 (b-S)^2}{(12)(5)(5)}
\end{aligned}$$

Entonces, se tiene que:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\int_S^b (x-\bar{X})^2 c(x-S)(b-x)^2 dx}{\int_S^b c(x-S)(b-x)^2 dx}} = \sqrt{\frac{\frac{c(b-S)^4 (b-S)^2}{(12)(5)(5)}}{\frac{c(b-S)^4}{12}}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(b-S)^2}{(5)^2}} = \frac{b-S}{5}$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{b-S}{5}$$

Anexo C. Obtención de las tasas de fecundidad por edad mediante el uso del polinomio de Brass para el Estado de México.

Tabla C.1. Tasas de fecundidad por grupo de edad. Estado de México 2000.

Grupo de edad	Población femenina	Número total de nacimientos	${}_5X_x^{2010}$	${}_5f_x^{2010}$	${}_5X_x^{2010} * {}_5f_x^{2010}$	$({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$	${}_5f_x^{2010} * ({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$
15-19	662,931	55,647	17.5	0.083940863	1.468965096	87.54729092	7.34879512
20-24	650,518	105,050	22.5	0.161486692	3.633450573	18.9805816	3.065111338
25-29	605,169	90,530	27.5	0.149594576	4.113850842	0.413872291	0.06191305
30-34	528,087	52,036	32.5	0.098536794	3.202445809	31.84716298	3.138117342
35-39	462,183	23,117	37.5	0.050016985	1.875636923	113.2804537	5.665946708
40-44	365,177	5,921	42.5	0.016214055	0.689097342	244.7137444	3.967802135
45-49	275,933	677	47.5	0.002453494	0.116540972	426.147035	1.045549256
Total	3,549,998	332,978		0.562243459	15.09998756		24.29323495

Nota: En los grupos de 15-19 y 45-49 años, para este ejercicio, no se tomaron en cuenta los registros de mujeres menores de 15 años y mayores de 50 respectivamente. Fuente: Elaboración propia con base a datos de nacimientos provenientes de los registros administrativos de natalidad y población del INEGI para el año 2000.

\bar{X}	26.8566
D	2.81121
σ	6.57325
S	13.7101
b	46.5764
c	.000028911

Tabla C.2. Tasas de fecundidad desagregadas a partir del polinomio de Brass. Estado de México 2000.

x	$f(x)$
15	0.037182226
16	0.061894545
17	0.083203202
18	0.101281667
19	0.116303412
20	0.128441905
21	0.137870618
22	0.14476302
23	0.149292582
24	0.151632774
25	0.151957067
26	0.15043893
27	0.147251833
28	0.142569248
29	0.136564644
30	0.129411492
31	0.121283262
32	0.112353423
33	0.102795447
34	0.092782804
35	0.082488963
36	0.072087396
37	0.061751572
38	0.051654962
39	0.041971035
40	0.032873263
41	0.024535115
42	0.017130061
43	0.010831573
44	0.00581312
45	0.002248172
46	0.000310199

Fuente: Elaboración propia con base a los resultados obtenidos mediante la implementación del polinomio de Brass.

Tabla C.3. Tasas de fecundidad por grupo de edad. Estado de México 2005.

Grupo de edad	Población femenina	Número total de nacimientos	${}_5X_x^{2010}$	${}_5f_x^{2010}$	${}_5X_x^{2010} * {}_5f_x^{2010}$	$({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$	${}_5f_x^{2010} * ({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$
15-19	671,048	54,434	17.5	0.081117893	1.419563131	83.60812385	6.782114862
20-24	649,114	101,726	22.5	0.156715153	3.526090949	17.17064584	2.690900395
25-29	606,393	84,375	27.5	0.139142437	3.826417027	0.733167828	0.102014759
30-34	605,448	56,519	32.5	0.093350709	3.033898039	34.29568982	3.201526956
35-39	532,611	23,929	37.5	0.044927724	1.684789649	117.8582118	5.295101209
40-44	436,910	5,702	42.5	0.013050743	0.554656565	251.4207338	3.28122731
45-49	356,456	523	47.5	0.001467222	0.069693034	434.9832558	0.638216899
Total	3,857,980	327,208		0.529771881	14.11510839		21.99110239

Nota: En los grupos de 15-19 y 45-49 años, para este ejercicio, no se tomaron en cuenta los registros de mujeres menores de 15 años y mayores de 50 respectivamente. Fuente: Elaboración propia con base a datos de nacimientos provenientes de los registros administrativos de natalidad y población del INEGI para el año 2005.

\bar{X}	26.6437
D	2.6488
σ	6.4428
S	13.7580
b	45.9723
c	.00002951

Tabla C.4. Tasas de fecundidad desagregadas a partir del polinomio de Brass. Estado de México 2005.

x	$f(x)$
15	0.035164758
16	0.059445311
17	0.080319665
18	0.09796491
19	0.112558136
20	0.124276434
21	0.133296893
22	0.139796606
23	0.143952662
24	0.145942151
25	0.145942164
26	0.144129792
27	0.140682125
28	0.135776253
29	0.129589268
30	0.122298258
31	0.114080316
32	0.105112531
33	0.095571994
34	0.085635795
35	0.075481025
36	0.065284774
37	0.055224133
38	0.045476192
39	0.036218042
40	0.027626773
41	0.019879475
42	0.01315324
43	0.007625157
44	0.003472317
45	0.00087181
46	7.27877E-07

Fuente: Elaboración propia con base a los resultados obtenidos mediante la implementación del polinomio de Brass.

Tabla C.5. Tasas de fecundidad por grupo de edad. Estado de México 2010.

Grupo de edad	Población femenina	Número total de nacimientos	${}_5X_x^{2010}$	${}_5f_x^{2010}$	${}_5X_x^{2010} * {}_5f_x^{2010}$	$({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$	${}_5f_x^{2010} * ({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$
15-19	732,828	59,628	17.5	0.081366978	1.423922121	79.00911947	6.428733312
20-24	695,553	99,451	22.5	0.142981196	3.217076916	15.12204534	2.162168133
25-29	642,023	79,357	27.5	0.123604606	3.399126667	1.234971214	0.15264813
30-34	632,587	51,729	32.5	0.081773732	2.6576463	37.34789709	3.054076939
35-39	627,462	25,094	37.5	0.03999286	1.499732255	123.460823	4.937551424
40-44	525,122	5,711	42.5	0.010875568	0.462211638	259.5737488	2.823011947
45-49	436,010	466	47.5	0.001068783	0.050767184	445.6866747	0.476342264
Total	4,291,585	321,436		0.481663724	12.71048308		20.03453215

Nota: En los grupos de 15-19 y 45-49 años, para este ejercicio, no se tomaron en cuenta los registros de mujeres menores de 15 años y mayores de 50 respectivamente. Fuente: Elaboración propia con base a datos de nacimientos provenientes de los registros administrativos de natalidad y población del INEGI para el año 2010.

\bar{X}	26.3887
D	2.4083
σ	6.4493
S	13.4899
b	45.7368
c	.00002672

Tabla C.6. Tasas de fecundidad desagregadas a partir del polinomio de Brass. Estado de México 2010.

x	$f(x)$
15	0.038128708
16	0.059321915
17	0.077470228
18	0.092734006
19	0.10527361
20	0.115249399
21	0.122821734
22	0.128150974
23	0.131397479
24	0.132721609
25	0.132283725
26	0.130244186
27	0.126763351
28	0.122001582
29	0.116119238
30	0.109276678
31	0.101634263
32	0.093352353
33	0.084591308
34	0.075511487
35	0.066273251
36	0.057036959
37	0.047962972
38	0.039211649
39	0.03094335
40	0.023318436
41	0.016497266
42	0.0106402
43	0.005907598
44	0.00245982
45	0.000457226
46	6.01764E-05

Fuente: Elaboración propia con base a los resultados obtenidos mediante la implementación del polinomio de Brass.

Tabla C.7. Tasas de fecundidad por grupo de edad. Estado de México 2015.

Grupo de edad	Población femenina	Número total de nacimientos	${}_5X_x^{2010}$	${}_5f_x^{2010}$	${}_5X_x^{2010} * {}_5f_x^{2010}$	$({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$	${}_5f_x^{2010} * ({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$
15-19	706,094	52,358	17.5	0.0741516	1.297653004	76.53166284	5.674945267
20-24	741,132	93,413	22.5	0.126040975	2.835921941	14.04928585	1.770785689
25-29	675,025	71,390	27.5	0.105759046	2.908373764	1.566908858	0.165714786
30-34	661,367	46,339	32.5	0.070065486	2.277128281	39.08453187	2.738476704
35-39	655,199	22,438	37.5	0.034246084	1.284228151	126.6021549	4.335628032
40-44	631,241	5,815	42.5	0.009212013	0.391510532	264.1197779	2.433074703
45-49	516,742	381	47.5	0.000737312	0.035022313	451.6374009	0.332997608
Total	4,586,800	292,134		0.420212515	11.02983799		17.45162279

Nota: En los grupos de 15-19 y 45-49 años, para este ejercicio, no se tomaron en cuenta los registros de mujeres menores de 15 años y mayores de 50 respectivamente. Fuente: Elaboración propia con base a datos de nacimientos provenientes de los registros administrativos de natalidad y población del INEGI para el año 2015.

\bar{X}	26.2482
D	2.1010
σ	6.4444
S	13.3594
b	45.5814
c	.00002338

Tabla C.8. Tasas de fecundidad desagregadas a partir del polinomio de Brass. Estado de México 2015.

x	$f(x)$
15	0.035885875
16	0.054043973
17	0.069558098
18	0.082568584
19	0.093215762
20	0.101639964
21	0.107981524
22	0.112380774
23	0.114978045
24	0.115913671
25	0.115327983
26	0.113361314
27	0.110153996
28	0.105846362
29	0.100578744
30	0.094491474
31	0.087724884
32	0.080419308
33	0.072715077
34	0.064752524
35	0.056671981
36	0.04861378
37	0.040718254
38	0.033125735
39	0.025976555
40	0.019411048
41	0.013569544
42	0.008592377
43	0.004619879
44	0.001792382
45	0.000250218
46	0.000133721

Fuente: Elaboración propia con base a los resultados obtenidos mediante la implementación del polinomio de Brass.

Anexo D. Obtención de las tasas de fecundidad por edad mediante el uso del polinomio de Brass para el estado de Puebla.

Tabla D.1. Tasas de fecundidad por grupo de edad. Puebla 2000.

Grupo de edad	Población femenina	Número total de nacimientos	${}_5X_x^{2010}$	${}_5f_x^{2010}$	${}_5X_x^{2010} * {}_5f_x^{2010}$	$({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$	${}_5f_x^{2010} * ({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$
15-19	273,472	26,559	17.5	0.097117804	1.699561564	102.7072955	9.974706953
20-24	246,715	49,722	22.5	0.201536185	4.534564173	26.36268758	5.313035493
25-29	206,089	39,541	27.5	0.191863709	5.276252008	0.018079703	0.003468839
30-34	179,212	24,398	32.5	0.136140437	4.424564203	23.67347183	3.222916801
35-39	159,226	12,476	37.5	0.078354038	2.938276412	97.32886395	7.626109471
40-44	129,158	4,174	42.5	0.032317007	1.373472801	220.9842561	7.141549768
45-49	104,869	681	47.5	0.006493816	0.308456264	394.6396482	2.562717299
Total	1,298,741	157,551		0.743822996	20.55514743		35.84450462

Nota: En los grupos de 15-19 y 45-49 años, para este ejercicio, no se tomaron en cuenta los registros de mujeres menores de 15 años y mayores de 50 respectivamente. Fuente: Elaboración propia con base a datos de nacimientos provenientes de los registros administrativos de natalidad y población del INEGI para el año 2000.

\bar{X}	27.6344
D	3.71911
σ	6.94187
S	13.7507
b	46.4600
c	.00003074

Tabla D.2. Tasas de fecundidad desagregadas a partir del polinomio de Brass. Puebla 2000.

x	$f(x)$
15	0.0430079
16	0.07287478
17	0.09888749
18	0.12123054
19	0.1400884
20	0.15564558
21	0.16808658
22	0.1775959
23	0.18435801
24	0.18855743
25	0.19037865
26	0.19000616
27	0.18762446
28	0.18341805
29	0.17757142
30	0.17026906
31	0.16169548
32	0.15203516
33	0.1414726
34	0.13019231
35	0.11837877
36	0.10621648
37	0.09388993
38	0.08158363
39	0.06948206
40	0.05776973
41	0.04663112
42	0.03625074
43	0.02681308
44	0.01850263
45	0.0115039
46	0.00600137

Fuente: Elaboración propia con base a los resultados obtenidos mediante la implementación del polinomio de Brass.

Tabla D.3. Tasas de fecundidad por grupo de edad. Puebla 2005.

Grupo de edad	Población femenina	Número total de nacimientos	${}_5X_x^{2010}$	${}_5f_x^{2010}$	${}_5X_x^{2010} * {}_5f_x^{2010}$	$({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$	${}_5f_x^{2010} * ({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$
15-19	280,957	25,603	17.5	0.091127824	1.594736917	94.1864793	8.583008893
20-24	256,889	48,375	22.5	0.188310905	4.236995356	22.13676044	4.168593387
25-29	223,949	39,274	27.5	0.175370285	4.822682843	0.087041588	0.015264508
30-34	207,815	24,984	32.5	0.120222313	3.907225176	28.03732273	3.370711792
35-39	184,125	11,779	37.5	0.063972845	2.39898167	105.9876039	6.780328505
40-44	151,362	3,379	42.5	0.022323965	0.948768515	233.937885	5.222421172
45-49	129,654	524	47.5	0.004041526	0.191972481	411.8881662	1.664656695
Total	1,434,751	153,918		0.665369662	18.10136296		29.80498495

Nota: En los grupos de 15-19 y 45-49 años, para este ejercicio, no se tomaron en cuenta los registros de mujeres menores de 15 años y mayores de 50 respectivamente. Fuente: Elaboración propia con base a datos de nacimientos provenientes de los registros administrativos de natalidad y población del INEGI para el año 2005.

\bar{X}	27.2049
D	3.3268
σ	6.6928
S	13.8192
b	47.2836
c	.00003183

Tabla D.4. Tasas de fecundidad desagregadas a partir del polinomio de Brass. Puebla 2005.

x	$f(x)$
15	0.039175773
16	0.067940547
17	0.092860717
18	0.114127281
19	0.13193124
20	0.146463594
21	0.157915343
22	0.166477488
23	0.172341028
24	0.175696963
25	0.176736295
26	0.175650022
27	0.172629145
28	0.167864665
29	0.16154758
30	0.153868892
31	0.1450196
32	0.135190705
33	0.124573207
34	0.113358106
35	0.101736401
36	0.089899094
37	0.078037184
38	0.066341671
39	0.055003556
40	0.044213838
41	0.034163518
42	0.025043596
43	0.017045072
44	0.010358946
45	0.005176218
46	0.001687889

Fuente: Elaboración propia con base a los resultados obtenidos mediante la implementación del polinomio de Brass.

Tabla D.5. Tasas de fecundidad por grupo de edad. Puebla 2010.

Grupo de edad	Población femenina	Número total de nacimientos	${}_5X_x^{2010}$	${}_5f_x^{2010}$	${}_5X_x^{2010} * {}_5f_x^{2010}$	$({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$	${}_5f_x^{2010} * ({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$
15-19	304,996	27,090	17.5	0.088820837	1.554364647	88.57832591	7.867601047
20-24	270,498	46,716	22.5	0.17270368	3.885832797	19.46226675	3.361205087
25-29	237,932	38,261	27.5	0.160806449	4.422177345	0.346207599	0.055672415
30-34	227,543	24,640	32.5	0.108287225	3.519334807	31.23014844	3.381826106
35-39	212,271	11,568	37.5	0.054496375	2.043614059	112.1140893	6.109811443
40-44	177,328	3,078	42.5	0.017357665	0.737700758	242.9980301	4.217878376
45-49	150,117	368	47.5	0.002451421	0.116442508	423.881971	1.03911326
Total	1,580,685	151,721		0.604923652	16.27946692		26.03310773

Nota: En los grupos de 15-19 y 45-49 años, para este ejercicio, no se tomaron en cuenta los registros de mujeres menores de 15 años y mayores de 50 respectivamente. Fuente: Elaboración propia con base a datos de nacimientos provenientes de los registros administrativos de natalidad y población del INEGI para el año 2010.

\bar{X}	26.9116
D	3.0246
σ	6.5601
S	13.7913
b	46.5920
c	.00003135

Tabla D.6. Tasas de fecundidad desagregadas a partir del polinomio de Brass. Puebla 2010.

x	$f(x)$
15	0.03782513
16	0.064813615
17	0.088103635
18	0.107883327
19	0.124340827
20	0.13766427
21	0.148041793
22	0.155661533
23	0.160711624
24	0.163380204
25	0.163855408
26	0.162325372
27	0.158978233
28	0.154002127
29	0.147585189
30	0.139915557
31	0.131181365
32	0.12157075
33	0.111271849
34	0.100472797
35	0.08936173
36	0.078126784
37	0.066956097
38	0.056037803
39	0.045560038
40	0.03571094
41	0.026678644
42	0.018651286
43	0.011817002
44	0.006363928
45	0.002480201
46	0.000353956

Fuente: Elaboración propia con base a los resultados obtenidos mediante la implementación del polinomio de Brass.

Tabla D.7. Tasas de fecundidad por grupo de edad. Puebla 2015.

Grupo de edad	Población femenina	Número total de nacimientos	${}_5X_x^{2010}$	${}_5f_x^{2010}$	${}_5X_x^{2010} * {}_5f_x^{2010}$	$({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$	${}_5f_x^{2010} * ({}_5X_x^{2010} - EMF^{2010})^2$
15-19	293,290	25,475	17.5	0.086859422	1.520039892	79.72371372	6.924755727
20-24	295,362	43,793	22.5	0.148268904	3.336050338	15.43557693	2.288616073
25-29	246,529	32,955	27.5	0.133675957	3.676088817	1.147440133	0.153385158
30-34	244,636	21,124	32.5	0.086348698	2.806332674	36.85930334	3.18275284
35-39	232,483	9,958	37.5	0.042833239	1.606246478	122.5711665	5.250120122
40-44	209,115	2,556	42.5	0.01222294	0.51947493	258.2830297	3.156977854
45-49	174,981	166	47.5	0.000948674	0.045062035	443.994893	0.421206601
Total	1,696,396	136,027		0.511157834	13.50929517		21.37781437

Nota: En los grupos de 15-19 y 45-49 años, para este ejercicio, no se tomaron en cuenta los registros de mujeres menores de 15 años y mayores de 50 respectivamente. Fuente: Elaboración propia con base a datos de nacimientos provenientes de los registros administrativos de natalidad y población del INEGI para el año 2015.

\bar{X}	26.4288
D	2.5557
σ	6.4670
S	13.4947
b	45.8298
c	.00002555

Tabla D.8. Tasas de fecundidad desagregadas a partir del polinomio de Brass. Puebla 2015.

x	$f(x)$
15	0.040137873
16	0.062540173
17	0.081735536
18	0.097892294
19	0.111178775
20	0.12176331
21	0.129814229
22	0.13549986
23	0.138988535
24	0.140448582
25	0.140048332
26	0.137956115
27	0.134340259
28	0.129369095
29	0.123210953
30	0.116034162
31	0.108007052
32	0.099297953
33	0.090075195
34	0.080507108
35	0.070762021
36	0.061008263
37	0.051414166
38	0.042148058
39	0.03337827
40	0.025273131
41	0.01800097
42	0.011730119
43	0.006628906
44	0.002865661
45	0.000608714
46	2.63949E-05

Fuente: Elaboración propia con base a los resultados obtenidos mediante la implementación del polinomio de Brass.