

UNIVERSIDAD THOMAS MORE



“Modelo de Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue, y la efectividad de las estrategias de prevención en Nicaragua.”

Juan José Ñurinda Vásquez

Trabajo de grado presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de Ingeniero Industrial y de Sistemas.

Managua, 11 de noviembre 2016

Managua, 11 de noviembre de 2016

Licenciada
Irene Rojas
Rectora
Universidad Thomas More
Su Despacho

Estimada Licenciada Rojas:

Tengo a bien informarle que en mi carácter de Orientador y Catedrático de la Universidad Thomas More doy por revisado y aprobado el Trabajo de Grado del alumno Juan José Ñurinda Vásquez, titulado ***“Modelo de Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue, y la efectividad de las estrategias de prevención en Nicaragua.”*** que fue elaborado como requisito para optar al título de Ingeniero Industrial y de Sistemas.

El joven Ñurinda Vásquez durante el proceso de revisión y corrección de este trabajo cumplió con todas las normas y procedimientos establecidos por la universidad para la elaboración del mismo. Sin más que agregar aprovecho la oportunidad para presentarle muestras de mi estima y consideración.

Atentamente,

Ing. Ronmel Aburto
Tutor

Silvio De Franco, PhD.
Autoridad Académica
Universidad Thomas More

Agradecimientos

En primer lugar, doy infinitas gracias a Dios por el don de la vida, por la sabiduría y fuerza brindada para poder concluir esta investigación. Asimismo, gracias a mi familia, amigos y compañeros de clase por toda su fe y apoyo; de igual manera, agradezco a mi tutor de tesis, Ing. Ronmel Aburto, por su apoyo, esfuerzo y dedicación incondicional, y por luchar conmigo hasta el final, sin él este estudio no hubiera sido posible. Por último, a la Universidad Thomas More y a cada uno de mis profesores que a lo largo de estos cuatro años me brindaron los conocimientos necesarios para llevar a cabo esta tesis.

Tabla de Contenido

Resumen Ejecutivo	iii
I. Introducción.	1
II. Revisión de Literatura.	2
i. Propagación a causa de temperaturas y por temporadas.	3
ii. Propagación en dependencia de los espacios y por la ineficiencia de las restricciones de viaje.....	4
iii. Períodos de propagación y afectaciones a la población.....	5
iv. Estrategias de prevención y vacunación, y parámetros de los virus.	6
III. Antecedentes.	9
i. Dengue en el mundo.	9
ii. Dengue en el continente americano.	11
iii. Dengue en Nicaragua.....	12
IV. Justificación.	13
V. Objetivos.	14
i. Objetivo general.....	14
ii. Objetivos específicos.....	14
VI. Preguntas de investigación.....	14
VII. Hipótesis.	15
VIII. Metodología.....	16
IX. Análisis de los resultados.....	18
X. Pruebas de hipótesis.	30
XI. Conclusiones.	31
XII. Recomendaciones.	33
XIII. Anexos	34
i. Mapa con la distribución de <i>Aedes aegypti</i>	34
ii. Mapa con la distribución de <i>Aedes aegypti</i> en el continente americano...	34
iii. Síntomas y tratamiento del Dengue.....	35
iv. Instrumento de Recolección de Datos.	36
v. Ecuaciones del modelo.....	37
XIV. Bibliografía.	38

Resumen Ejecutivo

La presente investigación tenía por objetivo determinar la dinámica de propagación del virus del Dengue y medir la efectividad de las estrategias de prevención. Ésta la llevé a cabo mediante un estudio proyectivo, no experimental, y transversal explicativo; dado que, deseaba conocer el comportamiento futuro de los datos, las variables no se podían manipular, y la efectué una vez en el tiempo; además, deseaba evaluar las estrategias de prevención contra el virus. Se trató de un estudio cuantitativo, debido a que las variables eran perfectamente medibles.

En primera instancia, realicé un diagrama causal para el mayor entendimiento de la relación entre las diversas variables para luego crear un diagrama de Forrester, de manera más correcta, dentro del Software Stella; posteriormente, con la variable dependiente: población infectada; y las variables independientes: población susceptible, población recuperada, población re infectada, tasa de incidencia, tasa de contagio, tasa de curación, tasa de reinfección, tasa de mortalidad, prevalencia del virus, tasa de incidencia por temperatura cálida, tasa de incidencia por precipitación pluvial y tasa de efectividad de las estrategias de prevención, simulé 60 meses (5 años) para el municipio de Estelí.

Con la presente investigación concluí que el número de casos presentados dentro de cinco años será de 961 personas infectadas, con un total de 94 personas fallecidas, y una prevalencia de 5 personas por cada 1.000 habitantes. Asimismo, que las estrategias de prevención son un factor determinante en la reducción de casos de Dengue (nivel de significancia bilateral cercana a cero); mientras que, la temporada de temperaturas cálidas y de mayor precipitación pluvial no son factores que influyen en el incremento de casos, al tener un nivel de significancia bilateral de 0.232 y 0.457, respectivamente.

I. Introducción.

El virus del dengue es una de las enfermedades de mayor preocupación actualmente; éste es uno de los principales problemas de salud pública responsable de 25.000 fallecimientos anuales en el mundo y 50 millones de infecciones por alguno de sus cuatro serotipos (Fabbri, 2013). El Dengue es provocado por mosquitos del género *Aedes*, y la especie más importante en la transmisión es *Aedes aegypti* (Infecto. Sitio para la formación médica, s.f.).

Cuando una persona es picada por un mosquito infectado y contrae la enfermedad, los síntomas tardarán, aproximadamente, cuatro días en aparecer. Los principales síntomas son (Mejor con Salud, s.f.):

- Fiebre alta.
- Dolor de cabeza muy fuerte.
- Dolor alrededor y detrás de los ojos.
- Náuseas.
- Vómitos.
- Inflamación de los ganglios.
- Fuerte dolor en los músculos y las articulaciones.
- Brotes o erupciones en todo el cuerpo.
- Fiebre hemorrágica (presente en los casos más graves).

Se han hecho muchos esfuerzos por reducir y erradicar este tipo de enfermedades; sin embargo, su dinámica de propagación es bastante impredecible, por lo que los nuevos esfuerzos se enfocan en las estrategias de prevención con el fin de disminuir el crecimiento de dicha propagación, previendo mayores casos de infección y muerte (Mejor con Salud, s.f.).

La siguiente investigación presenta una simulación que estipula la dinámica de propagación del virus del dengue en el municipio de Estelí durante los siguientes 60 meses (5 años). Además, a lo largo del trabajo se detallan los conjuntos de datos, los métodos utilizados y los resultados de la simulación; también, el estudio muestra el diagrama causal y el diagrama de Forrester para la mejor comprensión de las relaciones entre las variables.

II. Revisión de Literatura.

Las epidemias representan una gran preocupación para la población de los países, especialmente para los tomadores de decisiones, que se basan en varios aspectos de estas enfermedades. Para lograr tomar una decisión que evite la propagación de los virus, convirtiéndolos en epidemia, se debe conocer el comportamiento previo, para entender y pronosticar el comportamiento futuro. En referencia a esto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) llevó a cabo un estudio sobre el impacto potencial de los cambios climáticos en las métricas de salud y atributos de mortandad para dos períodos futuros: 2030 y 2050, obteniendo como resultado que la población en riesgo de infección del dengue en 2030 es en promedio 4,39 billones y en 2050 4,59 billones, de los cuales en promedio 181,10 millones se encontrarán en América latina central en 2030 y 184,91 millones de casos en 2050, con 6 casos de fallecimientos en 2030 y 10 casos en 2050 (Organización Mundial de la Salud, 2014).

En Nicaragua se han realizado pocos estudios que muestren las afectaciones futuras de los virus y su forma de propagación, en comparación a otros países que se han preocupado más por conocer el comportamiento de éstos para poder tomar acciones evasivas.

En las investigaciones realizadas en otros países se ha encontrado evidencia que indican que la propagación del virus se da por diversas causas.

i. Propagación a causa de temperaturas y por temporadas.

Dentro de las investigaciones realizadas para conocer el comportamiento de los virus, han surgido interesantes conclusiones; una de ellas, se basa en la temperatura. Algunos estudios demuestran que el virus del Chikungunya se transmite en un rango de temperatura de 12,4° C-32,5° C, mientras que a 26° C el virus es transmitido al mosquito, que se convierte en portador, y a 28° C se trasmite tanto al individuo como al mosquito (Aldana y Muñoz, 2015). En el caso del Dengue, otros estudios señalan que las temperaturas cálidas pueden incrementar las tasas de transmisión de diversas maneras (Prompou, Jaroensutasinee y Jaroensutasinee, 2005, Gallego y Villamizaar, 2009, Ibrahim, Mat Zin y Ashaari, 2011).

Otra de las conclusiones se basa en las temporadas, tanto en las climáticas como en las académicas. Algunos estudios para el virus del Dengue demuestran que se presentan aumentos en la incidencia del virus y la anomalía climática, pero que no es una relación significativa entre los eventos de epidemia y el clima (Vélez, Núñez y Ruíz, 2006). Sin embargo, otros estudios del Dengue y el Chikungunya determinan que sí existe una relación entre las variaciones climáticas y la aparición de nuevos casos (García y Boshell, 2004, Brailsford, Berchi, De Aneglis, y Mecoli, 2007, Esselman, 2009, Prompou, Jaroensutasinee y Jaroensutasinee, 2005); por ejemplo, se puede atribuir el brote atípico registrado en el 2010, en Colombia, a los fuertes cambios climáticos presentados en el mismo año (Camargo, 2012) o al aumento de la probabilidad de la ocurrencia del virus del dengue debido a las temporadas lluviosas (Esselman, 2009) y la precipitación (Ibrahim, Mat Zin y Ashaari, 2011). De igual forma, otros estudios muestran que las variables climáticas como la temperatura del aire y la precipitación se relacionan significativamente con la aparición de nuevos casos de Dengue (Meza-Ballesta y Gónima, 2013).

De la misma manera, en el caso de la gripe pandémica, se encuentra que los efectos de la temporada son importantes en el crecimiento del virus (Halder, 2012). Otro caso fue el del sarampión, un estudio encontró que la causa principal del comportamiento del fenómeno es el calendario académico de los colegios de Londres, en donde las temporadas de vacaciones (navidad, pascua y verano) muestran una tasa de contactos inferior en comparación con aquella que se presenta en la temporada de estudio (Oliveros, 2009).

ii. Propagación en dependencia de los espacios y por la ineficiencia de las restricciones de viaje.

Varios estudios han demostrado que los espacios en que se desarrolla el virus afectan en gran medida a su propagación. Dentro de los estudios realizados al virus de la gripe, uno de éstos encontró que es más rápida la propagación y que el número de personas contagiadas aumenta en espacios pequeños (Santamaría, 2015). Asimismo, cuando este virus se presenta en las escuelas, se sugiere que el aislamiento de los afectados es menos efectivo que el cierre total de la misma por un mínimo de dos semanas (Halder, 2012). En Colombia, un estudio muestra que el virus del Dengue se extiende aproximadamente al 32% del territorio departamental de Córdoba: en 13 de los 30 municipios se concentran 89.7% de los casos reportados (Meza-Ballesta y Gónima, 2013). Mientras que, en León, Nicaragua, el estudio realizado determinó que se logra propagar en una celda de 30m por 30m en la ciudad (Esselman, 2009).

Por otro lado, uno de los estudios logra identificar que cuando la movilidad del virus es muy baja, las prácticas de cuarentena deben ser altamente efectivas antes de que los patrones de la enfermedad se alteren significativamente. Esta efectividad depende en gran medida de la ineficiencia en las restricciones de viaje para controlar la gripe (Sattenspiel y Herring, 2003); además, que ésta es una consecuencia de la tasa inicial del crecimiento de la epidemia en la ciudad y del gran número de personas infectadas (Cooper, Pitman, Edmunds y Gay, 2006).

iii. Períodos de propagación y afectaciones a la población.

En este aspecto, un estudio sobre el Dengue concluye que en su dinámica de propagación se percibe un brote epidémico en el transcurso del primer mes, aproximadamente (López, Muñoz-Loaiza, Olivar-Tost y Betancourt-Betancourt, 2012). Otro estudio realizado al chikungunya demuestra que el comportamiento del virus tiene un crecimiento poblacional hasta la semana 27, la cual desciende en la semana 83 a cero personas infectadas, cuando la población se recupera, no vuelve a formar parte de la población susceptible dado que adquieren inmunidad de por vida (Muñoz, 2014). Con el virus del SIDA, un estudio determinó que a partir de los 30 años la población infectada comienza a decrecer (Pino, 2013). Mientras que con el virus Zika, tomaría entre 12 a 20 años antes de que haya el suficiente número de individuos susceptibles para que el virus re-emerja si la infección del virus provee protección total contra futuras infecciones, con una media estimada de reproducción básica entre 2.6-4.8 años, siendo un 11.5% del total de infecciones reportadas y estimando que el 94% del total fueron afectados durante el brote del 2013-14 de los archipiélagos mayores de la Polinesia Francesa (Kucharski, Funk, Eggo, Edmunds y Nilles, 2016).

Los resultados de un estudio muestran diversas afectaciones de los virus a la población en general, entre ellos se observa que cuanto más alta sea la tasa de mortalidad del virus SIDA, más estable se encontrará la población susceptible. También, que cuanto mayor sea la tasa de ingreso, existirán mayores probabilidades de contagio con las personas infectadas; de ser así, ésta superará a la población susceptible y con el tiempo disminuirá considerablemente (Pino, 2013). Otro estudio realizado al virus del Dengue determina que la prevalencia de éste fue de 10 casos por cada 10.000 personas (Gallego y Villamizaar, 2009).

iv. Estrategias de prevención y vacunación, y parámetros de los virus.

En cuanto a las estrategias de prevención y vacunación, estudios demuestran que, con las iniciativas de vacunación, en el caso del Dengue y la gripe, el número de personas susceptible disminuye (Derouich, Boutayeb y Twizell, 2003, Santamaría, 2015); asimismo, que es posible erradicar la epidemia con estrategias de vacunación exclusivas en la población infantil, requiriendo menores recursos que la implementación de esquemas de vacunación exclusivos en adultos (Camargo, 2012). Por otro lado, éstos expresan que las estrategias de prevención son insuficientes dado que sólo retrasa el brote epidémico (Derouich, Boutayeb y Twizell, 2003). Contrario a esto, otros estudios concluyen que las medidas de prevención ayudan en gran medida a la reducción de futuros casos de infección (Brailsford, Berchi, De Aneglis y Mecoli, 2007, López, Muñoz-Loaiza, Olivar-Tost y Betancourt-Betancourt, 2012).

Por último, se muestra que los países más vulnerables, son aquellos que mantienen envases con agua fuera de sus casas o en otros lugares, favoreciendo el criadero de los mosquitos (Muñoz, 2014). Asimismo, que una de las características que genera importancia relacionada con la aparición de casos del Dengue es el estado de la vivienda (Gallego y Villamizaar, 2009). Y que los parámetros como la densidad de la población, la frecuencia de desplazamientos a través del espacio (ciudad, pueblo, colegio, etc.), la forma en la que se desplazan (transporte público o privado) (Santamaría, 2015), los factores demográficos, topográficos y socioeconómicos son relevantes para determinar la evolución epidemiológica de los virus sobre una población y la aparición de nuevos casos (Esselman, 2009).

En cuanto a la metodología utilizada para modelar el comportamiento de los virus, los autores usaron diversos métodos. Por ejemplo, Muñoz (2014) y Brailsford, Berchi, De Aneglis y Mecoli (2007) primero dividieron la población en tres segmentos: susceptibles, infectados y recuperados, para luego elaborar un

diagrama causal describiendo los parámetros de la enfermedad; posteriormente, realizaron un diagrama de Forrester con los tres segmentos de la población para proceder con la simulación, ésta se realizó con el programa Vensim con tiempos de 104 semanas y 365 días, respectivamente; no obstante, Brailsford, Berchi, De Aneglis y Mecoli (2007) fueron más allá y describieron el ciclo de vida del mosquito, el proceso de infección del humano y del mosquito, y el efecto de la intervención de estrategias para controlar la propagación de éste, a través de diagramas causales. Mientras que Ibrahim, Mat Zin y Ashaari (2011) realizaron su simulación con el Software Stella. Otro de los métodos usados es el de ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales para formular un modelo epidemiológico, en este caso fueron Raigosa, Aldana y Muñoz (2015), Derouich, Bouyateb y Twizell (2006), López, Muñoz-Loaiza, Olivar-Tost y Betancourt-Betancourt (2012) y Pino (2013) quienes lo usaron.

Por su parte, Vélez, Núñez y Ruíz (2006) llevaron a cabo dos pasos fundamentales: el análisis de algunas propuestas de modelación en el ámbito internacional y el estudio del ciclo de transmisión del virus de la enfermedad, con el objetivo de definir los principales componentes del sistema biológico, sus variables de estado y las principales variables endógenas para incluir en la dinámica de transmisión. Los modelos utilizados fueron el CIMSIM (Container Inhabiting Mosquito Simulation Model) y el DENSiM (Dengue Simulation Model).

Otro de los métodos usados lo muestra Camargo (2012) con un modelo matemático basándose en la estructura clásica SIR (Susceptible-Infectado-Recuperado) propuesta por Kermack-McKendrick. Posterior a la formulación matemática del modelo, se realizó el proceso de sintonización de los parámetros para representar la dinámica del virus en el país, de acuerdo con los reportes históricos de casos. Luego, se obtuvo un escenario de casos para los próximos tres años (2012-2014), con lo que se detectó la aparición de un brote dentro de este lapso. La propuesta de Kermack-McKendrick también fue usada por Kucharski, Funk, Eggo, Pierre y Nilles (2016), por Sattenspiel y Herring (2003) y por Santamaría (2015), aunque él lo modificó incluyendo a las personas expuestas

y complementándolo con un segundo modelo basado en el individuo. Halder (2012) también usó el modelo basado en el individuo en su investigación. Mientras que Cooper, Pitman, Edmunds y Gay (2006) usaron el modelo SEIR (Susceptible-Expuesto-Infectado-Recuperado) con un segundo modelo estocástico que posteriormente compararon con el primero.

García y Boshell (2004) elaboraron modelos ARIMA, con la inclusión del factor climático como índice. Este índice lo obtuvo mediante un análisis en componentes principales (APC) realizado al conjunto de variables meteorológicas previamente centradas por medio del método robusto de la mediana. Por su parte, Esselman (2009) utilizó un modelo de predicción llamado el Método de Entropía Máxima o Maxent, que utiliza datos de ocurrencia y condiciones ambientales asociadas con esos datos para calcular la distribución más uniforme a través del área del estudio. Gallego y Villamizaar (2009), procesaron los datos recolectados en el programa EPI INFO 6.04d, desarrollado por el centro de prevención y control de enfermedades.

Promptou, Jaroensutasinee y Jaroensutasinee (2005) usaron el coeficiente de correlación de Pearson para detectar la asociación primaria entre la incidencia del virus del Dengue y los factores climáticos junto a técnicas de regresión para explorar e identificar los indicadores de riesgo estadísticamente significantes. Mientras que, Meza-Ballesta y Gónima (2013) realizaron un estudio estadístico-cartográfico en 30 municipios y un análisis de regresión simple y múltiple entre la aparición del virus y las variables climáticas. Por último, Oliveros (2009) formuló un problema de optimización en el cual la función objetivo era la minimización del error entre los datos predichos por el modelo y aquellos reportados mediante el uso de software de programación. Posteriormente, utilizó el modelo MSEIR (Pasivamente Inmunes, Susceptibles, Expuestos, Infectados, y Recuperados).

Como se puede observar en los estudios presentados anteriormente, conocer el comportamiento de un virus y ser capaz de pronosticar su dinámica futura, ayuda a los países a tomar las decisiones correctas para su prevención.

Existen diversas formas en que un virus se puede propagar, por lo cual un país debe estar preparado para todas ellas; por ejemplo, éstos se propagan a causa de la temperatura, por temporadas, en dependencia de los espacios, por la ineficiencia de las restricciones de viaje, entre otras formas. Asimismo, se concluye que los períodos de propagación y las afectaciones a la población son variables a tomar en cuenta en estas decisiones.

III. Antecedentes.

i. Dengue en el mundo.

Los vectores del Dengue son los mosquitos del género *Aedes*, y la especie más importante en la transmisión es *Aedes aegypti*. (Infecto. Sitio para la formación médica, s.f.). Las primeras epidemias de dengue reportadas datan de 1779-1780 en Asia, África y América del Norte. La ocurrencia casi simultánea de los brotes en tres continentes indica que estos virus, y el mosquito vector que los transporta, han estado ampliamente distribuidos en las áreas tropicales durante más de 200 años. Durante gran parte de este tiempo, se pensaba que el dengue era una enfermedad leve y no mortal, que afectaba a las personas que visitaban las áreas tropicales.

Después de la Segunda Guerra Mundial comenzó una pandemia de dengue en el Sureste Asiático que desde entonces se ha venido propagando por el resto del mundo. En la actualidad son más frecuentes las epidemias causadas por serotipos múltiples, se ha ampliado la distribución geográfica de los virus del dengue y de sus mosquitos vectores, y ha surgido el dengue hemorrágico en la región del Pacífico y en el continente americano. La primera epidemia de dengue hemorrágico en el Sureste Asiático se dio en los años 1950, pero para 1975 se había convertido en una causa frecuente de hospitalización y fallecimiento entre los niños de muchos países de la región (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, 2015).

Antes de 1970, sólo nueve países habían sufrido epidemias de dengue grave. Sin embargo, ahora la enfermedad es endémica en más de 100 países de las regiones de África, las Américas, el Mediterráneo Oriental, Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental. Las regiones más afectadas son las Américas, Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental (Organización Mundial de la Salud, 2016).

En las últimas décadas ha aumentado enormemente la incidencia de dengue en el mundo. Según una estimación reciente, se producen 390 millones de infecciones por dengue cada año (intervalo creíble del 95%: 284 a 528 millones), de los cuales 96 millones (67 a 136 millones) se manifiestan clínicamente. En otro estudio sobre la prevalencia del dengue se estima que 3.900 millones de personas, de 128 países, están en riesgo de infección por los virus del dengue (Organización Mundial de la Salud, 2016).

Los Estados Miembros de tres regiones de la OMS (Organización Mundial de la Salud) notifican sistemáticamente el número anual de casos. El número de casos notificados pasó de 2,2 millones en 2010 a 3,2 millones en 2015.

En 2008, en las regiones de las Américas, Asia Sudoriental y Pacífico Occidental se registraron en total más de 1,2 millones de casos, y en 2015, más de 3,2 millones (según datos oficiales presentados por los Estados Miembros a la OMS). En 2015, se notificaron 2,35 millones de casos tan sólo en la Región de las Américas, de los cuales más de 10.200 casos fueron diagnosticados como dengue grave y provocaron 1.181 defunciones (Organización Mundial de la Salud, 2016).

El año 2015 se caracterizó por grandes brotes de dengue en todo el mundo. En Filipinas se notificaron más de 169.000 casos y en Malasia se superaron los 111.000 casos sospechosos, lo que representa un aumento del 59,5% y el 16%, respectivamente, en el número de casos con respecto al año anterior. Cada año, unas 500.000 personas que padecen dengue grave —niños en una gran proporción— necesitan hospitalización. Aproximadamente un 2,5% fallecen (Organización Mundial de la Salud, 2016).

ii. Dengue en el continente americano.

La aparición del dengue y del dengue hemorrágico ha representado un problema importante de salud pública en el continente americano. En un esfuerzo por prevenir la fiebre amarilla en las ciudades, que también es transmitida por el *Aedes aegypti*, la Organización Panamericana de la Salud emprendió una campaña que erradicó, en los años 1950 y 1960, el *Aedes aegypti* en la mayoría de los países de Centroamérica y Suramérica. El programa de erradicación del *Aedes aegypti*, el cual fue discontinuado oficialmente en Estados Unidos en 1970, se debilitó gradualmente en otras partes, por lo cual el mosquito comenzó a infectar nuevamente a países en los cuales había sido erradicado. En consecuencia, la distribución geográfica del *Aedes aegypti* en el 2002 fue mucho más amplia que en los años anteriores al programa de erradicación.

Entre 1977 y 2004 se reportaron en Estados Unidos un total de 3.806 presuntos casos de dengue importado, confirmándose 864 (23%) casos. Es probable que no se reporten muchos otros casos todos los años debido a que la vigilancia en Estados Unidos es pasiva y depende de la capacidad de los médicos de reconocer la enfermedad, averiguar los antecedentes de viaje del paciente, obtener las muestras diagnósticas adecuadas y reportar los casos. Estos datos parecen indicar que los estados del sur y sureste de Estados Unidos, donde se encuentra el *Aedes aegypti*, están expuestos al riesgo de transmisión del dengue y de brotes esporádicos de esta enfermedad (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, 2015).

El dengue se clasifica en clásico y severo (anteriormente llamado dengue hemorrágico) teniendo una correlación de 96:4 en América Latina. Por cada 96 casos de dengue clásico se presentan cuatro de dengue severo (Fabbri, 2013).

Centroamérica tiene registrado más de 100.000 casos de dengue en lo que va de 2013, según datos oficiales suministrados en la II Reunión Internacional para el Control del *Aedes aegypti* realizada en Panamá.

Dichos casos, se detallan a continuación (reliefweb, 2013):

- 46.779 casos y solamente un fallecido en Costa Rica.
- 35.215 casos y 27 fallecidos en Honduras.
- 9.268 casos y tres fallecidos en El Salvador.
- 6.896 casos y tres fallecidos en Guatemala.
- 1.378 casos de dengue confirmados en Panamá.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2016), en 2015 se notificaron 2,35 millones de casos tan sólo en la Región de las Américas, de los cuales más de 10.200 casos fueron diagnosticados como dengue grave y provocaron 1.181 defunciones.

iii. Dengue en Nicaragua.

El primer brote de dengue grave de Nicaragua ocurrió en 1985 con 17.483 casos notificados. Esta epidemia fue asociada con síntomas graves y pocos casos mortales de DH. En los siguientes años, se presentaron números relativamente bajos de casos notificados. Para el final de 1994 y 1995, se registraron respectivamente 20.469 y 19.260. Después de 1994 y de las epidemias de 1995, el país ha notificado unos números relativamente bajos de casos en 1996 y 1997, que sin embargo volvieron a aumentar y disminuir en los siguientes años (GeoSalud, s.f.).

En 2012, se ubicó en el cuarto lugar de incidencia a nivel centroamericano con 5.182 casos por debajo de Costa Rica (15.500 casos), Honduras (15.100 casos) y El Salvador (11.341). Guatemala fue el país con el menor número de casos (1.186). En 2013, Nicaragua reportó 5.850 casos y 16 personas fallecidas afectando más a menores de 20 años y mujeres (Fabbri, 2013).

IV. Justificación.

Los virus son un problema de nivel mundial cuyo comportamiento (dinámica de propagación) es totalmente impreciso y desconocido, ya que existen diversos factores que varían de país en país y determinan dicho comportamiento; son una preocupación inmediata que obliga a los gobiernos de cada país a tomar acciones preventivas para éstos; sin embargo, dichas acciones son soluciones de corto plazo y no abarcan el crecimiento ni la peligrosidad futura de estos virus (Derouich, Boutayeb y Twizell, 2003).

El conocer cómo y de qué manera se comportará un virus, ayuda en gran medida a tomar decisiones que reduzcan su tiempo y espacio de propagación, protegiendo de mejor manera a la población del país. Este poco conocimiento, sumado a la poca información existente, evita que las instituciones encargadas de la salud se preparen contra una epidemia no prevista, de tal manera que no se considere evaluar las estrategias para combatirlo. Si esto llegase a pasar, la población infectada crecería drásticamente y su rapidez de propagación sería mayor, inutilizando dichas medidas preventivas y creando un caos en la sociedad al conocerse que el sistema de salud del país es obsoleto.

Uno de los virus que ha afectado drásticamente al país es el del Dengue, éste ha presentado una gran cantidad de casos en corto tiempo, es decir, se podría entender que su propagación es bastante rápida. Por lo que esto se vuelve una preocupación inmediata para los mandatarios.

Nicaragua es un país cuyos planes de salud tratan de prever la entrada de virus y el continuo crecimiento de los ya establecidos en el país; sin embargo, existen pocos estudios de proyección de propagación que respalden esto último. Por ello, esta investigación tenía como objetivo estudiar la dinámica de propagación del virus del Dengue y evaluar las estrategias de prevención, siendo una herramienta que ayude a establecer cambios de ser necesario.

V. Objetivos.

Los objetivos de investigación presentados en este trabajo surgen por la preocupación de los numerosos casos del virus del Dengue en el país:

i. Objetivo general.

Determinar la dinámica de propagación del virus del Dengue y medir la efectividad de las estrategias de prevención.

ii. Objetivos específicos.

1. Determinar el crecimiento de la población infectada con el virus del Dengue en el municipio de Estelí.
2. Establecer la rapidez con la que el virus se disemina y propaga.
3. Fijar la prevalencia del virus en el municipio de Estelí
4. Evaluar la efectividad de las estrategias de prevención contra el virus.

VI. Preguntas de investigación.

Planteados los objetivos anteriores, surgen las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cómo es el crecimiento de la población infectada con el virus del Dengue en el municipio de Estelí?
2. ¿Cuál es la rapidez con la que el virus se disemina y propaga?
3. ¿Cómo es la prevalencia del virus en el municipio de Estelí?
4. ¿Qué tan efectivas son las estrategias de prevención contra el virus?

VII. Hipótesis.

Para la investigación se han establecido las siguientes hipótesis:

1. H_0 : No hay diferencia entre la población infectada y la población susceptible.
 H_1 : La población infectada será mayor a la población susceptible, provocando una epidemia.
 H_1 : La población infectada será menor a la población susceptible, es decir, no se provoca una epidemia.

2. H_0 : La población infectada influenciada por la variable estrategias de prevención es igual a la población infectada sin la afectación de la variable estrategias de prevención.
 H_1 : La población infectada influenciada por la variable estrategias de prevención es diferente a la población infectada sin la afectación de la variable estrategias de prevención.

3. H_0 : La población infectada influenciada por la variable temperatura es igual a la población infectada sin la afectación de la variable temperatura.
 H_1 : La población infectada influenciada por la variable temperatura es diferente a la población infectada sin la afectación de la variable temperatura.

4. H_0 : La población infectada influenciada por la variable precipitación es igual a la población infectada sin la afectación de la variable precipitación.
 H_1 : La población infectada influenciada por la variable precipitación es diferente a la población infectada sin la afectación de la variable precipitación.

VIII. Metodología.

Tipo de investigación.

La presente investigación la llevé a cabo mediante un estudio proyectivo, no experimental, y transversal explicativo; dado que, deseaba conocer el comportamiento futuro de los datos, las variables no se podían manipular, y la efectué una vez en el tiempo; además, deseaba evaluar las estrategias de prevención contra el virus. Se trató de un estudio cuantitativo, ya que las variables eran perfectamente medibles.

Recolección de datos.

La información y datos necesarios para la investigación los obtuve del Sistema Local de Atención en Salud (SILAIS) del Departamento de Estelí, a través de una ficha de recolección de datos y de la Dirección General de Meteorología del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER).

Procesamiento de la información.

Para el análisis y procesamiento de la información utilicé el Software de Simulación Stella dado que facilitaba el entendimiento, tanto gráfico como numérico, del comportamiento futuro del virus.

Para implementar el modelo en este Software primero dividí a la población total con base en el modelo SIR (susceptible-infectada-recuperada) (Kermack, McKendrick, 1927), con ello tomé en cuenta las siguientes variables:

Variable dependiente:

1. Población infectada: representa a los individuos infectados, aquellos que se encuentran en condiciones de transmitir la enfermedad a la población susceptible.

La población infectada fue determinada por un conjunto de variables independientes entre sí, es decir, que no tenían relación mutua y que únicamente afectaban a la variable dependiente. Éstas se mencionan a continuación.

Variables independientes:

1. Población susceptible: representa a los individuos susceptibles, es decir, aquellos individuos que no se han enfermado anteriormente y por lo tanto pueden resultar infectados al entrar en contacto con la enfermedad.
2. Población recuperada: representa a los individuos recobrados de la enfermedad que no están en condiciones de transmitir la enfermedad a otros.
3. Población reinfectada: representa a los individuos recuperados que nuevamente fueron infectados.
4. Tasa de incidencia: probabilidad de ocurrencia de un nuevo caso.
5. Tasa de contagio: probabilidad de que una persona enferme al estar en contacto con un infectado.
6. Tasa de curación: probabilidad de que una persona infectada se cure y pase a formar parte de la población recuperada.
7. Tasa de reinfección: probabilidad de que una persona recuperada se vuelva a enfermar y forme parte de la población infectada.
8. Tasa de mortalidad: probabilidad de que un individuo infectado muera debido a la enfermedad.
9. Prevalencia del virus: proporción de la población que padece del virus.
10. Tasa de incidencia por temperatura cálida: es la probabilidad de ocurrencia de casos en temperaturas cálidas.
11. Tasa de incidencia por precipitación pluvial: es la probabilidad de ocurrencia de casos durante el incremento de la precipitación pluvial.
12. Tasa de efectividad de las estrategias de prevención: probabilidad de que las estrategias de prevención reduzcan la aparición de nuevos casos.

En primera instancia realicé un diagrama causal para el mayor entendimiento de la relación entre las variables para luego crear un diagrama de Forrester, de manera más correcta, dentro del Software Stella. Una vez hecho esto, simulé 60 meses, es decir, 5 años en el Software Stella. Tanto el diagrama de Forrester como el diagrama causal los basé en los diagramas propuestos por Muñoz (2014) en su estudio “Desarrollo del Chikungunya en República Dominicana”; sin embargo, los ajusté según las variables del modelo planteado.

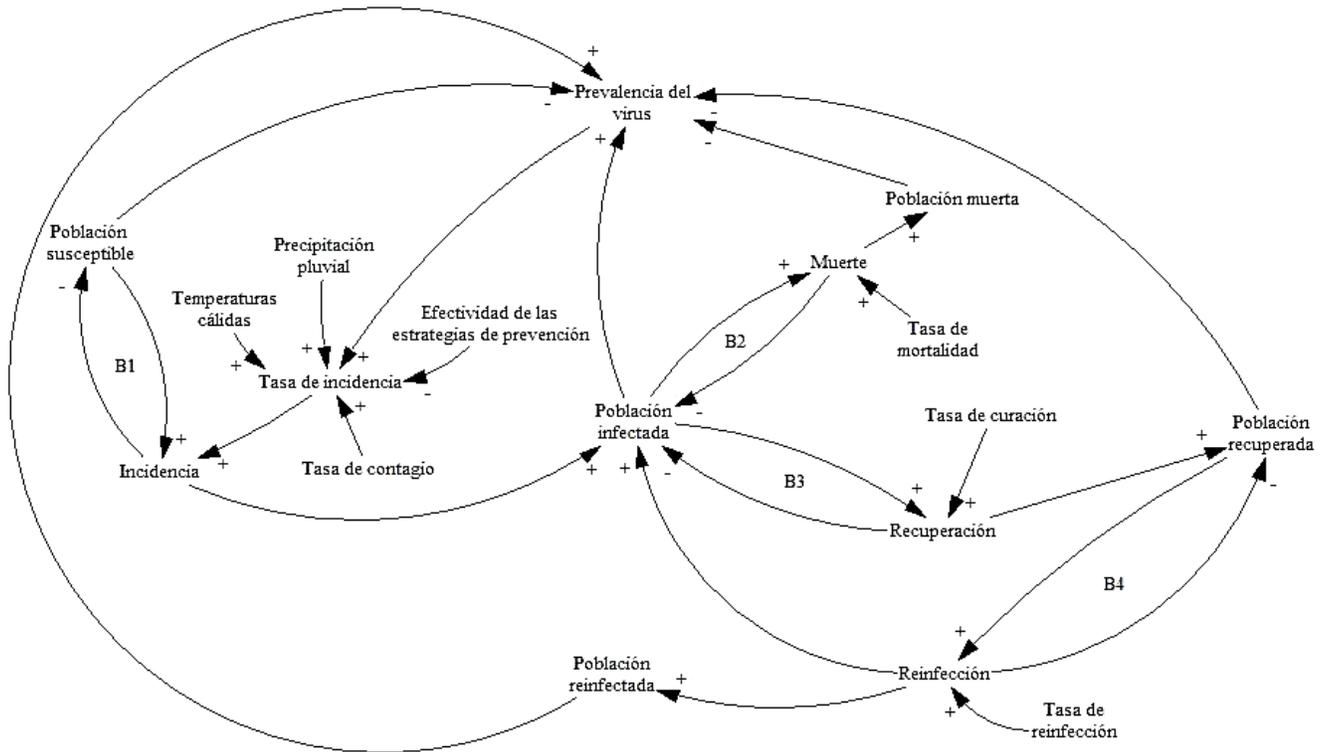
Con las primeras once variables pretendí determinar la dinámica de propagación del virus del Dengue, pronosticando el número de casos de infección que se presentaron durante el tiempo de simulación establecido a través de la población infectada. Mientras, con la última variable se deseaba medir la efectividad de las estrategias de prevención del virus, por lo que simulé dos escenarios para cada una de las estrategias, uno donde se aplicó ésta y otro donde no se aplicó; posteriormente, los datos fueron introducidos al software SPSS para realizar un análisis de comparación de medias independientes entre ambos escenarios.

IX. Análisis de los resultados.

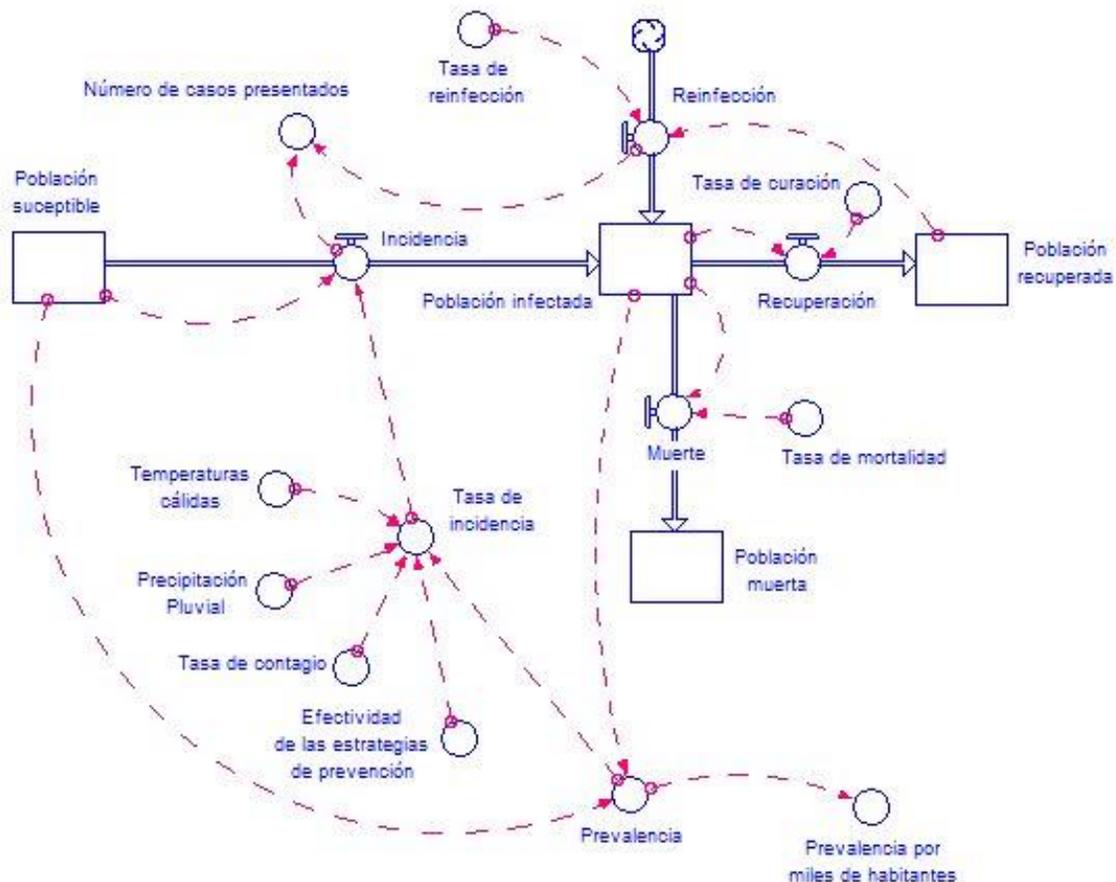
Una vez que seleccioné el instrumento de recolección de datos, identifiqué las variables, recolecté los datos, y elaboré el modelo, proseguí con la simulación del mismo. El modelo inició con datos de los últimos cinco años, los cuales fueron:

- Población susceptible: 122.414 personas.
- Población infectada: 570 personas.
- Población fallecida: 32 personas.

El diagrama causal se presenta a continuación, así como el modelo de Forrester:



Fuente: Diagrama Causal basado en el propuesto por Muñoz (2014) en su estudio "Desarrollo del Chikungunya en República Dominicana".



Fuente: Diagrama de Forrester basado en el propuesto por Muñoz (2014) en su estudio "Desarrollo del Chikungunya en República Dominicana".

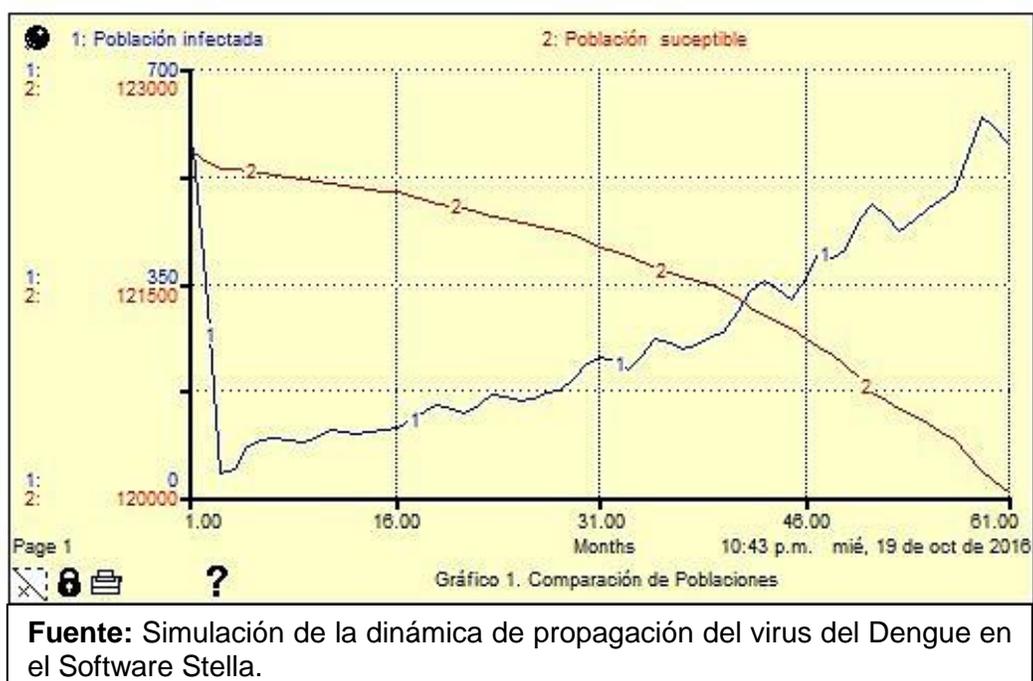
Una vez que ingresé el valor de cada variable, y simulé el modelo durante 60 meses (5 años), obteniendo los siguientes resultados.

En la tabla 1 podemos observar el aumento de la población infectada y la reducción de la población susceptible. Al finalizar la simulación, la población susceptible se redujo de 122.414 personas a 120.019 personas; asimismo, la población infectada inicial era de 570 personas y terminó con 579 personas, debido a los flujos de salida de personas fallecidas y personas recuperadas, dentro de lo mismo se observa que la mayor alza de personas infectadas se da en octubre del 5to año con 620 personas.

Mes	Población susceptible	Población infectada	Mes	Población susceptible	Población infectada	Mes	Población susceptible	Población infectada	Mes	Población susceptible	Población infectada
Jan: Initial	122,414	570	Apr	122,109	124	Aug	121,686	207	Dec	120,906	405
Jan	122,343	313	May	122,083	140	Sep	121,645	229	Jan	120,823	454
Feb	122,304	34	Jun	122,054	147	Oct	121,600	257	Feb	120,729	479
Mar	122,299	42	July	122,036	141	Nov	121,568	251	Mar	120,669	459
Apr	122,291	79	Aug	122,018	133	Dec	121,537	240	Apr	120,611	434
May	122,274	91	Sep	121,992	147	Jan	121,507	248	May	120,557	450
Jun	122,256	95	Oct	121,963	165	Feb	121,476	259	Jun	120,501	470
July	122,244	91	Nov	121,943	162	Mar	121,443	269	July	120,442	487
Aug	122,233	86	Dec	121,922	155	Apr	121,388	300	Aug	120,381	504
Sep	122,216	95	Jan	121,903	160	May	121,326	337	Sep	120,282	557
Oct	122,197	107	Feb	121,883	167	Jun	121,256	354	Oct	120,173	620
Nov	122,184	104	Mar	121,862	173	July	121,212	329	Nov	120,095	605
Dec	122,171	100	Apr	121,826	193	Aug	121,170	321	Dec	120,019	579
Jan	122,158	103	May	121,786	217	Sep	121,106	355			
Feb	122,145	108	Jun	121,742	228	Oct	121,037	399			
Mar	122,132	111	July	121,713	219	Nov	120,987	390			

Fuente: Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue en el municipio de Estelí, 2016

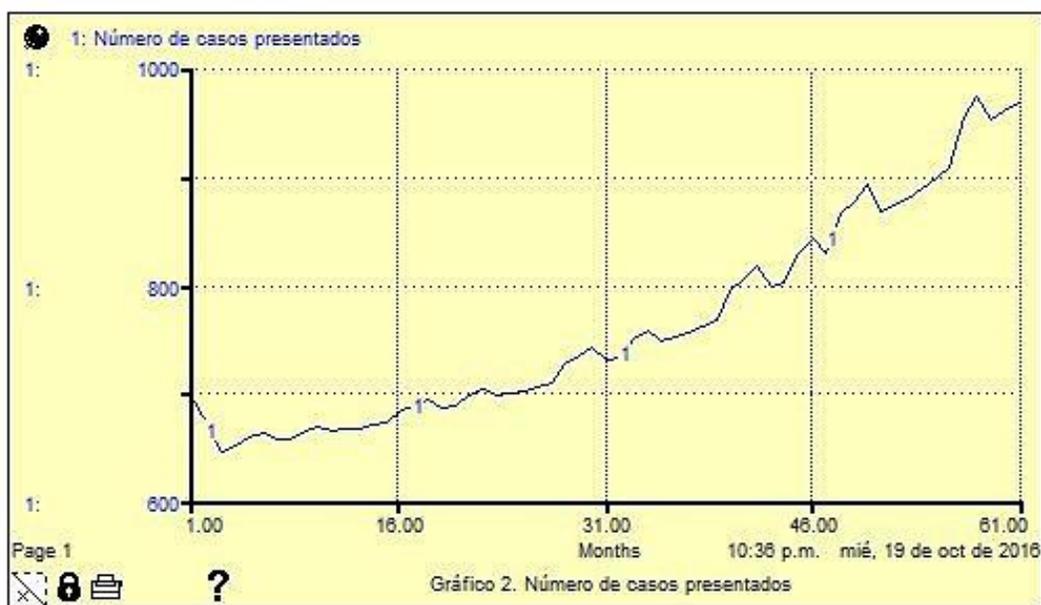
De igual manera, con la dinámica de propagación de la población infectada del gráfico 1, observamos que en el primer mes se da una caída sustancial debido a que la tasa de curación es mayor a la de incidencia (ésta se conforma de las variables temperatura y precipitación pluvial, entre otras, las cuales no inciden en la población infectada hasta el mes cuatro y nueve correspondientemente); esto quiere decir que, la población de recuperados es mayor a los nuevos casos presentados en los primeros meses. También, porque un individuo sólo pertenece a la población infectada por dos semanas.



Por otro lado, en la tabla 2 observamos el número de casos presentados al concluir la simulación. En los últimos cinco años se acumulan 570 casos de personas infectadas, al finalizar cinco años se pronostica un total de 961 casos. Igualmente, en el gráfico 2 observamos la dinámica de propagación de esta variable.

Mes	Número de casos
Diciembre año 0	570
Diciembre año 1	665
Diciembre año 2	699
Diciembre año 3	752
Diciembre año 4	866
Diciembre año 5	961

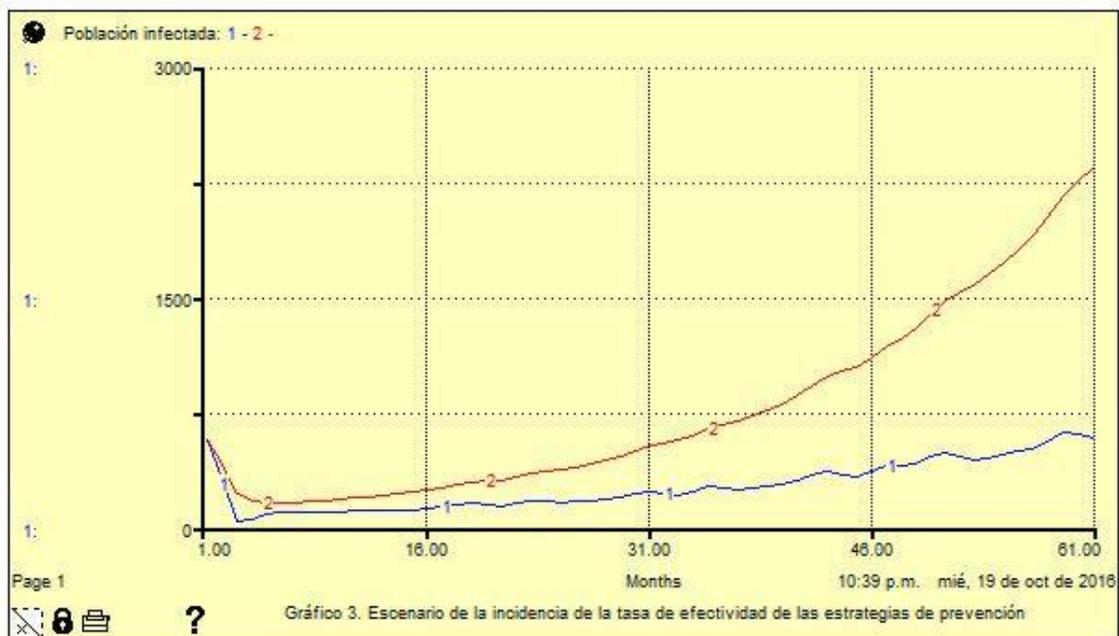
Fuente: Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue en el municipio de Estelí, 2016



Fuente: Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue en el Software Stella.

Asimismo, al finalizar la simulación desarrollé un conjunto de escenarios que determinan la influencia en la población infectada de las siguientes variables: tasa de efectividad de las estrategias de prevención, temperaturas cálidas y precipitación pluvial.

En los dos primeros escenarios medí la incidencia de la tasa de efectividad de las estrategias de prevención (ep). El gráfico 3 muestra la dinámica de lo mencionado anteriormente, donde la línea uno representa la población infectada aplicando esta variable, y la línea dos en la cual no se aplica. Se puede observar una caída de la población infectada dentro de los primeros meses, debido a que la ocurrencia de nuevos casos de infección es menor al número de personas recuperadas.



Fuente: Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue en el Software Stella.

Posteriormente, introduje un total de 60 datos para ambos escenarios (observar tabla 3) en el Software SPSS para determinar si existe diferencia de las medias de las poblaciones (con estrategias de prevención y sin estrategias de prevención) a través de un análisis de comparación de medias independientes.

Tabla 3. Grupos Estadísticos ep.^a

status.ep		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
p.inf.ep	Sin	60	765.4000	624.54391	80.62827
	Con	60	258.1333	157.04717	20.27470

a. Fuente: Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue en el municipio de Estelí, 2016.

Con dicha prueba (observar tabla 4), se determina que las medias no son iguales (al tener nivel de significancia cercana a cero, menor al 5%, se rechaza el hecho de que son iguales), es decir, existe una influencia o compatibilidad entre la variable estrategias de prevención y la población infectada (nivel de significancia bilateral de cercano a cero, menor al 5%).

Tabla 4. Prueba de muestras independientes ep.

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
p.inf.ep	Equal variances assumed	68.472	.000	6.101	118	.000	507.26667	83.13833	342.63014	671.90319
	Equal variances not assumed			6.101	66.432	.000	507.26667	83.13833	341.29576	673.23757

b. Fuente: Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue en el municipio de Estelí, 2016.

Los siguientes dos escenarios los realicé con la variable temperatura (vt), con el gráfico 4, observamos la dinámica de propagación del virus, encontrando una caída sustancial de la población infectada dentro de los primeros meses, debido a que la tasa de curación es mayor a la de incidencia, provocando que las personas recuperadas sean más que los nuevos casos de infección.



Luego, introduce un total de 60 datos para ambos escenarios (observar tabla 5) en el Software SPSS para determinar si existe diferencia de las medias de las poblaciones (con temperatura y sin temperatura) a través de un análisis de comparación de medias independientes.

Tabla 5. Grupos estadísticos vt.

	status.temp	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
p.inf.temp	Sin	60	226.1000 ^a	134.25194	17.33185
	Con	60	258.1333	157.04717	20.27470

a. Fuente: Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue en el municipio de Estelí, 2016.

Con dicha prueba (observar tabla 6), se determina que las medias son iguales (al tener nivel de significancia 0.154, mayor al 5%, no se rechaza el hecho de que son iguales), en otras palabras, no hay influencia o compatibilidad entre la variable temperatura y la población infectada (nivel de significancia bilateral de 0.232, mayor al 5%).

Tabla 6. Prueba de muestras independientes vt.^a

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
p.inf.temp	Equal variances assumed	2.059	.154	-1.201	118	.232	-32.03333	26.67314	-84.85342	20.78675
	Equal variances not assumed			-1.201	115.212	.232	-32.03333	26.67314	-84.86666	20.80000

a. Fuente: Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue en el municipio de Estelí, 2016.

Los últimos escenarios los hice con la variable precipitación (vp), en el gráfico 5 determinamos la dinámica de propagación del virus, y observamos que la población infectada decae drásticamente en los primeros meses. Esto ocurre debido a que las personas infectadas sólo forman parte de la población por medio mes; asimismo, porque la tasa de curación es mayor a la de incidencia.



Fuente: Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue en el Software Stella.

Posterior, introduje un total de 60 datos para ambos escenarios (observar tabla 7) en el Software SPSS para determinar si existe diferencia de las medias de las poblaciones (con precipitación y sin precipitación) a través de un análisis de comparación de medias independientes.

Tabla 7. Grupos estadísticos vp.^a

status.precip		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
p.inf.precip	Sin	60	237.9667	138.57385	17.88981
	Con	60	258.1333	157.04717	20.27470

a. Fuente: Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue en el municipio de Estelí, 2016.

Con dicha prueba (observar tabla 8), se determina que las medias son iguales (al tener un nivel de significancia de 0.337, mayor al 5%, no se rechaza el hecho de que son iguales), es decir, no existe influencia o compatibilidad de la variable precipitación y la población infectada (nivel de significancia bilateral de 0.457, mayor al 5%).

Tabla 8. Prueba de muestras independientes vp.

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
p.inf.precip	Equal variances assumed	.928	.337	-.746	118	.457	-20.16667	27.03902	-73.71129	33.37796
	Equal variances not assumed			-.746	116,20	.457	-20.16667	27.03902	-73.71989	33.38656

b. Fuente: Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue en el municipio de Estelí, 2016.

Por otro lado, analicé la población fallecida al término de la simulación (observar tabla 9 y gráfico 7). Ésta comenzó con 32 personas fallecidas y concluyó con 94 personas, es decir, en el transcurso de los cinco años se presentaron 62 casos más.

Tabla 9 Cantidad de población muerta al final de la simulación Septiembre, 2016							
Mes	Pooblación muerta	Mes	Pooblación muerta	Mes	Pooblación muerta	Mes	Pooblación muerta
Jan: Initial	32	Apr	41	Aug	51	Dec	70
Jan	34	May	41	Sep	52	Jan	72
Feb	36	Jun	42	Oct	53	Feb	74
Mar	36	July	42	Nov	54	Mar	76
Apr	36	Aug	43	Dec	55	Apr	77
May	36	Sep	43	Jan	56	May	79
Jun	37	Oct	44	Feb	57	Jun	81
July	37	Nov	44	Mar	58	July	83
Aug	37	Dec	45	Apr	59	Aug	85
Sep	38	Jan	46	May	60	Sep	87
Oct	38	Feb	46	Jun	62	Oct	89
Nov	38	Mar	47	July	63	Nov	91
Dec	39	Apr	48	Aug	64	Dec	94
Jan	39	May	49	Sep	66		
Feb	40	Jun	49	Oct	67		
Mar	40	July	50	Nov	69		

Fuente: Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue en el municipio de Estelí, 2016



Fuente: Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue en el Software Stella.

Por último, determiné la prevalencia del virus del Dengue por cada 1.000 habitantes (observar tabla 10); al concluir la simulación, obtuve como resultado que se presentan 5 casos del virus por cada 1.000 habitantes. En el gráfico 8 observamos la dinámica de la prevalencia del virus; también, se denota una caída sustancial en los primeros meses, debido que la población infectada se reduce como consecuencia de la baja ocurrencia de nuevos casos en comparación a la alta recuperación de los individuos infectados.

Mes	Prevalencia
Diciembre año 0	5
Diciembre año 1	1
Diciembre año 2	1
Diciembre año 3	2
Diciembre año 4	3
Diciembre año 5	5

Fuente: Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue en el municipio de Estelí, 2016



Fuente: Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue en el Software Stella.

X. Pruebas de hipótesis.

Después de haber realizado los respectivos análisis de resultados fue posible generar las siguientes pruebas de hipótesis:

1. H_0 : No hay diferencia entre la población infectada y la población susceptible.

H_1 : La población infectada será mayor a la población susceptible, provocando una epidemia.

H_1 : La población infectada será menor a la población susceptible, es decir, no se provoca una epidemia.

A partir del análisis de los datos, se rechaza la hipótesis nula, dado que se observa que la población infectada es menor a la población susceptible, es decir, no se provoca una epidemia.

2. H_0 : La población infectada influenciada por la variable estrategias de prevención es igual a la población infectada sin la afectación de la variable estrategias de prevención.

H_1 : La población infectada influencia por la variable estrategias de prevención es diferente a la población infectada sin la afectación de la variable estrategias de prevención.

Según los datos obtenidos, se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, la evidencia sugiere que podría haber afectación por parte de la implementación de las estrategias de prevención en el crecimiento de la población infectada. Esto se determina a través de la prueba estadística de t de student, al tener un nivel de significancia bilateral cercana a cero.

3. H_0 : La población infectada influenciada por la variable temperatura es igual a la población infectada sin la afectación de la variable temperatura.

H_1 : La población infectada influenciada por la variable temperatura es diferente a la población infectada sin la afectación de la variable temperatura.

A partir del análisis de los datos, no se rechaza la hipótesis nula. Esto quiere decir que, la temperatura no es un factor que influye en la población infectada. Esto es determinado por el nivel de significancia bilateral de 0.232, obtenida de la prueba estadística de t de student.

4. H_0 : La población infectada influenciada por la variable precipitación es igual a la población infectada sin la afectación de la variable precipitación.

H_1 : La población infectada influenciada por la variable precipitación es diferente a la población infectada sin la afectación variable precipitación.

Según los datos obtenidos, no se rechaza la hipótesis nula, por lo que se afirma que la precipitación no es un factor que influye en la población infectada. Esto se determina a través de la prueba estadística de t de student, la cual determina un nivel de significancia bilateral de 0.457.

XI. Conclusiones.

Al finalizar la simulación y analizar los resultados, llegué a diversas conclusiones. Entre ellas que, la población susceptible se reduce de 122.414 personas a 120.019, esto como resultado del flujo de salida de la variable incidencia. De igual forma, con la simulación determiné que en los próximos cinco años no se presenta alguna epidemia, es decir, que la población infectada en ningún momento supera a la población susceptible.

Por otro lado, con la simulación concluí que el número de casos presentados dentro de cinco años aumenta en 391 personas infectadas, para un total de 961 casos. De igual manera, la población fallecida aumenta en 62 casos, para un total de 94 personas. Dentro del modelo de simulación también calculé la prevalencia de casos de virus del Dengue para los cinco años siguientes, al termina dicho período, la prevalencia se establece en 5 personas infectadas por cada 1.000 habitantes.

Además, al realizar los escenarios correspondientes para determinar la incidencia de las variables: tasa de efectividad de las estrategias de prevención, temporada de temperaturas cálidas y de mayor precipitación pluvial, concluí que las estrategias de prevención son un factor determinante en la reducción de casos de Dengue, dado que la compatibilidad de ambas variables tiene un nivel de significancia bilateral cercana a cero. Lo anteriormente mencionado, refuerza lo establecido por Brailsford, Berchi, De Aneglis y Mecoli (2017), y López, Muñoz-Loaiza, Olivar-Tost y Betancourt-Betancourt (2012).

Mientras que, la temporada de temperaturas cálidas no es un factor que influye en la presentación de casos (compatibilidad de nivel de significancia bilateral de 0.232); contradiciendo lo señalado por Prompou, Jaroensutasinee y Jaroensutasinee (2005), Gallego y Villamizaar (2009), e Ibrahim, Mat Zin y Ashaari (2011). Por último, también concluí que las temporadas de mayor precipitación pluvial no son factores que influyen en la presentación de casos (compatibilidad de nivel de significancia bilateral de 0.457). Esto contradice lo establecido por Meza-Ballesta y Gónima (2013).

XII. Recomendaciones.

Con la presente investigación, hago las siguientes recomendaciones:

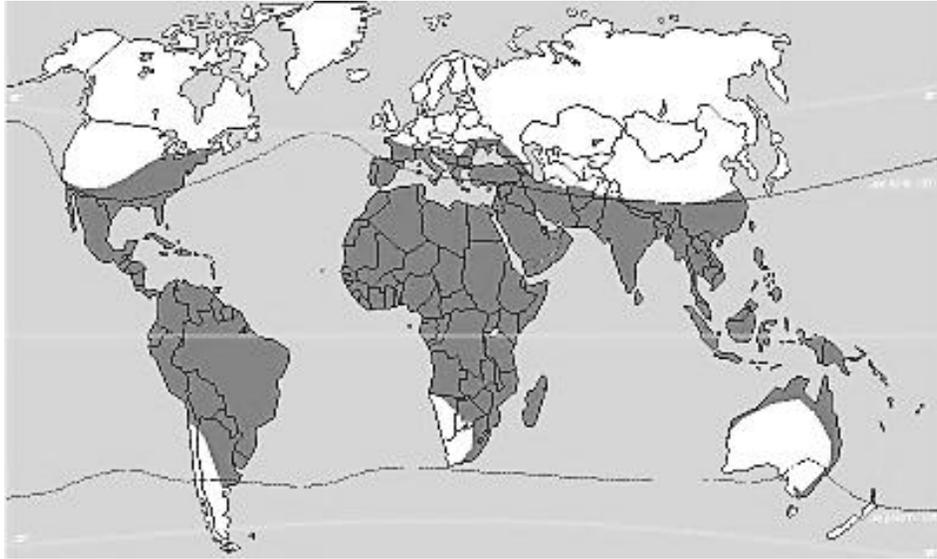
Primero, prever el aumento drástico de casos, según presenta la simulación, con la implementación previa de las estrategias; actualmente, las estrategias de prevención se aplican hasta que el aumento de casos se presenta, por lo que la sugerencia radica en la implementación previa a dicho aumento.

Asimismo, se recomienda realizar campañas que promuevan la implementación de las estrategias de prevención en los diferentes ambientes en que se desarrolla la población como lo son colegios, universidades y áreas de trabajo. Por otro lado, se recomienda identificar las áreas donde, históricamente, se han presentado la mayor cantidad de casos e implementar medidas específicas en dichas áreas para prever futuros casos.

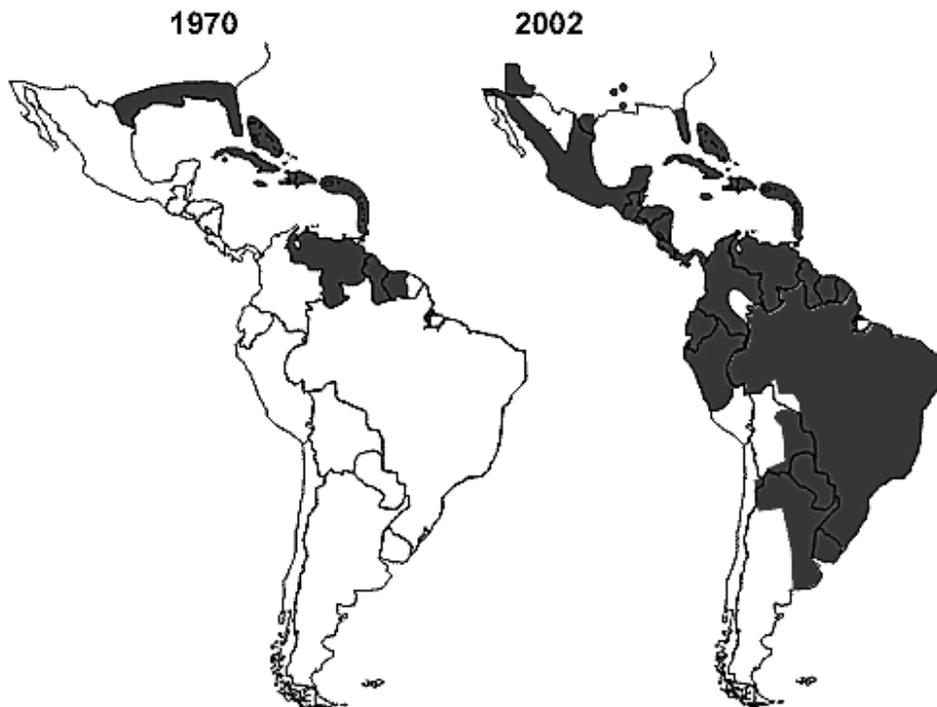
Por último, también se recomienda capacitar al personal en la correcta identificación de casos del Dengue, así como atender efectivamente cada caso presentado para con ello, evitar alcanzar el número de muertes pronosticadas por el modelo.

XIII. Anexos

i. Mapa con la distribución de *Aedes aegypti*.



ii. Mapa con la distribución de *Aedes aegypti* en el continente americano.



iii. Síntomas y tratamiento del Dengue.

Dengue Clásico

Síntomas

Dengue Hemorrágico

Fuertes dolores de cabeza

Fiebre alta

Dolor detrás de los ojos

Falta de apetito

Erupción cutánea (Manchas rojas)

Nauseas y vómitos

Dolor en músculos y articulaciones

Dificultad en respiración

Dolor de cabeza

Hemorragias nasales

Vómitos intensos

Sangrado en encías

Fuertes dolores abdominales

Tratamiento

A partir de los primeros síntomas, pedir atención médica de inmediato

Tratar los síntomas antes de que el ciclo concluya

Beber mucha agua

Reposar

No automedicarse

iv. Instrumento de Recolección de Datos.

Ficha de recolección de datos.	
Silais de Estelí	
Fecha: _____ / _____ / _____	
La presente ficha recolecta los datos necesarios para realizar el estudio: “Modelo de Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue, y la efectividad de las estrategias de prevención en Nicaragua.”	
Número de casos presentados en los últimos cinco años.	
Fecha de la primera infección de hace cinco años.	
Número de personas recuperadas en los últimos cinco años.	
Tasa de contagio.	
Número de personas recuperadas que se han vuelto a enfermar en los últimos cinco años.	
Número de fallecidos en los últimos cinco años.	
Duración promedio de signos clínicos.	
Tasa de efectividad de las estrategias de prevención.	

Ficha de recolección de datos.	
INETER	
Fecha: _____ / _____ / _____	
La presente ficha recolecta los datos necesarios para realizar el estudio: “Modelo de Simulación de la dinámica de propagación del virus del Dengue, y la efectividad de las estrategias de prevención en Nicaragua.”	
Temperatura promedio	
Precipitación pluvial	

v. Ecuaciones del modelo.

- Población_infectada(t) = Población_infectada(t - dt) + (Incidencia + Reinfeción - Recuperación - Muerte) * dt
 INIT Población_infectada = 570
 INFLOWS:
 - ↳ Incidencia = Población__suceptible*Tasa_de__incidencia
 - ↳ Reinfeción = Población__recuperada*Tasa_de__reinfeción
 OUTFLOWS:
 - ↳ Recuperación = DELAY1(Población_infectada*Tasa_de_curación,0.5)
 - ↳ Muerte = Población_infectada*Tasa_de_mortalidad
- Población__muerta(t) = Población__muerta(t - dt) + (Muerte) * dt
 INIT Población__muerta = 32
 INFLOWS:
 - ↳ Muerte = Población_infectada*Tasa_de_mortalidad
- Población__recuperada(t) = Población__recuperada(t - dt) + (Recuperación) * dt
 INIT Población__recuperada = 522
 INFLOWS:
 - ↳ Recuperación = DELAY1(Población_infectada*Tasa_de_curación,0.5)
- Población__suceptible(t) = Población__suceptible(t - dt) + (- Incidencia) * dt
 INIT Población__suceptible = 122414
 OUTFLOWS:
 - ↳ Incidencia = Población__suceptible*Tasa_de__incidencia
- Efectividad__de_las_estrategias__de_prevenición = 0.35
- Número_de_casos_presentados = 603+(Incidencia+Reinfeción)
- Precipitación__Pluvial = 0.34
- Prevalencia = Población_infectada/Población__suceptible
- Prevalencia_por_miles_de_habitantes = Prevalencia*1000
- Tasa_de_contagio = 0.60
- Tasa_de_curación = 0.60
- Tasa_de_mortalidad = 0.004
- Tasa_de__incidencia = IF (TIME=4 OR TIME=5 OR TIME=6 OR TIME=16 OR TIME=17 OR TIME=18 OR TIME=28 OR TIME=29 OR TIME=30 OR TIME=40 OR TIME=41 OR TIME=42 OR TIME=48 OR TIME=49 OR TIME=50) THEN
 (Prevalencia*((Tasa_de_contagio+Temperaturas_cálidas-Efectividad__de_las_estrategias__de_prevenición)/3)) ELSE (IF (TIME=9 OR TIME=10 OR TIME=21 OR TIME=22 OR TIME=33 OR TIME=34 OR TIME=45 OR TIME=46 OR TIME=57 OR TIME=58) THEN
 (Prevalencia*((Precipitación__Pluvial+Tasa_de_contagio-Efectividad__de_las_estrategias__de_prevenición)/3)) ELSE
 (Prevalencia*((Tasa_de_contagio-Efectividad__de_las_estrategias__de_prevenición)/2)))
- Tasa_de__reinfeción = 0.03
- Temperaturas_cálidas = 0.37

XIV. Bibliografía.

1. Barilford, S., Berchi, R., De Aneglis, V., & Mecoli, M. (2007). *System Dynamics models to assess the risk of mosquito-borne diseases and to evaluate control policies*. Roma, Italia: Universidad La Sapienza.
2. Camargo, G. (2012). *Modelamiento de la dinámica del dengue en Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
3. *Centros para el Control y la Prevención de enfermedades*. (08 de 07 de 2015). Obtenido de <http://www.cdc.gov/spanish/enfermedades/dengue/hojados.htm>
4. Cooper, B., Pitman, R., Edmunds, J., & Gay, N. (2006). *Delaying the International Spread of Pandemic Influenza*. London: London School of Hygiene and Tropical Medicine.
5. Derouich, M., Boutayeb, A., & Twizell, E. (2003). *A model of dengue fever*. BioMedical Engineering OnLine.
6. Esselman, P. C. (2009). *Desarrollo de un Modelo de Predicción de Riesgo de Fiebre del Dengue en León, Nicaragua*. León.
7. Fabbri, A. P. (05 de 11 de 2013). *La Prensa*. Obtenido de <http://www.laprensa.com.ni/2013/11/05/opinion/168830-dengue-historia-presente-y-futuro>
8. Gallego, D., & Villamizaar, S. (2009). *Situación del Dengue Clásico en el municipio de Falan Tolima, entre la semana epidemiológicas 1 a la 52 de 2007 hasta las semanas 1 a la 27 de 2008*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
9. García, J., & Boshell, J. (2004). *Modelos de Simulación y predicción del comportamiento del dengue en cuatro ciudades de Colombia, incluyendo el clima como variable moduladora de la enfermedad*. Bogotá: Meteorología Colombiana.
10. *GeoSalud*. (s.f.). Obtenido de http://www.geosalud.com/enfermedades_infecciosas/dengue/dengue_centroamerica.htm#nic
11. Halder, N. (2012). *Quantifying the effectiveness and cost-effectiveness of pandemic mitigation strategies using an individual-based simulation model*. Australia: Universidad del Oeste de Australia.
12. Ibrahim, A., Mat Zin, N. A., & Ashaari, N. (2011). *Simulation Model for Predicting Dengue Fever Outbreak*. Malaysia: World Academy of Science, Engineering and Tecnology.
13. *Infecto. Sitio para la formación médica*. (s.f.). Obtenido de <http://www.infecto.edu.uy/espanol/revisiontemas/tema10/den6290.htm#anchor363681>
14. Kermack, W., & McKendrick, A. (1927). *A contribution to the Mathematical Theory of Epidemics*. London.

15. Kucharski, A., Funk, S., Eggo, R., Pierre, H., Edmunds, W. J., & Nilles, E. (2016). *Transmission dynamics of Zika virus in island populations: a modelling analysis of the 2013-14 French Polynesia outbreak*. Polinesia Francesa: Journal bioRxiv.
16. López, L., Muñoz-Loaiza, A., Oliver-Tost, G., & Betancourt-Betancourt, J. (2012). *Modelo matemático para el control de la transmisión del Dengue*. Colombia: Revista Salud Pública.
17. *Mejor con Salud*. (s.f.). Obtenido de <http://mejorconsalud.com/como-podemos-prevenir-el-dengue/>
18. Meza-Ballesta, A., & Gónima, L. (2013). *Influencia del clima y de la cobertura vegetal en la ocurrencia del Dengue*. Colombia: Revista Salud Pública.
19. Muñoz, J. (2014). *Desarrollo del Chikungunya en República Dominicana*. República Dominicana.
20. Oliveros, G. (2009). *Simulación y estimación de parámetros de modelos de enfermedades infecciosas*. Colombia: Universidad Industrial de Santander.
21. Organization, W. H. (2014). *Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s*. World Health Organization.
22. *Organización Mundial de la Salud*. (08 de 2016). Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/es/>
23. Pino, N. (2013). *Modelo matemático de la dinámica de transmisión sexual del VIH/SIDA en una población heterosexual activa en el Perú*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
24. Prompou, S., Jaroensutasinee, M., & Jaroensutasinee, K. (2005). *Climatic Factors Affecting Dengue Haemorrhagic Fever Incidence in Southern Thailand*. Tailandia: Institute of Science, Walailak University.
25. Raigosa, S., Aldana, E., & Muñoz, A. (2015). *A Simulation Model for the Chikungunya with Vectorial Capacity*. Quindío: Applied Mathematical Sciences.
26. *reliefweb*. (25 de 11 de 2013). Obtenido de <http://reliefweb.int/report/nicaragua/dengue-con-m-s-de-8000-casos-en-el-pa-s>
27. Santamaría, J. (2015). *Modelización y simulación del comportamiento epidemiológico de la gripe en la ciudad de Barcelona*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
28. Sattenspiel, L., & Herring, D. A. (2003). *Simulating the Effect of Quarantine on the spread of the 1918-19 Flu in Central Canada*. Canada: Bulletin of Mathematical Biology.
29. Vélez, S., Núñez, C., & Ruíz, D. (2006). *Hacia la construcción de un modelo de simulación de la transmisión del dengue en Colombia*. Medellín: Revista EIA.