



Investigación en Inteligencia Artificial en Medicina del grupo AIKE de la Universidad de Murcia

Manuel Campos, Bernardo Cánovas-Segura, María A. Cardenas, Félix Gomez de León, Fernando Jimenez
Jose M. Juarez, Roque Marin, Antonio Morales, Jose T. Palma

Facultad de Informática

Universidad de Murcia

{manuelcampos|mariancv|bernardocs|gdleon|
fernand|jmjuarez|roquemm|morales|jtpalma}@um.es

Francisco Palacios

Unidad de Cuidados Intensivos

Hospital Universitario de Getafe

Madrid, Spain

franciscodepaula@gmail.com

Resumen—En este trabajo presentamos la actividad del grupo de investigación en Inteligencia Artificial e Ingeniería del Conocimiento (AIKE) en el ámbito de la Inteligencia Artificial en Medicina. En concreto resumimos sus principales líneas de investigación: razonamiento temporal, razonamiento basado en casos, lógica espacio-temporal, representación del conocimiento y computación evolutiva. Finalmente describimos los proyectos realizados más recientes en el campo de la salud.

Index Terms—Inteligencia Artificial en Medicina; Razonamiento Temporal; Lógica Temporal; Representación del Conocimiento; Computación Evolutiva.

I. INTRODUCCIÓN

El grupo de Inteligencia Artificial e Ingeniería de Conocimiento (AIKE)¹ de la Universidad de Murcia, fundado en 1.993 por Roque Marín, es un grupo multidisciplinar actualmente compuesto por 25 miembros del ámbito de la informática, la ingeniería, física y medicina. Su actividad investigadora se centra en la aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) principalmente en el dominio de la salud y también en el diagnóstico y la monitorización industrial.

En este trabajo se centra en la contribución del grupo AIKE en el ámbito de la Inteligencia Artificial en Medicina. Este documento se describen:

- Las líneas de investigación en Inteligencia Artificial y sus principales contribuciones (Sec. II).
- Los proyectos desarrollados más recientes en el ámbito de la Inteligencia Artificial aplicada a la salud (Sec. III).
- Las lecciones aprendidas y los retos a abordar en trabajos futuros (Sec. IV).

II. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A continuación describimos los principales ejes de investigación y resultados del grupo AIKE a lo largo de los años,

¹<http://www.um.es/aike/>

incluyendo los referentes a los proyectos DAISY y WASPSS que se describirán en la Sec. III.

II-A. Razonamiento Temporal Borroso

La línea más antigua del grupo AIKE se centra en métodos de representación y resolución de problemas de restricciones donde el tiempo juega un papel básico.

Uno de los principales resultados en esta línea son las Redes de Restricciones Temporales Borrosas (*FTCN*) [1], [2]. Una *FTCN* está formada por un conjunto de variables temporales y un conjunto finito de restricciones temporales binarias definidas sobre las variables temporales. Una *FTCN* puede representarse mediante un grafo dirigido, donde los nodos representan las variables temporales y los arcos representan las restricciones binarias temporales. A partir de aquí se han desarrollado técnicas de inferencia para obtener relaciones antes desconocidas y propagar restricciones obteniendo la red mínima. Estos resultados teóricos han sido implementados de diferente forma para dar soluciones en distintos contextos del ámbito médico.

También destacamos el software *FuzzyTIME*, un razonador temporal de propósito general que permite trabajar con restricciones temporales borrosos entre puntos e intervalos temporales. *FuzzyTIME* proporciona herramientas para el mantenimiento y la consulta de información temporal de las redes *FTCN*, utilizando sentencias en lenguaje de alto nivel. Por ejemplo, en [3] se demuestra su utilidad para dar soluciones en el escenario de la Gripe Aviar.

La necesidad de proporcionar descripciones de alto nivel de la evolución de datos es esencial en el dominio médico, obteniendo información más fácil de comparar y tamaño más reducido. Así, se han desarrollado técnicas de abstracción temporal basadas en *FTCN* [4] [5].

II-B. Lógicas Espaciales y Temporales

Una segunda línea de investigación básica del grupo AIKE es el desarrollo de modelos formales para representación de conocimiento y razonamiento mediante lógicas temporales y espaciales.

Entre los resultados más recientes destacamos [6] donde se propone una lógica temporal de primer orden, *FTCLogic*, capaz de manejar restricciones temporales borrosas entre variables temporales. Se basa en la Lógica Posibilística e integra el modelo *FTCN* en un lenguaje independiente del dominio. Esto, además, la hace adecuada para una implementación práctica en dominios como la medicina.

Desde un punto de vista aplicado, en [7] se describen los pasos a seguir para la utilización de una lógica temporal para la representación de guías clínicas.

Varios trabajos tratan el problema de extender las lógicas temporales con el fin de obtener nuevas lógicas espaciales para razonar con direcciones cardinales entre regiones aproximadas por rectángulos. Por un lado, en [8] se utilizan las lógicas modales de intervalos para proponer nuevas lógicas modales de rectángulos. Por otro lado, en [9] y [10] se realiza una aproximación algebraica al problema utilizando técnicas de redes de restricciones cualitativas. Los modelos mencionados se han incorporado posteriormente a sistemas de ayuda a la decisión en entornos clínicos como se describirá en la Sec. III.

II-C. Diagnóstico Temporal

Otra línea de trabajo del grupo se centra en el diagnóstico, entendiéndolo como un proceso para dar una explicación del comportamiento observado de un sistema a partir del conjunto de eventos observados.

Esta línea de trabajo se centra en diagnóstico temporal en medicina, modelando el comportamiento anormal donde se representan las relaciones causales y temporales entre los hallazgos anormales y las enfermedades. Estas relaciones se definen mediante unos *Patrones Diagnósticos Temporales Borrosos*. Cada patrón incluye (1) conocimiento sobre el contexto, que influye sobre la evolución temporal de una enfermedad (2) relaciones casuales y (3) relaciones temporales conformando una *FTCN* [11].

Además de la representación de modelos, se han desarrollado métodos de diagnóstico temporal. En [12] se describe este tipo de procesos en dos pasos. Primero, se construye mediante una estrategia abductiva una red causal (temporalmente consistente) a partir del conjunto de eventos observados. Segundo, algunas hipótesis son eliminadas de la red causal mediante un método de eliminación mediante poda conservativa.

Estos modelos mencionados se han implementado, desarrollando herramientas de adquisición de conocimiento (como CATEKAT) y aplicado al diagnóstico del Infarto Agudo de Miocardio en UCI [13].

II-D. Razonamiento Basado en Casos Temporales

El Razonamiento Basado en Casos (CBR) es una metodología que tiene por objetivo resolver problemas a partir de problemas ya resueltos anteriormente. El grupo AIKE lleva

trabajando desde 2004 en una línea de trabajo centrada en CBR temporal donde los casos incluyen información temporal formando secuencias de eventos o redes de restricciones. En esta línea trasladamos de los modelos temporales descritos en la Sec. II-A al CBR y su posterior aplicación en el ámbito de la medicina. Entre los trabajos de investigación básica destacamos el desarrollo de funciones de similitud temporal que permiten la comparación y recuperación de casos como secuencias de eventos/puntos o intervalos [14], [15]. Hemos abordado el problema de casos que provienen de la ejecución de workflows y su aplicación a guías clínicas de infarto cerebral [16], [17]. También en el ámbito de la medicina el grupo AIKE ha trabajado en un sistema de recuperación de casos provenientes del historial clínico en una Unidad de Cuidados Intensivos [18].

En la actualidad estamos trabajando en el problema de reducción de casos temporales (análogo a la eliminación de instancias) [19], [20].

II-E. Minería de Datos Temporales

La minería de datos temporales consiste en la extracción de patrones de los datos cuya importancia o significación es relevante de acuerdo a alguna medida. En la línea de investigación de AIKE hemos trabajado en la extracción de redes de restricciones difusas temporalmente consistentes que incluyen puntos e intervalos [21].

Con el objetivo de hacer algoritmos más eficientes, se ha limitado la forma de la red para obtener patrones secuenciales con relaciones entre puntos e intervalos en colaboración con la Antwerpen University [22]. En la tesis de Antonio Gomariz se ha incluido una representación de patrones que incluye un eficiente razonamiento temporal.

En trabajos posteriores hemos utilizado esos mismos patrones secuenciales multivariantes para describir la evolución de los pacientes de una unidad de quemados, con el objetivo de predecir un devenir negativo que lleve al fallecimiento del paciente [23]. Se han evaluado diversas técnicas de discretización de series temporales y varios clasificadores asociativos que permiten explotar al máximo la capacidad predictiva de los patrones.

II-F. Aprendizaje Computacional Evolutivo Multiobjetivo

La computación evolutiva multiobjetivo es actualmente un área de gran interés en la comunidad científica y está siendo aplicada con éxito en la mayoría de los procesos computacionales que implican múltiples objetivos, entre los que destacan los relacionados con el aprendizaje automático.

El grupo ha desarrollado y aplicado la computación evolutiva multi-objetivo en entornos de aprendizaje supervisado y no supervisado. Concretamente se han desarrollado algoritmos evolutivos multiobjetivo que han sido aplicados con éxito para las tareas de selección de atributos, selección de instancias, clasificación y regresión. En [24] el algoritmo ENORA desarrollado por el grupo se ha aplicado para selección de atributos en la clasificación de datos en centros de contacto con múltiples habilidades. En [25] ENORA se ha aplicado para

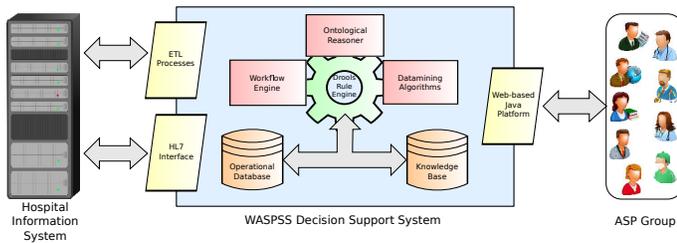


Figura 1. Arquitectura de WASPSS [29].

selección de atributos en tareas de regresión para la predicción de ventas on-line. En [26], [27] ENORA ha sido utilizado en este caso para la clasificación borrosa de la mortalidad por infección de pacientes quemados graves. Con respecto a aprendizaje no supervisado, el algoritmo ENORA se ha aplicado en [28] para, primero, selección de atributos de datos no clasificados sobre el comportamiento de niños en conjunción con la técnica de agrupamiento EM, y después, para la clasificación borrosa de la evaluación de su comportamiento.

III. PROYECTOS RECIENTES REALIZADOS

III-A. Proyecto WASPSS

WASPSS²(TIN2013-45491-R) es un proyecto financiado por el MINECO en colaboración con clínicos del Hospital Universitario de Getafe pertenecientes a las especialidades de UCI, microbiología y farmacia. En este proyecto han participado 18 investigadores (14 especialistas en IA y 4 clínicos).

El proyecto WASPSS se centra en el problema de la aparición de multiresistencias. Esto ha llevado a los organismos internacionales y responsables de los servicios de salud a la definición de políticas que permitan mantener la eficacia de los antibióticos, paliando la generación de resistencias debidas a un consumo inadecuado. En concreto los organismos públicos han establecido programas de uso racional de los antibióticos, conocidos como Antimicrobial Stewardship Program (ASP). El equipo ASP es un grupo interdisciplinar de clínicos del hospital que definen acciones a llevar a cabo en todas las dimensiones del problema.

El desafío que ha abordado WASPSS es el diseño de una plataforma inteligente que permita ayudar a la gestión de un ASP en un hospital, abordando los procesos clínicos implicados de forma integrada. En concreto se ha abordado el desarrollo de técnicas y herramientas para: un modelo de inteligencia de negocio para ASP, el estudio de series temporales, apoyo a la decisión del tratamiento antibiótico y el soporte a la aplicación de guías clínicas.

El desarrollo de un sistema inteligente de estas características requiere de fuentes de datos y conocimiento provenientes de diferente ámbitos del hospital. En el proyecto hemos estudiado el impacto de los equipos ASP en los hospitales [30]–[32] y planteado una arquitectura que permite integrar y

²<http://www.um.es/waspss/>

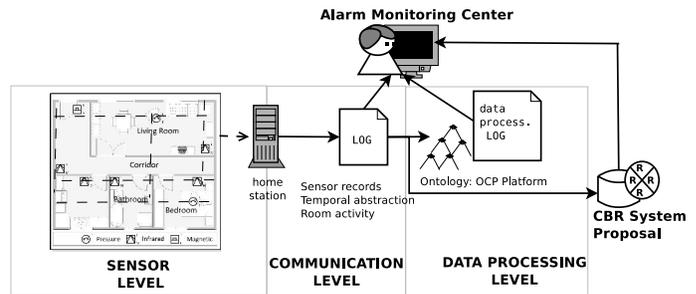


Figura 2. Arquitectura de sistema DAISY [41].

poner a disposición del resto de subsistemas de la información y conocimiento [33]–[35].

La toma de decisiones en antibiototerapia es compleja y depende tanto del antibiograma, de la historia clínica del paciente y los protocolos y guías clínicas. En este proyecto hemos desarrollado diferentes propuestas para la alerta en la prescripción [29], [36] y técnicas de visualización del antibiograma [37].

Las guías clínicas para el tratamiento antibiótico son herramientas esenciales para el médico, sin embargo su prescripción y dosificación dependen en parte de la epidemiología local. En el proyecto WASPSS nos hemos centrado tanto en la representación computacional de guías clínicas internacionales de referencia como de su ejecución a nivel local. Con este propósito hemos trabajado con modelos estándar de la industria como BPMN [38], [39], reglas de producción y modelos de la web semántica [40].

III-B. Proyecto DAISY

DAISY³ (15277/PI/10), financiado por la Fundación Séneca de la Región de Murcia, investiga en sistemas de alarmas adaptativas y personalizadas en un entorno de monitorización en el hogar enfocado a dos poblaciones objetivo: riesgo en personas mayores que viven solas y personas mayores con Enfermedad de Alzheimer y/o Demencia Fronto Temporal. En este proyecto se ha contado con la colaboración de miembros de la Unidad de Demencias del Hospital Universitario Virgen de la Arrixaca siendo un total de 9 investigadores (7 especialistas en IA y 2 clínicos).

El principal objetivo del proyecto fue analizar la actividad de los ancianos en el hogar (logs) y proporcionar alarmas en función del comportamiento. Los avances científicos relacionados con el proyecto han sido en el ámbito del desarrollo de técnicas de CBR temporal y valoración de potenciales demencias. En la Fig. 2 se describe la arquitectura del sistema propuesto. En los problemas de generación temprana de alertas en dominios críticos, la componente temporal juega un papel fundamental. Así las técnicas de CBR, frente a la descripción a priori de situaciones de riesgo (reglas de alertas), proporcionan de forma integrada mecanismos efectivos para la detección de cambios de comportamiento del individuo de forma personalizada y favorecen la adaptabilidad y mantenimiento del sistema

³<http://perseu.inf.um.es/~daisycbr/>

de una manera sencilla. Un primer problema a resolver ha sido el desarrollo tecnológico de herramientas de CBR temporal en colaboración con la West London University [42] donde se han implementando métricas de similitud descritas en la sección II-D. Un segundo desafío, debido al gran volumen de registros, ha sido el desarrollo de técnicas de reducción de casos (case-base maintenance) [20], [43]. Así, se ha desarrollado CELSEA⁴, una API de objetivo científico para el estudio de case-base maintenance [44]. Parte de estos resultados se han desarrollado en colaboración con investigadores de la Robert Gordon University [45].

Un segundo aspecto de este proyecto ha sido el estudio de la sospecha del deterioro cognitivo, en particular frente a la Enfermedad de Alzheimer y la Demencia Fronto-Temporal en colaboración con neuropsicólogos. El problema se ha abordado desde 2 frentes distintos. Por un lado de forma ubicua mediante el análisis de la actividad diaria con el objetivo de detectar caídas y comportamientos aberrantes que pudieran dar indicios de sufrir demencia. Así, se ha desarrollado técnicas de visual mining con el objetivo de detectar de una forma visual este tipo de comportamientos [46]. Por otro lado, se han desarrollado software para la evaluación neuropsicológica de forma ambulatoria, preprocesando la información y registrando los tiempos de respuesta [47], [48].

IV. CONCLUSIONES

Durante los últimos 25 años, el grupo de investigación AIKE ha trabajado en el campo de la Inteligencia Artificial para proponer soluciones en el ámbito de la salud tanto en modelos teóricos como en un desarrollo más aplicado.

Como eje vertebrador de la investigación consideramos que la dimensión temporal juega un papel fundamental en la resolución de tareas médicas. Por este motivo, el grupo AIKE ha centrado su investigación en el estudio de modelos formales de representación y razonamiento temporal desde diferentes puntos de vista (lógicas y álgebras, series temporales y secuencias, gestión fuzzy del tiempo, etc.).

El segundo eje de trabajo del grupo AIKE es el desarrollo de la IA en hospitales para dar apoyo al médico durante la práctica clínica. Para que las herramientas desarrolladas se implanten en el flujo de trabajo del clínico creemos que es fundamental: (a) un profundo conocimiento del problema clínico (adquiridos tras años de estrecha colaboración entre médicos e investigadores); (b) el desarrollo de software en producción en hospitales que dé valor añadido en el día a día e integre la información clave para su explotación; (c) usar modelos y técnicas de la IA que sean interpretables y validables por parte de los clínicos.

Finalmente, entre las líneas de trabajo y colaboración planificadas para los próximos años destacamos:

- Representación formal del conocimiento para definición de estrategias y protocolos clínicos.
- Propuesta y desarrollo de selección de parámetros clínicos mediante un enfoque de optimización multiobjetivo.

- Desarrollo de técnicas de fenotipado a partir de algoritmos de subgrupos y particionamiento.
- Estudio de técnicas de visualización para la mejora de la interpretabilidad médica de técnicas de aprendizaje.
- Comenzar una línea de trabajo sobre técnicas de predicción temporal aplicada a tratamientos y consumos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y fondos FEDER a través del proyecto WASPSS (Ref: TIN2013-45491-R)

REFERENCIAS

- [1] R. Marín, S. B. A. Bosch, and J. Mira, "Modeling time representation from a fuzzy perspective," *Cybernetics and Systems*, vol. 25, no. 2, pp. 207–215, 1994.
- [2] R. Marín, M. A. Cárdenas, M. Balsa, and J. L. Sánchez, "Obtaining solutions in fuzzy constraint networks," *International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 3-4, pp. 261–288, 1996.
- [3] M. C. Martínez, J. M. Juárez, J. T. Palma, R. Marín, and F. Palacios, "Avian influenza: Temporal modeling of a human to human transmission case," *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 7, pp. 8865–8885, 2011.
- [4] M. Campos, J. M. Juárez, J. Salort, J. T. Palma, and R. Marín, "Reasoning in dynamic systems: From raw data to temporal abstract information," *Neurocomputing*, vol. 72, no. 4-6, pp. 871–878, 2009.
- [5] M. C. Martínez, J. M. Juárez, J. T. Palma, and R. Marín, "Using temporal constraints for temporal abstraction," *J. Intell. Inf. Syst.*, vol. 34, no. 1, pp. 57–92, 2010.
- [6] M. Cardenas-Videma and R. Marín, "FTCLoGic: Fuzzy temporal constraint logic," *Fuzzy Set and Systems*, vol. (accepted), 2018.
- [7] G. Sciavicco, J. M. Juárez, and M. Campos, "Quality checking of medical guidelines using interval temporal logics: A case-study," in *IWINAC (2)*, ser. Lecture Notes in Computer Science, vol. 5602. Springer, 2009, pp. 158–167.
- [8] A. Morales, I. Navarrete, and G. Sciavicco, "A new modal logic for reasoning about space: spatial propositional neighborhood logic," *Ann. Math. Artif. Intell.*, vol. 51, no. 1, pp. 1–25, 2007.
- [9] I. Navarrete, A. Morales, and G. Sciavicco, "Consistency checking of basic cardinal constraints over connected regions," in *Proceedings of IJCAI*, 2007, pp. 495–500.
- [10] I. Navarrete, A. Morales, G. Sciavicco, and M. A. C. Viedma, "Spatial reasoning with rectangular cardinal relations - the convex tractable subalgebra," *Ann. Math. Artif. Intell.*, vol. 67, no. 1, pp. 31–70, 2013.
- [11] J. T. Palma, J. M. Juárez, M. Campos, and R. Marín, "A fuzzy approach to temporal model-based diagnosis for intensive care units," in *ECAI. IOS Press*, 2004, pp. 868–872.
- [12] J. T. Palma, J. M. Juárez, M. Campos, and R. Marín, "Fuzzy theory approach for temporal model-based diagnosis: An application to medical domains," *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 38, no. 2, pp. 197–218, 2006.
- [13] J. M. Juárez, M. Campos, J. T. Palma, and R. Marín, "Computing context-dependent temporal diagnosis in complex domains," *Expert Syst. Appl.*, vol. 35, no. 3, pp. 991–1010, 2008.
- [14] J. M. Juárez, F. Guil, J. T. Palma, and R. Marín, "Temporal similarity by measuring possibilistic uncertainty in CBR," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 160, no. 2, pp. 214–230, 2009.
- [15] Z. Huang, J. M. Juárez, W. Dong, L. Ji, and H. Duan, "Predictive monitoring of local anomalies in clinical treatment processes," in *AIME*, ser. LNCS, vol. 9105. Springer, 2015, pp. 25–34.
- [16] C. Combi, M. Gozzi, J. M. Juárez, R. Marín, and B. Oliboni, "Querying clinical workflows by temporal similarity," in *AIME*, ser. Lecture Notes in Computer Science, vol. 4594. Springer, 2007, pp. 469–478.
- [17] C. Combi, M. Gozzi, B. Oliboni, J. M. Juárez, and R. Marín, "Temporal similarity measures for querying clinical workflows," *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 46, no. 1, pp. 37–54, 2009.
- [18] J. M. Juárez, J. Salort, J. T. Palma, and R. Marín, "Case representation ontology for case retrieval systems in medical domains," in *Artificial Intelligence and Applications*. IASTED/ACTA Press, 2007, pp. 188–193.

⁴<http://perseo.inf.um.es/~aike/celsea/>



- [19] J. M. Juárez, S. Craw, J. R. Lopez, and M. Campos, "Maintenance of case bases: Current algorithms after fifty years," in *Proceedings of the Twenty-Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence*, ser. IJCAI'18, 2018, pp. 5458–5463.
- [20] E. Lupiani, J. M. Juárez, and J. T. Palma, "Evaluating case-base maintenance algorithms," *Knowl.-Based Syst.*, vol. 67, pp. 180–194, 2014.
- [21] M. Campos, J. T. Palma, and R. Marín, "Temporal data mining with temporal constraints," in *AIME*, ser. Lecture Notes in Computer Science, vol. 4594. Springer, 2007, pp. 67–76.
- [22] P. Fournier-Viger, A. Gomariz, M. Campos, and R. Thomas, "Fast vertical mining of sequential patterns using co-occurrence information," in *PAKDD (I)*, ser. Lecture Notes in Computer Science, vol. 8443. Springer, 2014, pp. 40–52.
- [23] I. J. Casanova, M. Campos, J. M. Juárez, A. Fernandez-Fernandez-Arroyo, and J. A. Lorente, "Using multivariate sequential patterns to improve survival prediction in intensive care burn unit," in *AIME*, ser. Lecture Notes in Computer Science, vol. 9105. Springer, 2015, pp. 277–286.
- [24] F. Jiménez, E. Marzano, G. Sánchez, G. Sciavicco, and N. Vitacolonna, "Attribute selection via multi-objective evolutionary computation applied to multi-skill contact center data classification," in *SSCI*. IEEE, 2015, pp. 488–495.
- [25] F. Jiménez, G. Sánchez, J. M. García, G. Sciavicco, and L. M. Pechuán, "Multi-objective evolutionary feature selection for online sales forecasting," *Neurocomputing*, vol. 234, pp. 75–92, 2017.
- [26] F. Jiménez, G. Sánchez, and J. M. Juárez, "Multi-objective evolutionary algorithms for fuzzy classification in survival prediction," *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 60, no. 3, pp. 197 – 219, 2014. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0933365713001668>
- [27] F. Jiménez, G. Sánchez, J. M. Juárez, J. M. Alcaraz, and J. F. Sánchez, "Fuzzy classification of mortality by infection of severe burnt patients using multiobjective evolutionary algorithms," in *IWINAC (I)*, ser. Lecture Notes in Computer Science, vol. 5601. Springer, 2009, pp. 447–456.
- [28] F. Jiménez, R. Jódar, M. del Pilar Martín, G. Sánchez, and G. Sciavicco, "Unsupervised feature selection for interpretable classification in behavioral assessment of children," *Expert Systems*, vol. 34, no. 4, 2017.
- [29] B. Cánovas-Segura, M. Campos, A. M. Nicolas, J. M. Juárez, and F. Palacios, "Development of a clinical decision support system for antibiotic management in a hospital environment," *Progress in Artificial Intelligence*, vol. 5, no. 3, pp. 181–197, 2016.
- [30] A. M. Vázquez, J. G. Septiem, I. J. T. Vassallo, D. Sanz-Rosa, M. C. Martínez, M. E. Martínez, F. P. Ortega, and J. M. J. Navalón, "Programa de optimización de antibióticos en un servicio de cirugía general y digestiva: efecto sobre prescripción de meropenem en sus dos primeros de implantación programa de optimización de antibióticos en un servicio de cirugía general y digestiva: efecto sobre prescripción de meropenem en sus dos primeros de implantación," *Revista de Cirugía Española*, vol. 94, no. Noviembre 2016, p. 135, November 2016.
- [31] J. G. Septiem, M. E. Martínez, A. M. Vázquez, F. Palacios, Á. S. Grande, C. B. Recuenco, and J. M. J. Navalón, "Impacto de implantación del programa proa (programa de racionalización y optimización del uso de antimicrobianos) en un servicio de cirugía general y digestivo," *Revista de Cirugía Española*, vol. 94, no. Noviembre 2016, p. 126, November 2016.
- [32] A. Manuel-Vázquez, F. Palacios-Ortega, J. García-Septiem, I. J. This-sard, D. Sanz-Rosa, J. Arias-Díaz, J. M. Jover-Navalón, and J. M. Ramia, "Antimicrobial stewardship program in a department of surgery: human, electronic and methodological resources. results after three years," *Annals of Surgery*, vol. (under evaluation), 2018.
- [33] F. Palacios, M. Campos, J. M. Juárez, S. E. Cosgrove, E. Avdic, B. Cánovas-Segura, A. Morales, M. E. Martínez-Nuñez, T. Molina-García, P. García-Hierro, and J. Cacho-Calvo, "A clinical decision support system for an Antimicrobial Stewardship Program," in *HEALTHINF 2016 - 9th International Conference on Health Informatics, Proceedings*. Rome: SciTePress, 2016, pp. 496–501.
- [34] M. Campos, B. Garcia, J. M. Juárez, J. M. Guillamon, and F. Palacios, "What do doctors need for effective adoption and integration of clinical guidelines into daily practice?" in *ICHI*. IEEE Computer Society, 2014, pp. 247–255.
- [35] A. Morales, B. Cánovas-Segura, M. Campos, J. M. Juárez, and F. Palacios, "Proposal of a Big Data Platform for Intelligent Antibiotic Surveillance in a Hospital," in *Advances in Artificial Intelligence: 17th Conference of the Spanish Association for Artificial Intelligence, CAEPIA 2016, Salamanca, Spain, September 14-16, 2016. Proceedings*, O. Luaces, J. A. Gámez, E. Barrenechea, A. Troncoso, M. Galar, H. Quintián, and E. Corchado, Eds., 2016, pp. 261–270.
- [36] A. Morales, M. Campos, J. M. Juárez, B. Canovas-Segura, F. Palacios, and R. Marin, "A decision support system for antibiotic prescription based on local cumulative antibiograms," *J. of Biomedical Informatics*, vol. 84, pp. 114–122, 2018.
- [37] H. Garcia-Caballero, M. Campos, J. M. Juárez, and F. Palacios, "Visualization in clinical decision support system for antibiotic treatment," in *Proceedings of the Conference of Spanish Society on Artificial Intelligence (CAEPIA15)*, 2015, pp. 71–80.
- [38] B. Cánovas-Segura, F. Zerbato, B. Oliboni, C. Combi, M. Campos, A. Morales, J. M. Juárez, R. Marin, and F. Palacios, "A process-oriented approach for supporting clinical decisions for infection management," in *2017 IEEE International Conference on Healthcare Informatics (ICHI)*, Aug 2017, pp. 91–100.
- [39] B. Cánovas-Segura, F. Zerbato, B. Oliboni, C. Combi, M. Campos, A. M. Nicolás, J. M. Juárez, F. Palacios, and R. Marín, "A decision support visualization tool for infection management based on BMPN and DMN," in *CITI*, ser. Communications in Computer and Information Science, vol. 749. Springer, 2017, pp. 158–168.
- [40] N. Iglesias, J. M. Juárez, M. Campos, and F. Palacios, "Computable representation of antimicrobial recommendations using clinical rules: A clinical information systems perspective," in *IWINAC (I)*, ser. Lecture Notes in Computer Science, vol. 9107. Springer, 2015, pp. 258–268.
- [41] E. Lupiani, J. M. Juárez, J. Palma, and R. Marin, "Monitoring elderly people at home with temporal case-based reasoning," *Knowledge-Based Systems*, vol. 134, pp. 116 – 134, 2017. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950705117303477>
- [42] E. Lupiani, J. M. Juárez, J. T. Palma, C. S. Sauer, and T. Roth-Berghofer, "Using case-based reasoning to detect risk scenarios of elderly people living alone at home," in *ICCB*, ser. Lecture Notes in Computer Science, vol. 8765. Springer, 2014, pp. 274–288.
- [43] E. Lupiani, J. M. Juárez, and J. T. Palma, "A proposal of temporal case-base maintenance algorithms," in *ICCB*, ser. Lecture Notes in Computer Science, vol. 8765. Springer, 2014, pp. 260–273.
- [44] E. Lupiani, J. M. Juárez, F. Jiménez, and J. T. Palma, "Evaluating case selection algorithms for analogical reasoning systems," in *IWINAC (I)*, ser. Lecture Notes in Computer Science, vol. 6686. Springer, 2011, pp. 344–353.
- [45] E. Lupiani, S. Craw, S. Massie, J. M. Juárez, and J. T. Palma, "A multi-objective evolutionary algorithm fitness function for case-base maintenance," in *ICCB*, ser. Lecture Notes in Computer Science, vol. 7969. Springer, 2013, pp. 218–232.
- [46] J. M. Juárez, J. M. Ochotorena, M. Campos, and C. Combi, "Multiple temporal axes for visualising the behaviour of elders living alone," in *ICHI*. IEEE Computer Society, 2013, pp. 387–395.
- [47] J. M. Juárez, G. García-Fernandez, M. Campos, B. Martínez, M. Antequera, and C. Antunez, "Experiences on computerised neuropsychological tests for dementia using a mobile touchable interface," in *ICHI*. IEEE Computer Society, 2014, pp. 355–361.
- [48] M. M. Antequera, M. T. Daza, F. Guil, J. M. Juárez, and G. López-Crespo, "An architecture proposal for adaptive neuropsychological assessment," in *IWINAC (I)*, ser. Lecture Notes in Computer Science, vol. 5601. Springer, 2009, pp. 426–436.