

# Proyecto de Investigación

## Modelo probabilístico para la inferencia del patrón de actividades del adulto mayor en la vida asistida por su entorno

Responsable:

Dr. Jorge Ricardo Gómez Montalvo

Colaboradores:

Dr. Luis Fernando Curi Quintal

Dr. José Luis Batún Cutz

Dr. Francisco Alejandro Madera Ramírez

Estudiante:

LCC. Reyna Concepción Ay Manzanero

23 de agosto de 2018

### 1. Introducción

El envejecimiento es un proceso irreversible que desencadena la aparición de impedimentos o limitaciones en habilidades y capacidades debido a los cambios físicos, psicológicos y sociales. Las limitaciones en las habilidades y capacidades se presentan en disminución o pérdida de la memoria, disminución de la sensibilidad, alteraciones motrices, lentitud al reaccionar a ciertas circunstancias, entre otros problemas [1]. Otro problema asociado al envejecimiento es el deterioro de la salud debido a la existencia de enfermedades como la diabetes, demencia, depresión, fatiga, entre otros [2].

Con relación al envejecimiento, existen varios estudios demográficos que demuestran el incremento de la población de la tercera edad y consideran a un individuo como adulto mayor a partir de los 60 años [2][3]. Por ejemplo, un análisis realizado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima un incremento entre el año de 2015 y 2050 la población aumentará de 900 millones hasta 2000 millones de personas. Lo anterior es debido a los avances de la medicina que han permitido que las personas tengan más años de vida [2]. Por otra parte, un análisis del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) muestra que en el censo de 1930, la población de adultos mayores era inferior a un millón de personas, pero en 2010, el censo registró 10.1 millones, que representó el 9% de la población en México de ese año [3].

La población que llega a la vejez se encuentra trabajando o buscando trabajo. En septiembre del 2017, se reportó el porcentaje del 33.9% que corresponde a la población económicamente activa de adultos mayores; el 66.31% son adultos mayores no económicamente activos, de los cuales, el 54% se dedica a quehaceres del hogar [3].

Dentro de la población del adulto mayor en México existe 1.6 millones que viven de manera independiente, es decir que habitan sólo en su hogar [3]. La OMS señala que los entornos físicos y sociales son clave para que la persona puedan mantenerse saludable, independiente y autónomo, así pues, la vivienda debe ser un espacio adaptado a las necesidades del usuario [4].

En el contexto del hogar del adulto mayor independiente, es particularmente importante contar con plataformas que faciliten o adapten el ambiente a las necesidades con el objetivo de mejorar su calidad de vida. Es así cómo surge, la Vida Asistida por el Entorno (*Ambient Assisted Living AAL*) que es un área de estudio que surgió con el propósito de ayudar a los usuarios en su vida diaria [5].

Para lograr un hogar o ambiente que se adapte a las necesidades de las personas de la tercera edad, se requiere detectar o reconocer las Actividades de la Vida Diaria (*Activities of Daily Living ADL*). Algunos ejemplo de las ADL son dormir, preparar el desayuno, ir al baño, entre otros [6].

El presente trabajo tiene el objetivo de identificar el patrón de las ADL con fundamento probabilístico. Al identificar el patrón de actividades con sus respectivas probabilidades de realización se podría preparar el entorno. Por ejemplo, se sabe que el adulto mayor tiene una probabilidad de ir a ver televisión del 0.8 o ir al baño 0.5 dado que se encuentra cocinando. Como se puede notar, la probabilidad de realizar la actividad ir a ver televisión es mayor que ir al baño, entonces se puede preparar el entorno encendiendo el televisor en el programa favorito y, además, cuando el adulto mayor deja la cocina asegurar que no existan riesgo como estufas encendidas, entre otros.

## 2. Contexto y problemática

El contexto que se considera en este proyecto contempla a los adultos mayores que viven de manera independiente en su hogar y realizan sus actividades de la vida diaria (ADL) como son dormir, preparar el desayuno, ir al baño, entre otros [6]. En este contexto, se supone que los adultos mayores tienden a realizar sus actividades cotidianas con cierta rutina, es decir, normalmente realizan una actividad en un lugar, hora, duración y fecha específicos. Por ejemplo: un adulto mayor normalmente se baña, en el baño, a las 2 PM durante 20 minutos de lunes a domingo. Así mismo, mira la televisión, en la recámara, por 20 minutos de lunes a viernes. De esta manera, al observar la rutina de actividades, se puede obtener el patrón de desplazamiento del individuo. El contexto del proyecto queda ejemplificado en la figura 1, en la que se muestra al adulto mayor, en su hogar, realizando sus actividades en diferentes lugares del hogar y durante un determinado lapso de tiempo.

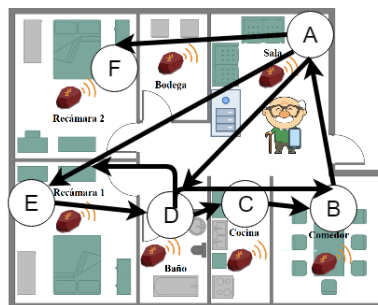


Figura 1: Desplazamiento del adulto mayor al realizar sus actividades

Como resultado de observar los movimientos del adulto mayor en su hogar durante un lapso de tiempo, es posible obtener su patrón de desplazamiento. Dicho patrón puede facilitar la asistencia al usuario; ya que, si se conoce con anticipación hacia dónde se desplazará el usuario, entonces se puede tomar decisiones o acciones de asistencia de acuerdo a su entorno o actividades. Por ejemplo: si el adulto mayor se encuentra en la cocina y, se calcula que hay una alta probabilidad de que posteriormente el individuo se desplace al cuarto, entonces se puede encender el sistema de ventilación de la habitación, encender las luces, entre otros. Así como, apagar los aparatos electrodomésticos en la cocina, con el objetivo de evitar accidentes. Así pues, el reconocimiento del patrón de desplazamiento puede mejorar la calidad de vida del adulto mayor al preparar con anticipación el entorno.

Ahora bien, un patrón de desplazamiento se puede representar por medio de un grafo dirigido o digrafo. En la figura 2 se muestra cómo representar el contexto del usuario, mostrado en la figura 1 mediante un grafo dirigido, en el cual, las habitaciones del hogar son representados por los vértices del grafo y las aristas indican la dirección del desplazamiento del adulto mayor.

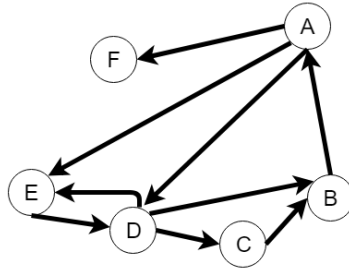


Figura 2: Grafo de movimientos del contexto de la Figura 1

Otro aspecto que se considera en el contexto de este trabajo, es que el usuario suele moverse de una habitación a otra. Así que, para representar la frecuencia de desplazamiento del usuario de una habitación A a una habitación B se asigna una etiqueta de frecuencia a la arista, es decir, la cantidad de veces que el individuo va de la habitación A a la B en un lapso de tiempo determinado de observación. En la figura 3 se presenta el patrón de desplazamiento de un usuario en un día, y se puede observar que el individuo se desplaza 15 veces de la habitación A a la D en ese lapso de tiempo. Al representar las habitación con vértices y el desplazamiento con las aristas, entonces se puede representar el patrón de desplazamiento del usuario usando el grafo  $G=(V,E)$  donde V es el conjunto de vértices, E es un conjunto de aristas que son pares ordenados de los elementos de V.

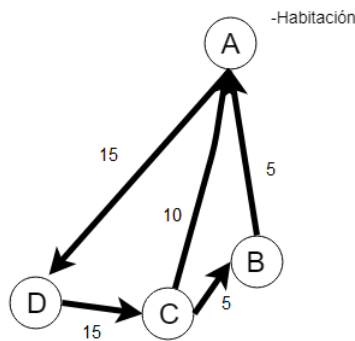


Figura 3: Patrón de desplazamiento en un día con frecuencias

Teniendo el grafo de desplazamiento con sus respectivas etiquetas de frecuencia, entonces nos preguntamos cómo calcular la probabilidad de que el usuario se desplace de la habitación A hacia la B, es decir la  $P(B|A)$  si  $\ni E(A,B)$ . Además, se quiere saber cómo influye la frecuencia de desplazamiento al calcular las probabilidades de desplazamiento. Así, al conocer la probabilidad del desplazamiento se tiene una mayor certeza en la toma de decisiones. Por ejemplo, en la figura 4, se representa una situación en donde el adulto mayor se encuentra en la habitación C y el grafo de desplazamiento muestra que puede ir a la habitación A ó B, pero se tiene que la probabilidad de ir de la habitación A dado que está en habitación C ( $P(A|C)$ ) es 0.5 y la probabilidad que el usuario se desplace a la habitación B dado que se encuentra en C ( $P(B|C)$ ) es 0.2, con base en este conocimiento, se puede anticipar la asistencia al usuario adecuando la habitación A. Una posible solución, para calcular las probabilidades de desplazamiento, son los procesos estocásticos [7][8], específicamente con cadenas de Markov [9][10].

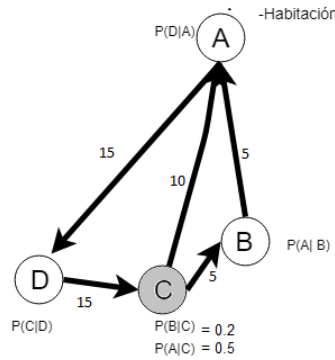
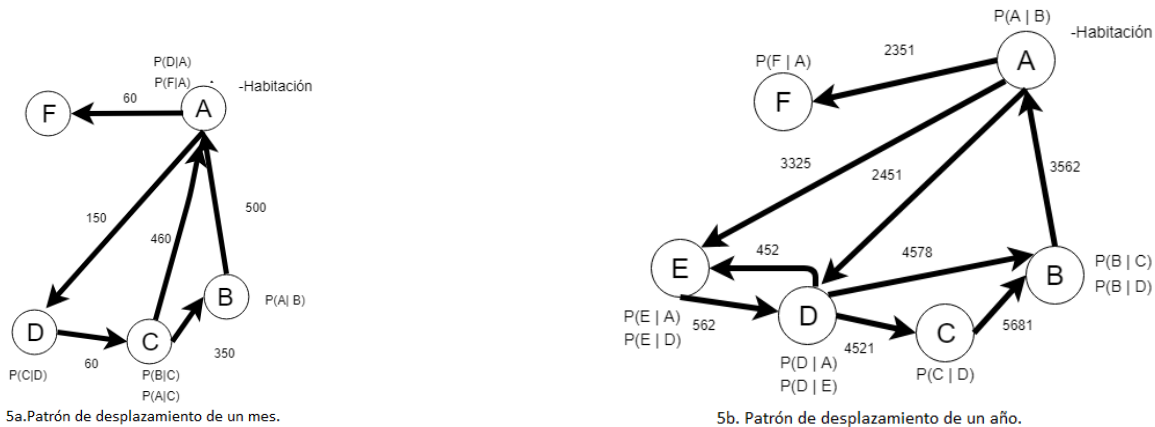


Figura 4: Grafo de desplazamiento en un día con probabilidades

Por otro lado, conforme incrementa el tiempo de estar observando los desplazamientos del usuario, se obtiene mayor información; como por ejemplo, el apareamiento de nuevos nodos (habitaciones) que el usuario no había visitado; se actualizan las frecuencias de desplazamiento, lo que provoca cambios en las probabilidades de desplazamiento. Por ejemplo: la figura 5a representa el patrón de desplazamiento en un periodo de un mes de observación, en donde, se muestra la aparición de la habitación F, así como el cambio de las frecuencia y las probabilidades de desplazamiento en comparación con la figura 4 del patrón de desplazamiento de un día. En el grafo de un año (figura 5b), se obtiene mayor información sobre los movimientos del individuo en su hogar en comparación con el grafo de un mes (figura 5a).



Hasta este punto, se ha presentado el patrón de desplazamiento del usuario entre las habitaciones del hogar, sin tomar en cuenta la actividad que realiza en tales habitaciones. Ahora bien, nos preguntamos si se puede mejorar la asistencia, si además de conocer la habitación en dónde se encuentra el usuario, se sabe qué actividad está realizando, con el fin de adecuar el entorno tomando en cuenta el lugar en el que se encuentra y la actividad que realiza. Por ejemplo:

*Si el adulto mayor normalmente se baña, en el baño, a las 1:30 PM durante 20 minutos de lunes a domingo. Después, mira la televisión, en la sala, durante 30 minutos de lunes a domingo. De esta manera, se puede adaptar el entorno de la sala al encender la calefacción y encender la televisión en el programa favorito del usuario, porque se sabe que después de bañarse, el usuario suele realizar la actividad mirar la televisión.*

Ahora lo que se quiere es que el patrón de desplazamiento se adapte de tal manera que contemple las actividades que se realiza en una habitación dada. Por ejemplo, la figura 6 se representa la habitación A, que puede ser la cocina, y actividades  $A_1$  es lavar los trastes,  $A_2$  es comer,  $A_3$  es preparar el desayuno y la habitación B, que es la sala, contempla las actividades;  $B_1$  es ver televisión,  $B_2$  es leer un libro. También se puede observar que el individuo va de la sala, cuando leer un libro a la cocina a comer, 1 vez. Este nuevo grafo se puede denominar patrón de desplazamiento entre actividades.

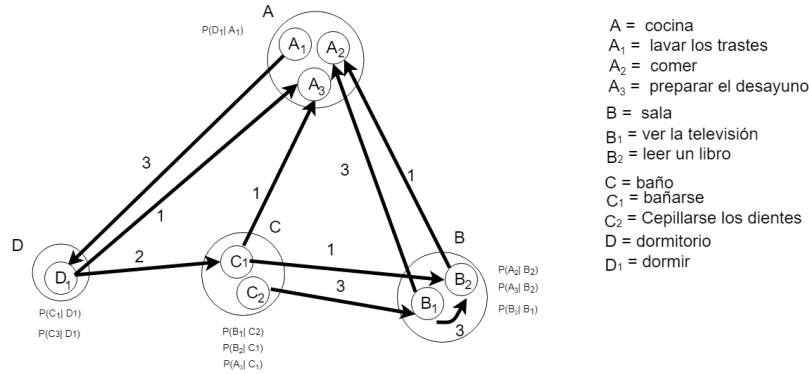


Figura 6: Patrón de desplazamiento entre actividades

Así pues, teniendo el patrón de desplazamiento entre actividades con sus respectivas etiquetas de frecuencia, entonces nos preguntamos cómo calcular la probabilidad de que el usuario se desplace de la habitación A cuando realiza una actividad  $A_i$  hacia la B a realizar una actividad  $B_j$ , es decir  $P(B_j | A_i)$  si existe  $E(A_i, B_j)$ . Además, se quiere saber cómo influye, conforme incrementa el tiempo de observación, la frecuencia de desplazamiento en el cálculo de las probabilidades del desplazamiento entre las actividades. Así, al conocer la probabilidad de desplazamiento entre las actividades se puede tener una mayor certeza en la toma de decisiones para adecuar el entorno del usuario. Una posible solución, para calcular las probabilidades de desplazamiento entre las actividades, son los procesos estocásticos [7][8], específicamente con cadenas de Markov [9][10]. Una cadena de Markov es un proceso aleatorio con la propiedad de que dados los valores del proceso desde el tiempo cero hasta el tiempo actual, la probabilidad condicional del valor del proceso en cualquier momento futuro solo depende del valor en el momento actual [10].

En resumen, en este proyecto, se considera a un adulto mayor que vive sólo y realiza sus ADL. Al realizar sus actividades, el adulto mayor, se desplaza entre las habitaciones de su hogar generando una rutina. Además, se sabe que el individuo se desplaza con cierta cantidad de veces entre las habitaciones que es considerada como la frecuencia de desplazamiento. El conocer la rutina y las frecuencias de desplazamiento permiten calcular la probabilidad de desplazarse a otra habitación. Ahora, para tener mayor precisión al momento de adecuar el entorno se contempla saber qué actividad es más probable al realizar cuando llega a la siguiente habitación. Así, se puede tener mayor certeza al momento de adecuar el entorno del usuario debido a que se conoce las probabilidades de desplazamiento entre actividades y la habitación en la que se encuentra.

### 3. Objetivo

Con base en la problemática presentada se establecen el objetivo general y los objetivos específicos.

#### 3.1. Objetivo general

Seleccionar, implementar computacionalmente, estimar y validar un modelo probabilístico que permita inferir el patrón de desplazamiento y actividades del adulto mayor en su hogar.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Establecer qué es una actividad y cómo se representará para el modelo probabilístico.
- Seleccionar el modelo probabilístico que infiera el patrón de desplazamiento y actividades.
- Recopilación de datos y estimación de los parámetros.

- Implementación computacional del modelo probabilístico.
- Evaluar el funcionamiento del modelo probabilístico.

## 4. Metodología

Durante el proceso de desarrollo del modelo probabilístico se pretende llevar a cabo la siguiente metodología:

- *Revisión y análisis del estado del arte:*
  - *Definir qué es actividad.* Se realiza una búsqueda con el objetivo de establecer una definición de actividad.
  - *Detección de patrones.* Se estudiará la literatura relacionada con la detección de patrones, específicamente los patrones de desplazamiento en interiores.
  - *Algoritmos de inferencia.* Se analizará los algoritmos de inferencia con el propósito de encontrar el adecuado que permita calcular la probabilidad de desplazamiento entre actividades y las habitaciones.
- *Diseño y desarrollo del modelo probabilístico.*

Primero, se obtiene una base de datos con la información requerida con el uso de la aplicación [11]. Se realizará la validación de los datos con respecto al modelo seleccionado. Después, se implementará computacionalmente los algoritmos obtenidos en el estado del arte.

- *Validación y evaluación del modelo probabilístico.*

La evaluación se enfoca en verificar que la obtención de las probabilidades sea correcta.

A continuación, se muestra un cronograma de las actividades con sus tiempos requeridos lograr la metodología propuesta.

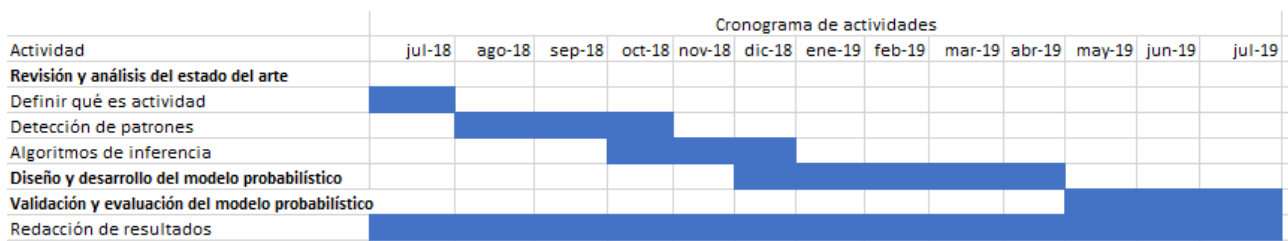


Figura 7: Cronograma de actividades

## 5. Trabajos relacionados

La propuesta planteada es el seguimiento a dos proyectos ya finalizados. Dichos proyectos, se centraron en el reconocimiento de actividades en un entorno interno y externo [11] [12], en el caso de nuestra propuesta se enfoca a obtener el patrón de desplazamiento y actividades para calcular las respectivas probabilidades.

El interés por modelar el comportamiento del ser humano involucra el reconocimiento de patrones, en este caso, de las actividades de la vida diaria humana. El reconocimiento de patrones tiene el objetivo de detectar un patrón común dentro de un número de conjunto de datos [13]. El principal motivo de utilizar el reconocimiento de patrones en el modelado del comportamiento humano es por la precisión [13]. Los algoritmos con mayor utilidad en el reconocimiento de patrones son las redes neuronales artificiales y los modelos ocultos de Markov [13].

Con respecto al reconocimiento de patrones entre actividades sea ha utilizado:

- En [13] se realiza un reconocimiento de patrones de actividades, especialmente dirigido a tener una mejor visualización gráfica del comportamiento humano en las actividades diarias. Los flujos diarios de la actividad humana se extrae con el algoritmo de minería heurístico de ProM. ProM es un framework extensible para aplicar diferentes técnicas de minería de procesos. Las técnicas de minería de procesos son algoritmos basados en heurística, algoritmo basado en fuzzy y algoritmo de minería de episodios o secuencias. Todo lo anterior, es con el objetivo de visualizar gráficamente el patrón de actividades [13]. Los algoritmos anteriores son aplicados en un conjunto de datos obtenidos de otra investigación [14]. La base de datos esta conformada por la fecha, el tiempo que empieza la actividad, la hora de finalización y la etiqueta correspondiente a la actividad. Por ejemplo, 2017-02-01, 07:08:00, 07:30:35, desayunar respectivamente. El conjunto de datos es recopilado por una red de sensores inalámbricos en un entorno inteligente.
- En [15] se propone un sistema de agente inteligente distribuido que implementa técnicas de minería ubicua, con el uso e interacción de agentes. Además, las decisiones de los agentes se basan en los datos históricos que recopilan. Los agentes se conocen con la interacción de envío de los datos obtenidos al instante. El estado futuro de una persona se predice en las cadenas locales con Markov y, posterior se realiza una cadena de actividades global. El sistema se obtiene en dos fases: en la fase de entrenamiento se implementó minería de datos para la transformación y adecuación de los datos con el objetivo de descubrir el patrón de comportamiento. La segunda fase del entrenamiento, permitió a los agentes descubrir el vecino más cercano debido a que tenían que registrar dinámicamente las probabilidades de transición con las cadenas locales de Markov en un Matriz de transición. En este proyecto, una actividad se define por 5 parámetros: hora de inicio temprano, hora de inicio tardío, hora de finalización temprano, hora de finalización tardía y duración.
- En [16] se presenta una metodología para analizar el comportamiento del movimiento humano, en su hogar con base en sus ADLs, que implementa un algoritmo de aprendizaje no supervisado. En este trabajo, una actividad diaria se caracteriza por corresponder a un conjunto de estados visitados por el individuo, una vez que llega a un estado, debe tener una probabilidad alta de transitar entre ellos y permaneces entre los estados antes de abandonarlos. Lo anterior, se logra con la implementación de inferir por medio de un Autómata Finito Determinístico Probabilístico (PDFA), el algoritmo k-means ponderado y la factorización de matriz no negativa. La metodología anterior, se aplica a un conjunto de datos de una mujer voluntaria, obtenido por medio de 35 sensores instalados en un hogar inteligente, durante 219 días. Se obtuvo que los patrones de comportamiento de las personas pueden ser estacionales o seguir algunos patrones periódicos.

- En [17] se propone un sistema que monitoree el comportamiento de las personas que viven solas, especialmente en la detección de accidentes. El objetivo del sistema es informar cuando ocurra un accidente o cambio de rutina del usuario. En este trabajo, una actividad es un conjunto de estados del sistema que combina el estado de la persona, el estado de la habitación, la sección de la habitación y el estado externo del hogar. El sistema requiere clasificar correctamente entre un comportamiento “normal” o “anormal”, por lo cual, requiere aprender las rutinas diarias de la persona después de un periodo de entrenamiento. Las herramientas propuestas para resolver el modelado y clasificación del comportamiento es el uso de sistemas basados en reglas, modelos de Markov y redes bayesianas. Actualmente, el proyecto se encuentra en la etapa de construir diferentes modelos de comportamiento basados en esa arquitectura.

En la siguiente tabla, se muestra una comparación entre los trabajos relacionados y la propuesta en este proyecto.

Trabajo relacionado	Patrón de desplazamiento	Patrón de actividades	Uso de datos offline (actividades)	Reconocimiento de actividades	Algoritmos de minería de procesos	Algoritmos con heurística	Algoritmo de Markov	Algoritmo no supervisado (k-means)	Redes Bayesianas
[13]		X	X		X	X			
[15]		X		X			X		
[16]		X	X					X	
[17]		X		X			X		X
Propuesta	X	X					X		

Figura 8: Tabla comparativa entre los trabajos relacionados



## 6. Referencias

### Referencias

- [1] Alejandra Alvarado and Ángela Salazar. Análisis del concepto de envejecimiento. *Gerokomos*, 2014.
- [2] Organización Mundial de la Salud(OMS). 10 datos sobre el envejecimiento y la salud. <http://www.who.int/features/factfiles/ageing/es/>, 2017.
- [3] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Estadística a propósito del día internacional de las personas de edad. [http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2017/edad2017\\_Nal.pdf](http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2017/edad2017_Nal.pdf), 2017.
- [4] Organización Mundial de la Salud(OMS). Programa de la oms para entornos adaptados a las personas mayores. <http://www.who.int/ageing/projects/agefriendlycitiesprogramme/es/>, 2017.
- [5] A. De Paola, P. Ferraro, S. Gaglio, G. L. Re, M. Morana, M. Ortolani, and D. Peri. An ambient intelligence system for assisted living. In *2017 AEIT International Annual Conference*, pages 1–6, Sept 2017.
- [6] Ahmad Lotfi, Caroline Langensiepen, and Abubaker Elbayoudi. Interpretation of behaviour evolution in activities of daily living. In *Proceedings of the 8th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, pages 84:1–84:2, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [7] M.B. Rajarshi. *Statistical Inference for Discret Time Stochastic Processes*. New Delhi:Springer, 2013.
- [8] Q. Bosq and H. Nguyen. *A course in Stochastic Process: Stochastic Models and Statistical Inference*. Springer, 1996.
- [9] John A. Gubner. *Probability and Random Processes for Electrical and Computer Engineers*. Cambridge University Press, New York, NY, USA, 2006.
- [10] Alberto Leon-García. *Probability, Statistics and Random Processes for Electrical and Computer Engineers*. Pearson Education, Inc., 2008.
- [11] C. Carrillo and J. R. Gomez Montalvo. Plataforma no-intrusiva para la asistencia del adulto mayor en actividades en el hogar. Technical report, Universidad Autónoma de Yucatán, 2017.
- [12] M. E. Lopez Mejia, J. R. Gomez Montalvo, F. Moo Mena, and F. A. Madera Ramirez. Intelligent platform for non intrusive assistance of elderly people. *IEEE Latin America Transactions*, 14(5):2433–2439, May 2016.
- [13] M. R. Ma’arif. Revealing daily human activity pattern using process mining approach. In *2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, pages 1–5, Sept 2017.
- [14] Fco. Javier Ordóñez, Paula de Toledo, and Araceli Sanchis. Activity recognition using hybrid generative/discriminative models on home environments using binary sensors. In *Sensors*, 2013.
- [15] C. Zhang and W. A. Gruver. Distributed agent system for behavior pattern recognition. In *2010 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, volume 1, pages 204–209, July 2010.
- [16] C. Li, W. K. Cheung, and J. Liu. Elderly mobility and daily routine analysis based on behavior-aware flow graph modeling. In *2015 International Conference on Healthcare Informatics*, pages 427–436, Oct 2015.

- [17] C. F. Pfeiffer, V. G. Sánchez, and N. O. Skeie. A discrete event oriented framework for a smart house behavior monitor system. In *2016 12th International Conference on Intelligent Environments (IE)*, pages 119–123, Sept 2016.