

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Taller de Modelación II

Proyecto Final

Equipo:

Alonso Peña Neftali Fabiola  
Cabello Fragoso Stephanie Nicole  
Martínez Aragón Hiram  
Martínez Villafan Jorge Salvador  
Reyes Torres Andrea Michel

# Diab tes en México y la influencia del nuevo etiquetado

Junio 2022

## 1. Introducción

Este es un modelo para la predicción de los posibles casos de diabetes en México, y como el nuevo etiquetado de advertencia en los alimentos y bebidas interviene. El proyecto está basado poder predecir el cambio pronosticado sobre el nuevo etiquetado de advertencia implementado y que consta de tres fases, las cuales se planea que finalicen en octubre de 2025, en las cuales se planea replantear tanto el empaquetado como los lineamientos aceptados para la distribución de los productos y en como las enfermedades crónico-degenerativas podrían desarrollarse en un mayor porcentaje de la población si no se hace nada para frenar su avance. El etiquetado con el fin de contrarrestar los problemas de salud de gran parte de los mexicanos, sin embargo, si no se entiende lo que significan, de poca ayuda va a ser el contar con los etiquetados. Según la BBC, México está en el segundo lugar en el ranking de obesidad mundial.

Así que el comunicar de las posibles consecuencias, con bases estadísticas y de probabilidad, como la alimentación y el ejercicio influyen en como los parámetros se toman y que beneficios brindan a la calidad de vida, es algo que puede brindar apoyo a muchas personas, esto ayuda a tener una mayor visualización sobre lo que tenemos que hacer.

Dando una breve definición de lo que es la diabetes; esta es una enfermedad crónica degenerativa causada por la presencia de altos niveles de glucosa en sangre, la que va ocasionando daños al cuerpo progresivamente. Sus causas son variadas, pero se destacan: factores genéticos, mala alimentación, resistencia a la hormona insulina, sobrepeso u obesidad y sedentarismo como las más representativas.

Como tal no existe una cura, más sí un tratamiento. El cual se basa principalmente de administración farmacológica (Metformina) y cambios en la dieta y en la actividad física. Esto en constante regulación; un mal seguimiento del tratamiento puede conllevar a alteraciones; renales (fallas renales), gastrointestinales y cardiovasculares en mayor proporción.

En 2014, aproximadamente 422 millones de adultos mundialmente padecían de esta enfermedad. Posicionándose como una de las 10 primeras causas de muerte a nivel global. Para la realización del modelo, utilicé el modelo SDC, (Susceptible Diabetes Complication) o modelo de susceptibilidad de complicaciones diabéticas, con el cual estimaron la población diabética en el ensayo <sup>.A</sup> "Mathematical Model for The Epidemiology of Diabetes Mellitus with Lifestyle and Genetic Factors"[1] de Purnami en Estados Unidos en el año 2011, este estimado hace aproximaciones de la cantidad de gente que desarrolla complicaciones diabéticas además de cuantos de los susceptibles desarrollan la enfermedad.  Qui nes son los susceptibles? Todas aquellas personas que cumplen con alguno de los factores de riesgo, como llevar una vida sedentaria, tener herencia genética o tener sobrepeso u obesidad, estos mismos factores utilizaremos para nuestro modelo, cambiándolos a nuestra región y época, para después alterarlos con nuestras predicciones de como bajar  el consumo de productos con el nuevo etiquetado.

### 1.1. Supuesto

Como es posible observar, las nuevas medidas del etiquetado afectarán principalmente a la población con sobrepeso u obesidad del país, esperando que baje éste  ndice. Desafortunadamente es un fenómeno multifactorial, por lo que es necesario atacar los otros frentes que propician esta condición. Estimamos que gracias a estas medidas se reduzca un 10 % la población con obesidad o sobrepeso, esto porque en gran medida, la información sobre una buena alimentación y el ejercicio tienen gran peso para reducir este número, con la

implementación del nuevo etiquetado y sin publicidad atractiva para niños la sociedad mexicana conocerá con facilidad lo que contienen los productos que consumen, además se evitará que compren algunos otros por su atractivo visual.

## 2. Formulación y modelación

### 2.1. Fórmulas

Por el tópico que manejamos, este modelo es de gran ayuda para nuestro propósito, pues las nuevas normas de etiquetado están destinadas a disminuir el consumo de alimentos perjudiciales para la salud, de aquí que se espere que la población obesa disminuya en un futuro, y gracias a esto las personas susceptibles a la enfermedad no logren a desarrollarla, como veremos ese es solo una parte de toda la población diabética entonces veremos cómo afectan estas medidas a la evolución del modelo. Para esto, presentaremos a nuestro modelo, el cual se da en las siguientes tres ecuaciones diferenciales

$$(1) \quad dD/dt = \alpha\rho^*(D + C) - (\lambda + \mu)D + \gamma C + \beta SD/N$$

$$(2) \quad dC/dt = \lambda D - (\gamma + \delta + \mu)^*C$$

$$(3) \quad dS/dt = \alpha S + \alpha^*(1 - \rho)(D + C) - \beta SD/N - \mu S$$

Y la prevalencia de la enfermedad, que es la medida estándar de cuantos individuos tienen esta condición, dada por

$$(D(t) + C(t))/N(t)$$

Notemos que esta es la que ocupamos para saber nuestra población

Donde:

$S = S(t)$  son los susceptibles a la enfermedad.

$D = D(t)$  son los diabéticos sin complicaciones.

$C = C(t)$  son los diabéticos con complicaciones.

$N = N(t)$  es la población sobre la cual se hace la predicción.

$t$  es nuestra variable de tiempo.

### 2.2. Variables

En dichas ecuaciones podemos encontrar la siguiente información :

La ecuación diferencial (1), al ser la derivada, muestra el cambio a través del tiempo que tiene una función, en este caso tenemos el cambio de las personas con diabetes que no presentan complicaciones. Aquí encontramos las siguientes variables:

$\alpha$  : natalidad de la población.

$\beta$  : incidencia de los casos.

$\rho$  : probabilidad de tener herencia genética.

$\lambda$ : recurrencia a desarrollar complicaciones.

$\mu$  : mortalidad en la región.

$\gamma$ : Tasa de recuperación a las complicaciones.

Notemos que en la ecuación diferencial (1)

$$\alpha\rho^*(D + C)$$

muestra el número de infantes que desarrollan la enfermedad por causa de herencia genética,

$$(\lambda + \mu)D$$

son las personas que mueren de manera natural junto a los que desarrollan complicaciones debido a padecer diabetes,

$$\gamma C$$

son las personas que se recuperan de las complicaciones y

$$\beta SD/N$$

muestra la población susceptible que desarrolla diabetes debido a los hábitos relacionados con ella.

En la ecuación diferencial (2) encontramos la tasa de crecimiento de la población con diabetes que padecen complicaciones y encontramos

$\delta$ : mortalidad por complicaciones relacionadas a la diabetes.

Luego

$$\lambda D$$

son las personas diabéticas sin complicaciones que desarrollan alguna,

$$y(\gamma + \delta + \mu)^* C$$

es la población con diabetes que se recupera, mueren a causa de complicaciones o mueren de manera natural.

Finalizando, la ecuación diferencial (3) muestra la tasa de crecimiento de los susceptibles a la enfermedad, veamos que está dada por:

$$\alpha S$$

como los nacidos que son susceptibles,

$$\alpha^*(1 - \rho)(D + C)$$

las hijas o hijos de progenitores con diabetes que no tienen herencia genética,

$$\beta SD/N$$

población susceptible que desarrolla la enfermedad a causa de los hábitos relacionados a desarrollar la enfermedad

$$\mu S$$

población susceptible que muere por causas naturales.

Gracias a las investigaciones realizadas, podemos completar los parámetros de las funciones con los siguientes datos:

$$N(0) = 126 \text{ millones de personas [2]}$$

$$D(0) = 12,8 \text{ millones} - C(0)$$

$$C(0) = \lambda(D + C)(0)$$

$$S(0) = \beta(N(0) - (D(0) + C(0)))$$

$$(D(0) + C(0)) = 12,8 \text{ millones [3]}$$

Notemos que  $N(0)$  es la población al inicio del experimento, y en este caso es la población según el INEGI,  $D(0)$  es la población diabética sin complicaciones, notemos que  $D(0) + C(0)$  es la población diabética en México al inicio del experimento, que según FID (Federación Internacional de Diabetes) es de 12,8 millones de personas, así que si le quitamos a la población con complicaciones, nos queda la 'población sin complicaciones.  $C(0)$  al ser la población con complicaciones, si obtenemos  $\lambda$  que es la frecuencia con la que se dan las complicaciones y la multiplicamos por el número de diabéticos tenemos el total de personas diabéticas con complicaciones y  $S(0)$  es el número susceptible de personas a contraer diabetes, donde a la población que no tiene la enfermedad la multiplicamos por  $\beta$  que es la probabilidad de que un individuo cumpla los factores de riesgo para poder ver quiénes son susceptibles a la enfermedad.

Veamos que sucede con los demás parámetros;

$$\alpha = 2,092,214[4]/N(0)$$

$$\beta = 63 \% \text{ obesidad, } 27 \% \text{ sobrepeso, } 25 \% \text{ sin ejercitar [5]}$$

$$\delta = (747,784[11]/N(0))*14 \%[5]$$

$\rho = 40\%$  de posibilidad de desarrollar la enfermedad, mientras que el riesgo aumenta al  $70\%$  si ambos padres son diabéticos. [6]  
 $\lambda = (2,5) * (1/4)$  ECV,  $2/5$  EN.REN,  $1/5$  PIE D.,  $1/3$  OJOS [7, 8, 9, 10]  
 $\mu = (747,784[11]/N(0))^*,86$   
 $\gamma = 25\%$  ECV,  $52.1\%$  REN,  $41\%$ PIE D,  $95\%$  OJOS [ 10,12,13, 14, 15]

Para  $\alpha$ , la tasa de nacimiento está dada por la población que nació en el año en cuestión y la población que hay, gracias a INEGI [4] tenemos que en el 2019 hubo 2,092,214 nacimientos, luego  $\alpha = 0,0166$  aproximadamente, redondeando a 2,1 millones.

Para  $\beta$  podemos observar que gracias a [5] tenemos la prevalencia de diabetes en personas con obesidad, sobrepeso e inactividad física, notemos que, en promedio de las características vistas, una persona tiene  $28,75\%$  de probabilidad ya que para que una persona sea susceptible debe caer en malos hábitos o no tener ninguna actividad física, quitando la herencia genética estos son los principales factores de riesgo. Con esto, podemos afirmar que  $S(0) = 32,6$  millones

Para  $\delta$  tenemos que gracias a [5] tenemos que el  $14\%$  de las muertes en México son a causa de la diabetes que, al multiplicarlas por la mortalidad, obtenemos cuantos mueren por diabetes.

Para  $\rho$  notemos que, si un niño no tiene padres diabéticos, tiene  $0\%$  de heredar, si tiene un padre con diabetes hay un  $40\%$  de posibilidad de desarrollar la enfermedad, mientras que el riesgo aumenta al  $70\%$  si ambos padres son diabéticos. Luego, podemos hacer un promedio, siendo  $36,66\%$ .

Para  $\lambda$  en [7] podemos ver que las principales complicaciones en la diabetes son enfermedades cardiovasculares, enfermedades renales, pie y retinopatía diabética, estas son las complicaciones que tomaremos en cuenta. De igual forma, tomaremos en cuenta los factores de riesgo que un diabético presenta, ya que las personas con esta condición tienen de dos a tres veces más probabilidades de desarrollar alguna enfermedad cardiovascular (desafortunadamente en México el  $25\%$  de la población padece alguna de estas afecciones), por otro lado el  $40\%$  de los diabéticos podrá desarrollar alguna enfermedad renal grave, el  $20\%$  alguna úlcera en el pie debido al pie diabético, y 1 de cada 3 sufrirá tendrá problemas de visión. Para encontrar  $\lambda$ , que es el promedio de la recurrencia de que una persona con diabetes desarrolle alguna complicación, haremos el mismo procedimiento que hicimos para encontrar  $\beta$ , a lo que tenemos  $\lambda = 0,3895$

Para calcular  $\mu$  tengamos en cuenta que en 2019 hubo un total de 747,748 muertes en México relacionadas con la diabetes, realizando el proceso de la natalidad nuevamente, tenemos que  $\mu \approx 0,0059$ .

Ahora multiplicamos a  $\mu$  por  $0.86$  (el porcentaje de personas que mueren por causas no relacionadas con la diabetes) obtenemos que  $\mu \approx 0,0051$ .

Finalizamos obteniendo  $\gamma$  el parámetro que nos indica cuantas personas se recuperan de las complicaciones Por lo que para los de ECV tenemos

$$\frac{5}{8} * \left(\frac{1}{4}\right)$$

donde  $\frac{5}{8}$  representa la cantidad de personas que presentan una enfermedad cardiovascular,  $\frac{1}{4}$  la cantidad de personas que se curan de una enfermedad cardiovascular, dándonos así el porcentaje de la población general que se recupera.

$$\frac{5}{8}\left(\frac{1}{4}\right) + \frac{2}{5}(0,521) + \frac{1}{5}(0,41) + \frac{1}{3}(0,95) = 0,7633$$

Entonces

$$\gamma = \frac{0,7633}{4} = 0,1908$$

De modo que el promedio para  $\gamma$  es  $0,1908$

De aquí extrapolamos nuestra hipótesis creamos  $\beta_2$  que es nuestra predicción de comportamiento, entonces a los parámetros de  $\beta$  que tenemos le restamos un  $10\%$  que es el porcentaje en nuestra hipótesis que de la población con obesidad y sobrepeso disminuirá, quedando  $\beta_2$  como  $35\%$

Ahora que ya conocemos  $\lambda$  podemos concluir que  $C(0)$  queda como  $4,9856$  millones y  $D(0)$  termina siendo  $7,8144$ .

Cabe señalar que debido a la falta de información de los parámetros deseados se tuvieron que rellenar algunos agujeros con información global y parámetros calculados por organizaciones mundiales.

Por lo que nos queda la siguiente Tabla con los valores finales

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
N(0)	126 millones	$\beta$	0,2875
D(0)	7,8144 millones	$\rho$	0,3666
C(0)	4,9856 millones	$\lambda$	0,3895
S(0)	32,6 millones	$\mu$	0,0051
(D(0) + C(0))	12,8 millones	$\gamma$	0,1908
$\alpha$	0,0166	$\delta$	0,0008
$\beta_2$	0,2625		

### 2.3. Ejecución

Quedando las siguientes ecuaciones para nuestro modelo inicial

$$\frac{dD}{dt} = (-0,3885) \cdot D + (0,19688) \cdot C + (0,2875) \cdot \frac{SD}{N} \quad (1)$$

$$\frac{dC}{dt} = (0,3895) \cdot D - (0,1967) \cdot C \quad (2)$$

$$\frac{dS}{dt} = (0,0115) \cdot S + (0,0105) \cdot (D + C) - (0,2875) \cdot \frac{SD}{N} \quad (3)$$

Para nuestro modelo con el cambio en  $\beta_2$  tendríamos:

$$\frac{dD}{dt} = (-0,3885) \cdot D + (0,19688) \cdot C + (0,2625) \cdot \frac{SD}{N} \quad (4)$$

$$\frac{dC}{dt} = (0,3895) \cdot D - (0,1967) \cdot C \quad (5)$$

$$\frac{dS}{dt} = (0,0115) \cdot S + (0,0105) \cdot (D + C) - (0,2875) \cdot \frac{SD}{N} \quad (6)$$

Descartando emigraciones e inmigraciones, la población, a través del tiempo, crece añadiendo los que nacen y quitando a los que fallecen. Así que podríamos aproximar N de la siguiente manera.

$$\frac{dN}{dt} = (\alpha - \mu) \cdot N$$

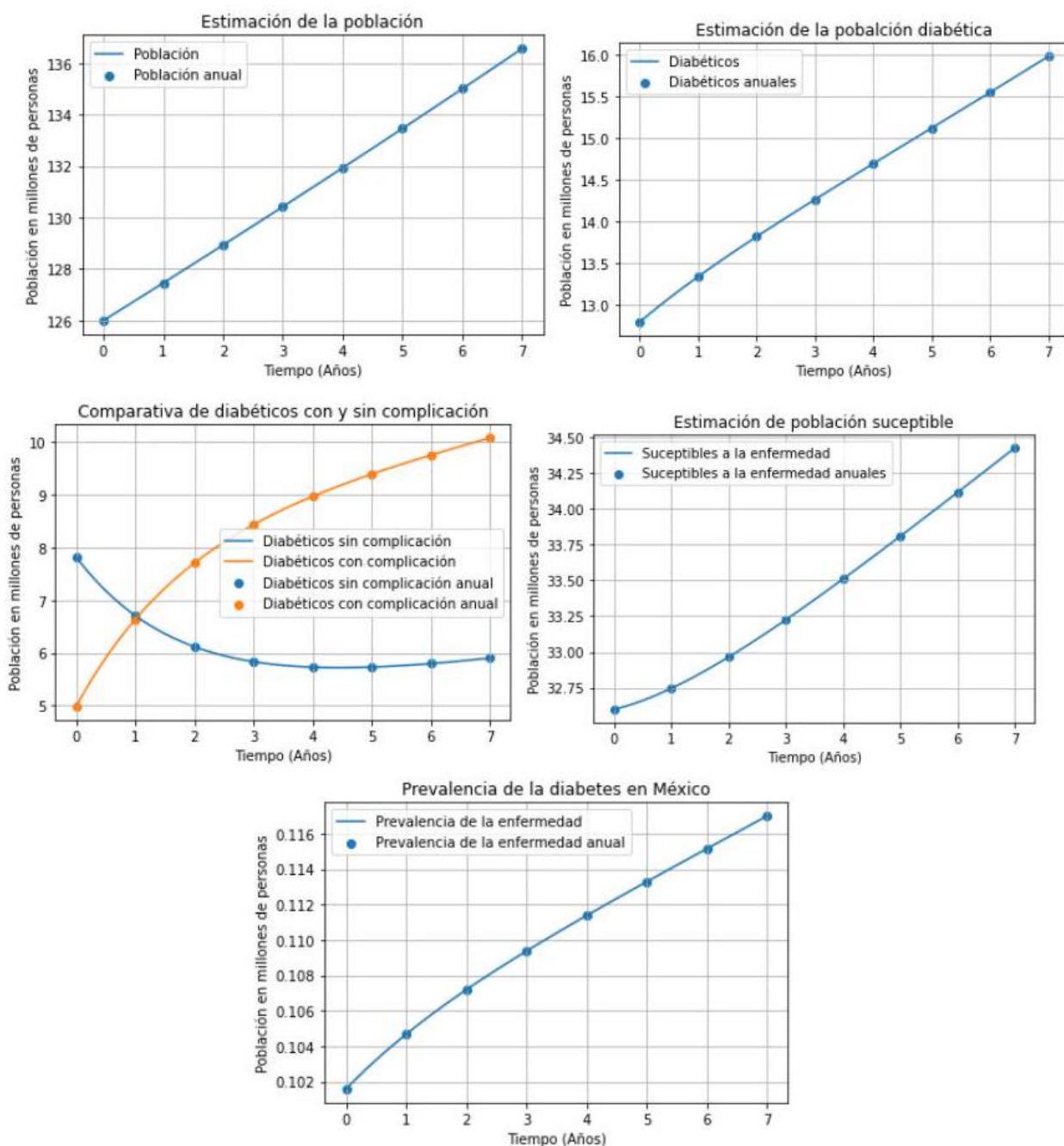
Viendo estas ecuaciones diferenciales, podemos utilizar el método de Runge-Kutta de cuarto orden, programado en python, para solventar numéricamente este problema, dando una buena estimación a los valores que deberían de tomar nuestras funciones.

## 3. Resultados

Esta es la tabla que salió con las aproximaciones sin la repercusión del etiquetado.

AÑOS	D.S.C	D.C.C	Sus	Pobl	Diab	Prev
0	7,8144	4,9856	32,6	126	12,8	0,101587
1	6,705743	6,636395	32,7458	127,4574	13,34214	0,104679
2	6,115976	7,704187	32,96425	128,9331	13,82016	0,107189
3	5,832009	8,432411	33,22436	130,4244	14,26442	0,109369
4	5,727776	8,965779	33,50863	131,9329	14,69356	0,111371
5	5,730014	9,387733	33,80648	133,4573	15,11775	0,113278
6	5,79599	9,748092	34,11251	135,001	15,54408	0,115141
7	5,900776	10,07507	34,42289	136,5624	15,97585	0,116986

Así es como se ven en las siguientes tablas

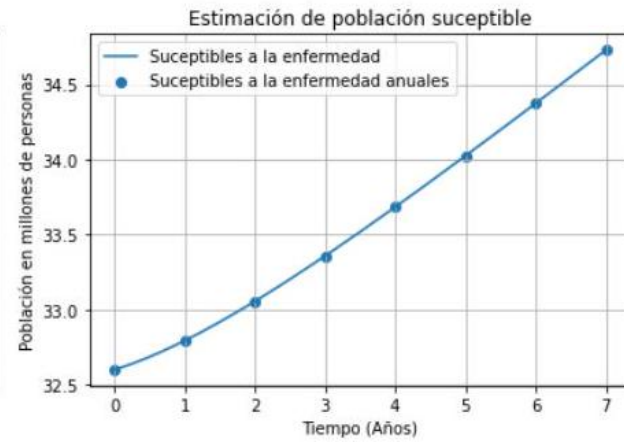
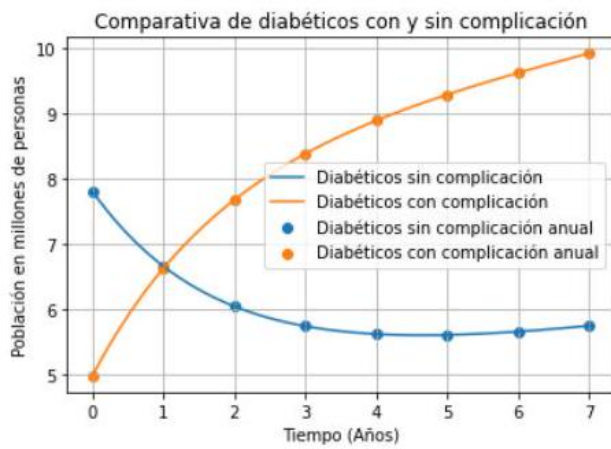
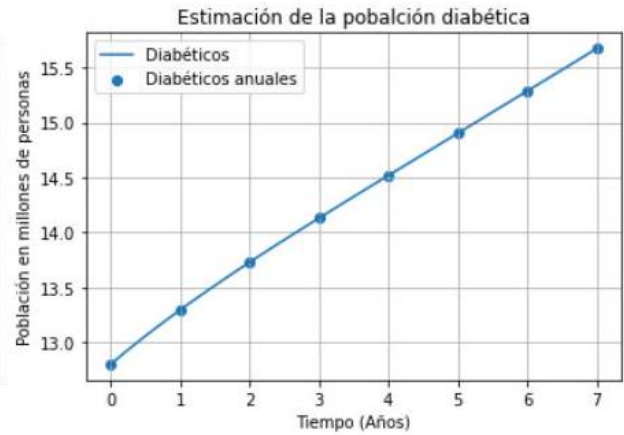
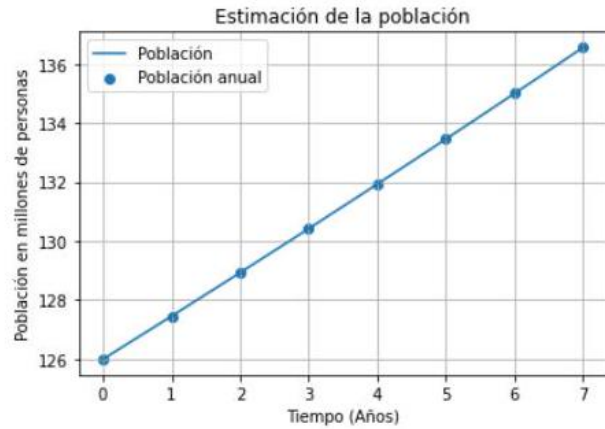


Donde los puntos son los valores estimados anuales correspondientes a los parámetros de la tabla, recordemos que al ser aproximaciones entre más crezca  $t$  mayor será el error.

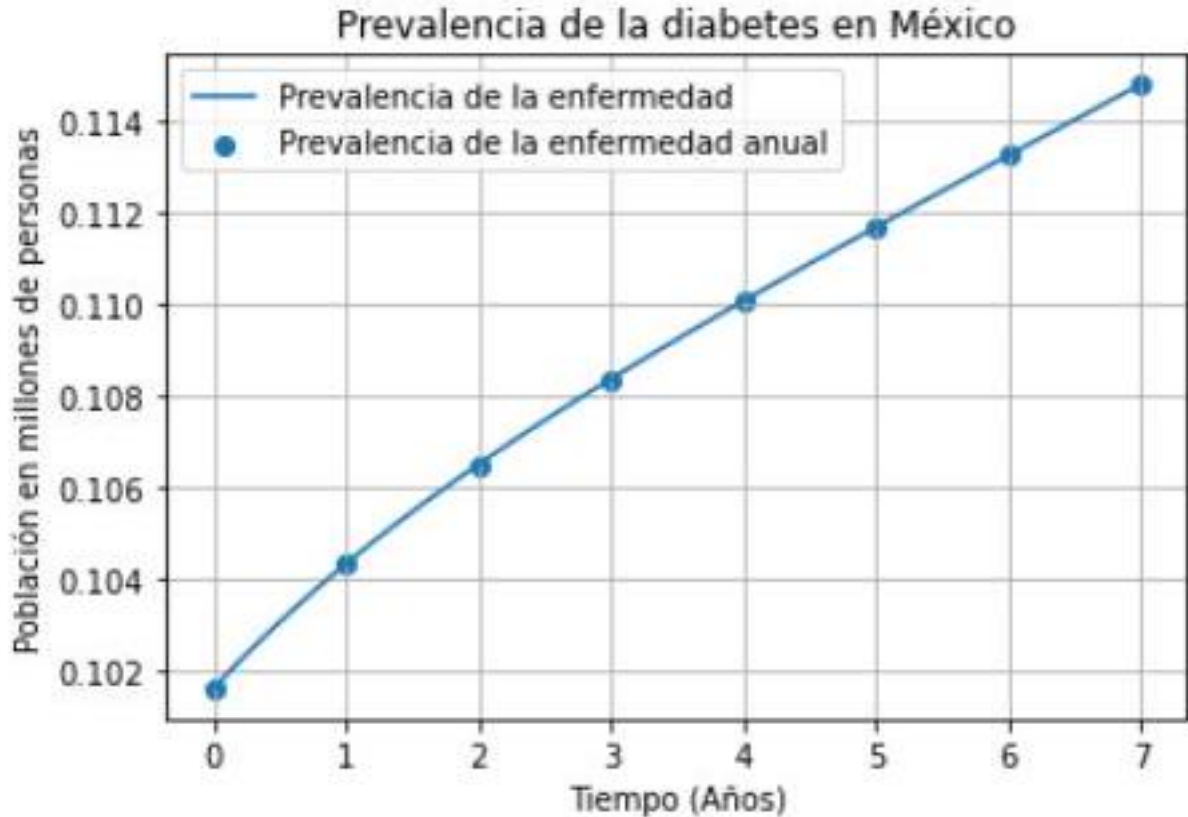
Esta es la tabla que salió con las aproximaciones con la repercusión del etiquetado.

AÑOS	D.S.C	D.C.C	Sus	Pobl	Diab	Prev
0	7,8144	4,9856	32,6	126	12,8	0,101587
1	6,666009	6,628577	32,79348	127,4574	13,29459	0,104306
2	6,050268	7,678684	33,05597	128,9331	13,72895	0,106481
3	5,746849	8,384553	33,35849	130,4244	14,1314	0,108349
4	5,625993	8,893272	33,68489	131,9329	14,51926	0,11005
5	5,612637	9,289346	34,02532	133,4573	14,90198	0,111661
6	5,663143	9,622949	34,37494	135,001	15,28609	0,11323
7	5,752191	9,922437	34,73017	136,5624	15,67463	0,11478

Estas son las gráficas que salen del procedimiento







De aquí lo que ocupamos es la prevalencia de la enfermedad, pues es la relación de cuantos enfermos hay

ANOS	D.S.C	D.C.C	Sus	Diab	Prev
0	0	0	0	0	0
1	0,039733	0,007819	-0,04768	0,047552	0,000373
2	0,065709	0,025503	-0,09171	0,091212	0,000707
3	0,08516	0,047857	-0,13413	0,133017	0,00102
4	0,101783	0,072508	-0,17626	0,174291	0,001321
5	0,117377	0,098387	-0,21884	0,215764	0,001617
6	0,132848	0,125142	-0,26242	0,25799	0,001911
7	0,148586	0,152632	-0,30727	0,301218	0,002206

## 4. Conclusión

De la tabla anterior, que muestra la diferencia anual en cada una de las estadísticas, observamos que, en millones de personas, (excepto la prevalencia) si hay una disminución en todos los rubros, excepto en la susceptibilidad de contraer la enfermedad. Esto nos sugiere que el nuevo etiquetado si tiene la influencia hipotética, contribuirá de buena manera a la salud y bienestar de la población mexicana. Como se ha mencionado previamente, la diabetes es una enfermedad multifactorial, por lo que solamente atacar uno de varios de sus raíces, con lo que nos hace falta concientizar sobre los hábitos que normalizamos y que ningún beneficio nos brindan, como muchos de los hábitos alimenticios que no se ven afectados por las nuevas etiquetas, además de la prevención como el hacer ejercicio o mínimamente evitar llevar una vida totalmente sedentaria.

## 5. Bibliografía

- [1]Purnami Widyaningsih et al 2018 J. Phys.: Conf. Ser. 1028 012110
- [2] <https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/>
- [3] <https://diabetesatlas.org/es/sections/demographic-and-geographicoutline.html>
- [4][https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general\\_ver4/MDXQueryDat os.asp?Regresoc=23699](https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDat os.asp?Regresoc=23699)
- [5] [https://www.who.int/diabetes/country-profiles/mex\\_es.pdf](https://www.who.int/diabetes/country-profiles/mex_es.pdf)
- [6]<https://www.gob.mx/salud/articulos/que-hay-de-la-genetica-y-su-relacioncon-la-diabetes-169318?idiom=es>
- [7]<https://idf.org/aboutdiabetes/complications.html>
- [8][https://www.world-heart-federation.org/wpcontent/uploads/2017/05/Cardiovascular\\_diseases\\_in\\_Mexico\\_Spanish\\_.pdf](https://www.world-heart-federation.org/wpcontent/uploads/2017/05/Cardiovascular_diseases_in_Mexico_Spanish_.pdf)
- [9]<https://idf.org/our-activities/care-prevention/diabetes-and-the-kidney.html>
- [10]<http://fmdiababetes.org/lo-que-todo-paciente-con-diabetes-debe-saber-sobreel-pie-diabetico/>
- [11][https://salud.edomex.gob.mx/cevece/documentos/documentostec/reportes/Diabetes\\_mellitus.pdf](https://salud.edomex.gob.mx/cevece/documentos/documentostec/reportes/Diabetes_mellitus.pdf)
- [12][http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttextpid=S1684-18242016000400001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttextpid=S1684-18242016000400001) : :
- text = %E2%80%94La%20mortalidad%20tras%20la%20amputacin**as.*
- [13]<https://www.niddk.nih.gov/health-information/informacion-de-lasalud/diabetes/informacion-general/prevenir-problemas/ojos>
- [14][http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttextpid=S0186-48662018000400004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextpid=S0186-48662018000400004)
- [15]<https://elpoderdelconsumidor.org/2020/05/todo-lo-que-debes-saber-sobre-el-nuevo-etiquetado-de-advertencia/>
- [16]<https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina43664557>: :text=Finalmente%2C%20encontraron%20que%20Estados%20Unidos,con%20el%2030%2C7%25
- [17][https://www.researchgate.net/publication/8485315\\_A\\_mathematical\\_model\\_for\\_the\\_burden\\_of\\_diabetes\\_and\\_its\\_Complications](https://www.researchgate.net/publication/8485315_A_mathematical_model_for_the_burden_of_diabetes_and_its_Complications)