

Agent-based Modeling and Simulation to Adoption Process of Information Technologies in Health Systems

M. Pardo and W. Fariñas

Abstract— The adoption and implementation process of information and communication technologies in health systems are highly complex and even today there is no guarantee of success; There are multiple determinants, along with their interrelationships and environment that influence this process. The objective of this paper is the presentation of modeling and simulation based on agents to adoption process of information technology in health systems. The study is based on a conceptual model based on the theory of complex adaptive systems, and empirical studies of the critical factors in the adoption process, then used the tool of agent-based modeling for the computer simulation in Netlogo 5.1.0. As a result, we have characterized and programmed three types of agents: technological, organizational, and human, as well as their interactions and environment. The simulation model allowed us to observe the predictive system response as a measure of success or failure in adoption, to possible variations in the initial conditions of the agents and the environment. The presented model is an excellent tool for the analysis of the interrelationships between the multiple stakeholders involved in the success or failure of the adoption of health information technology.

Keywords— Agent-based modeling and simulating, Adoption of information technology, Health systems, Complex adaptive systems.

I. INTRODUCCION

SI bien se reconocen los innumerables beneficios de la implementación y uso de las tecnologías de información y comunicación en los sistemas de salud, también son ciertas las indeseables consecuencias que este proceso puede acarrear en diversos dominios [1], como por ejemplo errores asociados al diseño técnico del sistema, fragmentación de data por baja interoperabilidad, conflictos organizacionales, o limitaciones de uso del sistema, etc., lo que en definitiva atenta contra la calidad de la atención en salud; En este sentido, Bloomrosen [1] y compañía resaltan la importancia de que las investigaciones sean capaces de ayudar en el desarrollo de un modelo predictivo para determinar el grado en el que estas consecuencias no deseadas contribuyen como factores críticos en el éxito o fracaso de las tecnologías de información en salud.

Otro punto a considerar es que la implementación de las tecnologías de información en salud está fuertemente influenciada por el contexto en el que ocurre, en nuestro caso son los sistemas de salud que por definición son Sistemas Complejos Adaptativos (SCA) [2], [3].

El objetivo del trabajo es la presentación del modelado y simulación basada en agentes del proceso de adopción de tecnologías de información en los sistemas de salud, lo que nos permitirá observar la respuesta predictiva del sistema ante las posibles variaciones de los agentes: humano, tecnológico y organizacional, y respectivo ambiente. El estudio está basado en un modelo conceptual, previamente desarrollado, construido con data obtenida de una extensa revisión bibliográfica y el framework que nos brinda la teoría de los Sistemas Complejos Adaptativos (SCA).

Tal y como lo plantea Kruzikas [4], la simulación computacional está pensada específicamente para ayudar a informar en la toma de decisiones en áreas de incertidumbre. El modelado y simulación basado en agentes (Agent-based modeling and simulation –ABMS) es una metodología creciente utilizada para simular sistemas complejos e inciertos como los de la atención sanitaria.

Algunos antecedentes de interés del uso de esta técnica en el área de salud, son por ejemplo para simular el desarrollo de una población en una región, así como la carga de enfermedad, salud, infraestructura y estimar el impacto de las decisiones de inversión de recursos en los costos de salud de la población y de atención médica [4]; La herramienta utilizada para la simulación fue el software Repast Symphony [5]. También resaltaremos el trabajo de Nan [6], cuyo objetivo se centra en la aplicación de la teoría de SCA, y uso del modelaje basado en agentes, para procesos de implementación y uso de las tecnologías de información en contextos socio-organizacionales. La herramienta de programación utilizada para la simulación fue Netlogo [7].

La simulación basada en agentes se centra en los componentes básicos del sistema. El proceso de abstracción se hace sobre cada componente básico individualmente, no sobre el sistema en su conjunto. Para construir un modelo basado en agentes debemos identificar los componentes básicos del sistema real, y abstraer sus propiedades individuales y las interacciones que se producen entre ellos. Estas interacciones se producen bien directamente entre los componentes básicos del sistema o a través de un entorno compartido [8]. Los agentes se programan con atributos y comportamientos que son relevantes para las preguntas que serán respondidas por el modelo.

En nuestro caso, se programaron tres agentes de tipo tecnológico, humano y organizacional, considerando una serie de atributos fundamentales para el proceso de adopción de tecnologías de información en salud, así como sus interacciones y ambiente.

M. Pardo, Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, Puerto Ordaz – Edo. Bolívar, Venezuela, mpardo@unexpo.edu.ve

W. Fariñas, Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, Puerto Ordaz – Edo. Bolívar, Venezuela, wfariñas@unexpo.edu.ve

El artículo está estructurado básicamente en cuatro secciones: Modelo conceptual, modelado y simulación basada en agentes, resultados y conclusiones.

I. MODELO CONCEPTUAL

A continuación se describirá brevemente el modelo conceptual que previamente fue desarrollado y es utilizado de base para el modelado y simulación basada en agentes.

El modelo conceptual está fundamentado en la teoría de los Sistemas complejos Adaptativos y en estudios sobre los factores críticos a considerar en la implementación o adopción de tecnologías de información en salud. El modelo básicamente está constituido por los siguientes elementos fundamentales: Agentes (Tecnológico, Humano y Organizacional), Ambiente, Interacciones (entre agentes, y entre agentes y ambiente).

Los agentes están definidos por sus atributos y reglas de comportamiento, tal y como se detalla a continuación:

- Agente Tecnológico:

Atributos: Interoperabilidad, Interface hombre-máquina, compatibilidad con procesos y flujos de trabajo, y calidad del contenido clínico.

Reglas de comportamiento: Utilidad del sistema y facilidad de uso, adaptación a los procesos y flujo de trabajo, disponibilidad de contenido e información.

- Agente Humano:

Atributos: Características de los usuarios (Competencias, experiencia), participación del usuario en el diseño o proceso de implementación.

Reglas de comportamiento: familiaridad con las tecnologías, actitud del usuario, comunicación entre usuarios.

- Agente Organizacional:

Atributos: Dirección profesional.

Reglas de comportamiento: Entrenamiento de personal, soporte técnico y de expertos, promover la participación del usuario en el diseño o proceso de implementación.

La estructura del ambiente está asociado a la naturaleza del trabajo en salud: límite de tiempo y carga de trabajo.

Las interacciones se definen a continuación:

- Interacción Humano – tecnológico: Interacción usuario – sistema (uso de la plataforma tecnológica).
- Interacción Humano – Humano: Interacciones interpersonales (comunicación entre usuarios)
- Interacción Organizacional – Tecnológico: Estrategias gerenciales hacia la tecnología
- Interacción Organizacional – Humano: Estrategias gerenciales hacia los usuarios
- Interacción Agentes – Ambiente: Se da a través de la naturaleza del trabajo (límite de tiempo, y carga de trabajo), y su efecto sobre los agentes y viceversa.

En resumen, se han caracterizado tres tipos de agentes

autónomos, cuyos comportamientos son descritos por reglas simples y cuyas interacciones con otros agentes influyen en sus comportamientos. El ambiente, se refiere al medio en el que interactúan los agentes, también existen relaciones de mutua influencia entre el ambiente y los agentes.

Finalmente, debemos mencionar algunas limitaciones de este modelo como por ejemplo, está enfocado en los principales factores críticos que influyen sobre la implementación o adopción de tecnologías de información en salud, específicamente los asociados a los Sistemas de Historia Clínica Electrónica (Electronic medical/health/patient record), en países con altos estándares sociales y económicos, no se consideran factores estructurales (aspectos del entorno físico o geográficos, clima político o social, soporte financiero, infraestructura, privacidad, seguridad, etc.), los usuarios incluyen al personal de salud exclusivamente.

Seguidamente, se presenta el modelado y simulación basada en agentes.

II. MODELADO Y SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES

A partir del modelo conceptual, definidos los agentes y sus atributos, se establecieron los rangos de valores y representación de los atributos de los agentes tecnológico, humano y organizacional, quedando como se muestra en la tabla 1.

TABLA I
REPRESENTACIÓN DE LOS ATRIBUTOS DE LOS AGENTES

Agentes	Atributos	Representación
Tecnológico	Interoperabilidad	Baja (0.1 – 0.3) Media (0.4 – 0.6) Alta (0.7- 1)
	Interface hombre - máquina	Baja usabilidad (0.1 – 0.3) Media (0.4 – 0.6) Alta usabilidad (0.7 – 1)
	Compatibilidad con procesos y flujos de trabajo	Bajo (0.1 – 0.3) Medio (0.4 – 0.6) Alto (0.7 – 1)
	Calidad del contenido clínico	Baja (0.1 – 0.3) Media (0.4 – 0.6) Alto (0.7 – 1)
Humano	Competencias de los usuarios	Ninguna (0) Bajo (0.1 – 0.3) Medio (0.4 – 0.6) Alto (0.7 – 1)
	Experiencia de uso del sistema	Ninguna (0) Bajo (0.1 – 0.3) Medio (0.4 – 0.6) Alto (0.7 – 1)
	Participación del usuario en el diseño o implementación	(sí o no) “1” o “0”
Organizacio nal	Dirección profesional	Baja (0.1 – 0.3) Media (0.4 – 0.6) Alta (0.7 – 1)

Para el caso del ambiente, se establecieron dos valores: Rígido “0” (límite de tiempo y alta carga de trabajo), y flexible “1” (disponibilidad de tiempo y baja carga de trabajo).

En la Fig. 1, se muestra el diagrama general del modelo basado en agentes que se plantea, con respectivas

interacciones.

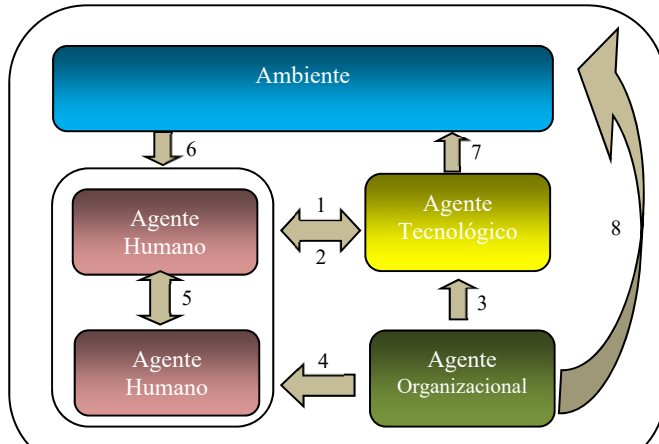


Figura 1. Diagrama simplificado del modelo basado en agentes. Leyenda: 1,2: Interacción Tecnológico – humano y viceversa, 3: Interacción organizacional – tecnológico, 4: Interacción organizacional – humano, 5: Interacción humano – humano, 6: Interacción ambiente – humano, 7: Interacción tecnológico – ambiente, 8: Interacción organizacional – ambiente.

A partir de este esquema se establecieron las sentencias If / Then, que definen el comportamiento de los agentes y sus interacciones.

En la Fig. 2 se observa una representación de cómo se definen los diferentes tipos de interacciones entre el agente tecnológico y el agente humano, a modo de ejemplo. En este sentido, se programaron un total de 35 sentencias para todo el modelo, después fueron implementadas en el software Netlogo 5.1.0

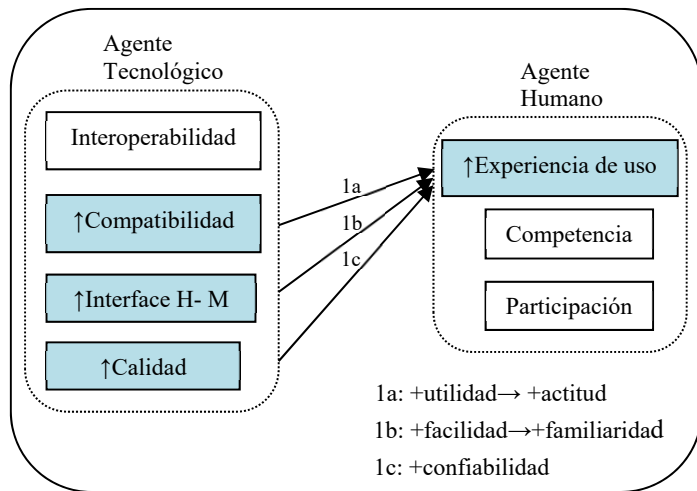


Figura 2. Ejemplo de los tipos de interacción definidos entre el agente tecnológico y el agente humano

III. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de la simulación, incluyendo el diseño de la interfaz de usuario y gráficas de salida.

La Fig. 3 muestra la interfaz de usuario diseñada en el software Netlogo, allí se observan claramente cuatro zonas: Zona 1: Control de la simulación, para lo cual se tiene los botones de Setup (carga los parámetros iniciales en las

variables respectivas), y Go (inicio y parada de la simulación); Zona 2: establecimiento de los parámetros iniciales de los agentes (tecnológico, humano y organizacional) y el ambiente, para el caso en estudio; Zona 3: representación visual de las interacciones entre los diferentes agentes, círculo amarillo corresponde con el agente tecnológico, cuadrado rojo con el agente organizacional, y triángulos azules con un número por definir de agentes humanos; Zona 4: gráficas de salida.

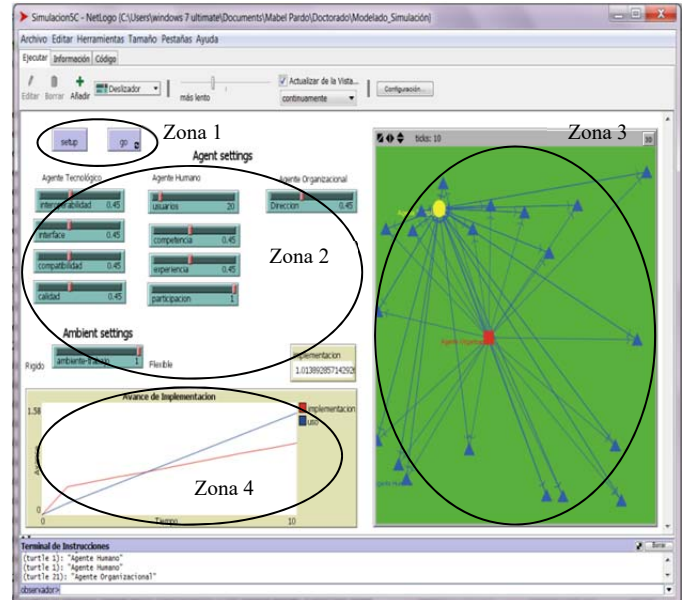


Figura 3. Vista de la interfaz diseñada en el software Netlogo

Es importante mencionar que el software tiene programada una sentencia que permite modelar la interacción entre el agente humano y el tecnológico, a través de la participación del usuario en el proceso de diseño o implementación, lo que generaría en consecuencia, las acciones para el ajuste y rediseño del sistema, y por lo tanto con efectos positivos sobre los atributos del agente tecnológico. Estas interacciones simulan el proceso de adopción y las primeras etapas de implementación de las tecnologías.

Con respecto a las variables de salida, se programaron específicamente dos (2), definidas como sigue:

$$A.I = \sum_{i=0}^n (AT_i + \frac{AH_i}{P} + D) / M \dots\dots\dots(1)$$

$$A.EU = \sum_{i=0}^n EU_i / P \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

A.I. Representa el avance de la implementación,
 AT son los atributos del agente tecnológico
 AH son los atributos del agente humano
 P = número de usuarios.

D representa a la dirección profesional
 M = Nro. de atributos totales considerados
 A.EU Representa el avance de la experiencia de uso
 EU es la experiencia de uso

n es el número de iteraciones que se ejecutan en la corrida de la simulación.

A continuación se presentan una serie de curvas de salida para diferentes condiciones en la simulación.

En las gráficas de la Fig. 4, se observa que con condiciones extremas de ambiente rígido (límite de tiempo y alta carga de trabajo) y no participación del usuario, con atributos tecnológicos y humanos en una valor promedio de 50%, la dirección profesional como atributo del agente Organizacional, puede lograr un avance positivo de la implementación para valores mayores a 0,5.

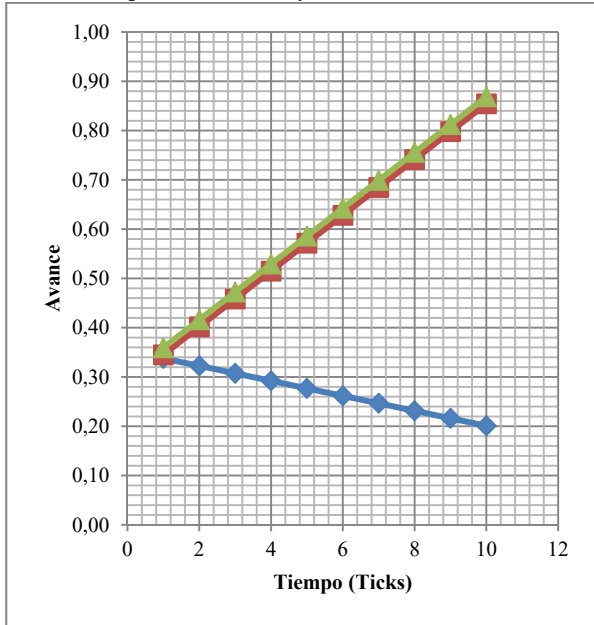


Figura 4. Gráficas de salida para Avance de Implementación. Dirección: 0,45 Dirección: 0,50 Dirección: 0,60

En las gráficas de la Fig. 5, se observa la importancia de la participación del usuario en el diseño o implementación del sistema de HCE, para lograr un avance positivo de la implementación en el tiempo, bajo las mismas condiciones (Atributos tecnológicos y humanos en un 50%, con dirección profesional en un 45% y ambiente de trabajo rígido).

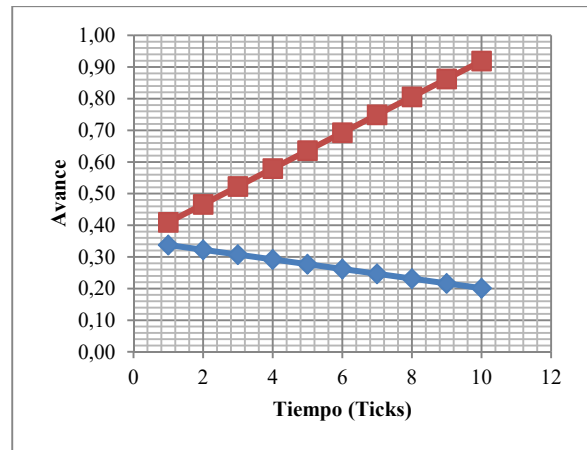


Figura 5. Gráficas de salida para Avance de Implementación. P:0 P:1

En otra respuesta del sistema, que puede observarse en la Fig. 6, se resalta la importancia de los atributos tecnológicos altos para el avance positivo de la implementación, con condiciones extremas de: ambiente rígido y no participación de usuarios, con Dirección profesional promedio, y atributos humanos (competencia y experiencia) en 70%.

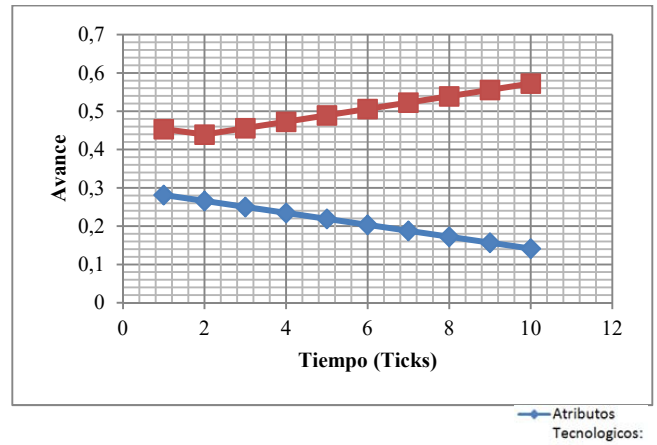


Figura 6. Gráfica de salida para Avance de Implementación. Atributos Tecnológicos: 0,40; Atributos tecnológicos: 0,70

Por otra parte, también observaremos la “experiencia de uso”, como variable de salida ante diferentes condiciones en la simulación; Por ejemplo, en la Fig. 7 se muestra que con participación en 0 (misma respuesta con participación en 1), la experiencia de uso del sistema tiene gran dependencia con los atributos tecnológicos, es decir con atributos tecnológicos altos, es mayor la experiencia de uso. Es importante resaltar que se obtiene la misma respuesta con atributos humanos altos o bajos.

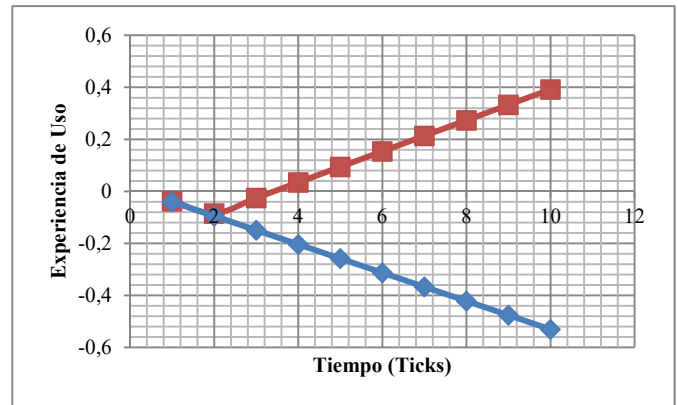


Figura 7. Gráfica de salida para Avance de la Experiencia de uso. Atributos Tecnológicos: 0,70 Atributos Tecnológicos: 0,40

En las gráficas de la Fig. 8, se observa que cuando los atributos tecnológicos son bajos (40%), y sin participación del usuario en el diseño o implementación, en ambiente de trabajo rígido, tanto el avance de la implementación como la experiencia de uso tienen tendencias negativas.

Debemos mencionar que en el modelo, los valores representan porcentajes. En el software Netlogo, la unidad de tiempo se mide en Ticks, en el modelo representa un ciclo de

ejecución.

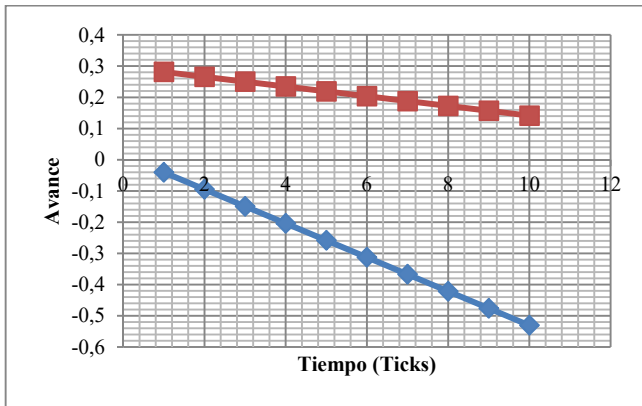


Figura 8. Gráfica de salida para Avance de implementación, y Experiencia de uso. ◆ Uso ■ Implementación

A modo de resumen mencionaremos que para el avance positivo de la implementación en un ambiente rígido como el de los sistemas de salud en general, es muy importante contar con una dirección profesional en un valor promedio alto, que garantice la participación del usuario en el proceso, y adecuado entrenamiento y soporte técnico. Por otra parte, la participación del usuario en el diseño e implementación de las tecnologías puede hacer una gran diferencia en el avance de la implementación, sobre todo por la posibilidad de ofrecer un camino de realimentación que permita el mejoramiento de los atributos del sistema en las primeras etapas de la implementación. De igual forma, garantizar valores promedio altos para los atributos tecnológicos apoya en gran medida el avance positivo de la implementación. Estos resultados coinciden con números estudios de casos, mencionaremos a Creswell [9] donde identifica los aspectos técnicos, sociales y organizacionales como dimensiones interrelacionadas a considerar en la implementación de tecnologías de información en salud, resaltando por ejemplo, las decisiones estratégicas que facilitan la participación de los usuarios durante el proceso de diseño e implementación; Creswell, también menciona que “esta consideración puede ayudar a minimizar los efectos adversos y al mismo tiempo maximizar la integración exitosa con requerimientos organizacionales e individuales”.

En cuanto a la experiencia de uso, se pudo comprobar que efectivamente los atributos del agente tecnológico, que representan la calidad del sistema (interoperabilidad, interface, compatibilidad) y calidad de la información, tienen gran influencia sobre esta variable, tal y como lo presentan Delone-Mclean, en su modelo de éxito para sistemas de información [10]

Finalmente, presentaremos los resultados obtenidos aplicando el modelo propuesto a un caso de estudio real [11]; donde se implementó un sistema completo de Historia Clínica Electrónica en un Hospital de mediano tamaño en Dinamarca en 2010, la evaluación se centró en dos departamentos (medicina interna y emergencia) y cuatro grupos de usuarios: Médicos, enfermeras, secretarías médicas, y fisioterapeutas; por su parte el sistema presentó las siguientes características,

en cuanto a *calidad de la información* en general fue buena, sin embargo se mencionaron aspectos por mejorar como la estructura de la data; en cuanto a *calidad del sistema* si bien aporta funcionalidades de alto beneficio, aun es deficiente el rendimiento del sistema y no cuenta con integración con PACS y otros sistemas; hubo satisfacción con la accesibilidad a la información y a la HCE en general, esta adecuado a las tareas del trabajo; en cuanto a *calidad del servicio* éste fue altamente satisfactorio, incluye el entrenamiento del usuario y soporte técnico; Se menciona en la evaluación, que el uso del sistema había sido fácil. Otros aspectos resaltantes fueron el alto grado de involucramiento de los usuarios antes y durante la implementación, los usuarios ya estaban familiarizados con algunos módulos del sistema, la administración y gestión del hospital apoyo ampliamente el proceso, durante el año de implementación, las autoridades regionales asignaron fondos adicionales y se suspendió la demanda de productividad.

A partir de estos datos, fue posible programar la simulación de la siguiente manera: Interoperabilidad: 0.45; Interface: 0.70; Compatibilidad: 0.70; Calidad: 0.60; Competencia: 0.70; Experiencia: 0.50; Participación: 1; Dirección: 0.80; Ambiente de trabajo: 1 (flexible), usuarios: 100. En la Fig. 9, se muestran los resultados.

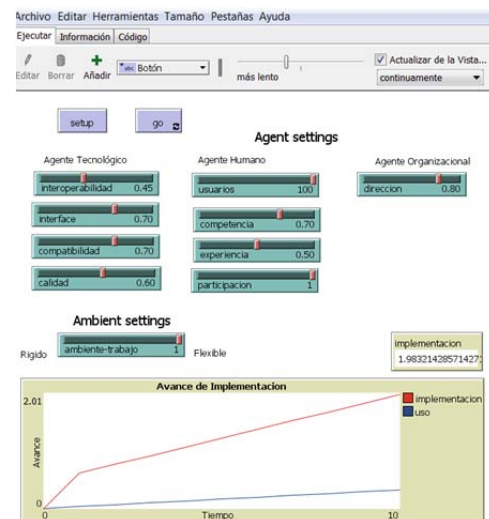


Figura 9. Vista de interfaz con gráficas de salida para caso de estudio.

En las gráficas de salida se observa el crecimiento sostenido del avance de la implementación, que efectivamente coincide con el autor del estudio del caso al mencionar “Un factor que contribuye significativamente al éxito de esta Historia Clínica electrónica (HCE) es probablemente el conjunto de características de la propia HCE”; por otra parte con respecto a la experiencia de uso, si bien es satisfactoria en general, también se menciona que “médicos y secretarías médicas tuvieron experiencias poco satisfactorias con funcionalidades centrales de su trabajo”, lo cual se corresponde con el poco crecimiento de la curva de salida asociada a la experiencia de uso en el simulador.

Es importante mencionar, que si bien la calidad del servicio, no está directamente como un parámetro de entrada al simulador, si está considerado en el modelo como parte de las reglas de comportamiento del agente organizacional, y por lo tanto programado en el software Netlogo.

Como observación, mencionaremos que se vislumbran diversas opciones para la sintonización y mejoramiento del modelo en próximas investigaciones, consideramos que la propuesta se constituye en una excelente herramienta de análisis.

IV. CONCLUSIONES

A continuación se exponen las principales conclusiones del estudio:

- El modelo y simulación basada en agentes, que se presentó, permitió analizar, entender y comprobar el impacto de múltiples agentes y sus interacciones en el proceso de adopción e implementación de tecnologías de información en salud.
- Se resalta, la importancia de la Dirección profesional, la participación de los usuarios en el diseño e implementación, así como el valor de los atributos tecnológicos para lograr un avance positivo o exitoso de la implementación.
- La propuesta se constituye en una excelente herramienta de análisis y prueba.

REFERENCIAS

- [1] Bloomrosen, M., Starren, J., Lorenzi, N. M., Ash, J. S., Patel, V. L., & Shortliffe, E. H. (2011). Anticipating and addressing the unintended consequences of health IT and policy : A report from the AMIA 2009 Health Policy Meeting, 82–90. <http://doi.org/10.1136/jamia.2010.007567>
- [2] Abbott, P. a., Foster, J., Marin, H. D. F., & Dykes, P. C. (2014). Complexity and the science of implementation in health IT-knowledge gaps and future visions. *International Journal of Medical Informatics*, 83(7), 1–11. <http://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2013.10.009>
- [3] Martínez-garcía, M., & Hernández-lemus, E. (2013). Health Systems as Complex Systems, *American Journal of Operations Research*, 113–126. <http://dx.doi.org/10.4236/ajor.2013.31A011>
- [4] Kruzikas, D., et al. Using agent-based modeling to inform regional health care system investment and planning (Published Conference Proceedings style), *International Conference on Computational Science and Computational Intelligence*, 2014, pp.211-214 <http://repast.sourceforge.net/>
- [5] Nan, N., (2011). Capturing bottom-up information technology use processes: A complex adaptive systems model, *Mis Quarterly*, vol. 35, N°2, pp. 505-532.
- [6] <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- [7] Zquierdo, L., Galán, J., Santos J., y Del Olmo, R. (2008). Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. *Empiria – Revista de metodología de ciencias sociales*, n°16, pp. 85-112.
- [8] Cresswell, K., & Sheikh, A. (2012). Organizational issues in the implementation and adoption of health information technology innovations : An. *International Journal of Medical Informatics*, 82(5), e73–e86. <http://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2012.10.007>
- [9] Delone, W. H., & Mclean, E. R. (2003). The DeLone and McLean Model of Information Systems Success : A Ten-Year Update. *Journal of Management Information systems*, 19:4, 9-30. <http://doi.org/10.1080/07421222.2003.11045748>
- [10] Bossen, C., Groth, L., & Witt, F. (2013). Evaluation of a comprehensive EHR based on the DeLone and McLean model for IS success : Approach, results , and success factors. *International Journal of Medical Informatics*, 82(10), 940–953. <http://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2013.05.010>



Mabel Pardo. Received the title of Engineer in Electronics from the National Experimental Polytechnic University "Antonio Jose de Sucre" (UNEXPO) - Venezuela in 1997, obtained his Diploma of Advanced Studies of the University of Zaragoza - Spain in 2003. She is currently PhD student in engineering science in UNEXPO. She is Professor and researcher at the Center for Biomedical Engineering at the same university.



Wilfredo Fariñas. Titular Professor Department of Electronic Engineering of the Polytechnic University of Venezuela, Doctorate in Technical Sciences (Bioengineering) Diploma Instituto Superior Politécnico, Havana, Cuba. Master in Biomedical Engineering diploma. Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela. Principal subjects / occupational skills covered: electrical, electronic and biomedical Engineering, Sub. Area: Electrical properties of biological tissues. Areas of expertise: Electrical and electronics engineering, Biomedical Engineering, Clinical Engineering, Bioimpedance breast cancer.