



FOCALIZACIÓN DE ESCENARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE ENFERMEDADES QUE INCIDEN EN LA SOSTENIBILIDAD DE ALIMENTOS

FOCALIZATION OF STAGES FOR THE EVALUATION OF ILLNESSES THEY FALL IN THE SUSTAINABILITY OF FOODS

©C. NEILYS GONZÁLEZ BENÍTEZ*

Investigadora Titular. Experta en Políticas y Gestión de las Ciencias, Agencia de Medio Ambiente, La Habana. Cuba.

*Correo para correspondencia: neilysgonzalezbenitez@gmail.com, neilys@ama.cu

| Palabras claves: | Resumen |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sostenibilidad de alimentos inteligencia artificial análisis de escenario cambio climático enfermedades ganaderas | La focalización de escenarios despliega un proceso ordenado para crear un conjunto de narrativas posibles que, describen potenciales evoluciones de áreas clave en condiciones de incertidumbre, frecuentemente acompañados de gráficos. Contribuye a explorar rangos de futuros creíbles y posibles. El contenido del escenario está basado en variables seleccionadas y su interacción, y el escenario se define en términos de estos factores claves o descriptores. En ese sentido el objetivo que se persigue es desarrollar una propuesta para aplicar el análisis de escenario en el estudio de las enfermedades ganaderas de mayor prevalencia que inciden en la sostenibilidad de alimentos en Cuba frente al cambio climático. Los factores claves empleados son cantidad de animales susceptibles a enfermedades que prevalecen frente a altos niveles de humedad relativa promedio, alta temperatura media del día, como variables climáticas y cantidad total de animales enfermos al final del periodo de evolución de la enfermedad. Para cada escenario se construyen 3 funciones destinadas a mostrar un comportamiento posible de la enfermedad en estudio. El proceso para la construcción de las funciones se basa en técnicas de inteligencia artificial, tales como los conjuntos borrosos y las metaheurísticas. Los escenarios construidos muestran concordancia con otros modelos matemáticos y computacionales desarrollados para el caso nacional, lo cual es importante pues en una modelación en condiciones de incertidumbre, como es esta, la coincidencia de modelos basados en enfoques diferentes es positiva y puede dar más seguridad para apoyar la toma de decisiones. |
| Keywords: | Abstract |
| Food Sustainability artificial intelligence scenario analysis climate change livestock diseases | Scenario targeting deploys an orderly process to create a set of possible narratives that describe potential developments in key areas under conditions of uncertainty, often accompanied by graphics. It helps to explore ranges of credible and possible futures. The content of the scenario is based on selected variables and their interaction, and the scenario is defined in terms of these key factors or descriptors. In this sense, the objective pursued is to develop a proposal to apply scenario analysis in the study of the most prevalent livestock diseases that affect the sustainability of food in Cuba in the face of climate change. The key factors used are the number of animals susceptible to diseases that prevail against high levels of average relative humidity, high average temperature of the day, as climatic variables and the total number of sick animals at the end of the disease evolution period. For each scenario, 3 functions are built to show a possible behavior of the disease under study. The process for building the functions is based on artificial intelligence techniques, such as fuzzy sets and metaheuristics. The constructed scenarios show agreement with other mathematical and computational models developed for the national case, which is important because in a modeling under uncertainty conditions, such as this one, the coincidence of models based on focus different is positive and can give more security to lean it takes of decisions. |

Recibido: 29 de marzo de 2023

Aceptado: 10 de abril de 2023

Conflicto de Intereses: El autor declara que no existe ningún conflicto de intereses

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Introducción

La focalización de escenarios frente al cambio climático es una tarea que, unido al desarrollo tecnológico, la globalización y la crisis acaecida post confinamiento y paralización económica, causada por la Covid-19, debe ser tratada para que los decisores actúen en consecuencia a la problemática de la sostenibilidad de alimentos. En ese sentido, cuidar y conservar la salud es la tarea imperativa de los tiempos que corren.

Cuando se habla de salud, es imprescindible hacer referencia a una sola salud, porque todas las personas relacionadas con animales deben ser conscientes de su responsabilidad en el contexto general de la salud animal, la seguridad alimentaria y la salud humana, que forman el concepto de «Un solo mundo, una sola salud». La concienciación ante el cambio climático es un aspecto que hay que considerar prioritario al clasificar los riesgos de sanidad animal pertinentes para una intervención en aras de contribuir a la sostenibilidad de alimentos.

Al hacer énfasis en lo relativo al cambio climático, en cualquier actividad, se está referenciando, también, al conjunto de cambios ambientales afectados por la actividad humana, con especial reseña a los cambios en los procesos que determinan el funcionamiento del sistema Tierra; o sea, aquellas actividades que, aunque ejercidas localmente, tienen efectos que trascienden el ámbito local o regional para afectar el funcionamiento global de la Tierra (Duarte, 2006). Al respecto, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007), define el Cambio Climático como: “toda modificación del clima habitual, atribuido o no a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial, y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante largos periodos de tiempo”.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, hace referencia al término para referirse solo al cambio por actividades humanas. Esto se debe a que existen impactos globales importantes, debidos al Calentamiento Global, en general, se señalan cambios en las concentraciones de CO₂, valores de las temperaturas del aire y del suelo, así como variaciones en las precipitaciones estacionales, que tendrán efectos devastadores en la agricultura, pesca, recursos hidrológicos, turismo, transporte y sanidad (IPCC, 2007).

Por su parte, la nueva contribución del Grupo de Trabajo II (GT-II) del IPCC (febrero 2022) revela que el cambio climático inducido por el hombre está causando amplios y peligrosos desequilibrios en la naturaleza, lo que a su vez afecta a miles de millones de personas, a pesar de los esfuerzos por reducir los riesgos. Con un calentamiento global de 1.5°C el mundo enfrentaría múltiples e inevitables amenazas climáticas en las próximas dos décadas, y si se excede ese nivel de calentamiento global, aunque sea

temporalmente, se producirían impactos severos adicionales, algunos de los cuales serían irreversibles.

Los eventos climáticos y meteorológicos extremos están ocurriendo simultáneamente, causando impactos en cascada que resultan cada vez más difícil de manejar; y exponen a millones de personas a una situación de inseguridad aguda en cuanto a disponibilidad de alimentos y agua, sobre todo en África, Asia, América Central y Sudamérica, las pequeñas islas y en la zona del Ártico. El ritmo acelerado de Cambio Climático (CC), junto con el aumento de la población y del poder adquisitivo a nivel mundial, amenaza la seguridad alimentaria en todas partes (Nelson et al., 2009).

Por lo que el CC puede repercutir en el bienestar humano de varias maneras, en particular, surtiendo efectos en la producción de alimentos y la seguridad alimentaria, por ejemplo debido a la escasez de agua, la degradación de las tierras y la desertificación; en la salud y la incidencia de diversas enfermedades transmitidas por vectores; en la frecuencia y la intensidad de los eventos meteorológicos extremos, como las inundaciones, las sequías y las tormentas tropicales, y en el aumento del nivel del mar.

Específicamente, las sequías y las tormentas tropicales, y el aumento del nivel del mar, tienen consecuencias particularmente graves para los asentamientos humanos y el desplazamiento involuntario de la población (IPCC, 2007) y sus animales. El ritmo acelerado de Cambio Climático (CC), junto con el aumento de la población y del poder adquisitivo a nivel mundial, amenaza la seguridad alimentaria en todas partes (Nelson et al., 2009).

En general, el cambio climático no hace surgir muchas amenazas sanitarias nuevas o desconocidas, sino que va a aumentar algunas interacciones entre el medio ambiente y la salud humana con efectos más fuertes y pronunciados que los observados hasta ahora. La mayoría de las medidas y los sistemas de salud pública ya existen, aunque han de adaptarse a la nueva situación y sus necesidades.

Para llevar a cabo la evaluación de enfermedades que inciden en la sostenibilidad de alimentos, frente a las condiciones de cambio climático presentes en el planeta, se ha de realizar una focalización de escenarios, donde se debe tener en cuenta los plazos de adaptación, en este sentido, el corto, mediano y largo plazo, definido por en la gestión integrada de riesgos de desastres y la adaptación al cambio climático, enunciada por el PNUD, la Defensa Civil en Cuba, el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

Los plazos de la adaptación, referidos, se han acotado a que; un corto plazo se corresponde con un periodo de 5 - 10 años, un mediano plazo a un periodo de 10 - 30 años y un largo plazo hasta 100 años. Es así que aparece una incertidumbre que requiere ser tratada para apoyar la toma de decisiones.

La incertidumbre antes señalada, es posible tratarla con técnicas de Inteligencia Artificial. Dichas técnicas, son aplicaciones de métodos matemáticos y computacionales útiles para evaluar las enfermedades que inciden en la sostenibilidad de alimentos, frente al cambio climático. El uso de las Técnicas de Inteligencia Artificial para la focalización de escenarios es un área de investigación bien trabajada desde diferentes aspectos. Los métodos estadísticos y la modelación fisicomatemática han sido de los más empleados con este propósito (Viboud, Simonsen, Chowell, 2016); (Chowell, 2017); (Chowell, Luo, Sun, Roosa, Tariq, Viboud, 2019); (Tian-Mu, et al., 2020).

Estudios recientes, relacionados con el uso de Técnicas de Inteligencia Artificial (IA), especialmente las orientadas al descubrimiento de conocimiento (aprendizaje automático), tienen una atención especial para este propósito (Zixin, Qiyang, Shudi, Lin, Momiao, 2020b). No obstante, se destaca que, el uso de técnicas de la IA, también, ha sido empleada con otros propósitos, ejemplo de su uso ha sido en estudios de focalización de epidemias, donde se ha puesto en evidencia la extracción de conocimiento para los procesos de diagnóstico (Hayden, Metsky, et al., 2020).

Las técnicas de IA, para la focalización de escenario han mostrado otro enfoque útil (Malik Magdon, 2003). También, en ese contexto, Guoping et al, (2020) plantean que, dado que los parámetros en diferentes periodos cambian continuamente, lo cual dificulta las predicciones, es útil analizar diferentes escenarios. En ese contexto, Wu, Leung, Leung (2020) muestran diferentes gráficos para el comportamiento la presencia de enfermedades según diferentes escenarios de reducción de la movilidad entre ciudades, y Chowell (2017) presenta otro caso, relacionado con el pronóstico en tiempo real de las trayectorias epidémicas usando los conjuntos dinámicos computacionales.

Los elementos antes relacionados destacan que, aunque se han desarrollado varios métodos para la predicción de las variables principales asociadas a los diagnósticos y pronósticos de enfermedades, todavía los valores inferidos tienen un grado de incertidumbre, lo cual sugiere desarrollar otros enfoques que sirvan para realizar focalizaciones de escenarios para la evaluación de enfermedades que inciden en la sostenibilidad de alimentos, teniendo en cuenta aspectos relacionado que constituyan variables predictivas y auxiliares para tales estudios.

Basado en lo antes referido, y para realizar focalizaciones de escenario, se ha de tener en cuenta que los escenarios son narrativas de situaciones, frecuentemente acompañada de gráficos y cuantificación limitada (Alistair, 2007); (Sorousha y Parisa, 2009). El análisis de escenario ayuda a explorar un rango de futuros creíbles y posibles, sigue un proceso sistemático para crear un conjunto de 2 a 5

narrativas creíbles, que describen evoluciones posibles de áreas claves, pero también puede ser de interés que sean en alguna medida sorprendentes o extremos.

Los escenarios son imágenes sobre posibles futuros que se construyen combinando valores distintos en diversas variables causales. La elaboración de escenarios no se encuentra condicionada por la disponibilidad de evidencias que respalden la relación de causalidad de las variables ni el valor de cada una de ellas. Es importante reconocer que los escenarios no son predicciones del futuro, sino que presentan un rango razonable de potenciales comportamientos (corto, mediano y largo plazo), destacan aspectos centrales y llaman la atención sobre estos.

La focalización de escenarios con técnicas de Inteligencia Artificial, son herramientas útiles para operar en ambientes que requieren pensamiento a largo plazo para la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre. El análisis de escenario se puede caracterizar con 5 criterios (Muhammad, et al., 2011):

- Se requieren al menos 2 escenarios para reflejar incertidumbre
- Cada escenario tiene que ser creíble
- Los escenarios tienen que ser internamente consistentes
- Cada escenario tiene que ser de interés para el decisor
- Los escenarios tienen que generar perspectivas nuevas y originales sobre la temática en cuestión.

Por lo que, el análisis de escenario es útil cuando se trabaja en ambientes con incertidumbre que llevan a que sean posibles varios desarrollos futuros en lugar de uno totalmente cierto. Existen dos enfoques para realizar el análisis de escenario: hacia adelante y hacia atrás.

El enfoque hacia adelante, crea proyecciones que pueden ocurrir en el futuro, mientras que, en el enfoque hacia atrás, se determinan posibles situaciones futuras y se trabaja hacia el presente para identificar las situaciones que permitirían alcanzar esa situación futura. El contenido del escenario se basa en variables seleccionadas y su interacción, llamadas factores claves (Kosow, Gaßner, 2008).

Para determinados valores de esos factores se pueden proyectar escenarios distintos, no uno solo, lo que lleva a la existencia de multiescenarios y, aunque crear numerosos escenarios puede ser más realista, esto generaría más complejidad en su interpretación. No se trata de plasmar todos los escenarios posibles -su número sería inmanejable y la técnica analítica perdería utilidad, en este sentido la finalidad no es adivinar lo que va a suceder, sino aprender de esos posibles futuros, por lo que es sugerente trabajar de 2 a 5 escenarios.

El análisis de escenario para la evaluación de enfermedades que inciden en la sostenibilidad de alimentos frente al cambio climático ofrece un enfoque

complementario al empleo de los modelos de predicción del comportamiento. Estos modelos generalmente construyen una función para predecir el comportamiento de las enfermedades, incluyendo variables como la cantidad total de animales enfermos al final del periodo de evolución de la enfermedad.

Al emplear el análisis de escenario se pueden visualizar otros comportamientos posibles del desarrollo de enfermedades de acuerdo con los factores claves, como son cantidad de animales susceptibles a enfermedades que prevalecen frente a altos niveles de humedad relativa promedio, alta temperatura media del día y otras variables climáticas.

Concretamente, para la focalización de escenarios con técnicas de Inteligencia Artificial para la evaluación de enfermedades que inciden en la sostenibilidad de alimentos, se puede partir de un modelo de predicción para construir los escenarios, estos también se pueden desarrollar a partir de valores esperados de los factores claves establecidos según el criterio de expertos o decisores, y visualizar cómo sería el comportamiento de enfermedades en esos supuestos.

En este trabajo se propone un método para la construcción de escenarios que utiliza técnicas de inteligencia artificial, entre ellos los conjuntos borrosos y la búsqueda heurística. El método se presenta para estudiar los posibles comportamientos de las enfermedades que inciden en la sostenibilidad de alimentos, en Cuba, particularmente, frente al cambio climático.

Materiales y métodos

El propósito del método que se propone es mostrar cómo podría ser el comportamiento que tendrá el diagnóstico de casos positivos de las enfermedades ganadera más prevalentes y que retrasan las producciones de alimentos, dígase, leche para el caso del bovino, carne para el caso del porcino y huevo para el caso de la avicultura, en diferentes escenarios definidos por los factores claves. Para este análisis se establecen como factores claves los siguientes:

- MaxAcum: número máximo esperado de animales susceptibles positivos a una determinada enfermedad, para cada especie que mayor prevalencia posee frente a condiciones asertivas de variabilidad climática (Altas temperaturas, alta humedad relativa, eventos extremos de sequía, eventos de periodos lluviosos) que están presentes (positivo) durante todo el periodo de evolución de la enfermedad en cuestión, es decir total de animales enfermos al cierre del foco de la enfermedad; esto se define como un intervalo.
- Días: número de días máximo en que se espera que haya diagnósticos positivos; es decir, nuevos casos.
- MCD: número máximo de casos diagnosticados en un día.

Esto significa que se quiere construir diferentes curvas posibles para el diagnóstico de positivos que satisfacen los valores dados para los factores claves para ese escenario. Por ejemplo, podrían ser las curvas de la función para el escenario en que cierta enfermedad durará 90 días, con un máximo de reportes diarios de 60 y que al final el acumulado de diagnósticos positivos estuviera entre 2100 y 2400 (Días = 120, MCD = 60, MaxAcum = [2100-2400]).

El método que se propone para el análisis de escenario construye una función f que muestre un desarrollo posible de la cantidad de casos diagnosticados positivos a partir de establecer valores para los 3 factores claves. Para un escenario dado pueden existir diferentes formas para la función f que satisfagan los valores establecidos para los factores claves; eso forma un espacio de búsqueda desde el cual se deben seleccionar la o las funciones que más se ajustan al escenario establecido.

Para construir la función f en este trabajo se propone emplear el enfoque de la teoría de los conjuntos borrosos (27,28). Un conjunto borroso se define mediante una función de pertenencia $f(x)$ que asigna un valor en el intervalo $[0,1]$ a los elementos del universo U donde se define el conjunto ($f: U \rightarrow [0,1]$). En este problema el universo U es el periodo de duración de la enfermedad que se esté analizando y la función f debe alcanzar el máximo (valor 1) cuando se tiene el número máximo de casos diagnosticados en un día, de modo que la función f debe cumplir la restricción definida por la expresión (1), es decir, que la suma total de infectados esté en el rango de acumulado previsto en el escenario:

$$\sum f(d_i) * MCD \in MaxAcum, i = 1, \dots, Días \quad (1)$$

Frente a la situación descrita, se presenta como principal problema, el conocer cuál es la expresión matemática para esa función f . Pueden existir diferentes funciones que satisfaga la restricción (Viboud, Simonsen, Chowell, 2016), por eso se debe hacer una búsqueda en el espacio de funciones posibles. Para ello se propone un método basado en las técnicas de búsqueda heurística de la inteligencia artificial, en este caso una metaheurística. Para acotar el espacio de búsqueda se puede establecer una forma preliminar para la función f , y teniendo en cuenta lo antes planteado sobre el comportamiento de las enfermedades, que se estudian, según sea el caso, se puede establecer que la función f genere una curva con 3 secciones: una creciente, una meseta y una decreciente.

Las funciones en forma de triángulo, trapecio o campanas, muy empleadas para construir conjuntos borrosos, cumplen este criterio de acuerdo con los modelos usuales para el estudio de enfermedades. En la focalización de escenarios con técnicas de Inteligencia Artificial para la

evaluación de enfermedades que inciden en la sostenibilidad de alimentos, que se mostrarán más adelante se usa la función trapezoid y la función campana; en algunos casos los parámetros para el trapezoid lo convierten casi en un triángulo de modo que en la práctica se han tenido en cuenta las 3 formas.

Para la búsqueda heurística se utiliza la metaheurística Optimización basada en Partículas (en inglés, Particle Swarm Optimization, PSO) (Kennedy, Eberhart, 1995) como método para optimizar el diseño de la función. En la búsqueda se incluye un mecanismo de análisis inteligente de los datos, para la limpieza de los mismos (cleaning) y así mejorar la exploración del método, con el cual se mantiene una cierta diferencia entre los datos que se generan; es decir, se busca la función f en forma de trapezoid o campana que describe el comportamiento del número de animales enfermos diarios dados los valores establecidos para el escenario definido por los factores MaxAcum, Días y MCD.

La función f se construye como un conjunto borroso y la metaheurística PSO permite buscar la curva que genere un acumulado más cercano al valor de MaxAcum teniendo en cuenta los valores dados para esos factores. La expresión matemática de un trapezoid se muestra en la expresión 2:

$$\text{trapezoid}(x; a, b, c, d) = \left\{ \begin{array}{l} 0, x \leq a, \frac{x-a}{b-a}, a \leq x \leq b, \\ 1, b \leq x \leq c, \frac{d-x}{d-c}, c \leq x \leq d, 0, d \leq x \end{array} \right. \quad (2)$$

El gráfico que representa la función f se construye sobre un plano cartesiano donde el eje de las X son los días que dura la enfermedad que se estudie y el eje de las Y es el grado de pertenencia (valor entre 0 y 1) construido según el factor clave MCD, el grado de pertenencia se acerca al valor 1 cuando el valor de diagnósticos positivos del día se aproxima al valor de MCD (figura 1). Se considera que la curva comienza en el día 0, con 0 diagnosticados, y a partir de allí comienzan a aparecer diagnósticos positivos; es decir, el día 1 del eje X corresponde al día donde se reportaron los primeros casos, y de allí hasta el valor del factor clave Días.

Según la expresión 2, los parámetros (a, b, c, d) determinan la forma de la curva. En este caso estamos dando siempre el valor 0 al parámetro a, indicando el inicio de la enfermedad. La curva va creciendo entre los valores de a y b, luego se mantiene constante entre b y c, y a partir de c comienza a decrecer hasta llegar al valor d, que será el último día donde se reporta algún diagnóstico positivo.

El problema es encontrar los valores para los parámetros b, c y d de modo que el acumulado total de diagnósticos positivos sea lo más cercano posible a MaxAcum, en un periodo no mayor a Días y la altura de la curva permita alcanzar un grado de pertenencia de 1 cuando el valor de la función f sea MCD. La búsqueda heurística es la que debe encontrar esos valores.

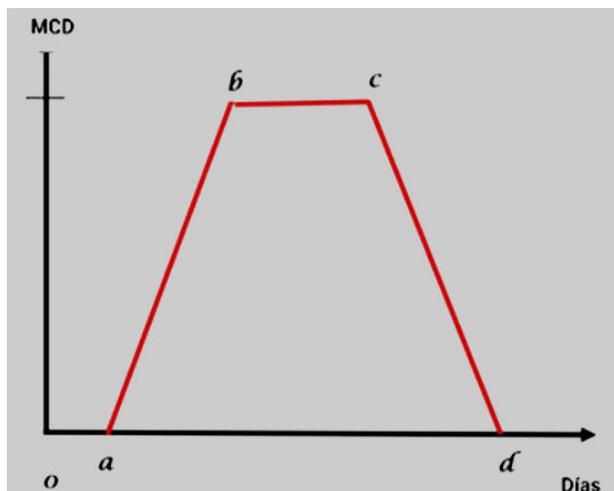


Figura 1. Función trapezoid

Figure 1. Trapezoid function

Para hacer uso de la búsqueda heurística, no es recomendable presentar muchas alternativas.

Por eso, en esta investigación se presentan en cada escenario 3 posibles casos para la función f , los cuales representan posibles comportamientos de enfermedades.

Para lograr una mayor diversidad al construir los 3 posibles casos para la función f se han establecido algunos rangos de valores para los parámetros de la función en cada caso; para cada caso se buscan diferentes juegos de valores para los parámetros (b, c, d) de la función, o sea, se tiene una familia de posibles curvas para ese caso, y de ellas se selecciona una como representante del caso. Ello busca tener diversidad en las funciones; algunas de ellas pudieran representar casos extremos o poco posibles, pero son funciones que satisfacen los factores claves.

La diversidad, señalada, ofrece una panorámica más amplia de los futuros posibles que la que aporta una sola curva de predicción. Con el propósito de encontrar una función con forma de campana se utiliza la expresión 3:

$$f(x) = a * e^{-\frac{(x-b)^2}{2 * c^2}} \quad (3)$$

Donde:

- a: es el alto de la campana
- b: es el centro
- c: el ancho

Para lograr una mayor diversidad en la forma de la campana se busca una curva con forma de campana, pero que no sea simétrica. Para ello usando la expresión 3, se trabaja con dos valores para el parámetro c, uno para los $x \leq b$ y otro para $x > b + 1$; por eso se define un cuarto parámetro d que es el que determina la forma de la parte derecha de la campana.

Otra información que se tiene cuando el análisis de escenario se hace, dentro del periodo de desarrollo de la enfermedad que se desea estudiar, es la serie de valores reales de diagnósticos positivos reportados diariamente desde que empezó la enfermedad hasta el momento en que se analiza, y esta información, también, se puede usar en la construcción de la función f buscando que la curva se aproxime lo más posible a esa serie.

Para combinar el ajuste de la función al valor de MaxAcum dado y a la serie de valores reales de reportes diarios que se tiene hasta ese momento se formula una función de evaluación heurística multiobjetivo definida por la expresión 4. La función de evaluación heurística que permite evaluar la calidad de la función f es multiobjetivo, con las dos componentes, se define por la expresión 4:

$$FO(f) = Ajus(f) + Prec(f) \quad (4)$$

Donde:

Ajus(f): es, una medida de la cercanía del acumulado generado por la función f al valor del factor clave MaxAcum, recordar que; ese valor es un intervalo, de modo que es la medida en que el valor del acumulado de diagnósticos positivos generado por f se ajusta a ese intervalo

Prec(f): es el ajuste de los valores de diagnósticos diarios generados por f a la serie de diagnósticos que se tiene hasta la fecha

Para la construcción de la función f se propone el método siguiente, basado en la metaheurística PSO, el cual se formaliza en dos variantes: una para el caso de la forma de trapecio y otra para la campana.

Método (PSOmo-Trapecio)

Para la forma de trapecio se buscan valores para los parámetros (b, c, d), en este caso el valor del parámetro a tiene un valor fijo igual a 0 ($a=0$) pues se considera que la curva comienza el día de inicio de la enfermedad.

Paso 1. Con la metaheurística PSO se buscan diferentes expresiones para la función f , lo que significa encontrar diferentes juegos de parámetros que definen la función. La calidad de los datos se mide por la función heurística multiobjetivo FO definida por la expresión 4, la cual combina la cantidad de diagnósticos positivos totales (acumulado final) que produce la función y la medida en que los valores de la función se aproximan a la serie de valores diarios reportados hasta el momento.

Para cada escenario se quieren presentar 3 casos que ilustren el comportamiento posible de la cantidad de diagnósticos positivos diarios. Para buscar diversidad en los casos, se construyen grupos de funciones posibles para cada caso.

Paso 2. De cada grupo se seleccionan las mejores funciones, es decir, aquellas que tienen un mejor valor para la función heurística multiobjetivo.

Paso 3. De cada uno de los 3 grupos de mejores trayectorias posibles para la función f se determina la que será elegida para el caso. Se elige la función que tiene mayor área bajo la curva, usando una expresión que modifica el cálculo del área bajo la curva de un trapecio buscando mayor ajuste al escenario.

Método (PSOmo-Campana)

Para la curva con forma de campana se buscan valores para los parámetros (b, c, d), pues el valor de a es igual al valor del factor clave MCD ($a=MCD$).

Paso 1. Para cada uno de los casos se establecen los dominios de valores para los parámetros b, c y d .

Paso 2. Con la metaheurística PSO se buscan diferentes expresiones para la función f para cada caso, lo que significa encontrar diferentes combinaciones de valores para los parámetros (b, c, d) que definen la función. La calidad de los datos se mide por la función heurística multiobjetivo FO definida por la expresión 4, la cual combina la cantidad de diagnósticos positivos totales (acumulado final) que produce la función y la medida en que los valores de la función se aproximan a la serie de valores diarios reportados hasta el momento.

A esta función se añaden 2 términos: uno que busca que el inicio de la curva esté lo más próximo posible al inicio de los valores de la serie de valores reales, y otro que tiene por objetivo que el valor de la función sea 0 antes de la fecha final establecida para la enfermedad que se desea estudiar

Paso 3. La mejor partícula de cada caso, es decir, la que tiene mejor valor de la FO, se selecciona como función para el caso.

Estos métodos permiten construir, para cada escenario definido para los valores de los factores claves MaxAcum, Días y MCD, 3 expresiones para la función f (una para cada caso) que expresan comportamientos posibles de la enfermedad, las cuales tienen forma de trapecio o campana. Además, se definen 3 medidas que caracterizan la función para cada caso: ajuste, precisión y concordancia. Estas medidas calculadas para cada caso son:

- Ajuste al intervalo MaxAcum: cantidad total de diagnósticos positivos que se tendrá según esa expresión para la función (acumulado total de diagnósticos positivos de la enfermedad que se tendrá según esa función).
- Precisión con respecto a la serie real hasta el momento: un promedio del error que se tiene entre los diagnosticados diariamente según la función y la serie de diagnósticos reales que se tiene.
- Concordancia con respecto a la curva que más se aproxima a Max: la curva seleccionada para el caso no es la que necesariamente genera una cantidad final de diagnósticos positivos (acumulado total) más cercana al

valor dado al factor clave MaxAcum, pues se tiene en cuenta también el grado en que se aproxima a la serie de valores reales. Por eso, esta medida ilustra la diferencia entre el acumulado que produce la función seleccionada para el caso y el que produce la función de su grupo que más se acerca a MaxAcum.

Cuando se utiliza la función con forma de campana solo se considera la medida de ajuste, pues las demás no son necesarias.

Resultados y discusión

El método para el análisis escenario que se propone se aplicó para estudiar los posibles comportamientos de enfermedades ganaderas que frente a condiciones de variabilidad climática son más prevalente y que son las que inciden de forma negativa en la producción de alimentos de origen animal, debido a que se retrasa la producción de leche y carne, cuando en el ganado bovino existe alguna enfermedad de tipo parasitaria, en el ganado porcino existen enfermedades respiratorias y gastroentéricas que causan alta mortalidad y con condiciones asertivas de alta humedad relativa y temperaturas, se retrasan los ciclos de reproducción y cuando se logran niveles de reproducción, las crías no satisfacen las demandas para la producción de carne. Así en el caso de la avicultura, los trastornos respiratorios con eventos de lluvias, fuertes vientos, humedad relativa, sequía y los golpes de calor que también ocasionan alta mortalidad, retrasan la producción de huevo.

Lo citado, sin tener en cuenta la afectación de pastos y forrajes que el cambio climático ocasiona y que es necesario para el bienestar animal en función de la conservación y cuidado de la salud de los mismos para la explotación necesaria en cuanto a la producción de alimentos que se requiere. Es decir que el bienestar y la productividad animal están en situación de riesgo debido a la acción de factores ambientales que influyen en el comportamiento animal.

Cabe destacar, que cada animal y cada especie posee una gama de comportamientos que son usados como herramientas de adaptación y ajustes frente al medio ambiente. El animal necesita percibir los cambios del medio para entonces manifestar su respuesta; así, monitorean su ambiente de varias maneras: utilizando la visión, audición, paladar, olfato, la temperatura y el tacto, que son estimulados por receptores específicos localizados en varias partes del cuerpo (Betancourt et al., 2005).

Según los estudios previos realizados para el desarrollo de esta investigación, se evidenció que la agricultura es extremadamente vulnerable al Cambio Climático. Desde el punto de vista forrajero, la escasez de agua de lluvia además de disminuir el rendimiento de las plantas nativas o cultivadas y que esto se refleje en una drástica reducción de la capacidad de carga animal de los predios, también afecta

el nivel nutricional de ganado, ya que ante el estrés hídrico las plantas aceleran su metabolismo normal pasando en menor tiempo del estado de crecimiento al estado reproductivo o de formación de semilla, con lo que su contenido nutricional se disminuye tanto en la cantidad como en la calidad de sus nutrientes, lo que provoca que el ganado no llegue ni siquiera a cubrir sus requerimientos de mantenimiento (materia seca), mucho menos para cubrir los requerimientos nutricionales y continuar con alguna función productiva y/o reproductiva (Giner et al., 2011).

Según lo referido, se destaca la importancia de focalizar los escenarios con técnicas de Inteligencia Artificial para la evaluación de enfermedades que inciden en la sostenibilidad de alimentos. En este análisis se han definido los escenarios teniendo en cuenta los datos de las enfermedades más prevalente en la ganadería, frente a condiciones climáticas asertivas, que afectan las producciones de alimentos, entre ellos los resultados alcanzados desde la perspectiva matemático-computacional, que establece la necesidad de construir proyecciones con 3 comportamientos de la enfermedad: susceptibles, enfermos y muertos y utilizar una curva en forma de campana para modelar el comportamiento diario de diagnósticos positivos.

Según el escenario descrito se obtiene una alta variabilidad de los valores reales de diagnósticos diarios, lo que hace muy difícil encontrar un buen ajuste de las funciones a esa serie de valores. Para los 3 comportamientos de la enfermedad, se obtuvo un acumulado final esperado de diagnósticos positivos de 450. Sin embargo, el punto de máximo y el fin de las enfermedades difiere en los casos: en el caso 1, animales susceptibles, se espera un punto máximo entre los 45 y 50 días y termina cerca del día 80; en el caso 2 animales enfermos, se alcanza un máximo entre el día 40 y el 45 y una terminación similar, y en el caso 3 en el periodo de mortalidad es de 70 a 75, y termina después del día 100 de la enfermedad.

A partir de los 3 casos se evalúan los animales enfermos acumulados diarios. En esta evaluación el comportamiento del caso de animales susceptibles es similar al pronosticado por el método numérico y que ambos se aproximan a la serie de valores reales obtenidos hasta ahora. Los otros casos (animales enfermos y muertos) muestran comportamientos diferentes que pudieran estar dados de acuerdo al grado de incertidumbre que la enfermedad posee al decretarse positiva o negativa, es decir que, dicha realidad depende de diferentes factores.

Los resultados obtenidos, permiten plantear que las 3 funciones construidas para el escenario definido permiten generar un acumulado de casos, muy cercano a lo que se estima según los expertos al observar los animales a nivel de campo. Estas coincidencias aportan señales positivas pues muestran que estudios desarrollados desde perspectivas diferentes producen resultados cercanos.

En un dominio caracterizado por la incertidumbre, donde los métodos usados generalmente producen valores aproximados sujetos a esa incertidumbre, el empleo de diferentes enfoques es adecuado, especialmente cuando se puede encontrar similitud en los resultados. Por tanto, se recomienda utilizar la propuesta para analizar los escenarios en el estudio de las enfermedades ganaderas de mayor prevalencia que inciden en la sostenibilidad de alimentos en Cuba, frente al cambio climático.

Conclusiones

Se presenta otro enfoque para la focalización de escenarios con técnicas de Inteligencia Artificial en función de llevar a cabo la evaluación de enfermedades que inciden en la sostenibilidad de alimentos frente al cambio climático en Cuba. Dicho enfoque es concretamente un método que no es de predicción ni se basa solo en la serie de datos que se tiene hasta la fecha, como generalmente hacen los métodos para construir esta clase de modelos.

El método de análisis de escenario propuesto se basa en técnicas de inteligencia artificial porque se emplea el concepto de conjunto borroso para modelar la función f , en este caso usa una función con forma de trapecio y otra de campana, y una metaheurística para encontrar diferentes expresiones para la función, donde se utiliza la optimización basada en partículas con un mecanismo de limpieza para introducir diversidad en la búsqueda.

Para construir los escenarios se definen los factores claves cantidad de animales susceptibles a enfermedades que prevalecen frente a altos niveles de humedad relativa promedio, alta temperatura media del día, como variables climáticas y cantidad total de animales enfermos al final del periodo de evolución de la enfermedad, los valores pueden ser establecidos por los expertos o calculados a partir de métodos de predicción, ello significa que el método propuesto puede usarse como complemento de métodos de predicción de modelos, aunque no necesariamente depende de ellos.

El método permite construir 3 funciones para cada escenario, y se ha seleccionado la cantidad de 3 por ser una cantidad recomendada en este tipo de análisis. Los resultados obtenidos muestran que las funciones en forma de campana permiten obtener mejores resultados, al generar acumulados de diagnósticos positivos total en el rango de valores establecidos para cada factor clave.

Del análisis de los 3 escenarios construidos para estudiar el posible comportamiento de las enfermedades más prevalentes frente al cambio climático que afecta la ganadería en Cuba y retrasa las producciones de alimento de origen animal, se puede apreciar que el escenario 3 (más pesimista en el sentido de que es donde se espera una mayor cantidad de diagnósticos positivos al final de la enfermedad,

es decir un valor alto de mortalidad sino se toman las medidas necesarias para cuidar la salud animal y conservar la masa ganadera).

Existe un mayor ajuste en el caso de los escenarios 1 y 2, los cuales tienen un comportamiento más favorable pronosticado por los expertos en salud animal, es decir, presencia de animales enfermos, sospecha de enfermedad, animales susceptibles; toma de decisiones oportunas. En los 3 escenarios se obtienen funciones que permiten calcular una cantidad de diagnósticos finales bastante menor que el valor máximo dado a ese factor clave, lo cual también es un resultado favorable.

Los resultados alcanzados muestran que el método propuesto para el análisis de escenarios puede ser una herramienta más para estudiar el comportamiento de enfermedades ganaderas que afectan la sostenibilidad de alimentos frente a condiciones asertivas de cambio climático, en la cual, al igual que en otras, existen muchos factores que inciden en su desarrollo. Esto último genera incertidumbre en todos los modelos de análisis que se utilicen, de modo que más enfoques para estudiarla permiten enriquecer la visión que los decisores pueden tener.

Bibliografía

- Alistair G. (2007). Sutcliffe y Andreas Gregoriades. Automating Scenario Analysis of Human and System Reliability, IEEE transactions on systems, man, and cybernetics-part A: systems and humans, 37(2): 249-261.
- Betancourt, K.; Ibrahim, M.; Villanueva, C. y Vargas, B. (2005). Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. Liv. Res. Rural Develop. 17 (7). Disponible en: URL: <http://www.lrrd.org/lrrd17/7/beta17081.htm>
- Chowell G, Luo GR, Sun K, Roosa K, Tariq A, Viboud C. (2019). Real-time forecasting of epidemic trajectories using computational dynamic ensembles. *Epidemics*. 30:100379. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2019.100379>. [Epub ahead of print]
- Chowell G. (2017). Fitting dynamic models to epidemic outbreaks with quantified uncertainty: A primer for parameter uncertainty, identifiability, and forecasts, *Infectious Disease Modelling*, <https://doi.org/10.1016/j.idm.2017.08.001>.
- Duarte, C.M. (2006). *Cambio Global. Impacto de la Actividad Humana sobre el Planeta Tierra*. España: ESIC. (Citado por Bono, 2008).
- Giner, RA.; Fierro, LC. Y Negrete, LF. (2011). Análisis de la Problemática de la Sequía 2011-2012 y sus Efectos en la Ganadería y Agricultura de Temporal. México: Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA),

- SAGARPA. 11 pp. Disponible en: URL: <http://www.conasa.gob.mx/boletin5.pdf>
- Guoping Zhang et al. (2020). Forecasting and Analysis of Time Variation of Parameters of COVID-19 Infection in China Using An Improved SEIR Model. Public meteorological service center of China Meteorological Administration. 2020. <https://www.researchsquare.com/article/rs-16159/v1>
- Hayden C. Metsky, et al. (2020). CRISPR-based COVID-19 surveillance using a genomically-comprehensive machine learning approach. bioRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2020.02.26.967026>
- IPCC (2007). Fourth Assessment Report (AR4). Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponible en: URL: <http://ipcc-wg1.ucar.edu/index.html>.
- IPCC (2022). Contribución del GT-I del IPCC a la sexta evaluación sobre Cambio Climático. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kennedy J, Eberhart RC. (1995). Particle swarm optimization. In IEEE International Conference on Neural Networks, pp. 1942-1948.
- Kosow H, Gaßner R. (2008). Methods of future and scenario analysis. Overview, assessment, and selection criteria. DIE Research Project “Development Policy: Questions for the Future”, p. 133. Studies/Deutsches Institut für Entwicklungspolitik. ISSN 1860-0468. p. 133.
- Li Yan, et al. (2020). Prediction of criticality in patients with severe COVID-19 infection using three clinical features: a machine learning-based prognostic model with clinical data in Wuhan. medRxiv preprint medRxiv.
- Malik Magdon-Ismail. (2003). Machine Learning the Phenomenology of COVID-19 From Early Infection Dynamics. arXiv: 2003.07602v2
- Muhammad Amer, et al. (2011). Development of fuzzy cognitive map (FCM)-based scenarios for wind energy. International Journal of Energy Sector Management. 5(4):564-584, 1750-6220. 2011. DOI [10.1108/17506221111186378](https://doi.org/10.1108/17506221111186378).
- Nelson, G.H.; Rosegrand, M.W.; Koo, J.; Robertson, R.; Sulser, T.; Zho, T.; Ringler, C.; Msangi, S.; Palazzo, A.; Batka, M.; Magalhaes, M.; Valmanta-Santos, R.; Ewing, M. y Lee, D. (2009). Cambio Climático. El Impacto en la Agricultura y los Costos de Adaptación. Inst. Internacional de Inv. sobre Políticas Alimentarias IFPRI, Washington, D.C. 30 pp.
- Sorousha Moayer y Parisa A. Bahri. (2009). Hybrid intelligent scenario generator for business strategic planning by using ANFIS. Expert Systems with Applications, 36:7729-7737.
- Tian-Mu Chen, et al. (2020). A mathematical model for simulating the phase-based transmissibility of a novel coronavirus. Infectious Diseases of Poverty, 9:24. <https://doi.org/10.1186/s40249-020-00640-3>
- Viboud C, Simonsen L, Chowell G. (2016). A generalized-growth model to characterize the early ascending phase of infectious disease outbreaks. Epidemics, 15: 27-37.
- Wu JT, Leung K, Leung GM. (2020). Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study. TheLancet. January 31, 2020. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30260-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30260-9)
- Zixin Hu, Qiyang Ge, Shudi Li, Li Jin, Momiao Xiong. (2020b). Artificial Intelligence Forecasting of COVID-19 in China. 2020. arXiv preprint arXiv:2002.07112.