

Detección de comportamiento anómalo durante el monitoreo de actividades de la vida diaria en sistemas de inteligencia ambiental

Darío Weitz, Franco Lianza, Denis Maria, Nicole Schmidt, Juan Pablo Nant

Facultad Regional Rosario, Universidad Tecnológica Nacional, Zeballos 1341, Rosario, Argentina
dar.wtz@gmail.com

Abstract. Los adultos mayores de 65 años representarán el 21.78% de la población mundial en el año 2050. Se debe garantizar a los mismos una apropiada calidad de vida a pesar del inevitable deterioro de sus capacidades cognitivas y físicas. Los sistemas de inteligencia ambiental desplegados en las viviendas de adultos mayores son una de las posibles soluciones para que los mismos puedan envejecer apropiadamente en sus residencias habituales. Las Actividades de la Vida Diaria son parámetros utilizados para estimar el nivel de autonomía e independencia de un individuo y cuya no realización supone cierto grado de discapacidad. Se describe un método para la detección de cambios en las distribuciones de probabilidad de un conjunto de actividades de la vida diaria como herramienta para la detección remota de comportamiento anómalo. La Distancia de Hellinger se emplea como métrica para cuantificar la similitud entre las distribuciones de probabilidad originales y medidas. La información suministrada por el método será analizada por un servicio de salud remoto con la intención de procurar una detección temprana de cambios en las condiciones físicas y cognitivas de los adultos monitoreados.

Keywords: hogares inteligentes, inteligencia ambiental, monitoreo y asistencia remota, adultos mayores

1 Introducción

Las Naciones Unidas, en su "The 2012 Revision", proyecta que la población mundial de $7.2 \cdot 10^9$ habitantes del año 2013 se incrementará en aproximadamente mil millones de seres humanos en los siguientes

doce años, llegando a $8.1 \cdot 10^9$ en el año 2025, y proseguirá con sucesivos incrementos hasta llegar a $9.6 \cdot 10^9$ en el año 2050 y $10.9 \cdot 10^9$ para el año 2100 [1]. Analizando por cohortes, se observa que en 2013 los mayores de 65 años sumaban 863.8 millones, representando el 12.34% del total de la población, mientras que se pronostica para el año 2050 un acumulado de 2091 millones de adultos mayores a 65 años, los que representarán al 21.78% de la población mundial. Por su parte, los niños de 0 a 14 años pasarán de representar el 12.9% del año 2013 al 13.9% para el año 2050.

La comparación entre los datos del año 2013 y los pronosticados para el 2050 patentizan la vigencia de un proceso de envejecimiento global que está ocurriendo a considerable velocidad, y numerosos estudios en materia de demografía lo evidencian sin importar cuál sea la región o área geográfica bajo estudio [2]. Tres factores concurrentes explican el proceso previamente indicado: 1) mejoras continuas en ciencias y tecnologías de la salud; 2) reducción de la fertilidad; 3) progreso continuo en las condiciones económicas, sociales y ambientales que se traducen en un significativo incremento en las expectativas de vida en todo el planeta. Argentina ya cuenta con una población envejecida y las proyecciones para el año 2040 dejan ver que el proceso de envejecimiento provocará ensanchamientos en la parte superior de la pirámide demográfica e impactando en varios procesos sociales [3].

El desbalance en la pirámide demográfica tendrá numerosas implicancias: fuertes incrementos en los costos de los servicios públicos de salud; escasez de médicos especializados, enfermeros, auxiliares de atención domiciliaria y otros trabajadores de cuidado directo de adultos mayores; escasez de residencias confortables y seguras. A pesar de las mencionadas restricciones, es imprescindible garantizar una apropiada calidad de vida a ese número creciente de adultos mayores que inevitablemente sufrirán el deterioro de sus capacidades cognitivas y físicas.

El deterioro cognitivo y físico en los adultos mayores impide que muchas personas puedan disfrutar de una vida completa, independiente,

productiva y de calidad. A pesar de ello, un número creciente elige continuar viviendo en sus residencias habituales. Procuran extender lo máximo posible la estadía en ambientes familiares por la sensación de autonomía e independencia que los mismos les brindan, como así también por la familiaridad con la zona de residencia y el poder manipular el ambiente a sus necesidades y preferencias. El concepto se denomina “envejecimiento en el lugar”, e implica un ambiente confortable, familiar, relativamente seguro, vecindario con gente conocida para interactuar, y cierto sentido de autonomía e independencia.

Se han propuesto a los Hogares Inteligentes —Smart Homes, sistemas de inteligencia ambiental desplegados en las residencias de adultos mayores— como una solución innovadora para ayudar a compensar los deterioros sensoriales, físicos y cognitivos [4]. Se define a un ambiente inteligente como aquel capaz de adquirir y aplicar conocimientos sobre el ambiente y sus residentes con el objetivo de mejorar las experiencias de los mismos en tal ambiente [5]. Los Hogares Inteligentes, conformados por componentes físicos y entidades de software, se caracterizan por transformar el hábitat a fin de generar información del residente y compartirla con éste, sus familiares y con profesionales que le brindan servicios de salud. De esta manera, los adultos mayores podrían permanecer durante más tiempo en sus residencias habituales en condiciones más seguras, con la consiguiente mejora en su calidad de vida y una significativa disminución en los gastos de salud públicos y privados.

Los Hogares Inteligentes han sido objeto de profundas investigaciones académicas y privadas. Se indican a continuación algunos de los proyectos más elaborados: i) PlaceLab del MIT [6], una estructura de investigación científica altamente instrumentada y con las dimensiones de una vivienda real donde se recolectaron datos ambientales y de comportamiento humano. Se monitoreó a un grupo de voluntarios y se evaluaron diferentes estrategias y tecnologías de monitoreo. El proyecto concluyó en el año 2008; ii) Gator Tech Smart House del Mobile and Pervasive Computing Laboratory, University of Florida [7], una casa de amplias dimensiones transformada en un laboratorio experimental

donde se implementan, prueban y validan diversos sistemas de inteligencia ambiental; iii) CASAS (Center for Advanced Studies in Adaptive Systems) de la Washington State University (WSU) [8]; iv) Phillips Home Lab correspondiente a la empresa holandesa Phillips Enterprise Telehealth]; v) Samsung SmartThings perteneciente a la empresa Samsung [9]. Por su parte, Barrett et al. [10] realizaron un estudio examinando un conjunto de perspectivas relacionadas con el uso de tecnologías remotas para la asistencia y monitoreo de adultos mayores. Determinaron fundamentalmente un conjunto de factores que influyen en su adopción, implementación y utilización.

Todas las propuestas para crear un ambiente inteligente donde los adultos mayores puedan vivir por extensos períodos de tiempo se fundamentan en la utilización de tecnologías de inteligencia ambiental. Entre las diferentes alternativas, sobresalen la utilización de redes de sensores inalámbricos, tecnologías para la interacción humano-máquina y diversos algoritmos de inteligencia artificial y machine learning. La posibilidad de incorporar en la residencia habitual de un adulto mayor una red de sensores inalámbricos, a un costo relativamente bajo y sin la necesidad de grandes reformas estructurales, resulta en una tecnología de monitoreo y asistencia remota que puede ser utilizada para supervisar de manera ubicua. Las redes de sensores deben ir acompañadas de algoritmos que permitan estimar el nivel de autonomía e independencia de un individuo, como así también para detectar situaciones anómalas que puedan ser el resultado de falta de actividad o actividades fuera de lo habitual. Además, se prevé el suministro de información a un centro de salud especializado en la monitorización remota de adultos mayores.

Las soluciones de monitoreo cuyo pilar básico está constituido por una red de sensores presentan, pese a sus múltiples ventajas, una serie de dificultades a la hora de su puesta a punto por la gran variedad de alternativas al momento de seleccionar la topología de red, los tipos de sensores a utilizar, la configuración de los mismos, etc. Sumado a esto se debe considerar que el tiempo y esfuerzo invertido en dicha tarea puede dejar de ser válido al cambiar el paciente que se estará monitoreando debido a la natural aleatoriedad en la conducta y situación física

y cognitiva de los diversos adultos mayores. Las mencionadas dificultades se pueden sortear por medio de modelos de simulación que permiten flexibilidad y bajos costos a la hora de diseñar y evaluar dichos sistemas [11], [12]. Adicionalmente, los modelos de simulación aportan datos sintéticos correspondientes a años de vida de un individuo con esfuerzo y tiempo mínimos, para que los mismos puedan utilizarse para alimentar los algoritmos de aprendizaje presentes en los sistemas de monitoreo evitando que éstos requieran años de entrenamiento luego de ser instalados [13]. Por último, los modelos de simulación permiten soslayar algunas dificultades que surgen al intentar evaluar un sistema real de monitoreo y asistencia de adultos mayores tales como la dificultad en reclutar participantes, dificultad en detectar un número significativo de anomalías (sucesos de baja probabilidad), dificultad para evaluar escenarios que impliquen riesgos y dificultad para recolectar datos confiables de los individuos bajo estudio [11].

Weitz et al. [14] desarrollaron un modelo de simulación 3D 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. El algoritmo de simulación se desarrolló según el esquema de modelado de simulación de eventos discretos que utiliza el enfoque exploración de actividades [15]. 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 (Fig. 1). Las redes de sensores inalámbricos se encargan de registrar un conjunto de actividades de la vida diaria que desarrolla el habitante virtual de la residencia simulada. El enfoque exploración de actividades enfatiza una revisión de todas las actividades presentes en la simulación para determinar cuál puede iniciarse o finalizar al siguiente avance del reloj de la simulación. Cada actividad consta de un par de eventos: uno que inicia y otro que completa una operación que transforma el estado de una entidad. Las actividades tienen duraciones finitas.



Fig. 1. Pantalla principal del modelo de simulación

En un trabajo posterior [16], se describe la incorporación al modelo de simulación de una red neuronal utilizada para entrenar una función de clasificación para el reconocimiento automático de las actividades de un adulto mayor que vive solo en su residencia habitual. Se propone un sistema de monitoreo y asistencia remota con una arquitectura de tres capas: capa de percepción; capa de procesamiento; capa de aplicación (Fig. 2). La capa de aplicación resume la información procesada y puede ser accedida por el propio usuario, sus familiares y un servicio de salud remoto. El sistema permite generar resúmenes gráficos a partir de enormes cantidades de datos de sensores y presentar información resumida a familiares y proveedores de salud mediante aplicaciones web.

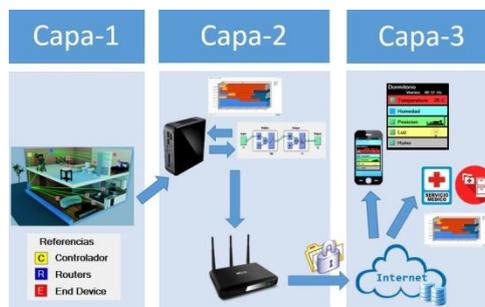


Fig. 2. Arquitectura del sistema de telemonitoreo y asistencia remota

El objetivo del presente trabajo es extender las propuestas descritas en [14] y [16] mediante la incorporación de un método para detectar cambios o desviaciones en un conjunto particular de actividades de la vida diaria. Se trata de una etapa adicional en el proceso de transformación de las residencias habituales de adultos mayores en un ambiente inteligente donde los mismos puedan vivir por extensos períodos de tiempo.

2 Actividades de la Vida Diaria

Las Actividades de la Vida Diaria (AVDs) son parámetros que se utilizan para estimar el nivel de autonomía e independencia de un individuo. Son aquellas tareas que el ser humano realiza de forma cotidiana, y cuya no realización supone mayor o menor grado de discapacidad (pérdida de funcionalidad) lo que le lleva a depender de terceras personas [17]. Numerosos profesionales del área salud consideran que la identificación de cambios o desviaciones en las AVDs es una de las maneras para detectar la aparición de enfermedades en sus primeras fases.

Las actividades que habitualmente realizan los seres humanos se clasifican en tres grupos claramente diferenciados: i) AVD Básicas (AVDB), relacionadas al autocuidado y movilidad —dormir, alimentarse, higiene, desplazarse por el ambiente, salir al exterior—; ii) AVD Instrumentales (AVDI), realizadas para interactuar con el entorno más inmediato —uso de electrodomésticos, conversaciones telefónicas, prendido del televisor, limpieza general del hábitat—; iii) AVD Avanzadas (AVDA), aquellas relacionadas con el trabajo y el tiempo libre [18]. Algunas de las actividades básicas e instrumentales se realizan una sola vez o un número significativo de veces a lo largo del día.

En el modelo de simulación, los eventos que registran los sensores son actividades diarias que desarrolla el habitante virtual de la residencia simulada. Para el modelado, se seleccionaron aquellas AVDs que podían ser registradas mediante sensores inalámbricos simples y económicos, y cuyos cambios significativos podrían ser indicadores de deterioro en las condiciones de salud del residente y así servir como alerta temprana. Al respecto, se realizó una clasificación adicional de las

AVDs en los siguientes dos tipos: i) AVD de tiempo específico (desayunar, almorzar, merendar, dormir a la noche, etc.), caracterizadas porque se realizan una sola vez por día y en horario relativamente acotado; ii) AVD repetitivas (ir al baño, tomar mate, ver televisión, etc.) que suelen realizarse más de una vez por día y en horario no acotado.

Se recolectó información de las AVDs (ambos tipos) mediante el llenado de un diario de actividades que realizó durante seis meses una mujer de 81 años que vive sola en su residencia habitual. Algunos datos ausentes por omisión u olvido fueron completados mediante la función Datos Aleatorios del Menú Calc del software Minitab. Los datos fueron ingresados a una planilla Excel y posteriormente procesados mediante el software Crystal Ball [15] para obtener las funciones de distribución de probabilidad (con sus correspondientes parámetros) que mejor ajustaron a los datos recolectados. Para cada AVD de tiempo específico, se realizó un ajuste para el Horario de Inicio de la actividad como así también un ajuste diferente para la Duración de la actividad. Las funciones de distribución de probabilidad originales ajustadas por el software Crystal Ball fueron utilizadas para entrenar una red neuronal artificial (RNA) con arquitectura feed-forward provista por el software Matlab® [16]. Las redes neuronales permiten interpretar datos de sensores (reales o simulados) para inferir actividades desarrolladas por seres humanos. De esta manera, se dispone de una función de clasificación para el reconocimiento automático de las actividades de un adulto mayor que vive solo en su residencia habitual.

3 Metodología

Las AVDs constituyen aquellas tareas que los seres humanos realizamos con una periodicidad prácticamente diaria y que conforman el “núcleo duro” de nuestro comportamiento. Por ello, numerosos profesionales de las especialidades gerontológicas y geriátricas opinan que la identificación de cambios en este tipo de actividades es uno de los mejores modos para detectar la aparición de enfermedades en sus primeras fases [19]. Los cambios en la frecuencia o duración de las AVDs son considerados importantes indicadores de trastornos físicos o cognitivos.

En base a lo descripto previamente, se trata de establecer la presencia de comportamiento anómalo en un adulto mayor monitoreado mediante la detección de AVDs que indiquen una conducta significativamente diferente respecto a los eventos normales. En tal sentido, se decidió graficar y medir las diferencias entre las distribuciones de probabilidad originales y las obtenidas mediante la simulación para cada una de las AVDs de tiempo específico como método de determinación de cambios o desviaciones en las AVDs.

Se analizaron varios estadísticos y métodos que estudian la similitud entre distribuciones y se optó por la Distancia de Hellinger puesto que ésta proporciona un valor fácilmente interpretable y libre de sesgos. La Distancia de Hellinger es una métrica que cuantifica la similitud entre dos distribuciones de probabilidad, P y Q ; en su forma compacta está definida como:

$$H^2(P, Q) = \frac{1}{2} \int (\sqrt{dP} - \sqrt{dQ})^2 \quad (1)$$

La Distancia de Hellinger permite medir la diferencia entre las distribuciones de probabilidad originales y las determinadas por la simulación. Para nuestro cálculo, denotamos P a la distribución original que se utilizó como entrada al modelo de simulación y Q a la distribución obtenida ajustando los resultados obtenidos mediante una corrida de simulación de tres meses de extensión. Se calcularon dos medidas para cada actividad: (i) H^2 entre P_d y Q_d correspondientes a la duración de la AVD; (ii) H^2 entre P_h y Q_h correspondientes a la hora de inicio de la AVD.

Al proceder al análisis de los resultados de la corrida de simulación para obtener las correspondientes distribuciones de probabilidad se presentó el siguiente problema: en la modelización del sistema algunas actividades pueden ser interrumpidas por otras. El ejemplo habitual es la interrupción del sueño nocturno de un adulto mayor para ir al baño. Así, durante una corrida de simulación el residente duerme desde los 0 min del día hasta los 360 min, luego a los 360 min va al baño hasta los 365 min y finalmente continúa durmiendo hasta los 400 min. De esta forma, el modelo logra una mejor representación de la realidad pero se ven alteradas las distribuciones de probabilidad de la duración de la AVD

Dormir. Como la misma corresponde a una AVD de tiempo específico y solo puede ocurrir una vez por día, se la trata como una única AVD Dormir pero interrumpida por otra AVD. El algoritmo las agrupa y “reconstruye” para determinar la distribución de probabilidad que será comparada con la distribución original que alimenta al modelo de simulación. En el caso de una AVD repetitiva no resulta factible determinar si ocurrió una interrupción. No es una limitación para nuestro análisis puesto que solo graficamos y cuantificamos la similitud entre distribuciones de probabilidad para AVDs de tiempo específico.

4 Resultados

Con las AVDs de tiempo específico “reconstruidas”, tal como se indica en el párrafo anterior, se procedió a determinar las funciones de distribución de probabilidad de la hora de inicio y de la duración utilizando el software estadístico Crystal Ball mediante la función Análisis de Datos, Ajuste de Distribución de Probabilidad. A continuación, se graficó la distribución obtenida junto a la distribución original para cada actividad. Se observaron distintos casos:

1) Distribuciones similares. La figura 3 muestra la distribución original (azul) y la obtenida (roja) para la propiedad Duración de la AVD Cenar. Desde un punto de vista estadístico, el resultado del test de hipótesis indica que no se puede afirmar que la distribución de probabilidad original haya cambiado. Consecuentemente, puede afirmarse que la persona monitoreada no ha cambiado su comportamiento relacionado con la actividad bajo estudio.

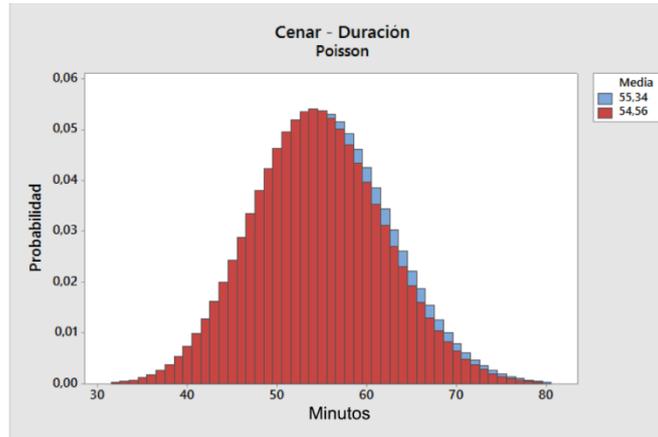


Fig. 3. Distribuciones de probabilidad de la propiedad Duración de la AVD Cenar

2) Cambios en la media. La figura 4 muestra que la Hora de Inicio de la actividad Almorzar se desplazó hacia la izquierda: el individuo monitoreado está almorzando más temprano (distribución obtenida, roja punteada) de lo que acostumbraba (distribución original, azul continua). Hay un cambio en la media de la distribución, aunque el desvío sigue siendo aproximadamente el mismo. Visualmente, la distribución “se desplaza hacia atrás”. Algún profesional responsable deberá tener estos cambios en cuenta a la hora de analizar si la persona presenta algún proceso de deterioro cognitivo o si el horario de inicio se alteró por eventos o factores externos o internos.

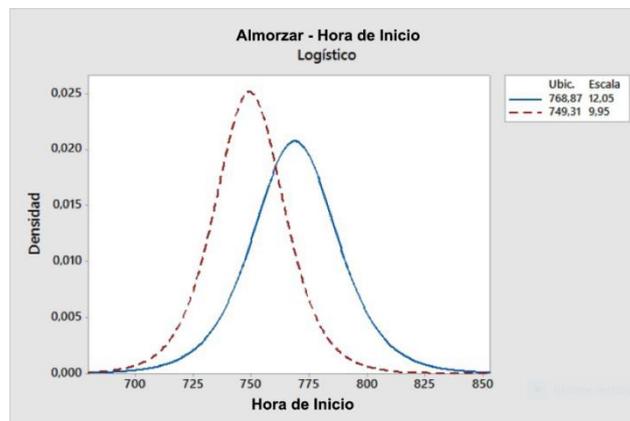


Fig. 4. Distribuciones de probabilidad del horario de inicio de la AVD Almorzar

3) Distribuciones sesgadas. La figura 5 muestra un desplazamiento significativo para la propiedad Duración de la AVD Salir (original azul, obtenida roja). Indica que la persona se encuentra cambiando su actitud hacia la actividad. Puede ser señal de deterioro o cambio en el clima. Al analizar la temperatura y humedad de los días simulados, se observó que la temperatura exterior fue muy baja. Entonces, resulta normal la reducción en la duración de sus salidas al exterior.

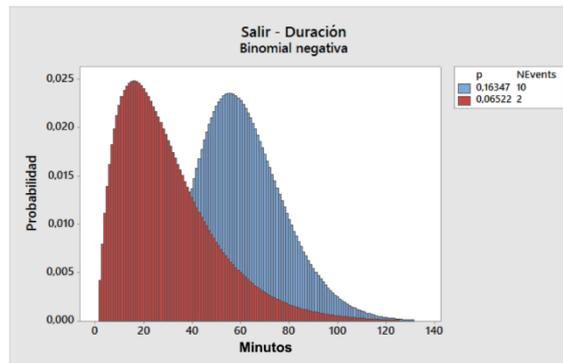


Fig. 5. Distribuciones de probabilidad de la propiedad Duración de la AVD Salir

4) Distribuciones distintas. La figura 6 muestra que la duración de la AVD Dormir aumentó considerablemente; la distribución obtenida difiere con la distribución original. Es un cambio en la actitud de la persona hacia esa actividad. Se deberá analizar si se trata de un cambio que presagia un deterioro o si algún otro factor –bajas temperaturas, fiebre pasajera, etc.- es el responsable del cambio en la distribución.

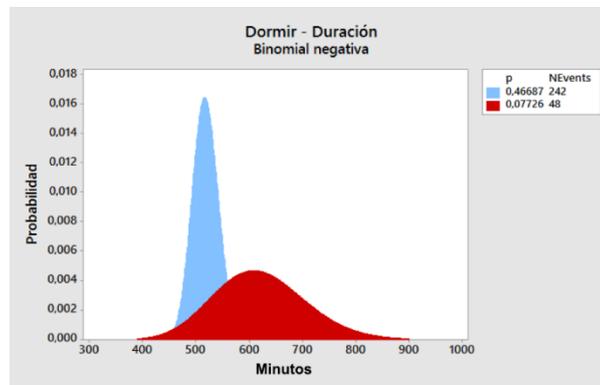


Fig. 6. Distribuciones de probabilidad de la propiedad Duración de la AVD Dormir

La Tabla 1 resume las distancias de Hellinger aplicadas a cada AVD en su hora de inicio y su duración comparando las distribuciones de probabilidad originales establecidas en el simulador y las obtenidas con la simulación. Para calcularlas, se utilizó el software Mathematica.

Table 1. Distancia de Hellinger de las AVDs

	Hellinger	
	Hora de Inicio	Duración
Almorzar	0.1911	0.0005
Cenar	0.1263	0.0071
Desayunar	0.0052	0.0007
Dormir	0.9731	0.2913
Merendar	0.1168	0.0534
Siesta	0.1592	0.0149
Salir	0.1592	0.0009

5 Discusión

La distancia de Hellinger —tal como la expresa la ecuación (1)— proporciona un valor entre 0 y 1; por lo tanto, los resultados obtenidos multiplicados por 100 pueden interpretarse como porcentaje de diferencia entre las distribuciones. Previamente hay que tomar en consideración la precisión de la RNA al interpretar los resultados: en el reconocimiento de las actividades utilizando la RNA, se obtuvo una precisión del 85% [16], de forma que tenemos un 15% de error el cual se toma como cota inferior para determinar un cambio en la conducta del residente simulado.

Los resultados indicados en la tabla 1 muestran que la persona no ha realizado cambios en sus actividades Cenar, Desayunar y Merendar

puesto que se obtuvieron valores de H^2 inferiores a 0.15, los cuales corresponden a diferencias no significativas entre las distribuciones que modelan dichas actividades. De manera similar, la duración de las actividades Almorzar, Siesta y Salir no registran diferencias significativas. Sin embargo estas actividades dejan en evidencia algunos cambios de conducta en cuanto a las horas en las que la persona las comienza, con valores de H^2 todos superiores a la cota inferior de 0.15.

El caso extremo para este escenario de la simulación se da en la actividad Dormir. Para su duración se tiene un cambio del orden del 30%, el doble de la cota que se ha definido. Para su hora de inicio, la distancia de Hellinger es del 97%, lo que indica que se trata de distribuciones completamente distintas. Ambos resultados reflejan que la persona monitoreada ha cambiado sustancialmente su conducta frente a dicha actividad.

La información suministrada por la distancia de Hellinger debe ser acompañada por una inspección visual de gráficas similares a las de las figuras 4 a 8, puesto que las mismas permiten observar desplazamientos en el eje de los tiempos que la métrica de Hellinger no registra apropiadamente.

6 Conclusiones

Existe una tendencia creciente en los adultos mayores a envejecer en sus residencias habituales. El concepto, denominado “envejecimiento en el lugar”, trae aparejado riesgos y peligros tales como caídas, quemaduras, intoxicaciones y otros propios del deterioro físico y cognitivo inevitable con el transcurrir de los años. Surge entonces la necesidad de proveerles un ambiente seguro para que puedan desarrollar sus actividades diarias a pesar de cambios en el entorno y en sus datos biomédicos.

Los sistemas de inteligencia ambiental desplegados en las residencias de adultos mayores pueden brindar apoyo para compensar el deterioro cognitivo, sensorial o físico. Los dispositivos también pueden ser utilizados por aquellas personas que, sin pertenecer a la franja etaria de adultos mayores, presentan algún tipo de discapacidad que afecta su

desempeño diario normal. Las tecnologías de monitoreo y asistencia remota deben incorporar métodos y procedimientos que permitan transmitir de manera remota información sobre las AVDs que realiza el residente monitoreado.

En este trabajo se propone una métrica y un procedimiento gráfico para la detección de comportamientos anómalos en las AVDs de adultos mayores que viven solos en sus residencias habituales. Se trata de información valiosa que puede ser transmitida a un centro de salud especializado en la monitorización remota y ubicua de adultos mayores. De esta manera se podría mejorar la seguridad y la sensación de protección de aquellas personas que desean vivir de manera independiente y las mismas podrían disfrutar durante más tiempo de una cierta sensación de autonomía. Es un aporte adicional al desarrollo de los Hogares Inteligentes que se traduce en una mejora en la calidad de vida de los adultos mayores.

Referencias

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division: World Population Prospects: The 2012 Revision, Highlights and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP.228 (2013).
2. INSEE, National Institute of Statistics and Economic Studies, http://www.insee.fr/en/themes/theme.asp?theme=2&sous_theme=4
3. INDEC, Indicadores Sociodemográficos, <http://www.indec.gov.ar/indicadores-sociodemograficos.asp>
4. 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).
5. Cook, D.J., Das, S.K.: How Smart are our Environments? An Updated Look at the State of the Art, Journal Pervasive and Mobile Computing, Volume 3 Issue 2, 53-73, (2007).
6. Massachusetts Institute of Technology, Media Lab Project April 2015, <http://www.media.mit.edu/files/projects.pdf>,
7. Mobile and Pervasive Computing Research, University of Florida, <http://www.icta.ufl.edu/gt.htm>

8. CASAS, Center for Advanced Studies in Adaptive Systems, <http://casas.wsu.edu/research-projects>
9. Samsung, Business Home, Telecare, <http://www.samsung.com/us/business/by-industry/healthcare/>
10. Barrett, D., Thorpe, J., Goodwin, N.: Examining perspectives on telecare: factors influencing adoption, implementation and usage. *Smart Home Technology and Telecare*, 3, 1-8 (2015).
11. 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 Medicine*, 43, 1428 – 1436, (2013).
12. Elfaham, A., Hagra, H., Helal, S., Hossain, S., Woong Lee, J., Cook, D.: A Fuzzy Based Verification Agent for the Persim Human Activity Simulator in Ambient Intelligent Environments, 2010 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ), 18-23 July (2010).
13. Synnott, J., Nugent, C., Jeffers, P.: Simulation of Smart Home Activity Datasets. *Sensors* (15), 14162-14179, (2015).
14. Weitz, D., Lianza, F., Nant, J.P., Schmidt, N., María, D.E.: Modelo de Simulación 3D para la Evaluación de Tecnologías de Monitoreo y Asistencia para Adultos Mayores, 3er Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información, CONAIIISI 2015, Buenos Aires, 19 y 20 de Noviembre de 2015.
15. Evans, J.R., Olson, D.L., Introduction to Simulation and Risk Analysis, Prentice Hall, (1998)
16. Weitz, D., Schmidt, N., María, D.E., Lianza, F., Nant, J.P., Feldman, S.: Sistema de Inteligencia Ambiental para el Monitoreo Remoto de Adultos Mayores, 4to Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información, CONAIIISI 2016, Salta, 17 y 18 de Noviembre de 2016.
17. Katz, S., Ford, A.B., Moskowitz, R.W., Jackson, B.A., Jaffe, M.W.: Studies of illness in the aged: the index of ADL, a standardized measure of biological and psychosocial function, 185:914-9, *JAMA* (1963).
18. Horgas, A., Wilms, H., Baltes, M.: Daily life in very old age, Everyday activities as expression of successful aging, *The Gerontologist*, 38(5), 556-567, (1998).
19. Haigh, K.Z., Yanco, H.A.: Automation as Caregiver: A Survey of Issues and Technologies. In AAI Workshop “Automation as Caregiver”, July 2001.