

Simulación de una Red de Sensores Inalámbricos para su Utilización en Telemedicina.

Resumen: En numerosos países se observa el aumento progresivo de la proporción de adultos mayores sobre el total de la población. Los adultos mayores prefieren envejecer en su residencia habitual. Envejecer en el lugar trae consigo riesgos y peligros. Las Tecnologías de Monitoreo y Asistencia para Adultos Mayores (TMAAM) tienen por objetivo brindar apoyo para compensar el deterioro cognitivo, sensorial o físico. Se describe un modelo de simulación que permite la instalación, manipulación y evaluación de redes de sensores inalámbricos en un ambiente virtual. Permite establecer las actividades diarias del habitante, conocer la ubicación del mismo y simular la activación de la red de sensores configurada. El sistema descrito en este trabajo constituye la primera etapa de un proyecto orientado a que personas de edad elevada y/o con enfermedades crónicas puedan vivir de manera independiente en sus residencias habituales durante el mayor tiempo posible y con la mejor calidad de vida.

Palabras Claves: Sensores inalámbricos; telemedicina; simulación; adultos mayores.

Abstract: In many countries a gradual increase in the proportion of elderly people over total population is observed. Seniors prefer to age in their usual homes but aging in place entails risks and dangers. Remote Monitoring and Assistance Technologies for Seniors aim to provide support to compensate for cognitive, sensory or physical impairment. A simulation model that allows the installation, handling and assessment of wireless sensor networks in a virtual environment is described. The model enables to set daily activities of the inhabitant, its location and to simulate the activation of the configured sensor network. The system described in this paper is the first stage of a project aimed at helping people of advanced age and / or chronically ill to live independently in their usual homes for as long as possible and with best quality of life.

Keywords: Wireless sensors, telecare, simulation, elderly people.

Franco Lianza, Denis Maria, Juan P. Nant, Nicole Schmidt

Departamento Ingeniería en Sistemas de Información - Facultad Regional Rosario, UTN

Zeballos 1348, Rosario, Santa Fe, Argentina - (0341) 448 0158

E-mail de contacto: isi.investiga.ffro.utn@gmail.com

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. (Mag.) Darío Weitz, en el marco del proyecto "Sensores y sistemas que faciliten el monitoreo y la asistencia remota de adultos mayores".

INTRODUCCIÓN

Un fenómeno que se observa en numerosos países es el aumento progresivo de la proporción de adultos mayores sobre el total de la población. La velocidad con la que se presenta dicho fenómeno está en relación con los niveles de vida y el grado de desarrollo de cada país; para los más desarrollados esta transición se está evidenciando desde aproximadamente 20 años. En Estados Unidos en el período 2000-2010, el total de la población creció 9,7% (de 281,4 millones a 308,7 millones); sin embargo, durante la misma década la población mayor a 65 años creció al 15,1% (Werner, 2011). Es un claro cambio en la tendencia que se verificaba hasta el año 2000, donde el crecimiento de la población de edad avanzada era lento con respecto al crecimiento total. En algunos países de la Unión Europea (UE) con menor nivel de desarrollo (Bulgaria, Estonia, Letonia, Lituania, Hungría y Rumania) la esperanza de vida aumentará más de 10 años para los hombres y alrededor de 8 para las mujeres hasta 2060 (European Commission, 2014). De esta forma alcanzarán a los estados más desarrollados de la UE, de modo que la edad de la población tenderá a converger entre hombres y mujeres y a estabilizarse país a país, lo que indica que la transición hacia sociedades envejecidas es inevitable a nivel mundial.

En la República Argentina, el panorama demográfico experimentará cambios significativos entre 1990 y 2025 y la población crecerá de 33 millones a 47 millones. Se estima que la tasa de mortalidad disminuirá en un contexto de mejora constante de los niveles de salud, lo que se verá reflejado en un aumento de 72 a 78 años en la esperanza de vida promedio (Torrado, 2004). Estos cambios, unidos a una disminución de la tasa de natalidad, se traducen en un aumento progresivo del porcentaje de personas mayores en la población total.

Envejecer trae aparejado un deterioro general de las capacidades del individuo, no solo en lo que respecta

a lo sensorial (vista, audición, etc.) y muscular, sino también en cuanto a capacidad cognitiva o mental. A pesar de ello, se está dando la tendencia de los adultos mayores hacia lo que se denomina “envejecimiento en el lugar”: estilo de vida en contraposición a los conocidos “hogares de retiro” o “asilos”, que eran habituales hasta hace algunos años. Aquí el individuo pone en valor el hecho de que el lugar donde ha transitado gran parte de su vida le es familiar y le da seguridad pese a sus dificultades, por lo que prefiere pasar sus últimos años de vida en forma independiente y en su propio hogar. Esta situación además de permitirle manipular el ambiente según su preferencia o necesidad, le confiere la satisfacción de una vida independiente y autónoma.

Envejecer en el lugar trae consigo riesgos y peligros, tales como caídas, descuidos con electrodomésticos, errónea utilización de la red de gas, o ingesta equivocada de medicamentos. Sin embargo, aun cuando los familiares cercanos de los adultos mayores y sus médicos de confianza conocen los mencionados peligros, y pese a que es usual la ocurrencia de accidentes domésticos en adultos mayores, la práctica del envejecimiento en el lugar se da cada vez con mayor frecuencia, dando origen a la problemática de brindarles un ambiente seguro para el desarrollo de su vida diaria.

Las Tecnologías de Monitoreo y Asistencia para Adultos Mayores (TMAAM) tienen por objetivo brindar apoyo para compensar el deterioro cognitivo, sensorial o físico, transformando el hábitat a fin de generar información del residente y compartirla con éste, sus familiares, y los profesionales que le brindan servicios de salud. Las TMAAM monitorean al individuo en el desarrollo de sus actividades diarias, y pueden implementarse con varias metodologías, entre las que se encuentran en auge el uso de dispositivos que lleva puesto el individuo a ser monitoreado

(dispositivos weareables, portátiles) (Ding et al., 2011), o la instalación de sensores en red, en comunicación con elementos de procesamiento embebidos en el ambiente a monitorear (Massachusetts Institute of Technology, 2015).

El objetivo es la medición de variables biomédicas tales como ritmo cardíaco, presión arterial, nivel de glucosa en sangre, respiración, agitación, calidad y cantidad de sueño. También se miden variables relacionadas con las Actividades Instrumentales Diarias (AID) (uso del horno, heladera, televisor, computadora, teléfono, otros electrodomésticos de uso diario) y se registra la localización de la persona en el ambiente monitoreado. Así las TMAAM permiten: detectar cambios funcionales de las variables biomédicas para facilitar una alerta temprana; detectar situaciones fuera de la rutina diaria del adulto mayor, como pueden ser estadías prolongadas en baños o en la cama en horarios no habituales; transmitir los datos a sistemas de servicios médicos para su utilización como información adicional ante un eventual tratamiento o para alertar ante una emergencia médica.

Las TMAAM requieren un proceso de alta complejidad para su instalación y puesta a punto. Se intentó resolverlo mediante hogares inteligentes: personal del Mobile and Pervasive Computing Laboratory de la Universidad de Florida construyó el Gator Tech Smart House, para el cual se transformó una casa en un laboratorio experimental en el que se implementaron sistemas de asistencia a adultos o personas con necesidades especiales para su evaluación, prueba y validación. Por otra parte, en el sector comercial están creciendo ampliamente el número de empresas dedicadas a sensores, sistemas de monitoreo, sistemas de asistencia remota y demás soluciones en telemedicina. Así también en hospitales y clínicas especializadas, crece la implementación de sensores y sistemas para

medir y controlar variables biomédicas. Sin embargo, la industria carece de una apropiada integración entre las tecnologías de sensado, recopilación de datos y transmisión remota (Brownsell et al., 2008).

Numerosas dificultades se presentan al momento de evaluar la eficacia de un sistema real de monitoreo y asistencia para adultos mayores. Cardinaux et al. (2013) indica las más importantes: i) dificultad en reclutar participantes, quienes deben aceptar la instalación en su hogar de un sistema intrusivo sin recibir compensación económica a cambio; ii) la necesidad de recolectar datos durante un período muy prolongado de tiempo; iii) dificultad en la recolección de datos confiables. La práctica habitual es a través de diarios o tablas que los adultos mayores deben completar de manera periódica; sin embargo, olvidos, distracciones, pudor, apatía y otros factores humanos resultan en datos poco confiables. La alternativa técnica de incorporar cámaras de video es inaceptablemente intrusiva para esa franja etaria; iv) dificultad en detectar un número significativo de anormalidades, las cuales (por definición) son sucesos de baja probabilidad; v) dificultad para evaluar escenarios que impliquen riesgos (humo en la cocina) o daños (incendios). Los inconvenientes expuestos justifican el desarrollo de una etapa previa de simulación, antes de incorporar de forma real un sistema de asistencia y monitoreo en la residencia de un adulto mayor.

Existen algunas versiones de simuladores o modelos de simulación que se emplean para evaluar redes de monitoreo, pero debido a la complejidad del problema no se ha obtenido aún una solución definitiva (Cardinaux et al., 2013), (Acampora et al., 2013).

El objetivo del presente trabajo es describir un modelo de simulación que permite la instalación, manipulación y evaluación de redes de sensores inalámbricos en un ambiente virtual que asemeja un

ambiente habitado por un adulto mayor. Se trata del primer componente de un proyecto orientado al monitoreo y a la asistencia remota de adultos mayores que desean vivir de manera privada e independiente en su residencia habitual.

METODOLOGÍA

El modelo de simulación fue desarrollado utilizando el lenguaje de programación C#. Es un lenguaje de programación de propósito general orientado a objetos desarrollado y estandarizado por Microsoft como parte de su plataforma .NET. Además, es un lenguaje diseñado para la infraestructura de lenguaje común (Common Language Infrastructure, CLI), una especificación estandarizada que describe un entorno virtual para la ejecución de aplicaciones. Se utilizó Microsoft Visual Studio 2012 como Entorno de Desarrollo Integrado (IDE).

Para la construcción de gráficos y curvas se utilizaron las librerías ZedGraph y Charting (DataVisualization). Se trata de librerías de clases, control de usuario y control web escritas en C# que permiten crear gráficos en proyectos .NET (Licencia: GNU Library o Lesser General Public License). El modelado de la vista 3D se realizó mediante el software SketchUp Pro 2015, utilizando la galería 3D Warehouse. El renderizado del modelo se realizó con el software SU Podium V2.5 Plus. Las líneas de redes de sensores se dibujaron mediante Visual Basic Power Packs Line and Shape controls. El motor de base de datos para el almacenamiento de datos y resultados fue Microsoft SQL Server 2008.

El modelo de simulación consta de tres componentes principales: i) el habitante de la residencia cuyas actividades diarias son monitoreadas; ii) la residencia simulada; iii) redes de sensores inalámbricos. La residencia simulada consta de un dormitorio, un

baño, un estudio con computadora, un living con televisor y una cocina equipada que incluye una mesa y silla. Permite una vista 2D (en planta) o 3D. El modelo está restringido a la simulación de una sola persona; no se considera una restricción importante debido a que la coexistencia de dos o más personas en una residencia permite una mutua evaluación del estado de salud superior al de cualquier sistema de información.

El algoritmo de simulación se desarrolló según el esquema de modelado de simulación de eventos discretos (Law y Kelton, 2000). Es una clase de modelo de simulación dinámico, discreto y estocástico. La dimensión estocástica permite modelizar la conducta relativamente impredecible que tienen los seres humanos en sus actividades diarias.

Los eventos que registran los sensores son las actividades diarias que desarrolla el habitante virtual de la residencia simulada. Al respecto, se consideraron dos tipos de actividades diarias: i) actividades de tiempo específico (ATE), desayunar, almorzar, dormir a la noche, etc., caracterizadas por realizarse solo una vez por día y en horario acotado; ii) actividades repetitivas (AR), ir al baño, usar la computadora, ver televisión, etc., que suelen realizarse varias veces por día y en horario libre. como de tiempo específico, se obtuvieron dos funciones de distribución de probabilidad:

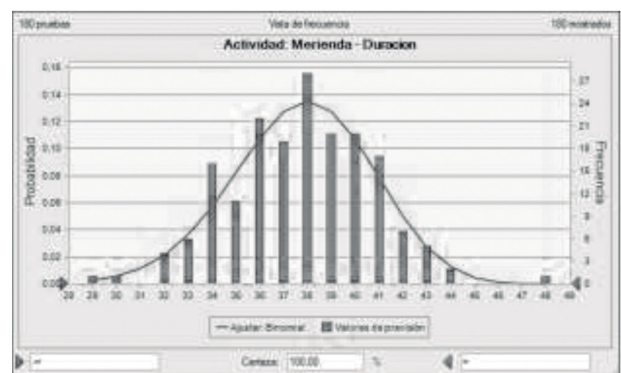


Figura 1. Ajuste de la actividad merienda duración.

ACTIVIDADES DE TIEMPO ESPECÍFICO			
DORMIR	H.I*	EXTREMO MÍNIMO	MÁS PROBABLE = 1,418.98; ESCALA = 19.61
	DUR**	BINOMIAL NEGATIVA	PROBABILIDAD = 0.46687; FORMA = 242
DESAYUNAR	H.I.	WEIBULL	UBICACIÓN=489.35;ESCALA= 64.89;FORMA= 3.30137
	DUR.	BINOMIAL NEGATIVA	PROBABILIDAD = 0.35942; FORMA = 10
ALMORZAR	H.I.	LOGÍSTICA	MEDIA = 768.87; ESCALA = 12.05
	DUR.	BINOMIAL NEGATIVA	PROBABILIDAD = 0.19684; FORMA = 9
MERENDAR	H.I.	NORMAL	MEDIA = 981.77; DESV EST = 38.49
	DUR.	BINOMIAL	PROBABILIDAD = 0.77041; PRUEBAS = 49
CENAR	H.I.	NORMAL	MEDIA = 1,230.99; DESV EST = 15.56
	DUR.	POISSON	TASA = 55.34
SIESTA	H.I.	BETA	MÍNIMO = 795.43; MÁXIMO = 877.97; ALFA = 2.80336; BETA = 2.49064
	DUR.	POISSON	TASA = 59.54
SALIR	H.I.	LOGÍSTICA	MEDIA = 949.82; ESCALA = 2.73
	DUR.	BINOMIAL NEGATIVA	NEGATIVA PROBABILIDAD = 0.16347; FORMA = 10 PREFERIBLE

Tabla 1- Distribuciones de probabilidad de las actividades de tiempo específico. *: Hora de inicio de la actividad; **: duración de la actividad.

una para la hora de inicio y otra para la duración. La Figura 1 muestra el ajuste para la duración de la actividad Merienda realizada por el Crystal Ball.

Para las actividades repetitivas, se modelizó la frecuencia de las mismas mediante distribuciones empíricas. La Tabla I resume las actividades de tiempo específico con sus respectivas distribuciones de probabilidad según los datos recolectados.

La simulación progresa en el tiempo a través del llenado de una lista de eventos. Dicha lista se genera a partir de números aleatorios asociados a las distribuciones de probabilidad. Las actividades tienen asociadas un valor de prioridad, para resolver situaciones de “empate” en tiempo de ocurrencia de los eventos. Si el tiempo de ocurrencia de una o más actividades se solapan con otra actividad en proceso, el algoritmo coloca a las primeras en una cola de espera y procede a ejecutarlas según un esquema FIFO.

El modelo permite el ingreso de distintos tipos de sensores: de movimiento, temperatura, humedad, presión, sonido, fotocontrol y detectores de gas natural y monóxido de carbono. De cada uno, se indica marca, modelo, proveedor y detalles específicos de cada tipo

(en el caso de sensores de movimiento, distancia y ángulo de detección). Haciendo clic derecho sobre un cuadrado azul dibujado en los distintos ambientes se pueden agregar o quitar sensores, activarlos o desactivarlos. El sistema permite configurar la probabilidad de ocurrencia de un siniestro (incendio, pérdida de gas, etc.), distribuyendo esa probabilidad entre las diferentes habitaciones de la residencia.

En resumen, el modelo de simulación permite establecer las actividades diarias del habitante, conocer la ubicación del mismo (incluyendo salidas al exterior de la propiedad) y simular la activación de la red de sensores configurada.

METODOLOGÍA

Previo a la realización de las corridas de producción, se deben ingresar las distribuciones correspondientes a las actividades diarias de la persona que se desea simular, junto con la cantidad máxima y mínima de veces que ocurre dicha actividad en un día. La Figura 2 muestra la pantalla de distribuciones de probabilidad de las ATE. Los valores obtenidos se

han cargado como valores por defecto para facilitar la realización de corridas de prueba. Algunas de las AR (ir al baño, recibir o realizar una llamada telefónica, etc.) pueden interrumpir a otras actividades de ambos tipos. Una vez concluida la actividad que interrumpió, la interrumpida continúa durante el tiempo que resta hasta su conclusión.



Figura 2. Distribuciones de probabilidad de actividades de tiempo específico.

En cualquier momento, es posible detener el sistema para poder visualizar la lista de eventos, tal como muestra la Figura 3. Se puede observar cómo la actividad “Baño”, interrumpe dos veces a la actividad “Dormir”.

La Figura 4 muestra la pantalla principal (vista 3D) del modelo de simulación. Los círculos verdes sobre un recuadro azul indican la presencia de un sensor activo. Un círculo verde intenso indica que el sensor está recolectando el dato correspondiente, mientras que los cuadrados azules corresponden a posibles ubicaciones de sensores que en la corrida de simulación actual están inactivos. La información recolectada



Figura 3. Lista de eventos

por los sensores se almacena en una base de datos SQL Server para mostrar métricas, log de eventos y gráficas para visualizar cambios en la conducta de la personasimulada.

En la Figura 5 se observa la vista 2D de la residencia simulada junto al reporte de métricas tras una corrida de simulación. El reporte de métricas indica el día y la hora simuladas, el ícono del sensor activado, su descripción, el valor asociado al tipo de sensor y el ambiente donde se activó.

Como ejemplo de grafica que permitiría visualizar cambios en la conducta de la persona, la Figura 6 muestra la cantidad de veces que los sensores registraron la actividad “Baño”. Además se indica cuántas

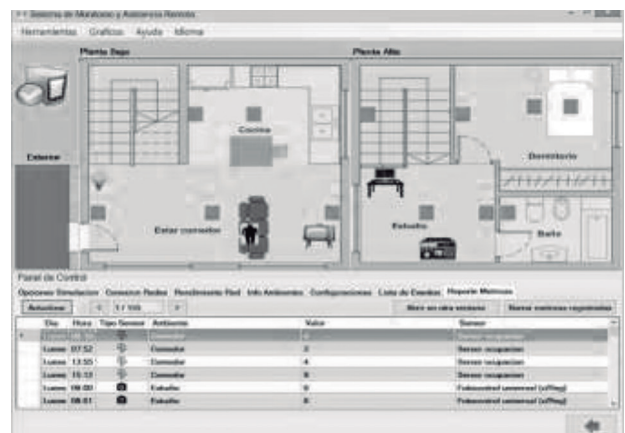


Figura 5. Vista 2D del modelo de simulación y reporte de métricas.



Figura 4. Vista 3D del modelo de simulación.

actividades fueron interrumpidas por ir al baño y cuántas de ellas correspondieron a la actividad dormir. Por ejemplo, el día 12 la persona simulada fue 8 veces al baño, interrumpiendo a 6 actividades, de las cuales 3 correspondieron a "Dormir".

La Figura 7 muestra el porcentaje de ocupación de los distintos ambientes (incluyendo salida al exterior) para 15 días. Como ejemplo, en el día 12 se observa una menor ocupación del dormitorio y mayor ocupación del estudio. Si esta tendencia se hubiera prolongado durante varios días, podría indicar un posible deterioro en la condición física o cognitiva que justificaría la intervención del profesional de la salud asociado. Solo se muestran 15 días por una cuestión de claridad de visualización de la gráfica.

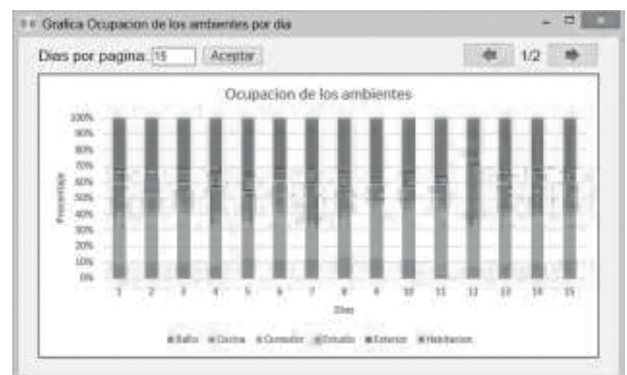


Figura 7. Gráfica de ocupación diaria de los ambientes.

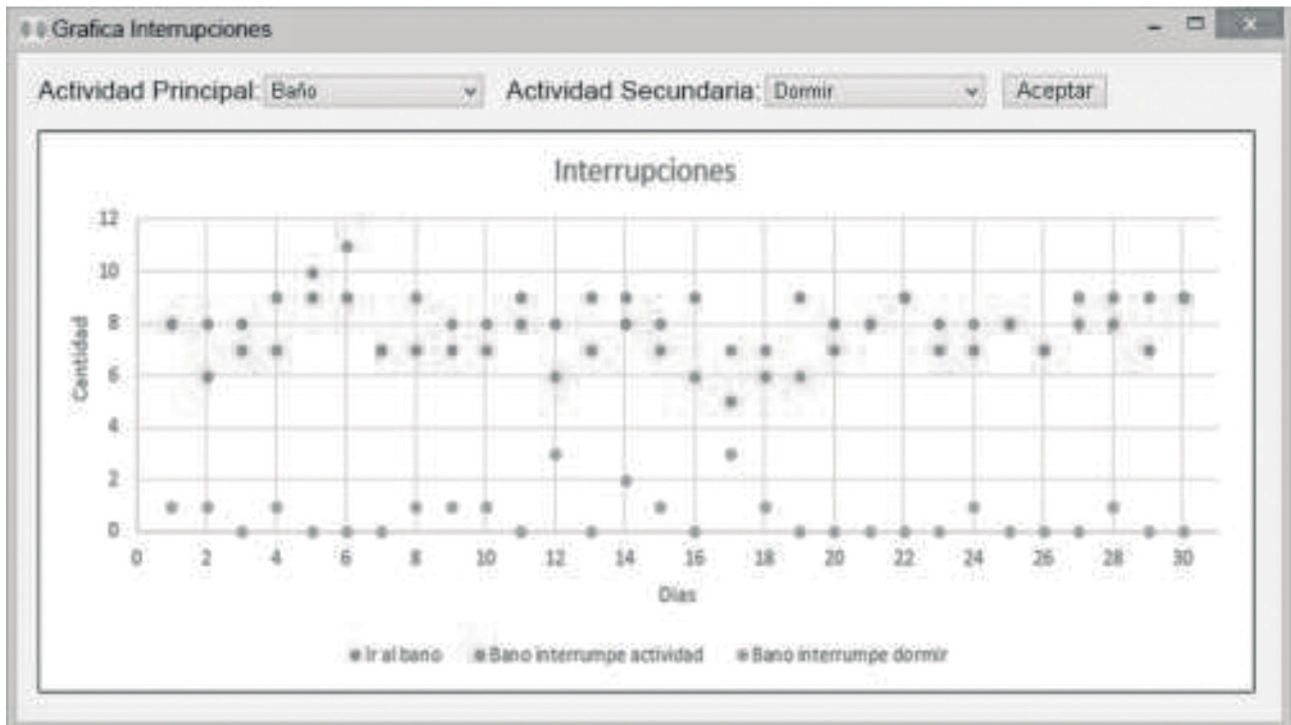


Figura 6. Gráfica de interrupciones.

DISCUSIÓN

El monitoreo y la asistencia remota de adultos mayores con algún tipo de discapacidad física o cognitiva es un problema tecnológico de elevada complejidad. Su implementación es costosa y existen consideraciones clínicas y éticas que deben ser tenidas en cuenta.

En base a lo anterior, una simulación como la descrita en este trabajo puede ser una valiosa contribución en los siguientes aspectos: i) ayuda en la evaluación y selección del tipo de sensor y de la red de sensores, las cuales variarían en función del tipo de residencia y de las características o problemáticas del residente de la misma; ii) genera datos que serán utilizados para la evaluación y selección de algoritmos de reconocimiento de actividades.

El modelo de simulación descrito en este trabajo constituye la primera etapa de un proyecto orientado

al desarrollo de TMAAM con capacidades operativas plenas. Las siguientes etapas del proyecto incluyen: i) el análisis y diseño de la arquitectura de interconexión de las redes de sensores y la transmisión de los datos hacia servidores remotos; ii) la instalación de una red de sensores inalámbricos en una habitación real para su análisis, evaluación y selección; iii) el desarrollo de un algoritmo de reconocimiento de actividades que permita identificar automáticamente cambios en las AR o en las ATE que sugieran deterioros físicos y/o cognitivos.

CONCLUSIONES

En numerosos países se observa el aumento progresivo de la proporción de adultos mayores sobre el total de la población. Esa franja etaria tiende a envejecer en el lugar habitual de residencia a pesar de ciertos riesgos y peligros. Las Tecnologías de Moni-

toreo y Asistencia para Adultos Mayores prometen ser una de las soluciones para que personas de edad elevada y/o con enfermedades crónicas puedan vivir de manera independiente en sus residencias habituales durante el mayor tiempo posible y con la mejor calidad de vida. Se describe un modelo de simulación que permite la instalación, manipulación

y evaluación de redes de sensores inalámbricos en un ambiente virtual que asemeja un ambiente habitado por un adulto mayor. Constituye la primera etapa de un proyecto orientado al desarrollo y perfeccionamiento de tecnologías que se puedan integrar exitosamente en diferentes residencias y para diferentes enfermedades crónicas.

REFERENCIAS

Werner, C. *The Older Population: 2010, United States Census Bureau*, 4. (2011).

European Commission. *The 2015 Ageing Report. European Economy*, 8|2014, 11. (2014).

Torrado, S. *ARGENTINA: ESCENARIOS DEMOGRÁFICOS HACIA 2025, Fac. Cs. Soc., UBA*, 5-8. (2004).

Ding, D., Cooper, R.A., Pasquina, P.F., Fici-Pasquina, L. "Sensor technology for smart homes". *Maturitas*, 69, 131-136. (2011).

Massachusetts Institute of Technology. <http://www.media.mit.edu/files/projects.pdf>. (2015)

Brownsell, S., Blackburn, S., Hawley, M.S. "An evaluation of second and third generation telecare services in older

people's housing". *Telemed Telecare*, 14(1), 8-12. (2008).

Cardinaux, F., Brownsell, S., Bradley, D. Hawley, M.S. "A home daily activity simulation model for the evaluation of lifestyle monitoring systems". *Computers in Biology and Med.*, 43, 1428 - 1436. (2013)

Acampora, G., Cook, D.J., Rashidi, P., Vasilakos, A.V. "A survey on ambient intelligence in healthcare". *Proceedings of the IEEE*, 101(12), 2470 - 2488. (2013).

Law, A.M., Kelton, W.D. *Simulation Modeling and Analysis*, New York: Mc Graw-Hill. (2000).

Evans, J.R., Olson, D.L. *Introduction to Simulation and Risk Analysis*, Upper Saddle River: Prentice Hall. (1998).