

## Sistema de vigilancia epidemiológico distribuido

### Distributed epidemiological surveillance system

ARTÍCULO

**Marcos José Pérez Pérez**

Universidad Nacional Experimental de Guayana, Venezuela. Contacto:  
marcos1986@hotmail.com / mperez376@e.uneg.edu.ve

*Recibido: abril de 2022*

*Aceptado: abril de 2022*

#### Resumen

En la computación emergente se agrupan un conjunto de técnicas muy especializadas, diseñadas para el manejo de problemas complejos pero con la singularidad de trabajar con operaciones matemáticas que imitan el comportamiento de la naturaleza. Una de estas técnicas son los algoritmos de optimización basados en colonias de hormigas, estos algoritmos reproducen el comportamiento de las hormigas reales en una colonia artificial de hormigas para resolver problemas complejos de camino mínimo. A través de este trabajo se describen los algoritmos y modelos matemáticos que nos permitirán definir un Sistema Emergente de Vigilancia Epidemiológica Distribuido, estos son considerados como ciclos de información que involucran la participación de los proveedores de los servicios de atención en salud. Como resultado se obtiene una simulación de cómo sería la interacción de los nodos (Centros Médicos) con respecto a su entorno administrando recursos y generando alerta de riesgos de epidemia.

**Palabras clave:** Sistemas emergentes, computación distribuida, vigilancia epidemiológica.

#### Abstract

Emerging computing brings together a set of highly specialized techniques, designed to handle complex problems but with the uniqueness of working with mathematical operations that mimic the behavior of nature. One of these techniques is the optimization algorithms based on ant colonies; these algorithms reproduce the behavior of real ants in an artificial ant colony to solve complex minimal path problems. Through this work algorithms and mathematical models are described that will allow us to define an Emerging System of

Distributed Epidemiological Surveillance, these are considered as information cycles that involve the participation of providers of health care services. As a result, a simulation of the interaction of the nodes (Medical Centers) with respect to their environment is obtained, managing resources and generating an epidemic risk alert.

**Abstract Keywords:** Emerging systems, distributed computing, epidemiological surveillance.

## 1. Introducción

La coordinación de instituciones médicas según su clasificación, distribución y locación, se vuelve un reto a la hora de administrar y controlar las situaciones de origen epidemiológico cuando se salen de control, el tiempo de reacción, control y prevención es crítico ante una emergencia epidemiológica.

En los antecedentes existen varios sistemas de vigilancia distribuidos, por ejemplo, en Argentina el Programa Nacional de Vigilancia de las Infecciones Hospitalarias (VIHDA) que manejan una plataforma On-line centralizada. Para control de epidemias e histórico de estadísticas.

Este trabajo tiene como objeto el diseño de un Sistema Emergente de Vigilancia Epidemiológica Distribuido, a través de algoritmos de optimización basados en colonias de hormigas. Mediante la aplicación apropiada del conocimiento generado por este sistema de información, se pretende construir una herramienta con metodología epidemiológica que sirva para determinar tendencias, caracterizar la población y establecer prioridades en cuanto a alarmas de índole epidemiológico, mediante señales y comunicaciones entre los centros de salud en un municipio o estado. Se busca que los centros puedan adaptarse a situaciones de riesgo localmente, que conozcan su entorno y puedan interactuar con otros centros en tiempo real, para conocer disponibilidad, recursos y estados de emergencia crítica. Interactuando y colaborando en la toma de decisiones.

## 2. Definición del problema

El caso de estudio que se presenta es un problema de control, abastecimientos de recursos y/o pacientes ante un brote epidemiológico, a través de un mapa de varias instituciones separadas por diferentes distancias y cantidad de camas, físicamente separada por largas distancias, en una misma ciudad o totalmente desconectadas del sistema por estar en zonas remotas. Normalmente cuando existe una emergencia médica puede ocurrir que un paciente tenga que ser trasladado a varios lugares antes de llegar a su lugar de atención. Ante una emergencia médica esto puede producir que el paciente muera durante el traslado, o se pierda tiempo esencial, colapsen los hospitales, no exista

una inadecuada distribución de medicamentos, los centros no se comuniquen entre ellos, en una epidemia y/o pandemia existe mayor riesgo de que los centros colapsen.

La vigilancia de salud pública es la herramienta que los servicios de salud pública utilizan para monitorear el estado de salud de las poblaciones. Su propósito es el de proveer las bases para que de la manera más adecuada posible, las instituciones establezcan prioridades de salud pública, desarrollen planes de trabajo y tomen acciones para promover y proteger la salud de la población. De hecho, la vigilancia de salud pública se ejecuta mediante la recolección, análisis, interpretación y diseminación continua de datos de salud.

Como antecedentes de trabajos realizados se plantea una tesis doctoral de Niriaska Perozo Guédez (2011) presentada ante la Universidad de los Andes y la Universidad Paul Sabatier. En este trabajo se define una arquitectura multiagente para sistemas emergentes y auto-organizados llamada MASOES. Esta arquitectura permite la posibilidad de modelar un sistema emergente y auto-organizado a través de una sociedad de agentes (homogéneos o heterogéneos), que trabajen de manera descentralizada, con diferentes tipos de comportamiento: reactivo, imitativo o cognitivo, pudiendo también, cambiar dinámicamente su comportamiento según su estado emocional, para que los agentes puedan adaptarse dinámicamente a su entorno, favoreciendo la emergencia de estructuras.

## *2.1 Especificación del problema*

- Demostrar la factibilidad de una implementación del algoritmo de hormigas en una simulación de un mapa de instituciones separadas por distintas distancias y cantidad de camas.
  - Encontrar el camino más corto entre varias instituciones usando el algoritmo de hormigas.

## **3. Marco Teórico**

### *3.1. Sistemas Emergentes*

Según De Wolf y Holvoet (2005) un sistema exhibe emergencia cuando hay una coherencia macroscópica (características, comportamientos, estructuras, etc.), a partir solamente de las interacciones microscópicas o locales entre agentes que no tienen ningún conocimiento explícito de las características macroscópicas deseadas. Esos son aspectos nuevos del sistema que van más allá de las partes individuales de sus componentes.

### 3.2. *Procesos emergentes*

Aguilar (2013) describió la noción de emergencia:

1. Es casi imposible predecir por adelantado quienes participarán en el proceso.
2. El conocimiento e información se distribuye (conocimiento local).

Tres aspectos importantes:

- La estructura del proceso. Los procesos de interés son los semi-estructurados y no estructurados.
- Los usuarios del proceso. Un proceso emergente significa que es casi imposible que un diseñador del sistema sepa por adelantado la clase de personas que será su usuario.
- Los requisitos de información son absolutamente diferentes al de los procesos de negocio clásicos.

En un proceso emergente los usuarios deben buscar a menudo la información que necesitan (muchas veces mal indicada), etc. Muchos conocimientos implícitos en dichos procesos son tácitos, no explícitos. Consecuentemente, es difícil capturarlos y compartirlos.

Un proceso emergente tiene un alto contenido de conocimiento experto. En los procesos emergentes el conocimiento se distribuye a través de mucha gente. Algo del conocimiento es local y algo es general.

Características de los Sistemas Emergentes resuelven problemas recurriendo a masas de elementos relativamente no inteligentes en lugar de hacerlo recurriendo a un solo "brazo ejecutor" inteligente.

Son sistemas ascendentes, no descendentes. Extraen su inteligencia de la base.

En estos sistemas, los agentes que residen en una escala comienzan a producir comportamientos que yacen en una escala superior a la suya.

#### 3.2.1 Conceptos vecinos

##### 3.2.1.1 Auto-organización

Auto-organización: según Camazine (2006) es un proceso a través del cual un patrón a nivel global de un sistema emerge únicamente de las interacciones entre los componentes de bajo nivel del sistema.

Para Banzhaf (2009) la auto-organización es un concepto básico de la Ciencia de Sistemas. Se refiere a la capacidad de una clase de sistemas (sistemas de auto-organización [SOS]) para cambiar su interior estructura y/o su función en respuesta a circunstancias externas.

Dos conceptos fundamentales en los sistemas complejos son la emergencia y la auto-organización.

El término “auto-organización” se usa ampliamente en la literatura científica sin una definición clara del mismo. La auto-organización ha sido usada para explicar fenómenos biológicos (por ejemplo, la organización de las sociedades de insectos), físicos (como la formación de tornados), químicos (por ejemplo, la formación de estructuras disipativas), e incluso matemáticos (como los producidos con autómatas celulares). Lo más relevante es la gran confusión entre los términos emergencia y auto-organización.

#### 3.2.1.2. Estigmergia

En primer lugar se observa en los insectos sociales. Estigmergia es hoy considerado generalmente como un conjunto de mecanismos que promueven la coordinación basada en el medio ambiente, donde la coordinación se logra mediante el uso de marcadores específicos de feromonas en insectos sociales, o su equivalente digital en sistemas computacionales (Gardelli, Viroli, Casadei y Omicini, 2008).

Karsai (1999) afirma que en una situación en la que muchos individuos contribuyen a un esfuerzo colectivo, tales como la construcción de un nido, estímulo que proviene de la estructura emergente, en sí pueden proporcionar una rica fuente de información para los insectos que trabajan.

#### 3.2.1.3. Retroalimentación

En un sistema habitualmente hay una propagación de una señal externa desde la entrada hacia la salida, la retroalimentación describe la propagación de la señal en el sentido inverso. Esta ha sido usada para generar procesos auto-catalíticos y de auto-reforzamiento.

#### 3.2.1.4. Reconocimiento de patrones

- Está asociado a los procesos de aprendizaje.
- Localizar una información, poder encontrarla y lograr establecer e interactuar con patrones.

$$\partial_t X_{ij} = \frac{s_j^n}{s_j^n + \theta_{ij}^n} \left( 1 - \sum_{k=1}^m X_{ik} \right) - p X_{ij}$$

#### 3.2.1.5. Inteligencia social

Lévy (1999) lo define como un tipo de inteligencia distribuida universal, constantemente mejorada, coordinada en tiempo real, y dando como resultado la movilización efectiva de habilidades. Nadie lo sabe todo, todo el mundo sabe algo.

### 3.2.2. Sistemas artificiales de hormigas

Retroalimentación Positiva: Se usa una retroalimentación positiva para reforzar en el futuro los componentes de las buenas soluciones mediante un aporte adicional de feromona. Cuanto mejor sea la solución, más feromona se aporta.

Reforzar buenas soluciones: El mecanismo de actualización de feromona es más explorativo al evaporar todos los rastros, reforzar positivamente sólo los de la mejor solución global y negativamente los de la peor solución actual.

Retroalimentación Negativa: Según Venturini, V. M. (2019), es un modo de alcanzar un punto de equilibrio a pesar de las condiciones externas. La “negatividad” mantiene controlado al sistema, así como la retroalimentación positiva pone a otros sistemas en movimientos. El sistema debería tener capacidad para autorregularse.

Evaporación: Se usa la evaporación de feromona para evitar un incremento ilimitado de los rastros de feromona y para permitir olvidar las malas decisiones tomadas. La evaporación es la misma para todos los rastros, eliminándose un porcentaje de su valor actual:  $0 \leq \rho \leq 1$  Es un mecanismo de evaporación más activo que el natural, lo que evita la perduración de los rastros de feromona y permite al algoritmo olvidar malas decisiones tomadas previamente.

### 3.2.3. Modelo de umbral de respuesta y aprendizaje

Función de Respuesta: probabilidad de realizar la tarea en función de la intensidad del estímulo.

$$T_{\theta}(S) = \frac{S^n}{S^n + \theta^n}$$

$\theta$ : umbral de respuesta n:

modelo

grado de no linealidad del

### 3.2.4. Modelo con m tareas y varios tipos de trabajadores

- Dinámica de los  $x_{ij}$

$p$ : probabilidad que un individuo activo pase a inactivo  $x_{ij}$ : fracción de individuos del tipo  $i$  realizando la tarea  $j$  ( $N_{ij}/n_i$ )

- Dinámica de  $s$  (caso  $i=1, 2$ )

$$\partial_t s_j = \delta_j - \alpha_j \sum_{i=1}^N X_{ij}$$

$N$ : Números de tipos de individuos en la colonia  
 ( $N = \sum n_i$ )  $\alpha_j$ : valor escalar que mide la dificultad de la tarea  $j$ .

$$T_{\theta_{ij}}(S_j) = \frac{S_j^n}{S_j^n + \theta_{ij}^2}$$

$\delta_j$ : aumento de la intensidad del estímulo por unidad de tiempo

### 3.2.5. Especialización

Probabilidad que individuo  $i$  haga tarea  $j$

Actualización de  $\theta_{ij}$  es:

$$\theta_{ij} = \theta_{ij} - x_{ij}\beta\Delta t + (1 - x_{ij})\lambda\Delta t$$

$\beta = \text{tasas de aprendizaje}$   
 $\lambda = \text{tasa de olvido}$

### 3.2.6. Corredores o canales endémicos

Bortman (1999) presentó, probablemente, la definición más corta y simple de epidemia la formuló en los siguientes términos: “La aparición de casos de una enfermedad en evidente exceso de lo esperado” (p. 1). En su diccionario de epidemiología, Last añadió a dicha definición el concepto de espacio —“en una comunidad”— y la amplió a otros acontecimientos relacionados con la salud, manteniendo la idea de “un evidente exceso”. En ambas definiciones, está implícita una comparación entre el número de casos detectados y una cifra “normal de casos”. Esa cifra “normal” depende obviamente de la población, del área geográfica y del período de tiempo que se considere. Este último punto es especialmente importante en aquellas enfermedades agudas en las cuales la estacionalidad desempeña un papel importante.

La palabra epidemia tiene un “aura pestilente” que explica el que muchos prefieran usar en su lugar el término “brote” para referirse al exceso de casos de una enfermedad o daño. Aunque al principio la definición de epidemia fue concebida para las enfermedades transmisibles, su uso es totalmente compatible con las no transmisibles. Así, por ejemplo,

durante los fines de semana largos (con viernes o lunes festivos) se producen verdaderos “brotes” o epidemias de accidentes de tráfico.

En 1970, Héctor Boffi Borggero y Carlos Álvarez Herrera describieron varios métodos para elaborar corredores endémicos. Estos métodos consisten en calcular una medida central y un recorrido de fluctuación normal de la incidencia para cada uno de los meses, a partir de una serie de casos notificados en un período de 5 a 7 años. El más sencillo consistía en representar gráficamente el número máximo y mínimo de casos notificados cada mes, generando así una “banda endémica” con un área inferior de seguridad y una superior o epidémica. Los modelos más complejos eran los de los mínimos cuadrados (que analizaban las tendencias lineales de cada año) y el de la media aritmética y desviaciones estándar, que precisaban para su aplicación de personal con considerables conocimientos en estadística. En estos últimos también se empleaban las cuatro zonas ya descritas (Figura 1). (p. 1-2)

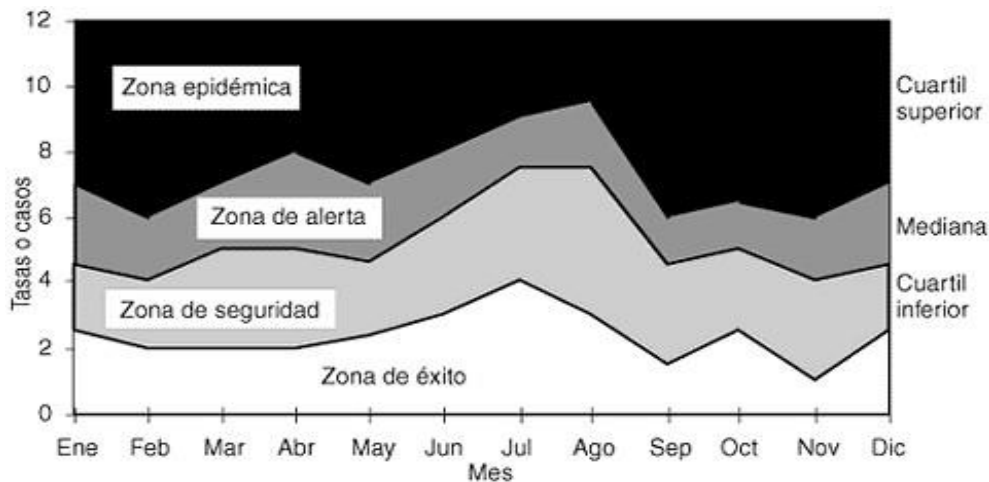


Figura 1. Esquema con las cuatro zonas de los corredores endémicos. (Bortman 1999)

#### 4. Diseño

*Modelo del sistema de vigilancia epidemiológico distribuido.*

*Probabilidad de cambio de estado:*



Probabilidad de cambio	formula
Estado Alerta	$PA = \frac{SA}{SA+\theta Ai}$
Estado Contingencia	$PC = \frac{SC}{SC+\theta Ci}$
Estado Epidemia	$PE = \frac{SE}{SE+\theta Ei}$
Estado Prevenido	$PP = \frac{SP}{SP+\theta Pi}$
Estado Normal	$PN = \frac{SN}{SN+\theta Ni}$

### Propagación

La variable Z es un factor de zona, que puede influir en la intensidad del estado.

umbral

$$f(a, e) = \begin{cases} x & Sa = 0 & Sc = 1 & Se = 0 & Sp = 0 & Sn = 0 \\ y & Sa = 0 & Sc = 0 & Se = 1 & Sp = 0 & Sn = 0 \\ z & Sa = 0 & Sc = 0 & Se = 0 & Sp = 0 & Sn = 1 \\ t & Sa = 0 & Sc = 0 & Se = 0 & Sp = 1 & Sn = 0 \\ v & Sa = 1 & Sc = 0 & Se = 0 & Sp = 0 & Sn = 0 \end{cases} \quad \theta ti = \begin{cases} 0 & i = \text{hospital} \\ \infty & i = \text{Ambulatorio} \\ 0.05 & i = \text{CDI} \end{cases}$$

### Factores ambientales Externos

Generar Intensidad	Formula
Estado Alerta	$SA(t) = SA(t+1) \mp f(a, e) \mp z$
Estado Contingencia	$SC(t) = SC(t+1) \mp f(a, e) \mp z$
Estado Epidemia	$SE(t) = SE(t+1) \mp f(a, e) \mp z$
Estado Prevenido	$SP(t) = SP(t+1) \mp f(a, e) \mp z$
Estado	$SN(t) = SN(t+1) \mp f(a, e) \mp z$

Normal	
--------	--

Especialización

Act uali zación $\theta_{ij}$	Formula
Estado Alerta	$\theta_{Ai} = \theta_{Ai} + f(a, e)$ $\theta_{Aj} = \theta_{Aj} - f(a, e)$ j Vecinos de i
Estado Contingencia	$\theta_{Ci} = \theta_{Ci} + f(a, e)$ $\theta_{Cj} = \theta_{Cj} - f(a, e)$ j Vecinos de i
Estado Epidemia	$\theta_{Ei} = \theta_{Ei} + f(a, e)$ $\theta_{Ej} = \theta_{Ej} - f(a, e)$ j Vecinos de i
Estado Prevenido	$\theta_{Pj} = \theta_{Pj} - f(a, e)$ $\theta_{Pi} = \theta_{Pi} + f(a, e)$ Vecinos de i
Estado Normal	$\theta_{Ni} = \theta_{Ni} + f(a, e)$ $\theta_{Nj} = \theta_{Nj} - f(a, e)$ j Vecinos de i

Fecha 20/mayo ----- Epoca lluviosa -----						
M	A	B	C	D	E	F
Estado	Alerta	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
F(a,e)	+0,25	+0,25	+0,25	+0,25	+0,25	+0,25
ZonaR.	+0,75	+0,25	+0,25	+0,25	+0,50	+0,75
Disp.	lleno	Dispon.	Dispon.	Dispon.	Dispon.	Dispon.
Recursos	50	100	100	100	100	100
Tipo	Ambul.	CDI	Hospital	Ambul.	CDI	Hospital
Probabil.	0,50	0	0	0	0	0

## Macro-algoritmo

### Inicializar ()

- Matriz de Distancias de Centros
- VectorDistancia
- VectorProbabilidades
- Matriz de consumo de recursos (A)
- VectorRecursosDispo(B)
- Parámetros
- FactoresExternos
- ZonaRiesgo
- Especialización
- VecinoInfluy

- Generar el grafo Sistema Emergente Vigilancia Epidemiológica Distribuida.
- Definir la regla de transición y la fórmula de actualización de Estado de los Centros según el problema de optimización combinatoria.

**Repetir hasta** que el sistema llegue a una solución estable

Colocar cada una de los m Centros en algunos de los nodos del grafo SE VED.

**Para i = 1, n** // Ciclos total de todos los centros

//Seleccionar el nodoVecino de j que actualizará el Centro actual usando la probabilidad de transición.

K=0;

**Para j = 1, m** // (Ciclos de para buscar NodosVecinos)

**Si** (j = vecino de i y j <> i) **entonces**

- Vector Probabilidades[K]=Calcular Probabilidad De Cambio De Estado (Preguntar Estatus Vecino, Tipo Centro, Factores Externos Vecino, Zona Riesgo Vecino)
- K=K+1
- VectorDistancia[K]=DistanciaNodo[j].

**Fin si**

**Fin para**

- Seleccionar el nodoVecino de j al cual enviarán, si el Centro está lleno usando la probabilidad de transición

**Si** (CapacidadCentro == "Llena") **entonces**

- Cercano=MasCercano(VectorDistancia[K])
- MoverPacientes(Cercano)

**Fin si**

**Si** (Tomar Decisión (Vector Probabilidades[K], reglas, estado, VecinoInfluy)) **entonces**

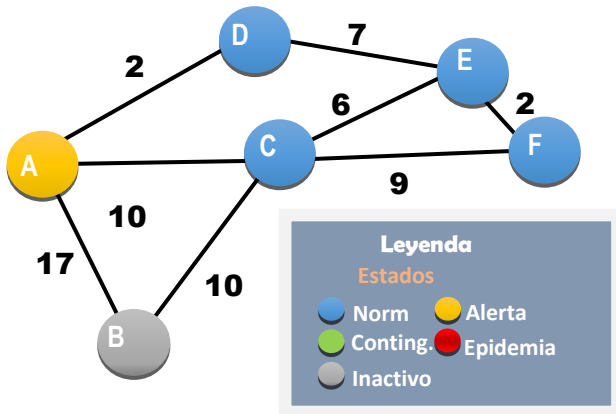
- Ajusta Valores (estado, Parámetros, FactoresExternos,ZonaRiesgo, especialización)
- Actualizar el Histórico de ajuste (estado, Parámetros, FactoresExternos, ZonaRiesgo, especialización, VecinoInfluy)

**Fin si**

**Fin para**

**Fin Repetir**

## 5. Resultados



**Grafo de mapa de centros**

**Matriz de rutas entre nodos**

M	A	B	C	D	E	F
A	0	17	10	20	0	0
B	17	0	10	0	0	0
C	10	10	0	0	6	9
D	20	0	0	0	7	0
E	0	0	6	7	0	2
F	0	0	9	0	2	0

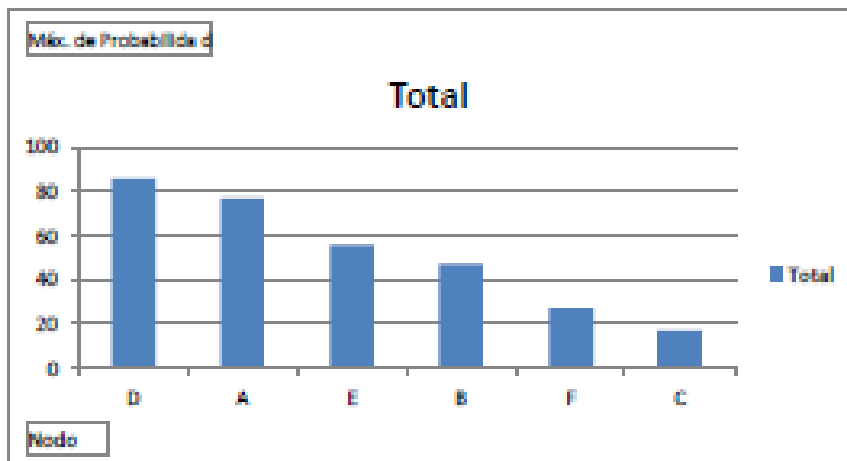
La simulación presento resultados prometedores al lograr que el sistema emergente pueda auto-regular el control de ingreso y envió de pacientes al centro más cercano. Soporte en la toma de decisiones y generación de eventos automáticos al generarse una situación de emergencia o de prevención.

Se tomó como muestra 100 iteraciones que equivalen a 100 días de simulación.

La probabilidad inicial de los centros nos indica la cantidad de enfermo con dengue que ingresaran. Tomando valores como la zona de riesgo y el umbral, para determinar cuánto enfermos de dengue podrían llegar en un determinado lapso de tiempo. Los centros promediaron casi la misma cantidad de pacientes sin contabilizar los usuarios que llegaron por cambio de centro.

El sistema de vigilancia logro resolver los distintos eventos que ocurrieron en la simulación cada nodo logro adaptarse a los cambios producidos por sus vecinos apoyándose y generando alertas de prevención.

**Tabla estadística de la simulación**

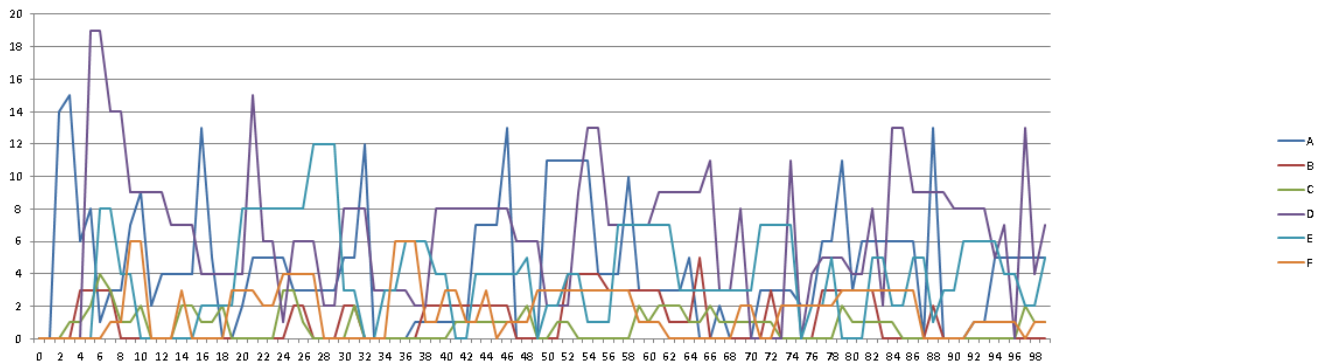


	A	B	C	D	E	F
Promedio Llegada por centro	11.07	13.4	11.9	14.9	13.7	13.4
Promedio de Alta pacientes por centro	6.42	7.44	6.2	6.22	6.75	7.3
Promedio de Pacientes con dengue	4.23	1.03	0.73	6.39	3.77	1.6
Z	0.75	0.25	0.75	0.4	0.75	0.4
Umbral	0	2	2	0.00 5	0	0
Probabilidad	0.77	0.47	0.17	0.86	0.56	0.27

Probabilidad	Nodo	Etiquetas de fila	Máx. de Probabilidad
77	A	D	86
47	B	A	77
17	C	E	56
86	D	B	47
56	E	F	27
27	F	C	17

Promedio de pacientes llegando en 100 días

78.65



## 6. Conclusiones

Basado en el desarrollo realizado, y los resultados obtenidos del estudio de los valores el proyecto presenta las propiedades básicas de un sistema emergente, los nodos se ajustan a las reacciones de los vecinos, conocen los caminos más cortos, busca al

vecino más cercano, el centro puede llenarse y enviar pacientes a los nodos más cercanos, los umbrales, porcentajes, factores externos e internos se auto adapta. Se trabajó con multihilos y monitores para control de procesos y accesos a los recursos usados por cada hilo, si bien como una simulación en tiempo real de los factores externos que puedan implicar en lo que es el control monitoreo de epidemias, es una innovadora solución, de aplicación factible.

Lográndose demostrar con este modelo simulado las ventajas de los sistemas emergentes como parte de las nuevas soluciones. Es importante destacar que el hecho de ser distribuido permite a las localidades aisladas sin conexión, poder incorporarse en el sistema y aportar datos importantes al sistema de vigilancia.

## 7. Referencias Bibliográficas

Aguilar, J. (2013). La Inteligencia Colectiva como Sistemas Emergentes: caso colonias de hormigas. Recuperado de: <http://www.ing.ula.ve/~aguilar/actividad-docente/Seminario/transparencias/captSE1.pdf>

Banzhaf, W. (2009). Self-organizing Systems. Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.408.3681&rep=rep1&type=pdf>

Benenson, A. S. (1990). *Control of Communicable Diseases in Man* (15ª ed.). Washington, D.C.: American Public Health Association.

Bortman, M. (1999). Elaboración de corredores o canales endémicos mediante planillas de cálculo. *Pan American Journal of Public Health*, 5(1), 1-8. Recuperado de: <https://www.scielosp.org/pdf/rpsp/1999.v5n1/1-8/es>

Camazine, S. (2006). Self-organizing Systems. Recuperado de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/0470018860.s00644>

De Wolf, T. & Holvoet, T. (2005). Emergence Versus Self-Organisation: Different Concepts but Promising When Combined. En: S.A. Brueckner; G. Di Marzo Serugendo; A. R. Karageorgos, Nagpal (Eds.). *Engineering Self-Organising Systems*, vol. 3464 (pp. 1-15). Berlin: Heidelberg. Recuperado de: <https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/166791/1/emso.pdf>

Gardelli, L.; Viroli, M.; Casadei, M.; & Omicini, A. (2008). Designing self-organising environments with agents and artefacts: a simulation-driven approach. *International Journal of Agent-Oriented Software Engineering*, 2(2), 171-195. Recuperado de: <http://www.lia.deis.unibo.it/courses/2007-2008/SMA-LS/papers/9/GVCO-IJAOSE.pdf>

Karsai, I. (1999). Decentralized Control of Construction Behavior in Paper Wasps: An Overview of the Stigmergy Approach. *Artificial Life*; 5(2), 117-136. Recuperado de: <http://people.cs.georgetown.edu/~cnewport/teaching/cosc844-spring17/pubs/swarm-wasps.pdf>

Langmuir, C. A.; Nathanson, N.; & Hall, W. J. (1956). Surveillance of Poliomyelitis in the United States in 1955. *American Journal of Public Health*; 46(1), 75-88. Recuperado de: <https://ajph.aphapublications.org/doi/pdf/10.2105/AJPH.46.1.75>

Lévy, P. (1999). Collective intelligence: Mankind's emerging world in cyberspace. *Perseus Publishing* 32(1), 70-71. Recuperado de: <https://direct.mit.edu/leon/article-pdf/32/1/70/1570034/leon.1999.32.1.70b.pdf>

Perozo Guédez, N. (2011). Modelado multiagente para sistemas emergentes y auto-organizados. Recuperado de: <http://core.kmi.open.ac.uk/download/pdf/12095618.pdf>

Venturini, V. M. (2019). Comportamiento Emergente e Inteligencia Artificial. *Cuadernos De Ingeniería*, (3), 46-62. Recuperado a partir de <https://www.ucasal.edu.ar/htm/ingenieria/cuadernos/archivos/3-p46-Venturini.pdf>